



Schlussbericht zum Thema

Verbesserung Ökologischer Fruchtfolgen mit
Transfermulch für ein Regeneratives
Angepasstes Nährstoffmanagement

FKZ: 2818OE016, 2818OE077

Projektnehmer: Universität Kassel, Sächsisches
Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie

Gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung
und Landwirtschaft auf Grund eines Beschlusses des
Deutschen Bundestages im Rahmen des
Bundesprogramms Ökologischer Landbau.

Das Bundesprogramm Ökologischer Landbau Landwirtschaft (BÖL) hat sich zum Ziel gesetzt, die Rahmenbedingungen für die ökologische und nachhaltige Land- und Lebensmittelwirtschaft in Deutschland zu verbessern. Es wird vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) finanziert und in der BÖL-Geschäftsstelle in der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE) in Bonn in die Praxis umgesetzt. Das Programm untergliedert sich in zwei ineinandergreifende Aktionsfelder, den Forschungs- und den Informationsbereich.

Detaillierte Informationen und aktuelle Entwicklungen finden Sie unter www.bundesprogramm.de

Wenn Sie weitere Fragen haben, wenden Sie sich bitte an:

Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung
Geschäftsstelle Bundesprogramm Ökologischer Landbau
Deichmanns Aue 29
53179 Bonn
Tel: 0228-6845-3280
E-Mail: boel@ble.de

Gefördert durch



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft



BUNDESPROGRAMM
ÖKOLOGISCHER LANDBAU

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Schlussbericht

VORAN

*Verbesserung
Ökologischer Fruchtfolgen mit
Transfermulch für ein Regeneratives, Angepasstes Nährstoffmanagement*

Projektlaufzeit: 48 Monate (01.04.2019-31.10.2023)

Autoren: Stephan, M. Junge, Simeon Leisch-Wasköning, Deborah Henzel, Christiane Weiler, Ulf Jäckle, Stephanie Pencs, Maria R. Finckh

Projektleitung

FACHGEBIET ÖKOLOGISCHER PFLANZENSCHUTZ (FÖP) (FKZ 2818OE016)

Prof. Dr. Maria Finckh, M.Sc. Stephan Junge, M.A. Simeon Leisch, M.Sc. Christiane Weiler, M.Sc. Deborah Henzel

mfinckh@uni-kassel.de / sjunge@uni-kassel.de, +49 5542 98 1562, +49 5542 98 1565

Fachbereich Ökologische Agrarwissenschaften, Universität Kassel

Nordbahnhofstraße 1A, 37213 Witzenhausen

In Kooperation mit

SÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND GEOLOGIE 72 (LFULG) | Pflanzenbau (FKZ: 2818OE077)

Dipl. Ing. Ulf Jäckel (Ulf.Jaeckel@smul.sachsen.de), Stefanie Pencs

Waldheimer Str. 219, 01683 Nossen

Inhalt

Inhalt	II
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Verzeichnis der Anhangstabellen.....	IX
Verzeichnis der Anhangsabbildungen.....	X
Glossar und Abkürzungsverzeichnis.....	XI
Kurzfassung	XII
Abstract	XIII
1. Einleitung.....	1
1.1 Gegenstand des Vorhabens	1
1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen desBÖLN oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen	1
1.3 Planung und Ablauf des Projekts	2
2. Wissenschaftlich technischer Stand.....	3
3. Material und Methoden.....	5
3.1 Versuchsstandort und Feldexperiment FÖP, Neu-Eichenberg	5
3.1.1 Versuchsdurchführung	5
3.1.2 Messungen.....	6
3.1.3 Statistik	9
3.2 On-Farm Versuche	10
3.3 Versuchsdurchführung Nossen und Köllitsch Sachsen	11
4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse.....	13
4.1 Wetter- und Versuchsbedingungen Neu Eichenberg	13
4.2 Wetter Nossen	14
4.3 Können negative Einflüsse durch die reduzierte Bodenbearbeitung durch Mulchapplikation und Zwischenfrüchte sicher kompensiert werden?.....	15
4.3.1 N-Erträge aus Transfermulch und Erträge Neu-Eichenberg (NEB)	15

4.3.2	N-Erträge aus Transfermulch und Erträge LfULG	18
4.4	Wie wird der Mulch abgebaut und welche Nährstoffe werden in Pflanzen einschließlich Nachfrucht und Boden aufgenommen bzw. gehen Nährstoffe verloren? Ist milchsauer siliertes Mulchmaterial mit frischem Schnittgut vergleichbar und überbrückt so Mulchmaterialengpässe? 20	
4.4.1	N-Inputs und Dynamik der Experimente 1, 2 und 3 in NEB.....	20
4.4.2	Das Verhalten von Silage als Dünger oder als Mulchmaterial	23
4.4.3	Mikro- und Makronährstoffgehalte in den Kartoffelblättern.....	24
4.4.4	Nährstoff und Wasserdynamik LFULG (Gefäß- und Feldversuche)	26
4.5	Kann durch Mulchapplikation ein regenerativer Effekt im Boden in Bezug auf Humusaufbau, Bodenleben, und Struktur erzielt werden?	31
4.5.1	Auswirkungen auf den Gefügeindex (NEB).....	31
4.5.2	Auswirkung der Bodenbearbeitung und von Mulch auf die Erosionsneigung (LfULG)	33
4.5.3	Auswirkung des Anbausystems auf die Humusgehalte (LFULG)	36
4.5.4	Auswirkung der Anbaumaßnahmen auf die Bodenmikrobiologie (NEB)	36
4.5.5	Einfluss der Anbaumaßnahmen auf die Bodenfauna NEB und LFULG	39
4.6	Können Effekte auf Schaderreger und Beikräuter durch das Mikroklima, die Nährstoffversorgung oder Nützlinge erklärt werden?	41
4.6.1	Temperaturen im Bestand und im Damm	41
4.6.2	Beikrautdeckungsgrade in Kartoffel und Nachfrüchten	42
4.6.3	Knollengesundheit	45
4.6.4	Kartoffelkäfer	46
4.6.5	Kraut und Knollenfäule	47
4.7	Wie lässt sich das System in der Praxis umsetzen und welche Probleme treten auf?	48
5.	Diskussion der Ergebnisse	50
6.	Praktischer Nutzen und Anwendbarkeit	53
7.	Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen.....	56
7.1.	Weiterführende Fragestellungen.....	56
8.	Zusammenfassung.....	58

9.	Literaturverzeichnis.....	59
10.	Außendarstellung und Veröffentlichungen	62
11.	Anhang: Abbildungen und Tabellen.....	65
11.1	Abbildungen.....	65
11.2	Tabellen.....	70

Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Häckseln des Wicktriticale-Mulches** (Oben links). Mulchhausbringung mit dem Miststreuer am 09/10.06.2021 (Oben rechts). Die dritte Wiederholung des Versuches VORAN II am Tag nach der Mulchhausbringung (Unten). Fotos: Steffen Hiestermann. 10
- Abbildung 2: Klimatische Bedingungen während der Exaktversuche 2019, 2020, 2021 und 2022.** Die Säulen stellen auf der rechten Seite die Niederschlagssummen der einzelnen Monate dar. Die Linien geben die mittleren Temperaturen der Monate auf der linken Seite wieder. 14
- Abbildung 3: Erträge sowie die nach Kartoffeln hinterlassenen N-Frachten vor Winter** in Abhängigkeit von der Mulchbehandlung in den Jahren 2020-2021 (**Experiment 1, oben**); 2021-2022 (**Experiment 2, mitte**) und 2022-2023 (**Experiment 3, unten**). Die Wetterbedingungen während der jeweiligen Anbausaison sind jeweils mit Wettersymbolen Sonne für trocken und Regen für feucht markiert. Dargestellt werden Markterträge sowie Übergrößen und Untergrößen gemeinsam bei Kartoffeln, Weizen- und Ackerbohnenkornenerträge sowie Frischmasse für Silomaiserträge in dt/ha. Die positive Standardabweichung ist an den Balken angezeigt. 16
- Abbildung 4: Maiserträge in Exp. 3 im Jahr 2023** in Abhängigkeit von der Düngung (äquivalent 100 kg N/ha als Haarmehlpellet oder Silage versus 0-Kontrolle, Untersaat, Mulchart sowie entweder der Vorfrucht Wicktriticale oder Beikrautbrache. 18
- Abbildung 5: Kumulative Blattstickstoffgehalte** über die Zeit, dargestellt als Fläche unter der Kurve (FuNK) (Kranz 1996) mit Standardabweichung in 2020 und 2021. **Links** abhängig von der Mulchart verglichen mit der Kontrolle ohne Mulch gedüngt mit 100 kg N/ha. **Rechts:** abhängig von der Zwischenfrucht verglichen zur Beikrautbrache als Kontrolle. *: Signifikante Unterschiede zur Kontrolle ($p < 0,05$) (paarweise Vergleiche). Die FuNK ist einheitenlos. 25
- Abbildung 6: Kumulative Blattstickstoffgehalte** über die Zeit, dargestellt als Fläche unter der Kurve (FuNK) (Kranz 1996) mit Standardabweichung, abhängig von den Varianten 2022. Signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen ($p < 0,05$) sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben gekennzeichnet. 25
- Abbildung 7: Konzentration von Makro- und Mikronährstoffen (ppm) in Kartoffellaub** gesammelt als Mischprobe in Parzellen ohne Mulchanwendung (M-), mit Klee gras-Mulch (KG) und mit Wicktriticale-Mulch (WT). Erhoben jeweils im Juli. 26
- Abbildung 8: Stickstoffmineralisierung unter Kartoffel (A) und Mais (B).** Besonders in den trockenen Jahren ab 2020 hinterlassen die zwei Kulturen zu hohe, auswaschungsgefährdete N_{min}-Mengen im Boden. Bei Kartoffeln sind die hohen Werte auf die Mulchzufuhr zurückzuführen, nicht jedoch bei Mais. Es ist keine klare Tendenz bezüglich der Intensität der Bodenbearbeitung zu erkennen. 28

Abbildung 9: Gravimetrischer Bodenwassergehalt unter Kartoffel und Körnermais für die Jahre 2019-2023 gruppiert nach Bodenbearbeitung (pfluglos vs. Pflug) und Mulchanwendung (mit und ohne Mulch).	29
Abbildung 10: Wasserverdunstungskurven unter den Mulchauflagen Klee, Stroh und ohne Auflage in unbewachsenen Gefäßen.....	30
Abbildung 11: Wassernutzungseffizienz (WUE) von Maispflanzen in Abhängigkeit von Bodenart und -bedeckung. ut4 - Tonschluff, Ls - Lehm, S - Sand	30
Abbildung 12: Veränderung des Gefügeindex während des Anbaus der Vornfrüchte. Das Gefüge hat sich entsprechend der Zwischenfrucht nach nur fünf Wochen stark ausdifferenziert.....	31
Abbildung 13: Dynamiken der Gefügeindices (0-30 cm) A in den drei VORAN Experimenten in Neu-Eichenberg, abhängig von den Vornfrüchten. B Mulcheffekte in Experiment 1 und 2.	32
Abbildung 14: Links: Wassererosion nach Starkregen: Die gesteigerte Aggregatstabilität durch die organische Düngung mit Mulch zeigt sich auch am Ende der Saison, wie hier am Beispiel eines Starkregenereignisse im August 2015. Trotz geringer Bodenbedeckung mit Mulch ist der Bodenabtrag durch Wassererosion (Bildmitte) stark verringert. Rechts: Oberflächenbonitur während der Vollvegetation und vor der Ernte in den Experiment 1-3 in den Mulchvarianten.....	33
Abbildung 15: Infiltration (A) und Sedimentkonzentration (B) im Jahr 2019 bei Kartoffeln.....	34
Abbildung 16: Infiltration (A) und Sedimentkonzentration (B) im Jahr 2020 bei Ackerbohnen.	35
Abbildung 17: Ergebnisse der Infiltration (A) und der Sedimentkonzentration (B) im Jahr 2021 auf dem Maisschlag.....	35
Abbildung 18: A Mikrobielle Biomasse in $\mu\text{g C/g}$ Boden in 0-15 cm Tiefe 2021 in VORAN II und 2022 in VORAN III sowie 2022 im Langzeitversuch AKHWA in Neu-Eichenberg.	37
Abbildung 19: Mykorrhizierung in % in Abhängigkeit der Varianten und Probenahmezeitpunkte in den VORAN-Exaktversuchen in Neu-Eichenberg. Dargestellt sind rücktransformierte estimated marginal means und Standardfehler nach einem gemischten Modell mit binomial Verteilung. Signifikant unterschiedliche Werte innerhalb eines Probenahmetermins sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.	39
Abbildung 20: Fraßaktivität der Bodenfauna gemessen 2021 mit Bait-lamina Tests (0-7,5 cm Tiefe) (A, B) und 2022 mit Baitplates (0-15 cm) (C). Mittelwerte und Standardabweichungen. HMP = Haarmehlpellets, US = Untersaat.....	40
Abbildung 21: Zuwächse von Wurzelbeikrauttrieben in Abhängigkeit der Versuchsfaktoren Zwischenfrucht und Transfermulch. In den Balken werden die Mittelwerte angegeben, die grauen Linien illustrieren die Standardabweichung in positiver Richtung. In der Abbildung sind die mittleren Zuwächse während des Wachstums der Kartoffeln in den Jahren 2020 und 2021 dargestellt.....	42

Abbildung 22: Beikrautdeckungsgrad (%) in Experiment 2 und 3, sowie dem Zusatzversuch Experiment 2+ 2021. Dargestellt sind mittlere Werte für die Kontrolle (ohne Mulch), die Variante mit Silage-Mulch (silage), sowie mit Wicktriticale-Mulch (wictrit).	43
Abbildung 23: Reduziertes Beikrautauflkommen durch Mulch vor der Ernte trotz einer geringen Aufwandmenge von 5 Kg Frischmasse je m ² und der Einsparung von zwei Dampfpflegemaßnahmen.	43
Abbildung 24: Unterschiedliches Auflaufverhalten der Nachfrüchte in Neu-Eichenberg, in Abhängigkeit der Mulchbehandlung am 04.11.2020. In allen 4 Wiederholungen (Block 1-4) lief die Zwischenfruchtmischung Buchweizen-Hafer-Senf in den Varianten mit Mulchanwendung (WT = Wicktriticale-mulch, KG = Kleegrasmulch) schnell und sicher auf. In den Kontrollvarianten (OM = Ohne Mulch) ging die Saat verzögert und sehr lückig auf. Dieser Effekt wurde auch in einem On-Farm-Experiment 03.04.2021 beobachtet.....	44
Abbildung 25: Beikrautdeckungsgrade in den drei Hauptkulturen am LFULG 2019, 2021, 2022 (Coronabedingt keine Bonituren 2020).....	45
Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung der Individuen von L. decemlineata (Kartoffelkäfer) pro Parzelle ohne Mulchanwendung (M-) und mit Wicktriticale-Mulch (M+) 12 Stunden nach Freisetzung. Bonitur am 15.06.22.....	47

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Behandlungen des Exaktversuches Experiment 3. Die Versuchsjahre geben an, in welchen Jahren welche Behandlungen im Projekt VORAN untersucht wurden.	6
Tabelle 2: Teilnehmende Betriebe und pedoklimatische Bedingungen (durchschnittliche Jahresniederschläge und Temperatur) (Betrieb 2 schied wegen Corona frühzeitig aus).	11
Tabelle 3: Monatliche mittlere Temperatur und Niederschlagssumme (jeweils September-August) in Neu-Eichenberg, Nordhessen, 2019 bis 2023. Ab Aussaat der Zwischenfrucht in Experiment 1 im September 2019 bis Ernte der Nachfrucht Experiment 3 im August 2023 sind die monatlichen Temperaturen und Niederschläge dargestellt. Die Abweichungen vom langjährigen Mittel (1990-2020) sind laut Farbskala unterhalb der Tabelle eingefärbt, wobei je heißer und trockener mit rot gefärbt sowie je kühler und nasser mit blau eingefärbt wurde.....	13
Tabelle 4: Frischmasseaufwüchse (FM, dt/ha), N-Gehalte (kg/ha), und die jeweiligen C/N Verhältnisse der Zwischenfrüchte	15
Tabelle 5: Mittlerer Ertrag (dt/ha) von Kartoffel, Körnermais, Ackerbohne und Winterweizen mit Standardabweichung (\pm) und entsprechend eingesetzten Mulchmengen (TM und N-Gehalt).....	19
Tabelle 6: C:N-Verhältnis, N-Gehalt [% i.d TM] und ausgebrachte Menge [dt TM/ha] der verschiedenen Dünger in den Versuchsjahren 2020 -2022. Aus den Parametern ausgebrachte Menge, N-Gehalt der Dünger und der prozentualen Anrechenbarkeit wurde die N-Fracht der verschiedenen Dünger ermittelt. Es wurden jeweils 50 t FM/ha Mulch mit einem durchschnittlichen TM-Gehalt von 25% ausgebracht. Anrechenbarkeit laut Düngeverordnung ist hergeleitet aus dem Merkblatt des DLR Rheinland-Pfalz, das im Jahr der Ausbringung 30% des Stickstoffs als anrechenbar annimmt. Der Wert für Stroh wurde aus einem LFL Merkblatt Tabelle 5a: Nährstoffgehalte organischer Dünger zum Zeitpunkt der Ausbringung, nach Berücksichtigung der anrechenbaren Stall- und Lagerverluste entnommen.....	21
Tabelle 7: Anzahl Kartoffelkäfer: Adulte, Larven und Eier (Summe = Nachkommen) ha^{-1} <i>Leptinotarsa decemlineata</i> abhängig von der Mulchapplikation am 29. Juni 2020 (Experiment 1), 15. Juli 2021 (Experiment 2) und 07.07.22 (Experiment 3) zur Kartoffelblüte.	47
Tabelle 8: Außendarstellung und Veröffentlichungen des Projektes VORAN. Aufgeführt werden nach Art der Veröffentlichung und in zeitlicher Abfolge die Erwähnungen und Auswertungen des Projektes.	62

Verzeichnis der Anhangstabellen

Tabelle A 1: Zeitliche Abfolge der Anbaumaßnahmen und Erhebungen in Experiment 1, 2 und 3. Darstellung Arbeitspakete (AP) in der Zwischen-, Haupt- und Folgefrucht.	70
Tabelle A 2: Darstellung der in der Untersaatmischung enthaltenen Komponenten mit ihrem relativen Anteil in % an der Mischung und dem Anteil in kg von der Saatstärke 48 kg/ha sowie die bei der Auswahl berücksichtigte Funktion der Untersaatkomponenten.....	72
Tabelle A 3: Zeitliche Abfolge der Anbaumaßnahmen und Erhebungen in Experiment 1, 2 und 3 in Nossen.	73
Tabelle A 4: Übersicht über Probenahmeterminale für die mikrobiologischen Untersuchungen in NEB.	74
Tabelle A 5: Übersicht über die Probenahmezeitpunkte für die Regenwurmpopulation in NEB.	74
Tabelle A 6: Behandlungen der mikrobiologischen Parameter des AKHWA Versuchs in Neu-Eichenberg.	75

Verzeichnis der Anhangsabbildungen

Abbildung A 1: A: Fotos der Baitplates und Bait-lamina Tests. B: Foto des Baitplate nach dem Herausholen.	65
Abbildung A 2: Die Temperatur- und Niederschlagsabweichungen in den Versuchsjahren 2019-2022 am Standort Nossen. Die Säulen stellen auf der rechten Seite die abweichenden Niederschlagssummen der einzelnen Monate dar. Die Linien geben die mittleren Temperaturabweichungen der Monate auf der linken Seite wieder.	66
Abbildung A 3: Einfluss der Vorfrüchte auf die Markterträge der Kartoffeln in Neu-Eichenberg in 2020 und 2021.	66
Abbildung A 4: Rohproteingehalte in Winterweizen am Standort Nossen gruppiert nach Bodenbearbeitung (Pflug vs. Pfluglos) und Mulchanwendung (mit und ohne Mulch).	66
Abbildung A 5: Humusgehalte unter Kartoffeln am Standort Nossen mit und ohne Mulchanwendung.	67
Abbildung A 6: Ergosterolgehalt in $\mu\text{g/g}$ Boden in Oberkrume (0-15 cm) und Unterkrume (15-30 cm) in Experiment 1 und 2 in Neu-Eichenberg. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen der Behandlungen 1 - 4. Unterschiedliche Buchstaben zeigen statistische Unterschiede an nach paarweisen Vergleichen mit Tukey Korrektur. T2 = Herbst-Vorfrucht, T3 = Frühjahr-Vorfrucht. T5 = Kartoffelblüte, T8 = Frühjahr-Nachfrucht.....	67
Abbildung A 7: Temperaturdifferenzen im Tagesmittel der Mulch Varianten zur Kontrolle ohne Mulch über die Kartoffelsaison in den Experimenten 1 (A), 2 (B) und 3 (C) in Neu-Eichenberg. VT = Wicktriticale-Mulch, GC = Klee gras-Mulch, M+U = Wicktriticale-Mulch mit Untersaat, SiF = Silagedüngung	68
Abbildung A 8: Befall mit <i>Phytophthora infestans</i> (%) in Kartoffeln in Experiment 2 und 2+.	69

Glossar und Abkürzungsverzeichnis

Vorfrucht: Zwischenfrucht vor den Kartoffeln in Neu-Eichenberg

Nachfrucht: Zwischenfrucht nach den Kartoffeln

Folgefrucht: Hauptkultur nach den Kartoffeln

Nach-Nachfrucht: Hauptkultur nach der Folgefrucht

WT =Wickritricale

KG=Kleegras

Si=Silage

S=Stroh

Abfrierend= Abfrierendes Zwischenfruchtgemenge

Beikrautbrache (Spontanbegrünung)

Silage-Mulch

Silagedüngung

On-farm Betriebe = Praxisbetriebe

Vitalisierung: Ausbringung von Komposttee als Blattapplikation und Fermente (Effektive Mikroorganismen) zur Flächenrotte und bei der Tiefenlockerung

TM = Trockenmasse

FM = Frischmasse

Kurzfassung

Zwischen 2019 und 2023 wurden an der Universität Kassel drei zwei-jährige Fruchtfolgen sowie drei On-Farm Versuche zu Mulchkartoffelanbau- Am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LFULG) wurden Mulchversuche bei Kartoffeln, Mais und Ackerbohnen durchgeführt.

Mulch kann N-Düngung durch externe Zukaufsdünger für alle getesteten Früchte ersetzen. Messungen während >100 L / 2h Regen zeigten, dass Mulch sowohl im gepflügten als auch im pfluglosen System massiv die Infiltrationsleistung erhöht während der Bodenabtrag nahezu Null ist. Mulch reduziert die Evaporation, erhöht die Wasserverfügbarkeit für das Pflanzenwachstum und senkt bei extremer Hitze die Temperaturen im Kartoffeldamm um bis zu 3 °C. Extreme Sommertrockenheit verhindert die N-Mineralisation und Aufnahme in jedem Anbausystem. Dem muss durch flexible Anbauplanung begegnet werden, um die übrigen N-Frachten zu binden. Silage als Dünger oder Mulch wirkt sich sehr positiv auf das Bodenleben aus. Während sich Zwischenfrüchte mit Wicke vor Kartoffeln auch bis zwei Jahre nach der Kartoffel auf positiv auf die Bodenqualität auswirkten, waren die Wirkungen von Mulch insgesamt von kurzer Dauer und wurden durch die Kartoffelernte weitgehend beendet. Die berichteten positiven Effekte auf die Kartoffelgesundheit, vor allem auf Kartoffelkäfer wurden bestätigt. Mark-Release Versuche zeigten, dass Käfer ungemulchte Kartoffeln vorziehen, wenn sie die Wahl haben. Als Hemmnisse in der Praxis bei der Einführung des Mulchverfahrens wurden vor allem Mäuse, ein höherer Beikrautdruck sowie fehlende Mulchapplikationstechnik und fehlende Materialverfügbarkeit (vor allem bei Trockenheit) genannt. Gleichzeitig wurde das System aber als deutlich klimaresilienter eingestuft. Die ökonomische Analyse und Optimierung der Ansätze zeigte, dass ein Wechsel zum regenerativen Anbausystem nur dann mit einer ökonomischen Verbesserung einhergehen kann, wenn das System insgesamt sehr gut geführt wird.

Abstract

Between 2019 and 2023, three two-year crop rotations and three on-farm trials on mulch potato cultivation were carried out at the University of Kassel. The Saxon State Office for Environment, Agriculture and Geology (LFULG) conducted mulch trials on potatoes, maize and field beans.

Mulch can replace N fertilization by external purchased fertilizer for all tested crops. Measurements during >100 L / 2h rain showed that mulch massively increases infiltration performance in both plowed and minimally tilled systems while soil erosion is almost zero. Mulch reduces evaporation, increases water availability for plant growth and lowers temperatures in the potato ridge by up to 3 °C during extreme heat. Extreme summer drought prevents N mineralization and uptake in any cropping system. This must be countered by flexible cultivation planning in order to bind the remaining N loads. Silage as fertilizer or mulch has a very positive effect on soil life. Catch crops with vetch before potatoes had a positive effect on soil quality up to two years after potatoes. In contrast, the effects of mulch on soil quality were short-lived and largely terminated by the potato harvest. The reported positive effects on potato health, especially on Colorado potato beetles, were confirmed. Mark-release trials showed that beetles prefer unmulched potatoes when given the choice. The main obstacles to the introduction of mulching in practice were mice, higher weed pressure, lack of mulch application technology and lack of material availability (especially during drought). At the same time, however, the system was rated as significantly more climate-resilient. The economic analysis and optimization of the approaches showed that a switch to a regenerative cultivation system can only be accompanied by an economic improvement if the system as a whole is very well managed.

1. Einleitung

1.1 Gegenstand des Vorhabens

Der Ökologische Landbau fußt auf den Grundprinzipien der Fairness, Gesundheit von Boden, Pflanze und Menschen, der Nutzung von Kreisläufen im lebendigen Ökosystem und der Verantwortung gegenüber zukünftigen Generationen (IFOAM, 2005). Insgesamt geht der Trend im Ökolandbau zur Spezialisierung, Intensivierung, und Ökonomisierung (Altieri et al., 2017; Rahmann et al., 2011). Dies wirkt den genannten Ansprüchen entgegen: Die Zahl viehloser Betriebe nimmt zu (Schmidt, 2003). Diese haben Mühe, die Nährstoffversorgung, Pflanzengesundheit und Bodenfruchtbarkeit sicherzustellen. Die intensive Bodenbearbeitung und verengte Fruchtfolgen erschweren es, Kohlenstoff im Boden zu binden und zu halten (Leifeld & Fuhrer, 2010). Das gleiche gilt für Nährstoffe: Missmanagement führt zu Ineffizienz und Eutrophierungsgefahr (Clark & Tilman, 2017). Parallel zur ökonomischen Intensivierung ist eine ökologische Intensivierung notwendig, wenn der Ökolandbau seinen eigenen Ansprüchen und denen seiner Kunden gerecht bleiben will.

VORAN sollte ein weiteres bodenregenerierendes Element in der Fruchtfolge konzipieren. Durch Zwischenfrüchte, reduzierte Bodenbearbeitung und Transfermulch kann dies während des Marktfruchtanbaus geschehen. Die ökologische Intensivierung soll Erosion, Schadorganismen und Trockenstress vermindern

1.2 Ziele und Aufgabenstellung des Projekts, Bezug des Vorhabens zu den einschlägigen Zielen des BÖLN oder zu konkreten Bekanntmachungen und Ausschreibungen

Das Projekt **VORAN** hat das Ziel, durch Zwischenfrüchte, reduzierte Bodenbearbeitung und Transfermulch eine Bodenregeneration während des Marktfruchtanbaus im ökologischen Anbau zu ermöglichen sowie einen Beitrag zur Erosionsminderung und zur Reduktion von Schadorganismen und Trockenstress zu leisten. Ein wichtiges Ziel ist es, die Konformität der getesteten Verfahren mit der Düngeverordnung zu überprüfen und diese gegebenenfalls anzupassen.

Folgende Fragen wurden bearbeitet: **(I)** Können negative Einflüsse durch die reduzierte Bodenbearbeitung, durch Mulchapplikation und Zwischenfrüchte sicher kompensiert werden? **(II)** Wie wird der Mulch abgebaut und welche Nährstoffe werden in Pflanzen einschließlich Nachfrucht und Boden aufgenommen bzw. gehen Nährstoffe verloren? **(III)** Ist milchsauer siliertes Mulchmaterial mit frischem Schnittgut vergleichbar und überbrückt so Mulchmaterialengpässe? **(IV)** Kann durch Mulchapplikation ein regenerativer Effekt im Boden in Bezug auf Humusaufbau, Bodenleben, und Struktur erzielt werden? **(V)** Können Effekte auf Schaderreger und Beikräuter durch das Mikroklima, die Nährstoffversorgung oder Nützlinge erklärt werden? **(VI)** Wie lässt sich das System in der Praxis umsetzen und welche Probleme treten auf?

An der Universität Kassel (FÖP) wurde das Anbausystem Kartoffel fokussiert. Am LFULG wurden Versuche mit Kartoffeln, Mais und Ackerbohne durchgeführt mit speziellem Fokus auf die Erosionsproblematik.

Das Projekt **VORAN** trägt zu den Zielen des Bundesprogramms durch das Intensivieren betrieblicher Kreisläufe, die Verbesserung der Nährstoffversorgung, eine Steigerung der Resilienz sowie die Regeneration der Bodenfruchtbarkeit während des Anbaus bei. Langfristig werden die Erkenntnisse zu einem Verzicht auf den Pflug im Ökolandbau beitragen und insbesondere viehlosen Betrieben eine effizientere Nutzung ihrer Gründünger ermöglichen.

1.3 Planung und Ablauf des Projekts

An der **Universität Kassel** (FÖP) wurden im Herbst 2019 und 2020 zwei identische Versuche angelegt, welche die folgende Fruchtfolge begleiteten: Zwischenfrucht vor Kartoffel, Kartoffel (im Jahr 2020 und 2021), sowie die nachfolgende Frucht. Abfrierende Zwischenfrüchte, Wicktriticale, Winterwicke wurden einer Beikrautbrache als Kontrolle gegenübergestellt. Die Kartoffeln wurden mit Kleegras oder Wicktriticale gemulcht und mit einer Kontrolle ohne Mulch, aber mit einer Haarmehlpelletedüngung (100 kg N/ha) verglichen. Im Jahr 2021 wurden nach der Zwischenfrucht Wicktriticale weitere Mulcharten sowie die Kombination mit Dünger und Untersaat einbezogen. Ebenfalls wurde ein dritter Versuchsdurchgang angelegt, der eine dynamische Anpassung aus den Erfahrungen der vorhergehenden Versuchsjahre darstellte. Parallel wurden seit 2020 On-Farm Versuche im vereinfachten Streifenanbau durchgeführt. Neben der agronomischen Evaluation stand on-farm zusätzlich eine betriebswirtschaftliche Evaluation im Fokus.

An der **Sächsischen Landesanstalt** (LFULG) wurde ein 2015 begonnener Langzeitversuch zur Bodenbearbeitung im Ökolandbau am Standort Nossen 2018 um das Fruchtfolgeglied Kartoffeln und 2019 um den Faktor Mulchtransfer erweitert. Es wurden die Fruchtfolgeglieder Mais, Kartoffeln und Ackerbohnen mit den Faktoren Bodenbearbeitung (pflügend; pfluglos), Mulchanwendung (Ohne; Klee zu Mais; Klee zu Kartoffeln; Stroh zu Ackerbohnen) untersucht. Dazuhin wurden jährlich nach Aufbringen des Mulchmaterials Abtragsmessungen mit künstlicher Beregnung, vergleichbar einem Starkregenereignis (>100 L / 2h), durchgeführt sowie TDR-Sonden zur kontinuierlichen Messung des Bodenwassergehaltes in den Tiefenstufen 30 und 60 cm installiert. Neben den Feldversuchen in Nossen wurden am Standort Köllitsch 2020 und 2021 Detailuntersuchungen zu den N-Frachten abhängig vom Mulchmaterial und deren Dynamik untersucht.

2. Wissenschaftlich technischer Stand

Sowohl bei konventionell als auch bei ökologisch erzeugten Kartoffeln verursacht das starke Belüften des Bodens durch Pflug und Häufeln einen starken Abbau von Humus. Damit fehlt die Kittsubstanz für feine Partikel, weshalb diese leichter von Wasser oder Wind erodiert werden können (Auerswald et al., 2006). Dazu kommt, dass Kartoffelfelder nach dem Legen mehrere Wochen eine sehr geringe Bodendeckung aufweisen. Ähnlich birgt der Maisanbau durch häufige Bodenbewegung und durch eine lange Zeit mit blankem Boden im Frühjahr ein erhebliches Erosionspotential (Lal, 2001).

Neben der Erosionsproblematik ist die Pflanzenernährung der Kartoffeln als auch des Mais vor allem für die viehlose Ökologische Landwirtschaft eine große Herausforderung, da Zukaufsdünger kostenintensiv sind. Aus diesem Grund stellt die Nutzung von im Betrieb produzierter Grünmasse als Transfermulch eine hoch attraktive Alternative zu Zukaufsdüngern dar. Transfermulch kann außerdem massiv zum Erosionsschutz beitragen (Jäckel, 2021; Junge et al., 2020). Dazuhin konnte gezeigt werden, dass der Transfermulch bei Kartoffeln sowohl die Kraut- und Knollenfäule (*Phytophthora infestans*) (Finckh et al., 2018; Nazareno et al., 2020) als auch den Befall mit Kartoffelkäfern (*Leptinotarsa decemlineata*) (Junge et al., 2022) stark reduziert.

Während pfluglose Bodenbearbeitung zur Erosionkontrolle und Bodenverbesserung beitragen kann, ist diese in der ökologischen Landwirtschaft mit mehreren Problemen behaftet. In der konventionellen Landwirtschaft können Nährstoffe durch synthetische Dünger bereitgestellt werden während Beikräuter derzeit überwiegend durch glyphosathaltige Herbizide reguliert werden. Der Verzicht auf synthetische Herbizide und Dünger erschwert die Umstellung auf pfluglose Bewirtschaftung im ökologischen Landbau. Der Schlüssel für eine erfolgreiche Adaptation des Pfluglossystems ohne Herbizideinsatz ist das Zusammenspiel von Fruchtfolge, Bodenbearbeitung und Verwertung pflanzlicher Überreste (Pittelkow et al., 2015).

Ein Ansatz zur Adaption des pfluglosen Anbaus für den Ökolandbau basiert auf der Anwendung von Transfermulch (Junge et al., 2020; Näser, 2020). Transfermulch besteht aus pflanzlichen Residuen wie Stroh, Schnittgut aus Gründüngern oder Klee gras, welche maschinell ausgebracht werden und von einer Geber- zu einer Nehmerfläche transferiert werden. Besonders für viehlose Betriebe stellt dies eine Möglichkeit dar, die Stickstofffixierleistung des Klee gras oder anderer Zwischenfrüchte durch die Schnittnutzung zu verbessern (Jacob et al., 2022). während die im Transfermulch enthaltenen Nährstoffe gezielt von Empfänger kulturen genutzt werden. Dies intensiviert die innerbetrieblichen Nährstoffkreisläufe und reduziert die Abhängigkeit von Zukaufsdüngern. Transfermulch verbessert die Ökosystemdienstleistungen des Bodens, fördert das Bodenleben (Bhagat et al., 2016) und trägt so zur Bodenfruchtbarkeit bei. Fruchtbare Böden helfen Pflanzenkrankheiten zu unterdrücken, machen

Pflanzen robuster gegenüber abiotischem Stress und steigern so die Resilienz des Anbausystems (Chaparro et al., 2012).

Untersuchungen zur Mulchanwendung bei Kartoffeln werden am FÖP an der Uni Kassel seit 2014 in reduziert bearbeiteten und pflügenden Bodenbearbeitungssystemen durchgeführt. Grundsätzlich werden Kartoffeln nach winterharten Zwischenfrüchten angebaut, die vor der Pflanzung oberflächlich eingearbeitet werden. Vor dem Auflaufen wird mit Pflanzenmaterial von Zwischenfrüchten gemulcht. Die Erträge bei reduzierter Bearbeitung mit Mulch waren denen im gepflügten System vergleichbar, wenn Zwischenfrüchte vor den Kartoffeln eingesetzt wurden (Finckh et al., 2018). Neben den oben erwähnten positiven Effekten auf die Krautfäule und Kartoffelkäfer, sind auch Reduktionen bei anderen Blattkrankheiten sowie bei Blattläusen und damit dem Virusbefall die Regel. Auch konnte die Beikrautsamenbank durch den Einsatz von Zwischenfrüchten, Mulch zu Kartoffeln und regelmäßiger Kompostgaben auf demselben Niveau gehalten werden wie in der gepflügten Kontrolle (Schmidt et al., 2019). Auch am Standort Nossen in Sachsen zeigten sich deutliche Effekte in der N-Freisetzung sowie in der Beikrautunterdrückung bei Luzerne und Stroh als Mulchmaterial zu Kartoffeln (Jäckel et al., 2017). Reduktionen von Wurzelunkräutern durch Mulch waren mitunter zu beobachten (Henzel et al., 2021).

Trotz der positiven Effekte der Mulchanwendung gibt es wichtige offene Fragen: Die in den oben erwähnten Versuchen und auch häufig von Praktikern eingesetzten Mulchmengen stellen erhebliche Nährstoffinputs dar (Junge et al., 2020; Schmidt et al., 2017), deren Mineralisationsdynamiken in Bezug auf die Kartoffel bzw. den Mais, die Nachfrüchte und den Humusaufbau geklärt werden müssen. Können die N-Frachten nicht durch die Kartoffel oder den Mais und die Folgekulturen gebunden werden, müssen sie reduziert werden, um Auswaschungsverluste bzw. mögliche Lachgas- und Methanemissionen zu vermeiden. Im Rahmen der Düngemittelverordnung ist eine Untersuchung der Nährstoffflüsse zwingend notwendig, um das System konform zu gestalten bevor es breitflächig in die Praxis getragen werden kann. Außerdem fehlt bisher eine grundlegende ökonomische Betrachtung des Mulchsystems. In einem Netzwerktreffen von Mulchanwendern vor Projektbeginn äußerten 10 Teilnehmer Entwicklungsbedarf bei betriebswirtschaftlichen Aspekten des Mulchsystems. Die Berücksichtigung von Opportunitätskosten beim Mulchanbau ist entscheidend für eine realistische ökonomische Bewertung, was in bestimmten betriebswirtschaftlichen Ansätzen bisher vernachlässigt wurde (Albus et al., 2023).

3. Material und Methoden

3.1 Versuchsstandort und Feldexperiment FÖP, Neu-Eichenberg

Am Versuchsstandort der Universität Kassel in Neu-Eichenberg (51°22'_N, 9°54'_E, 223 Meter ü. NN) betrug die Durchschnittstemperatur 1990-2021 9,3°C, der mittlere Niederschlag 661 mm. Die Flächen werden seit 1988 ökologisch bewirtschaftet und befinden sich auf fruchtbarer, leicht vergleyter Lössparabraunerde mit durchschnittlich 75 Bodenpunkten. Das Experiment wurde in einer seit 2015 auf Minimalbodenbearbeitung umgestellten Fläche durchgeführt. Alle Arbeitsschritte sind in **Tabelle A 1** im Detail aufgeführt.

3.1.1 Versuchsdurchführung

Um dem systemischen Charakter des Transfermulchsystems Rechnung zu tragen, wurde in den Versuchen jeweils die Vorfrucht, die Hauptkultur und die Folgefrucht und wo möglich die Nach-Nachfrucht untersucht. In allen Experimenten wurden nach der Vorkultur Winterweizen die Zwischenfrüchte angelegt, gefolgt von Kartoffeln und einer Nachfrucht.

Experiment 1 (2019-2021) **und 2** (2020-2022) wurden als Split Plot mit vier Wiederholungen angelegt. Hauptparzellen waren drei 4,5 m breite Streifen, in denen nach dem Legen und ersten Häufeln der Kartoffeln 50 t/ha Mulch-Frischmasse, entweder Klee gras oder Wicktriticale, ausgebracht wurden. Als Kontrolle wurde ein Streifen ungemulcht belassen. Dieser wurde gehackt, gestriegelt, gehäufelt und mit 100 kg N/ha über Haarmehlpellets gedüngt. Subplots waren 12 m lange Parzellen mit den Vorfrüchten Wicke; Wicktriticale; Rauhafer-Ölrettich (abfrierende Zwischenfrucht) und Beikrautbrache als Kontrolle.

In **Experiment 2+** (2020-2022) wurden in einer zusätzlich zur Verfügung stehenden Fläche nach der Zwischenfrucht Wicktriticale dreifach wiederholt in 3 m x 13 m Parzellen vier Varianten angelegt: (i) Klee grassilage (50 t FM/ha) als Mulch, (ii) Klee grassilage (50 t FM/ha) als Düngung im Damm, (iii) 100 kg N mittels Haarmehlpellets + Wicktriticale-Mulch (50 t FM/ha), (iv) Wicktriticale als Mulch mit einer vor der Mulchapplikation in Breitsaat gesäten Untersaat bestehend aus Ackerbohne, Erbse, Zottelwicke, Platterbse, Buchweizen, Phacelia, Ölrettich, Mais, Sonnenblume und Lein (**Tabelle A 2**). Die genauen Mulchmengen lassen sich aus **Tabelle 4** (S.15) entnehmen.

Experiment 3 (2021-2023) übernahm Varianten aus den ersten Experimenten und erweiterte diese durch neue Varianten (**Tabelle 1**). Als Vorfrüchte dienten lediglich Beikrautbrache und Wicktriticale. Mulch wurde in der gleichen Menge (50 t FM/ha) aufgebracht, allerdings zusätzlich auch Stroh- und Silage-Mulch. Zusätzlich wurden neue Varianten mit Haarmehlpelletedüngung, mit Silage im Damm und mit Untersaaten in Kombination mit den bereits genannten Maßnahmen angelegt (**Tabelle 1**).

Nach den Kartoffeln folgte in Experiment 1 eine Zwischenfrucht aus Buchweizen, Hafer und Senf, gefolgt von Winterweizen im Jahr 2020/21. In Experiment 2 und 3 wurde jeweils als Nachfrucht im Folgejahr

Mais eingesetzt. Die N-konservierende Zwischenfrucht wurde jeweils angepasst an die im System verbliebenen Nährstoffe und bestand in Experiment 2 aus Triticale (30%), Winterraps (30%), Rauhafer (20%) und 30% pannonische Wicke als Anteile an der normalen Aussaatstärke. In Experiment 3 wurde 10 % pannonische Wicke, 70% Rübsen, 20% Triticale und 20% abfrierender Rauhafer verwendet.

Aus den Kombinationen des Mulchmaterials und der Vorfrüchte ergaben sich 18 verschiedene Varianten, die aber nicht in jedem Experiment jedes Jahr untersucht wurden (**Tabelle 1**).

Tabelle 1: Behandlungen des Exaktversuches Experiment 3. Die Versuchsjahre geben an, in welchen Jahren welche Behandlungen im Projekt VORAN untersucht wurden.

Variante	Vorfrucht	Mulch	Untersaat	Düngung im Damm	Versuchsjahre
I	Beikrautbrache	-		Haarmehlpellets	2020,2021,2022
II	Wicktriticale	-		Haarmehlpellets	2020,2021,2022
III	Beikrautbrache	Kleegras		-	2020,2021,2022
IV	Wicktriticale	Kleegras		-	2020,2021,2022
V	Wicktriticale	Wicktriticale		-	2020,2021,2022
VI	Wicktriticale	Wicktriticale	✓	-	2021,2022
VII	Wicktriticale	Silage		-	2021,2022
VIII	Wicktriticale	-		Silage	2021,2022
IX	Wicktriticale	-	✓	Silage	2022
X	Wicktriticale	Stroh		Silage	2022
XI	Abfrierend	-		Haarmehlpellets	2020,2021
XII	Abfrierend	Wicktriticale		-	2020,2021
XIII	Abfrierend	Kleegras		-	2020,2021
XIV	Beikrautbrache	Wicktriticale		-	2020,2021
XV	Wicke	Kleegras		-	2020,2021
XVI	Wicke	-		Haarmehlpellets	2020,2021
XVII	Wicke	Wicktriticale		-	2020,2021
XVIII	Wicktriticale	Wicktriticale		Haarmehlpellets	2021

3.1.2 Messungen

Bis zum Absterben der Kartoffeln wurde alle 30 Minuten Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit mittels Tinytag Plus 2 Loggern (Gemini Data Loggers UK Limited) im Kartoffelbestand 20 cm über der Bodenoberfläche der Dammkrone sowie 15 cm unter der Dammkrone auf Höhe der Pflanzkartoffel erhoben. In Experiment 1 wurden die Logger nur in Wicktriticale-Mulch und der Kontrolle aufgestellt. In Experiment 2 wurden beide Mulcharten, die Kontrolle und zusätzlich noch zwei Varianten von Experiment 2+ (VI, VIII) gemessen. In Experiment 3 wurden Kleegras-Mulch, Wicktriticale-Mulch und die Kontrolle untersucht.

Die **N-Gehalte im Boden** wurden während der Kartoffelsaison **zweimal** in den Tiefen 0-60 cm untersucht. Im Herbst und Frühjahr nach den Kartoffeln wurden Proben bis 90 cm Tiefe genommen (**Tabelle A 1**).

Die **Chlorophyllgehalte** in den Kartoffelblättern wurden regelmäßig mit dem Chlorophyll-Handmessgerät "Yara N-Tester" beprobt (**Tabelle A 1**). Mikro- und Makronährstoffe wurden 2020 zu einem, 2021 und 2022 zu zwei Terminen je Parzelle aus einer Mischprobe aus 30 Kartoffel-Blättchen durch Pflanzensaftanalysen von der Firma NovaCropControl (Niederlande) bestimmt.

Die **Bodengefügequalität** wurde mithilfe der die erweiterten Spatendiagnose nach Beste (2003) an vier verschiedenen Probenahmeterminen (**Tabelle A 1**) bestimmt. Im Feld erfolgte die Bewertung des Gefüges des ausgestochenen Bodenblocks in den Bereichen Oberkrume (OK) (0-15 cm), Unterkrume (UK) (15-30 cm) sowie der Bodenoberfläche anhand visueller Merkmale auf einer Skala von 0 bis 100 (Junge et al., 2019). Die Aggregatstabilität wurde separat für Oberkrume und Unterkrume bestimmt. Hierfür wurden 45 Bodenkrümel mit einem Durchmesser von 3-5 mm für eine Minute in destilliertem Wasser eingeweicht. Anschließend wurde durch dreimaliges Anschlagen des Behälters eine Erschütterung simuliert. Die Beurteilung der Aggregatstabilität erfolgte anhand einer Zerfallsbonitur, wobei der prozentuale Anteil stabiler Krümel nach 1 Minute Exposition im Wasser und Erschütterung für die Bewertung herangezogen wurde. Der Gefügeindex (GI) nach Junge et al. (2019) wurde unter Verwendung der Bonituren für das Bodengefüge (BG) und der Aggregatstabilität (AS) mithilfe der folgenden Formel berechnet:

$$GI = \frac{1}{2} \left[\frac{BG \cdot AS}{100} \right]_{[OK]} + \frac{1}{2} \left[\frac{BG \cdot AS}{100} \right]_{[UK]}$$

Zur Bestimmung der **bodenbiologischen Parameter** (für Probenahmedaten siehe **Tabelle A 4**) wurden zeitgleich mit der Gefügeindexbestimmung ca. 100 g Bodenproben der Tiefen 0-15 cm und 15-30 cm genommen, auf <2 mm gesiebt und bei 4°C gekühlt. Die mikrobielle Aktivität wurde anhand der Basalatumung (Schinner et al., 1993) und die mikrobielle Biomasse C- und N (Cmik und Nmik) mit der Chloroform-Fumigation-Extraktionsmethode gemessen (Brookes et al., 1985; Vance et al., 1987). Organisches C und N in den Extrakten wurden mit dem Multi N/C 20100 analyzer (Analytik Jena) gemessen. Cmik und Nmik wurden mithilfe der Korrekturfaktoren 0.45 für N (Wu et al. 1990) und 0.54 für C (Brookes et al., 1985; Joergensen & Mueller, 1996) berechnet. Ergosterol wurde mit Ethanol aus dem Boden extrahiert, anschließend verdampft, mit Methanol aufgenommen, filtriert und per HPLC bei 282 nm gemessen (Djajakirana et al. 1996). Zur Bestimmung der Mykorrhizierung wurden die Wurzeln von Kartoffeln (BBCH ca. 65) und Triticale, bzw. Weizen in der Nachfrucht (BBCH ca. 13-31) mit Tinte

gefärbt (Vierheilig et al., 1998) und die Infektionsrate nach der „gridline intersection method“ (Giovannetti & Mosse, 1980) bestimmt.

Die **Regenwurmpopulationen** in Neu-Eichenberg wurden jeweils im Herbst und Frühjahr vor und nach dem Kartoffelanbau bestimmt (**Tabelle A 5**). Hierfür wurde ein Spatenblock (20x20x30 cm³) pro Plot ausgehoben, die Regenwürmer per Hand entnommen und gezählt. Anschließend wurden sie im Labor gewogen und die adulten Tiere nach Art bestimmt (Krück, 2018) und in ökologische Gruppen nach Bouché (1977) eingeteilt. Am LFULG wurden in den Versuchsjahren 2020 (13.07.2020 Kartoffel) und 2021 (20.09.2021 Mais) die Regenwürmer aus drei verschiedenen Bodenschichten (1-3 cm, 4-20 cm, >20 cm) gewogen und gezählt, jedoch nicht auf ihre Art bestimmt. Bis zu 20 cm Tiefe wurden ein Bodenblock ausgehoben und die Regenwürmer per Handlese erhoben. Die Tiefgrabenden wurden mit Senflösung ausgetrieben.

Zur Erfassung der Aktivität der weiteren **Makro- und Mesofauna** im Boden wurden Bait-lamina Tests, bzw. Köderstreifen (Kratz, 1998; Römbke, 2014) erstmals vom 17.08. - 23.08.2021 in Experiment 2 und 2+ eingesetzt. In Experiment 3 wurden selbst hergestellte Baitplates, die die Fraßaktivität in tieferen Bodenschichten bis 15 cm erheben können (**Abbildung A 1**) vom 15.07. - 30.07.2022 eingesetzt. Die Köder-Mischung besteht aus Cellulose, gemahlene Dinkelflakes, Zucker, Farbe und Agar. Die Köder werden abhängig von den Witterungsverhältnissen zwischen 7 und 14 Tagen im Boden belassen. Anschließend wird die Fraßaktivität anhand des Verhältnisses leerer (ausgefressener), voller und halbvoller Löcher berechnet (Vorobeichik & Bergman, 2021).

Die **Pflanzengesundheit** wurde kontinuierlich nach Bedarf ermittelt. Kartoffelkäfer, sowie deren Larven inklusive Larvenstadien und Eigelege wurden visuell an 30 Pflanzen pro Parzelle wiederholt gezählt. Krautfäule (*Phytophthora infestans*) wurde nach EPPO Code PP1/002 je nach Befallsentwicklung zwei bis dreimal pro Woche nach dem ersten Auftreten bis zum Krautabsterben durchgeführt. Zur Untersuchung der Knollengesundheit wurden zufällig 100 Knollen abgezählt sorgfältig gewaschen und getrocknet. Der Besatz mit den Sklerotien von *Rhizoctonia solani* wurde nach dem Boniturschlüssel von James & McKenzie (1972) in die Befallsklassen (BK) (0%, 1%, 5%, 10%, 15% und >15%) eingeteilt. Die Befallsklassen wurden durch Gewichtung mit den Werten 1-5 und anschließendem Teilen durch 100 in einen Befallsindex umgewandelt, der maximal 5 erreichen kann. Ebenfalls wurden die Anzahl der Knollen mit Drahtwurmbefall, Mäusefraßschäden und mit grünen Stellen erhoben.

In den Vorfrüchten, kurz vor Reihenschluss der Kartoffeln, kurz vor der Ernte und in den Nachfrüchten wurden die **Beikrautdeckungsgrade** mithilfe zweier Schätzungen auf jeweils 0,1 m² pro Parzelle bestimmt sowie die auftretenden Pflanzenarten erfasst. Der Prozentsatz der Beikrautbedeckung der einzelnen Arten, die Deckung der Kultur, des Bodens und, wenn vorhanden, des Mulches wurden

geschätzt. Die Untersuchung der Wurzelbeikräuter wurde mithilfe eines 1 m² Rahmens, der blind quer über 2 Dämme gelegt wurde, durchgeführt. Die Eckpunkte des Boniturrahmens wurden mit Pins markiert, um für die nächste Bonitur die Untersuchungsfläche zu markieren und eine verbundene Stichprobe zu ermöglichen. Es wurden die Anzahl der Triebe (z.B. Distel) bzw. Individualpflanzen (z.B. Ampfer) aufgenommen. Die Untersuchungen wurden beim ersten Auflaufen der Beikräuter und erneut direkt vor der Kartoffelernte durchgeführt. Die Zuwächse wurden aus der Differenz der beiden Termine berechnet. In Experiment 3 kam keine relevante Anzahl von Wurzelbeikräutern vor.

Die **Biomasse** der Vorfrüchte wurde mit 1/4 m² Schnitten ermittelt. Hierbei wurde der Aufwuchs je Parzelle zweimal auf einer Fläche von 50 cm x 50 cm oberflächennah mit einer elektrischen Gartenschere abgeschnitten, gewogen und bei 40°C 48 Std getrocknet. Nach der Trockenmassebestimmung wurde mittels vario MAX CHN analyser (Elementar Anlagensysteme, DE-Langenselbold) der Schnitt auf Kohlenstoff- und Stickstoffgehalte untersucht.

Zur Ermittlung der **Kartoffelerträge** wurden zwei Dämme auf ca. 8 m Länge per Hand gerodet und die Kartoffeln nach Größe sortiert, gewogen und gezählt. Bei der Darstellung der Erträge werden in der Regel die Gesamterträge über 35 und unter 65 mm dargestellt und verglichen.

Die **Druschkulturen** wurden mit dem Parzellenmähdrescher geerntet und bei Ackerbohnen, Winterweizen und Wicktriticale auf 14% Wassergehalt standardisiert. Der Winterweizen als Folgefrucht von Experiment 1 wurde zusätzlich auf den Stickstoffgehalt im Korn untersucht; dieser Wert wurde zur Berechnung des Proteingehaltes nach Kjeldahl genutzt (Informationsblatt Weizen, 2023). Der Wickroggen als Nachfrucht von Experiment 2 wurde aufgrund von starkem Lager durch Quadratmeterschnitte beprobt, hier trat witterungsbedingt bereits Auswuchs bei beiden Gemengepartnern auf.

Der Silomais wurde pro Parzelle auf einer Fläche von 5 m² 22 cm über dem Boden abgeschnitten, gewogen und gehäckselt. Aus dem Häckselgut wurde eine Probe zur Trockensubstanz- (TS) Bestimmung entnommen. Der Ertrag wird im Folgenden mit 35% TM angegeben.

3.1.3 Statistik

Die statistische Analyse wurde unter Verwendung von RStudio (Posit team, 2023) mit R Version 4.3.1 (2023-06-16) (R Core Team, 2023), sowie Microsoft Excel (Version 2016) durchgeführt. Die Daten wurden, wo nicht anders beschrieben, mithilfe des Mittelwerts und der Standardabweichung als Fehlerbalken veranschaulicht und in den Abbildungen und Tabellen dargestellt. In den Experimenten 1 und 2 wurden gemischte Modelle mit LME4 (Bates et al., 2015) angepasst, wobei die zufälligen Faktoren die Mulchart, genestet im Wiederholungsblock, waren, während die festen Faktoren Vorfrucht und

Mulchart in Experiment 1 und 2, bzw. Variante in Experiment 3 waren. Varianzheterogenität wurde mithilfe von "varIdent" im gemischten Modell angepasst (Zuur et al., 2011). Der Posthoc-Test erfolgte mittels Estimated Marginal Means (Lenth, 2023). Die Mykorrhizierung wurde mit einem verallgemeinerten gemischten Modell mit Binomial-Verteilung ausgewertet (Crawley, 2013).



Abbildung 1: Häckseln des Wicktriticale-Mulches (Oben links). Mulchausbringung mit dem Miststreuer am 09/10.06.2021 (Oben rechts). Die dritte Wiederholung des Versuches VORAN II am Tag nach der Mulchausbringung (Unten). Fotos: Steffen Hiestermann.

3.2 On-Farm Versuche

Die **Praxisversuche** fanden auf drei teilnehmenden Betrieben mit unterschiedlichen Boden- und Klimaverhältnissen (**Tabelle 2**) statt. Auf den Flächen des betriebsüblichen Kartoffelanbaus wurden zwei Streifen nach Rohrmoser & Wermke (1984) mit jeweils 4 pseudoreplizierten Parzellen à 4,5 m x 13 m definiert. Ein Streifen wurde betriebsüblich angebaut (BÜKA). Im danebenliegenden Streifen wurde der Kartoffelanbau nach der regenerativen Kartoffelanbaumethode angelegt (REKA). Es wurden die

Kartoffelerträge sowie die Verfahren erfasst. Projekttreffen und Betriebsbesuche konnten 2020-2022 wegen COVID-19 nicht wie geplant stattfinden. Der Ausfall der Besuche bei den Praktikern wurde durch einen engen Telefonkontakt und die in den ersten Jahren fehlenden Feldtage teilweise durch die regelmäßige Teilnahme am Mulchnetzwerktreffen in 2020, 2021, 2022 und 2023 kompensiert. Im Jahr 2023 fand dann ein zusätzlicher Feldtag in Neu-Eichenberg statt. Mittels **leitfadengestützter Experteninterviews** wurden Erfahrungen, Verbesserungsvorschläge und die Praxistauglichkeit 2021 und 2022 (Oberst, 2023; Sommer, 2021) untersucht. Wie geplant wurde in 2021 die **ökonomische Analyse und Optimierung** des praktischen Anbauverfahrens im Rahmen einer Masterarbeit (Albus, 2022) abgeschlossen. Eine Veröffentlichung in einer begutachteten Zeitschrift wird derzeit erstellt.

Tabelle 2: Teilnehmende Betriebe und pedoklimatische Bedingungen (durchschnittliche Jahresniederschläge und Temperatur) (Betrieb 2 scheid wegen Corona frühzeitig aus).

Betrieb	Bodenart	Bodenpunkte	Niederschlag	Temperatur
1	Braunerde-Gleye, Tonanteil	hoher 71	836 mm	8,1 °C
3	Löss (Pabraunerde)	61	661 mm	8,8 °C
4	Sandiger Lehm aus Buntsandsteinverwitterungsböden	50	744 mm	8,6 °C

3.3 Versuchsdurchführung Nossen und Köllitsch Sachsen

Der **Feldversuch am Standort Nossen** in Sachsen in einem viehlosen Ökolandbausystem, mit der Fruchtfolge Rotklee – Mais – Winterweizen – Kartoffel – Ackerbohne – Dinkel, war in eine 4-fach wiederholte Streifenanlage eingegliedert. Der Versuchsstandort befindet sich auf einer pseudovergleyten Parabraunerde aus Löß der Bodenart mitteltoniger Schluff (Ut3) mit 62 Bodenpunkten. Die langjährige Durchschnittstemperatur beträgt 11,3 °C, der Jahresniederschlag 479,4 mm.

Die Fruchtfolgeglieder Mais, Kartoffel und Ackerbohne wurden unter Berücksichtigung der Faktoren Bodenbearbeitung (pflügend; pfluglos) und Mulchanwendung (ohne Mulch; Klee zu Mais; Klee zu Kartoffel; Stroh zu Ackerbohne) innerhalb einer sechsgliedrigen Fruchtfolge betrachtet. Für die Untersuchung wurde der Mulch von einer Geberfläche (Klee bzw. Winterweizen) auf eine Nehmerfläche transferiert. Das Flächenverhältnis zwischen Geber- und Nehmerfläche betrug jeweils 1:1. Der überjährig stehende Klee (als Fruchtfolgeglied vor Mais) wurde siliert und im darauffolgenden Versuchsjahr vor Auflaufen der Kartoffeln transferiert. Der Jungbestand des Klees (als Untersaat in der Vorfrucht Dinkel etabliert) konnte anschließend auf die bereits aufgelaufenen Maispflanzen transferiert werden. Der Transfermulch wurde auf Nährstoffgehalte im Labor untersucht, bei dem in-situ Mulch (Kleeschnitt, der auf der Fläche verbleibt) wurde angenommen, dass er die gleichen Werte aufweist, da

sich der Klee in Masse und Habitus nicht unterschied. Ab 2021 wurde auch Winterweizen vor dem Schossen im Frühjahr mit Transfermulch versehen, wobei es sich 2021 um frische Wicktriticale (Zwischenfrucht vor Kartoffel) und 2022 um Kleesilage (3. Schnitt des überjährigen Klees im Herbst des Vorjahres) handelte.

Um neben dem Einfluss verschiedener Mulchanwendungen und Bodenbearbeitungssysteme auf die Nährstoffversorgung von Pflanze und Boden auch deren Wirkung auf die Erosionsneigung des Bodens zu prüfen, wurde im Versuchsjahr 2019 in Kartoffeln, 2020 in Ackerbohnen sowie 2021 im Mais jeweils ein Beregnungsversuch mit **Abtragsmessungen** durchgeführt. Dabei wurde bei simulierten extremen Niederschlägen mit einer Intensität von $0,8 \text{ mm min}^{-1} \text{ m}^{-2}$ auf einer Fläche von 3 m^2 die Wasserinfiltration bzw. der Oberflächenabfluss und das abgetragene Bodenmaterial erfasst.

Neben den Feldversuchen wurden detaillierte **Gefäßversuche** in der Gefäßversuchsstation Nossen in 72 Mitscherlichgefäßen (Mais-Versuch) mit automatischer Gießanlage und Topflaufbandwerk angelegt. Es handelt sich um ein Cabriogewächshaus, wodurch ähnliche klimatische Verhältnisse wie im Freiland herrschen, die von Jahr zu Jahr variieren. Hier wurde der Einfluss der Faktoren Boden (Lehmiger Sand IS, Sand S, toniger Schluff Ut4), Mulchauflage (Ohne Mulch; Stroh; Kleeschnitt) und Bewuchs (mit 1 Maispflanze/Gefäß; Ohne Bewuchs) hinsichtlich Wasserverbrauch, N- und P-Versorgung der Maispflanze sowie Entwicklung pflanzenverfügbarer Nährstoffe (N, P, K) im Boden geprüft und verglichen. Pro Gefäß wurden $15,7 \text{ g}$ Mulchmaterial (Trockenmasse von Klee und Stroh) als Mulchbedeckung eingesetzt, was einer Menge von 500 g TM/m^2 entspricht. In **Tabelle A 3** sind die einzelnen Arbeitsschritte für die Versuchsjahre 2019/20 (Experiment 1), 20/21 (Experiment 2) und 2021/22 (Experiment 3) dargestellt. Um das Verhältnis aus Biomasse und aufgenommenen Wasser darzustellen, wurde die Wassernutzungseffizienz mit nachfolgender Formel berechnet: Ertrag / Wasserverbrauch der Pflanze. Das Gewicht und die Wassermengen wurden von der automatischen Gießanlage aufgezeichnet. Die Wassermenge, die dazugegeben wurde, um das Zielgewicht wieder zu erreichen, wurde bestimmt. Dies entsprach dann dem Verbrauch.

Parallel wurde in Köllitsch in einer Blockanlage mit 4 Wiederholungen 2020 und 2021 untersucht, welche Wirkung **verschiedene Mulchmaterialien** (Luzerneschnitt und Luzernesilage) in verschiedenen N-Frachten (85 kg/ha N und 170 kg/ha N) auf den Ertrag von Silomais haben. Als Kontrolle galten Flächen ohne aufgetragene N-Fracht.

4. Ausführliche Darstellung der wichtigsten Ergebnisse



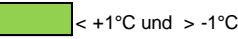




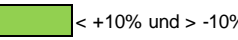


4.1 Wetter- und Versuchsbedingungen Neu Eichenberg

Insgesamt waren über die fünf Jahre hinweg die Wetterbedingungen heterogen und teilweise auch extrem (**Abbildung 2**), wie in Klimawandelszenarien prognostiziert (*Hübener & Kreienkamp, 2018*). Trotzdem konnten in allen drei Versuchsjahren die benötigten Mulchmengen aufgrund der flexiblen Flächennutzung auf dem Versuchsbetrieb ohne Probleme beschafft werden.

Im Fall von Experiment 1 waren die Bedingungen im Herbst 2019 und Frühjahr 2020 für die Vorfrüchte zu warm und zu feucht. Zudem trat starker Mäusebefall auf, wodurch die Vorfrüchte zusätzlich geschwächt wurden. Die Kartoffelsaison auf diesem Standort war durchschnittlich regnerisch, was zu langsam wachsenden Beständen, mäßigem Kartoffelkäferbefall und seltenem Auftreten der Krautfäule (*Phytophthora infestans*) führte. Die Durchschnittstemperatur der Monate Mai bis August betrug 16,2°C und es gab mittlere Niederschläge von 71,5 mm, wobei im August besonders hohe Niederschläge von 115 mm zu verzeichnen waren (**Tabelle 3**).

Tabelle 3: Monatliche mittlere Temperatur und Niederschlagssumme (jeweils September-August) in Neu-Eichenberg, Nordhessen, 2019 bis 2023. Ab Aussaat der Zwischenfrucht in Experiment 1 im September 2019 bis Ernte der Nachfrucht Experiment 3 im August 2023 sind die monatlichen Temperaturen und Niederschläge dargestellt. Die Abweichungen vom langjährigen Mittel (1990-2020) sind laut Farbskala unterhalb der Tabelle eingefärbt, wobei je heißer und trockener mit rot gefärbt sowie je kühler und nasser mit blau eingefärbt wurde.

Saison	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Mittlere Temperatur und Gesamt-Niederschlag
2019/20	14.0 37.6	11.4 54.0	5.3 33.5	4.2 58.8	3.6 38.9	6.0 113.1	5.8 37.8	9.1 11.0	11.2 43.9	16.0 89.4	17.1 38.0	20.4 115.3	10.3 °C 671.3 mm
2020/21	15.0 7.9	10.5 34.1	7.6 16.3	3.6 27.2	1.1 60.0	1.1 24.8	4.6 37.1	5.7 40.2	10.5 51.2	18.4 78.1	17.7 86.9	16.1 112.2	9.3 °C 576.0 mm
2021/22	15.0 20.5	9.8 27.0	5.5 24.6	2.6 45.7	3.3 59.5	4.8 77.4	4.8 7.2	7.7 44.4	14.1 26.4	17.8 28.3	18.7 37.7	20.0 11.9	10.4 °C 410.4 mm
2022/23	13.4 84.2	12.8 39.0	6.9 44.1	1.6 57.2	3.9 55.0	3.5 44.7	5.8 80.1	7.6 45.6	12.4 42.2	17.8 74.7	18.1 63.5	18.0 108.5	10.2 °C 738.8 mm
1990-2020	13.8 69	9.6 53	5.2 51	2.1 56	1.2 56	1.7 50	4.7 43	8.9 50	13.0 38	16.0 59	18.1 66	17.8 70	

Temperatur Abweichung	 > +2°C	 > +1°C	 < +1°C und > -1°C	 < -1°C	 < -2°C
Niederschlag Abweichung	 > +30%	 > +10%	 < +10% und > -10%	 < -10%	 < -30%

Die Bedingungen für die Vorfrüchte im Experiment 2 waren trotz des trockenen Herbstes und Winters in 2020/2021 optimal. Allerdings folgte ein sehr kühles Frühjahr mit einer fast 3°C geringeren

Temperatur im April im Vergleich zum langjährigen Mittel. Aufgrund der langsamen Bodenerwärmung verzögerte sich der Pflanztermin um 2 Wochen. Außer im Juni war die Kartoffelsaison zwischen Mai und August sehr kühl mit einer Durchschnittstemperatur von 15,7°C. Die Wasserversorgung war ausgezeichnet. Im Durchschnitt fielen während der Kartoffelsaison 92 mm Niederschlag pro Monat (**Tabelle 3**). Aufgrund der schnellen Entwicklung von *P. infestans* starben die Bestände jedoch bereits Anfang bis Mitte August ab.

Im Jahr 2022 entwickelten sich die Vorfrüchte in Experiment 3 zufriedenstellend. Der Winter 2021/2022 war insgesamt durch unterdurchschnittliche Niederschläge geprägt gefolgt von extremer Dürre von Mai bis August mit durchschnittlich 26 mm Niederschlag pro Monat gepaart mit den höchsten Durchschnittstemperaturen aller Jahre; von Mai bis August betrug diese 17,7°C (1,4°C über dem Mittel 1990-2020) (**Tabelle 3**). Sowohl die Kartoffeln in Experiment 3 als auch die Nachfrucht Mais in Experiment 2 waren extrem beeinträchtigt. Die Niederschläge im Sommer 2023 waren ausreichend für den Mais in diesem Jahr.

4.2 Wetter Nossen

Wie in Eichenberg, waren auch in Nossen die Wetterbedingungen extrem variabel. Die Jahre 2019, 2020 und 2022 wiesen in Nossen eine ausgeprägte Frühjahrs- und Sommertrockenheit mit bis zu 40 mm weniger Niederschlag im Vergleich zum langjährigen Mittel auf (**Abbildung 2** und **Abbildung A 2**).

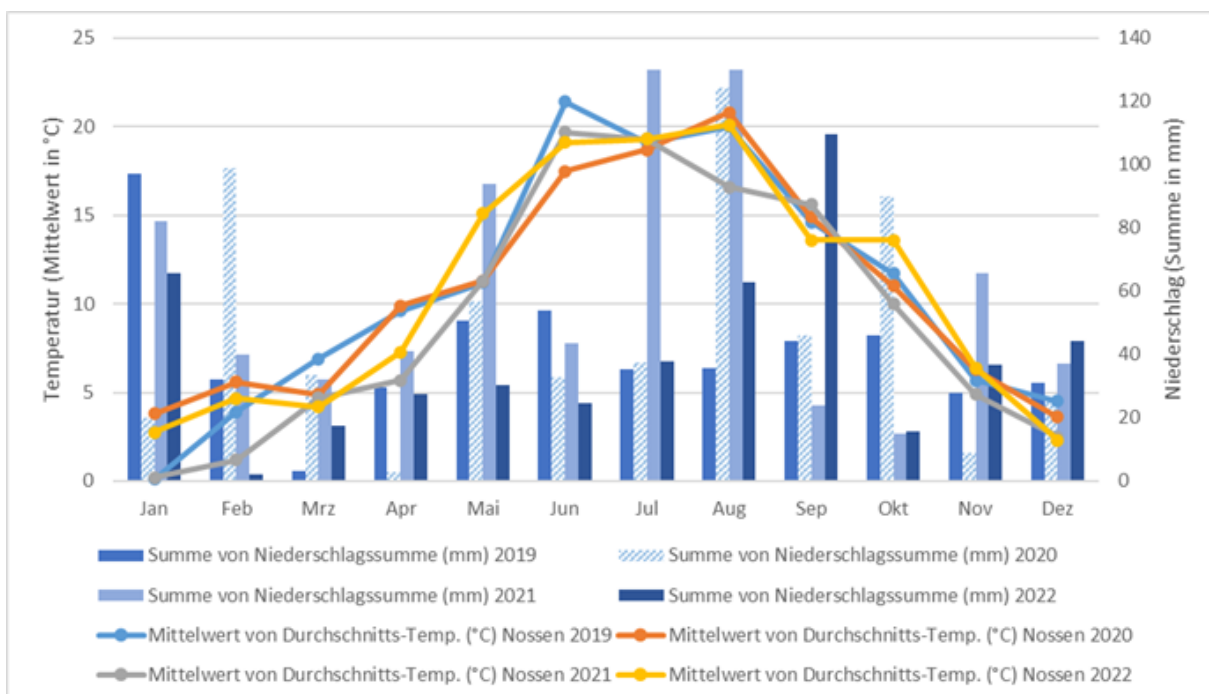


Abbildung 2: Klimatische Bedingungen während der Exaktversuche 2019, 2020, 2021 und 2022. Die Säulen stellen auf der rechten Seite die Niederschlagssummen der einzelnen Monate dar. Die Linien geben die mittleren Temperaturen der Monate auf der linken Seite wieder.

Gepaart mit hohen Temperaturen 2019 und 2022 wirkte sich dies negativ auf die Erträge aus. 2020 konnte nur die Hälfte der im Vorjahr ausgebrachten Mulchmenge der überjährigen Fläche zur Ausbringung auf die Kartoffeln geerntet werden, da das Wasser nach der Aussaat im September 2019 fehlte; ein Trend, der sich auch über die Wintermonate fortsetzte. Erschwerend kam ein verstärkter Befall durch Mäuse als Folge zu milder Wintertemperaturen hinzu. Dagegen konnte 2020 auf den Mais mehr Kleemulch (vom Jungbestand) transferiert werden, da dieser zu feuchteren und wärmeren Bedingungen im Frühjahr gesät wurde. Das Jahr 2021 zeichnete sich zwar durch mehr Niederschläge im Frühjahr und Sommer, aber auch durch niedrigere Temperaturen in den Monaten Januar bis April aus. Dies wirkte sich negativ auf den Aufwuchs des Mulchmaterials (die Kleeflächen) aus, während die Kulturpflanzen von den Niederschlägen profitieren konnten. Trotzdem konnten auf die Kartoffel mit 61,1 dt TM/ha ähnliche Mengen wie 2019 ausgebracht werden, allerdings wies der überjährige Mulch 2021 70 kg/ha weniger Stickstoff auf als 2019, was vermutlich auch auf die Trockenheit zurückzuführen war, da weniger Knöllchen gebildet und somit weniger Stickstoff akkumuliert werden konnte. Auch der Mulch des Jungbestandes wies 2021 die geringsten Stickstoffmengen auf (**Tabelle 5**).

4.3 Können negative Einflüsse durch die reduzierte Bodenbearbeitung durch Mulchapplikation und Zwischenfrüchte sicher kompensiert werden?

4.3.1 N-Erträge aus Transfermulch und Erträge Neu-Eichenberg (NEB)

Im ersten Versuchsjahr 2019/20 erreichten keine der Zwischenfrüchte mehr als 170 dt FM/ha. Die abfrierende Zwischenfrucht fiel im ersten Versuchsjahr weitgehend aus und entwickelte sich zu einem Ölrettich-Sandhafer-Gemenge, welches als sicher auflaufend beschrieben wird Thomas et al. (2018). Im Folgejahr in Experiment 2 wurden daher nur diese Komponenten ausgesät. Diese Mischung wurde erfolgreich etabliert, fror aber nicht ab. Im Jahr 2020/21 ähnelten die Erträge der Vorfrüchte denen im Vorjahr, während in 2021/22 nur die Wicktriticale wie in den Vorjahren abschnitt, die Beikrautbrache jedoch nicht (**Tabelle 4**).

Tabelle 4: Frischmasseaufwüchse (FM, dt/ha), N-Gehalte (kg/ha), und die jeweiligen C/N Verhältnisse der Zwischenfrüchte

	2019/20			2020/21			2021/22		
	FM	N	C:N	FM	N	C:N	FM	N	C:N
Wicke	170	102	14,4	196	104	10,9			
Wicktriticale	163	95	15,3	149	88	11,5	156	44	30,9
Abfrierend	119	73	18,3	170	67	20,4			
Beikrautbrache	127	60	21,5	61	26	19,8	25	13	17,5

Die N-Erträge waren in den ersten beiden Jahren vergleichbar pro Zwischenfrucht, die C/N Verhältnisse jedoch etwas günstiger. Durch den späten Erntezeitpunkt 2022 und den trockenen Winter waren N-Ertrag und C/N Verhältnis der Wicktriticale massiv reduziert bzw. erhöht (**Tabelle 4**).

Auch wenn die **Kartoffelerträge** in den drei Versuchsjahren starken witterungsbedingten Schwankungen unterlagen, konnte die Anwendung von Transfermulch unabhängig von der Mulchart in allen drei Experimenten die Düngung mit Haarmehlpellets kompensieren (**Abbildung 3** links).

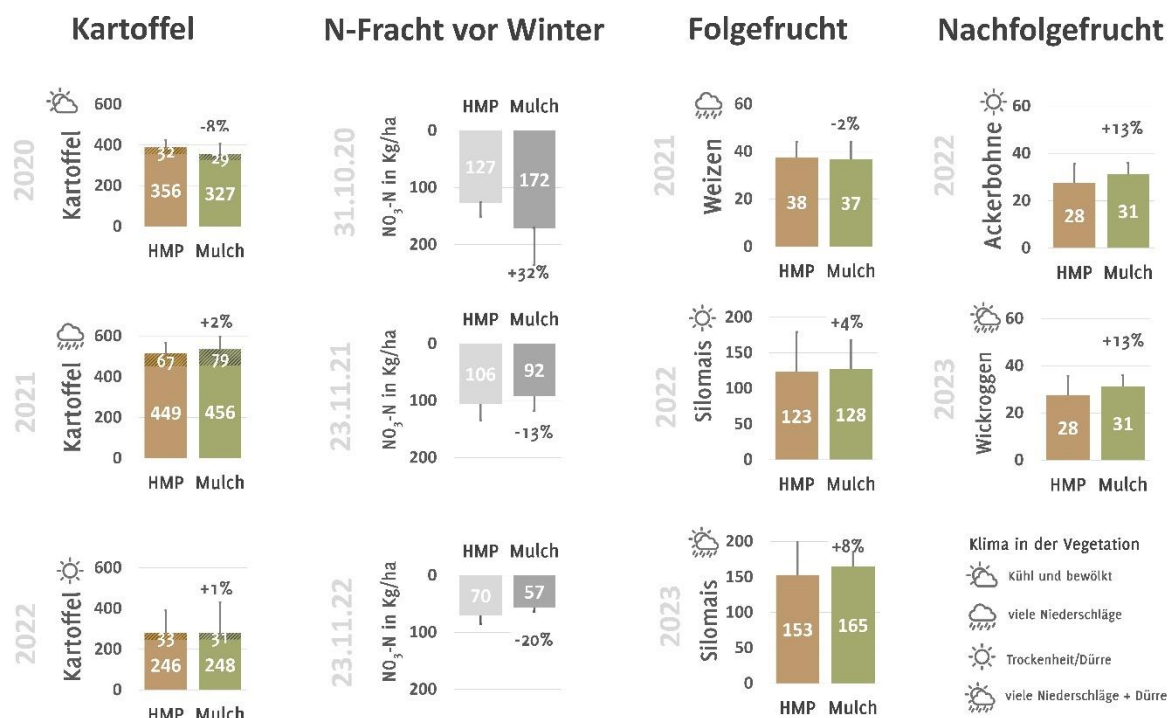


Abbildung 3: Erträge sowie die nach Kartoffeln hinterlassenen N-Frachten vor Winter in Abhängigkeit von der Mulchbehandlung in den Jahren 2020-2021 (**Experiment 1, oben**); 2021-2022 (**Experiment 2, mitte**) und 2022-2023 (**Experiment 3, unten**). Die Wetterbedingungen während der jeweiligen Anbausaison sind jeweils mit Wettersymbolen Sonne für trocken und Regen für feucht markiert. Dargestellt werden Markterträge sowie Übergrößen und Untergrößen gemeinsam bei Kartoffeln, Weizen- und Ackerbohnenkornerträge sowie Frischmasse für Silomaiserträge in dt/ha. Die positive Standardabweichung ist an den Balken angezeigt.

Die Auswirkungen der Vorfrüchte auf die Erträge waren zwar etwas größer als die des Mulchs, doch voneinander nicht absicherbar verschieden (**Abbildung A 3**). Signifikante Unterschiede zwischen den Varianten konnten nur in Experiment 3, im Dürrejahr 2022, festgestellt werden (**Abbildung 4**).

Im Dürrejahr 2022 waren die Erträge unter Mulch im Schnitt um 9 % verringert (**Abbildung 3** unten links) und bei Düngung mit Haarmehlpellets mit Wicktriticale-Vorfrucht war der Marktertrag mit 233 dt/ha am höchsten (**Abbildung 4**) ganz rechts. Diese Variante hatte wahrscheinlich durch die Förderung der Wicktriticale im warmen und ausreichend feuchten Spätwinter 2022 die beste Versorgung mit Stickstoff (siehe 4.4.3 ab S. 24). Auf dem gleichen Niveau befanden sich auch die Varianten mit Haarmehlpellets und Silage-Mulch mit 220 dt/ha, und Beikrautbrache als Vorfrucht (218 dt/ha) bzw. mit Silagedüngung und Untersaat ohne Mulch (213 dt/ha). Wicktriticale-Mulch und Stroh-Mulch in Kombination mit einer Silagedüngung im Damm ergaben mit 190 und 180 dt/ha mittlere Erträge. Den signifikant schlechtesten Marktertrag hatte die Variante mit Wicktriticale-Mulch mit Untersaat mit 125 dt/ha .

Auch die Größenverteilungen der Kartoffeln waren in den Versuchsjahren unterschiedlich: Während in 2020 die Übergrößen in den Ertragsabzügen dominierten, waren es in 2021 die Untergrößen. Wenn wenig Wasser zum Zeitpunkt der Knollenanlage (BBCH 40-50) wie in 2020 zur Verfügung steht, dann bilden die Pflanzen weniger Knollen aus Möller (2003, S.19). Stehen dann ausreichend Niederschläge zur Verfügung, werden die wenigen Knollen zu groß. Derselbe Effekt ließ sich 2022 beobachten. Die hohen Abzüge durch Untergrößen in 2021 können mit den hohen Niederschlagsmengen und N-Frachten in der zeitigen Saison in Zusammenhang gebracht werden: Es wurden mehr Knollenanlagen gebildet als sich im kühlen August vollständig entwickeln konnten (Struik et al., 1990) (**Abbildung A 3**).

Damit stellen 2022 als Dürrejahr und 2021 als kühl-feuchtes Jahr die Extreme für eine organische Düngung und die **Erträge** dar. Die Mineralisation der Nährstoffe aus dem Transfermulch, aber auch der Ausgleichsdüngung, hängen neben der Temperatur von der Feuchtigkeit (Kladivko & Keeney, 1987) des Substrates ab. Der Mulch konnte die Düngewirkung der Haarmehlpellets trotz der extrem unterschiedlichen Jahre immer ausgleichen. Besonders im trockenen Jahr 2022 stellte das Wasser den limitierenden Wachstumsfaktor dar und es erfolgte nur eine geringere Mineralisation aus dem Mulch, die für die Ertragsbildung irrelevant war. Im feuchten 2021 mineralisierte der Mulch beinahe vollständig und trug so zu einer guten Nährstoffversorgung der Knollen bei (Siehe 4.4.1 S. 20).

Während der Mulch sich in keinem Fall direkt auf die **Erträge der Folgefrüchte** (Weizen oder Mais) auswirkte (**Abbildung 3**, dritte Säule), erhöhte der Mulch den Protein-Gehalt des Weizens im Jahr 2021 von 12,4 % um zwei Prozentpunkte auf 14,4 % (Daten nicht gezeigt). Die Erträge der Nach-Nachfrüchte Ackerbohnen in 2022 bzw. des Wickroggens 2023 waren nach Mulch um >10 % erhöht im Vergleich zu den ungemulchten Parzellen (**Abbildung 3**, rechte Säule).

Es zeigten sich zudem deutliche Effekte der Zwischenfrucht vor Kartoffeln: Winterwicke als Vorfrucht der Kartoffel bewirkte im Jahr 2022 nach Experiment 2 eine Erhöhung des Frischmasseertrags in der Folgefrucht Silomais von 20 % bei insgesamt allerdings extrem niedrigen Erträgen, die der Dürre geschuldet waren (Daten nicht gezeigt). Im Folgejahr 2023 jedoch waren deutliche Effekte zu sehen. So war der Maisertrag nach Beikrautbrache ohne Mulch in der Nachfrucht Silomais mit 139 dt TM/ha am niedrigsten. Fast 30 % mehr Ertrag wurden mit Wicktriticale als Vorfrucht vor Kartoffeln und Kleegrasmulch (186 dt/ha) bzw. Silagemulch (184 dt/ha) oder Silagedünger (179 dt/ha) erzielt. (**Abbildung 4**).

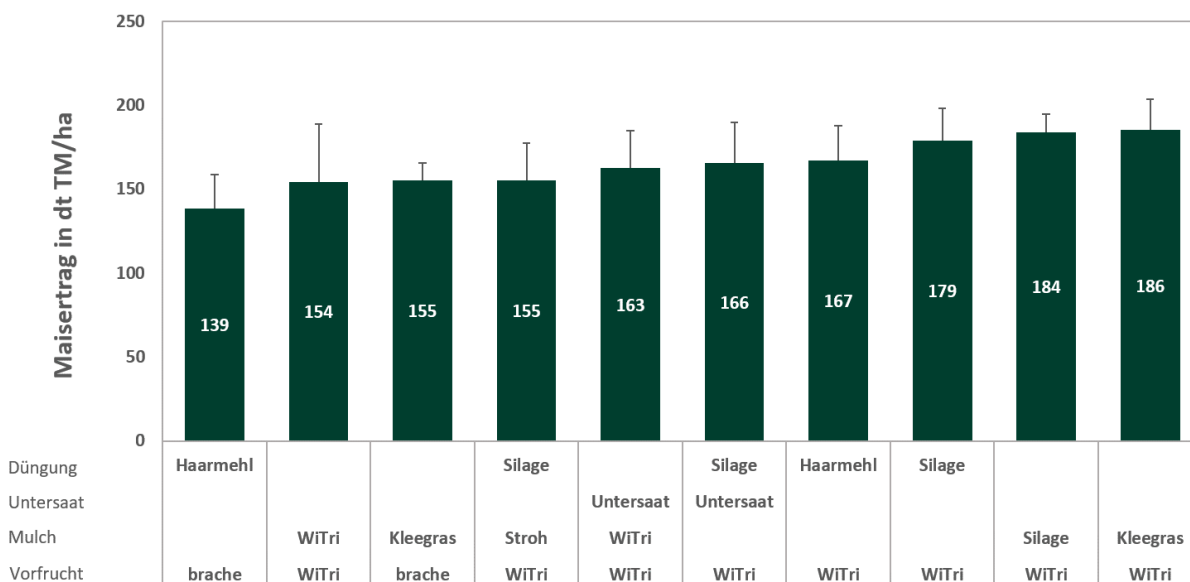


Abbildung 4: Maiserträge in Exp. 3 im Jahr 2023 in Abhängigkeit von der Düngung (äquivalent 100 kg N/ha als Haarmehlpellet oder Silage versus 0-Kontrolle, Untersaat, Mulchart sowie entweder der Vorfrucht Wicktriticale oder Beikrautbrache.

4.3.2 N-Erträge aus Transfermulch und Erträge LfULG

Das C:N-Verhältnis des frischen und silierten Klees betrug im Durchschnitt 1:12. Der erste Rotkleechnitt der für die Kartoffeln genutzt wurde, variierte abhängig vom Wetter massiv und entsprechend variierten die N-Inputs durch den Mulch zwischen 42 kg/ha 2021 und 267 kg/ha in 2019 (**Tabelle 5**).

Die Variation beim zweiten Schnitt für Mais war geringer, aber immer noch schwankten die N-Inputs für Mais zwischen 117 kg/ha in 2021 und 218 kg/ha in 2020. Für Stroh war der N-Input zu Ackerbohnen mit 3 kg vernachlässigbar, während die N-Inputs im Weizen 2021 (125 kg N/ha) und 2022 (212 kg N/ha) wieder stark unterschiedlich waren (**Tabelle 5**).

Tabelle 5: Mittlerer Ertrag (dt/ha) von Kartoffel, Körnermais, Ackerbohne und Winterweizen mit Standardabweichung (±) und entsprechend eingesetzten Mulchmengen (TM und N-Gehalt)

Jahr		2019	2020	2021	2022
KARTOFFEL					
Mulchmaterial (Rotklee)	TM in dt /ha	61,5	30,1	15,9	61,1
	N in kg/ha	266,9	129,3	41,5	197,8
mittlerer Ertrag (dt FM/ha) ± Standardabweichung					
gepflügt ohne Mulch		226,0 ± 32,7	249,4 ± 24,4	266,6 ± 26,1	230,2 ± 10,9
gepflügt mit Mulch		171,5 ± 19,8	297,1 ± 59,9	305,8 ± 27,3	297,5 ± 26,1
ungepflügt ohne Mulch		182,5 ± 18,7	244,5 ± 32,3	290,2 ± 78,3	223,3 ± 19,6
ungepflügt mit Mulch		135,7 ± 30,2	246,4 ± 62,7	303,6 ± 48,4	267,3 ± 31,8
KÖRNERMAIS					
Mulchmaterial (Rotklee)	TM in dt /ha	29,3	55,7	33,1	55,1
	N in kg/ha	120,3	218,4	117,2	212,8
mittlerer Ertrag (dt TM/ha) ± Standardabweichung					
gepflügt ohne Mulch		74,1 ± 8,6	26,2 ± 3,2	64,1 ± 8,8	56,1 ± 8,6
gepflügt mit Mulch		68,9 ± 8,9	29,2 ± 1,9	71,9 ± 9,2	54,9 ± 2,7
ungepflügt ohne Mulch		69,1 ± 4,9	30,4 ± 8,9	73,4 ± 7,9	59,8 ± 12,78
ungepflügt mit Mulch		54,2 ± 7,3	36,1 ± 12,2	62,8 ± 9,6	48,3 ± 1,9
ACKERBOHNE					
Mulchmaterial (Stroh)	TM in dt /ha	36,8	44,8	32,6	50,8
	N in kg/ha	3,2	3,2	3,2	3,2
mittlerer Ertrag (dt TM/ha) ± Standardabweichung					
gepflügt ohne Mulch		37,5 ± 1,2 ¹	16,7 ± 5,3	32,3 ± 4,8	12,0 ± 1,7
gepflügt mit Mulch		61,2 ± 1,3	17,3 ± 4,6	33,6 ± 6,2	13,0 ± 3,1
ungepflügt ohne Mulch		37,4 ± 2,2 ¹	16,9 ± 3,8	31,2 ± 4,6	10,9 ± 2,0
ungepflügt mit Mulch		51,9 ± 10,4	17,0 ± 4,6	33,5 ± 1,4	11,1 ± 4,4
WINTERWEIZEN					
Mulchmaterial	TM in dt /ha	ohne	ohne	31,8 ²	55,1 ³
	N in kg/ha	ohne	ohne	125,3	212,8
mittlerer Ertrag (dt TM/ha) ± Standardabweichung					
gepflügt ohne Mulch		55,2 ± 2,2	37,6 ± 2,9	54,8 ± 5,0	53,52 ± 15,5
gepflügt mit Mulch				52,0 ± 6,4 ²	71,5 ± 8,4 ³
ungepflügt ohne Mulch		53,4 ± 1,8	35,2 ± 2,2	53,1 ± 2,3	49,7 ± 1,0
ungepflügt mit Mulch				52,8 ± 4,8 ²	63,8 ± 4,4 ³

1: Ackerbohnen-Hafer-Gemenge, 2: Wicktriticale (frisch), 3: Rotkleesilage

Hinsichtlich der Bodenbearbeitungsintensität wirkte sich der Pflugeinsatz im Vergleich zu ungepflügter Bodenbearbeitung positiv auf den Ertrag aus (**Tabelle 5**) aber insgesamt gab es über alle Kulturen und Versuchsjahre keine statistisch absicherbaren Unterschiede zwischen den Varianten. Durch den hohen Konkurrenzdruck der Beikräuter (siehe **Abbildung 25** S.45) in den Kulturen wurde die Erträge 2019 negativ beeinflusst. So waren in diesem Jahr die Erträge von Kartoffel und Mais in den Varianten mit Mulch geringer als in den Varianten ohne Mulch (**Tabelle 5**), da dort im Gegensatz zu den Parzellen mit

Transfermulch mechanische Beikrautbekämpfung stattfand. Bei Kartoffeln führte in 2020 und 2021 das Ausbringen von Kleemulch in den gepflügten als auch in den ungepflügten Varianten zu bis 22 % höheren und stabilen Erträgen, die sich mit etwa 300 dt/ha (in den gepflügten Varianten mit Mulch) auf konventionellem Niveau bewegten (**Tabelle 5**). Ähnlich verhielt es sich bei Ackerbohnen, während die Maiserträge höheren Schwankungen unabhängig vom Mulchtransfer unterlagen. Während Mulch 2020 und 2021 die Maiserträge in der gepflügten Variante jeweils um ca. 10 % steigerte, lagen die gemulchten Erträge 2019 und 2022 etwas unter den ungemulchten. Bei den ungepflügten Varianten konnten bis auf das Jahr 2020 keine Ertragssteigerungen durch Mulchgabe in Mais erzielt werden (**Tabelle 5**). Die höheren Niederschlagsmengen 2021 beeinflussten die Erträge besonders bei Mais und Ackerbohnen positiv. Die Weizenerträge waren gepflügt und ungepflügt vergleichbar. In den beiden Jahren, in denen Transfermulch eingesetzt wurde, waren die Effekte sehr unterschiedlich: Keinen Unterschied 2021, während in 2022 der Transfermulch ca. 30 % Mehrertrag brachte (**Tabelle 5**). Allerdings gab es keine absicherbaren Einflüsse auf die Rohproteingehalte (**Abbildung A 4**).

Da im ersten Versuchsjahr die ungemulchte Variante bei Ackerbohne als Hafergemenge angebaut wurde, ist ein Vergleich der Varianten mit und ohne Mulch in diesem Fall jedoch schwierig. Bei Trockenheit, wie sie 2019 vorlag, hat Hafer eine höhere Konkurrenzkraft als Ackerbohnen, weshalb diese im Ertrag zurückgedrängt wurden. 2020 -2022 gab es bei Ackerbohnen in Reinkultur kaum Unterschiede im Ertrag zwischen den Varianten. Über die Varianten hinweg profitierten die Pflanzen 2021 von den Niederschlägen, die zu hohen Erträgen bis 33 dt/ha führten (**Tabelle 5**).

4.4 Wie wird der Mulch abgebaut und welche Nährstoffe werden in Pflanzen einschließlich Nachfrucht und Boden aufgenommen bzw. gehen Nährstoffe verloren? Ist milchsauer siliertes Mulchmaterial mit frischem Schnittgut vergleichbar und überbrückt so Mulchmaterialengpässe?

Da die Nährstoffdynamiken gemeinsam für Transfermulch und Silagematerial gemessen wurden, werden diese beiden Fragen gemeinsam behandelt.

4.4.1 N-Inputs und Dynamik der Experimente 1, 2 und 3 in NEB

Die anrechenbaren N-Inputs vor Kartoffeln variierten zwischen den Jahren und Behandlungen beträchtlich. Im Jahr 2020 lieferten die beiden Mulchvarianten praktisch gleich viel N/ha wie die Haarmehlpellets (etwas über 70 kg N/ha, **Tabelle 6**). Der N-Input durch Kleegrasmulch 2021 lag jedoch nur bei 60 kg N/ha, 2022 jedoch wieder gleichauf mit Haarmehlpelletedüngung. Im Gegensatz dazu lieferte der Wicktriticale-Mulch 2021 und 2022 nur ca. 50 kg N/ha und die Silage in beiden Jahren, in denen sie angewendet wurde, deutlich über 100 kg N/ha (**Tabelle 6**).

Zusätzlich zur Düngung lagen die N_{\min} Gehalte in den oberen 60 cm nach Winter, vor Umbruch der Zwischenfrüchte im Jahr 2020 bei ca. 20 kg N/ha unabhängig von der Zwischenfrucht und 2021 zwischen 36 und 52 kg N/ha je nach Zwischenfrucht.

Tabelle 6: C:N-Verhältnis, N-Gehalt [% i.d TM] und ausgebrachte Menge [dt TM/ha] der verschiedenen Dünger in den Versuchsjahren 2020 -2022. Aus den Parametern ausgebrachte Menge, N-Gehalt der Dünger und der prozentualen Anrechenbarkeit wurde die N-Fracht der verschiedenen Dünger ermittelt. Es wurden jeweils 50 t FM/ha Mulch mit einem durchschnittlichen TM-Gehalt von 25% ausgebracht. Anrechenbarkeit laut Düngeverordnung ist hergeleitet aus dem Merkblatt des DLR Rheinland-Pfalz¹, das im Jahr der Ausbringung 30% des Stickstoffs als anrechenbar annimmt. Der Wert für Stroh wurde aus einem LFL Merkblatt² Tabelle 5a: Nährstoffgehalte organischer Dünger zum Zeitpunkt der Ausbringung, nach Berücksichtigung der anrechenbaren Stall- und Lagerverluste entnommen.

Jahr	Mulch/ Dünger	C:N	N [% in. TM]	Menge [dt TM/ha]	Anrechenbarkeit nach DÜV ³	Düngung laut DÜV [kg N/ha]
2020	Haarmehlpellets	4	14,0	7,5	70%	74
	WickTrit-Mulch	21	2,0	125	30%	75
	Klee gras-Mulch	23	1,9	125	30%	71
2021	Haarmehlpellets	4	14,0	7,5	70%	74
	WickTrit-Mulch	34	1,3	125	30%	49
	Klee gras-Mulch	27	1,6	125	30%	60
	Silage	16	2,8	140	30%	118
2022	Haarmehlpellets	4	14,0	7,5	70%	74
	WickTrit-Mulch	43	1,03	163	30%	50
	Klee gras-Mulch	26	1,6	156	30%	75
	Silage	21	1,8	277	30%	150
	Stroh	75	0,59	174	0%	0

Aufgrund der witterungsbedingt sehr unterschiedlichen Erträge und der damit verbundenen unterschiedlichen N-Entzüge der Kartoffeln sowie der sich verändernden C:N-Gehalte der Mulchmaterialien schwankten die nach Kartoffeln hinterlassenen N_{\min} -Gehalte mit und ohne Mulchapplikation vor Winter stark zwischen den Jahren. Im Jahr 2020 waren die N_{\min} -Gehalte nach

¹ [https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/e650a8b9e58e4b09c1257a22002a91da/1d716d18c660c1fbc125855e002fa31b/\\$FILE/Merkblatt%20N-Bedarf%20zweites%20Halbj%2004-2020.pdf](https://www.dlr.rlp.de/Internet/global/themen.nsf/e650a8b9e58e4b09c1257a22002a91da/1d716d18c660c1fbc125855e002fa31b/$FILE/Merkblatt%20N-Bedarf%20zweites%20Halbj%2004-2020.pdf)

² https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/iab/dateien/basisdaten23_tabelle_5a_20221028.pdf

³ In der Düngeverordnung sind keine Transfermulchverfahren behandelt. Laut Düngeverordnung: „Es sind die Werte nach Anlage 3 DüV (siehe Seite 4), mindestens jedoch der ermittelte Gehalt an verfügbarem N oder Ammonium-N nach Buchstabe c) anzusetzen.“

Mulch massiv erhöht im Vergleich zu ohne Mulch, während sowohl im Jahr 2021 als auch 2022 die N_{\min} Gehalte reduziert waren (**Abbildung 3**).

Abhängig von den Zwischenfrüchten und Mulchmaterialien lag 2020 die Spanne der N_{\min} -Gehalte vor Winter von 115 bis 207 kg N/ha und 2021 zwischen 58 und 134 kg N/ha. Aufgrund der trockenen Witterung im Sommer 2020 wurden die Nährstoffe der Mulchmaterialien und der Ausgleichsdüngung während der Vegetationsperiode der Kartoffeln nur teilweise mineralisiert und somit nur teilweise von den Pflanzen aufgenommen und in Ertrag umgesetzt (**Abbildung 3**) (van Kessel et al., 2009).

Offensichtlich trat im Jahr 2020 (Experiment 1) der Hauptmineralisierungsspeak in den Mulchvarianten erst nach der Ernte der Kartoffeln auf, zu einem Zeitpunkt, an dem die Nährstoffe nicht mehr von den Pflanzen aufgenommen werden konnten. Die höchsten N_{\min} -Werte der Variante mit Haarmehlpellettdüngung wurden bereits am 23.06.20 erreicht (151 kg N/ha) und konnten somit optimal in Ertrag umgesetzt werden. Eine Verlagerung des Stickstoffs über den Winter in tiefere Bodenschichten war in Experiment 1 im Winter 2020/2021 zwar zu beobachten, aber eine hohe Auswaschung fand trotz der hohen Stickstoffmengen vermutlich nicht statt, da der Stickstoff im Frühjahr zum Beprobungstermin am 01.04.21 mit 96 kg in der Variante ohne Mulch, 144 kg in der Variante Klee gras-Mulch und 118 kg in der Variante Wicktriticale-Mulch den Pflanzen zur Verfügung stand. Die Vorfrüchte zeigten nachhaltige Effekte. Zu 6 der 7 untersuchten Zeitpunkte waren die N_{\min} -Werte in der Variante mit Wicke- bzw. Wicktriticale-Vorfrucht am höchsten korrespondierend zu den Biomasseerträgen und N-Gehalten der Vorfrüchte (**Tabelle 4**, S. 15). Vor Winter nach Kartoffeln lag der mittlere N_{\min} -Wert der Wicke-Vorfrucht mit 172 kg N/ha um 30 kg über dem der abfrierenden Vorfrucht. Dies deutet darauf hin, dass der von der Wicke zur Verfügung gestellte Stickstoff nicht vollständig in Ertrag umgesetzt werden konnte (**Abbildung A 3**).

Auch im Experiment 2 war am 25.05.21 in den gemulchten Kartoffeln die Variante mit der Haarmehlpellettdüngung mit deutlichem Abstand die Variante mit den höchsten N_{\min} Werten von 171 kg N_{\min} /ha. Klee gras-Mulch folgte mit 120 kg N_{\min} /ha und Wicktriticale-Mulch mit 114 kg N_{\min} /ha. Im weiteren Verlauf lag die Variante mit Haarmehlpellets immer über den beiden Mulchvarianten. So lag vor Winter die Haarmehlpellettdüngung mit 106 kg N_{\min} /ha 14 % über den Werten mit Klee gras-Mulch und 26 % über der Variante mit Wicktriticale-Mulch. Ursache für diese Verschiebung waren die veränderten C:N-Verhältnisse der Mulche, die im Jahr 2021 deutlich weiter waren (**Tabelle 6**) sowie die Vorfrucht, die sich im Gegensatz zu 2020 im Jahr 2021 stärker auf die N_{\min} Werte auswirkte. Am 25.05.21, kurz nach dem Mulchen, lag der N_{\min} Wert mit Wicke als Vorfrucht bei durchschnittlich 180 kg/ha, was 75 % mehr als in der Variante Beikrautbrache mit 103 kg N_{\min} /ha war. Diese erhöhten N_{\min} Werte zogen sich bis zur Untersuchung vor Winter am 23.11.21 durch. Die Wicke- und Wicktriticale-Vorfrüchte

wiesen mit 109 bzw. 107 kg N_{min}/ha etwa 50 % höhere N_{min} Werte auf als die Beikrautbrache-Vorfrucht mit 73 kg N_{min}/ha.

Bei der Untersuchung der Zusatzvarianten des Experiments 2+ im Jahr 2021 wurde festgestellt, dass die Variante mit Mulch und zusätzlicher Haarmehlpelletedüngung am 25.05.2021 eine sehr hohe N-Menge von 231 kg N_{min}/ha aufwies, die nicht vollständig in Ertrag umgesetzt werden konnte. Auch nach Abschluss der Erntearbeiten blieb hier ein N_{min}-Wert von 155 kg N_{min}/ha bestehen für Experiment 2.

4.4.2 Das Verhalten von Silage als Dünger oder als Mulchmaterial

In Experiment 2+ und Experiment 3 in **NEB** wurde Silage einerseits mit Einarbeitung in den Damm, andererseits als Mulchauflage untersucht. Die Einarbeitung der Silage erwies sich bei einer Menge von 10 t TM/ha aufgrund der langen Häcksellänge als sehr schwierig. Auch die flächige Ausbringung war aufgrund der ungeeigneten Häcksellänge nicht wie bei den anderen Mulchvarianten technisch durchführbar. Durch die Produktion einer speziell kurz gehäckselten Silage im Jahr 2021 konnte dieses Problem 2022 in Experiment 3 behoben werden.

Es fiel auf, dass bei gleicher ausgebrachter Menge in Experiment 2+ bei Silagedüngung am 25.05.21 mit 168 kg N_{min} rund 30 kg N_{min}/ha mehr zur Verfügung stand als bei Silage-Mulch. Dies kann auch auf die frühere Ausbringung noch vor dem Mulchen zurückzuführen sein (**Tabelle A 1**). Im Gegensatz zu den Vorjahren kam es vor allem in den Varianten mit Wicktriticale-Mulch zu einer Stickstoffbindung, so dass am 29.08.23 in Experiment 3 z.B. in der Variante Wicktriticale-Mulch mit Wicktriticale-Vorfrucht nur noch 29 kg N_{min}/ha vorhanden waren.

Bei der Ertragsuntersuchung lagen die Varianten Silagedüngung in etwa auf dem Ertragsniveau der Kontrolle. Der Silage-Mulch erzielte mit 509 dt/ha rund 62 dt/ha Mehrertrag gegenüber der Silagedüngung mit 447 dt/ha. Dies ist besonders interessant, da in der Variante mit Mulchapplikation die N_{min}-Werte kurz nach dem Mulchen am 25.05.2021 noch niedriger waren als in der Variante mit Einarbeitung in den Damm. Dies spricht für einen zusätzlichen Nutzen der Mulcherausbringung. Im sehr trockenen Jahr 2022 in Experiment 3 zeigte sich das gleiche Bild: Die Silagedüngung war weniger effektiv als der Silage-Mulch. Wurden bei der Silagedüngung 191 dt/ha Marktware erzielt, waren es bei Silage-Mulch bei gleicher Menge 220 dt/ha. Insgesamt lagen die Varianten mit Silage, ob als Mulch oder eingearbeitet, auf dem gleichen Ertragsniveau wie die Varianten mit Haarmehlpellets. Die kumulativen Blattstickstoffwerte (siehe **Abbildung 6** S.25) der Varianten mit Silage-Mulch oder Silagedüngung waren höher als die Varianten mit Klee gras-Mulch oder Wicktriticale-Mulch. Die Variante mit Haarmehlpellets und Wicktriticale-Vorfrucht lag mit einem Wert von 35.328 allerdings signifikant um 6% über der Variante mit Silage-Mulch und Wicktriticale-Vorfrucht.

In Bezug auf die Stickstofffrachten fand im Jahr 2021 im Experiment 2 der Großteil der Mineralisation während der Vegetationsperiode statt und die Nährstoffe wurden in Ertrag umgesetzt (**Abbildung 3**, S.16). Im Experiment 2+ waren im November 2021 in der Variante Silage-Mulch die größten N_{\min} -Einträge vor Winter zu verzeichnen, was die Mineralisierungseffektivität der Silage unterstreicht, welche schon von Burgt et al. (2013) festgestellt wurde. Die N_{\min} -Gehalte im Herbst waren bei Silage-Mulch mit 189 kg N/ha von 0-90 cm am höchsten, gefolgt von Silagedüngung mit 165 kg N/ha sowie Haarmehlpellets + Mulch mit 155 kg N/ha und Wicktriticale-Mulch mit Untersaat (96 kg N/ha). Das zeigt, dass trotz der hohen Freisetzung während der Saison auch nach der Ernte bei Silage noch hohe Reststickstoffmengen zur Verfügung stehen. Die Kontrolle mit Wicktriticale als Vorfrucht und Äquivalentdüngung aus Haarmehlpellets wies mit 75 kg N/ha geringere Stickstoffgehalte in den Horizonten 0-90 auf. Demgegenüber lagen in Experiment 3 alle Silage Varianten am 23.11.2022 zwischen 56 und 69 kg N/ha, was durch die hohen Erträge in den Varianten plausibel erscheint. Die höchsten N_{\min} Werte wies die Variante mit Haarmehlpelletedüngung und Wicktriticale-Vorfrucht mit 84 kg N/ha auf.

Am **LFULG** konnten die Erträge bei Weizen durch die Gabe von Rotkleesilage im Vergleich zu frischem Material (Wicktriticale) trotz des trockenen Jahres 2022 gesteigert werden (**Tabelle 5**, S.19). Dies gilt jedoch nicht für den Rohproteingehalt (**Abbildung A 4**). Zum einen liegt dies an der Sortenwahl, denn Julius ist eine A-Weizensorte, die die zugeführten Nährstoffe in Masse statt Rohproteingehalt umsetzte, zudem kann ein Verdünnungseffekt (mehr Ertrag, weniger Rohproteingehalt) zugrunde liegen.

4.4.3 Mikro- und Makronährstoffgehalte in den Kartoffelblättern

Die **Blattstickstoffgehalte** der Kartoffeln nahmen während der gesamten Vegetationsperiode kontinuierlich ab. Ausgehend von einem anfänglichen Stickstoffgehalt von über 5 % in der TM sank der Stickstoffgehalt in den Kartoffelblättern um ca. 30 % auf etwa 3,5 %. Die mit 100 kg N/ha in Form von Haarmehlpellets gedüngten Kartoffeln ohne Mulch wiesen in allen Versuchsjahren während der gesamten Vegetationsperiode signifikant höhere Blattstickstoffgehalte auf als die gemulchten Kartoffeln, deren Blattstickstoffgehalte kumulativ im Durchschnitt etwa 10 % niedriger lagen (**Abbildung 5 links**). Das gleiche gilt für die N_{\min} Werte im Boden (Kap. 4.3.2 Nährstoffdynamiken S. 20). Die Wahl von Wicktriticale oder reiner Winterwicke als Vorfrucht führte in beiden Versuchsjahren zu einem Anstieg des kumulativen Blattstickstoffgehalts um etwa 5 % im Vergleich zu Beikrautbrache und abfrierender Vorfrucht, wobei der Effekt der Vorfrüchte (**Abbildung 5 rechts**) schwächer war als der der Haarmehlpelletedüngung (**Abbildung 5 links**).

In Experiment 2+ im Jahr 2021, war die Anwendung von Silage-Mulch oder Silagedüngung ebenfalls mit einer deutlich geringeren Blattstickstoffaufnahme verbunden als bei der Nutzung von Haarmehlpellets (Daten nicht gezeigt). Dies bestätigte sich auch im Folgejahr 2022 in Experiment 3 (**Abbildung 6**). Wieder hatten die Varianten mit Haarmehlpellets den signifikant höchsten Blattstickstoffgehalt. Silage als

Dünger oder als Mulch unterschieden sich hier nicht signifikant voneinander. Trotz doppelt so hohem C:N Verhältnis konnte der Wicktriticale-Mulch (C:N = 43) ähnlich viel Stickstoff für die Pflanzenernährung bereitstellen wie die Silage (C:N = 21, siehe **Tabelle 4**, S.15).

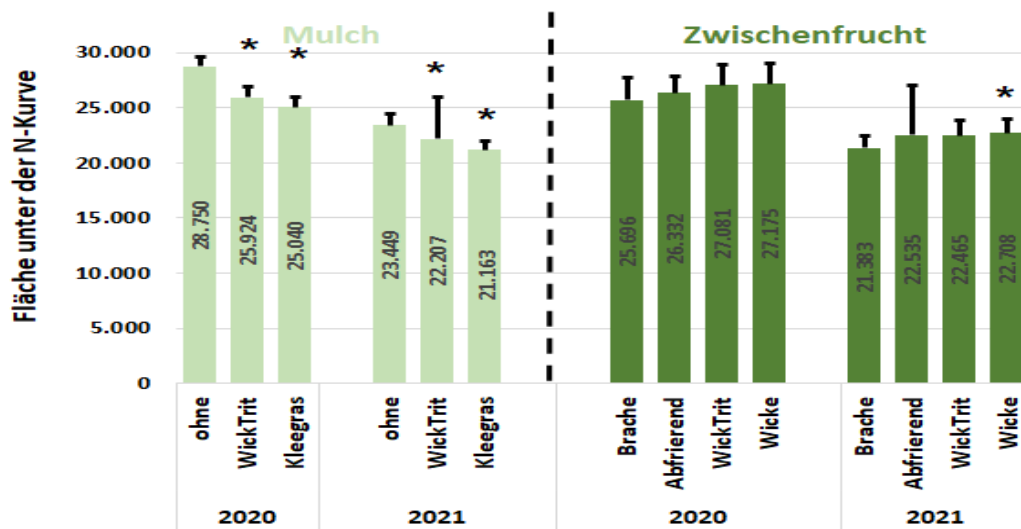


Abbildung 5: Kumulative Blattstickstoffgehalte über die Zeit, dargestellt als Fläche unter der Kurve (FuNK) (Kranz 1996) mit Standardabweichung in 2020 und 2021. **Links** abhängig von der Mulchart verglichen mit der Kontrolle ohne Mulch gedüngt mit 100 kg N/ha. **Rechts**: abhängig von der Zwischenfrucht verglichen zur Beikrautbrache als Kontrolle. *: Signifikante Unterschiede zur Kontrolle ($p < 0,05$) (paarweise Vergleiche). Die FuNK ist einheitenlos.

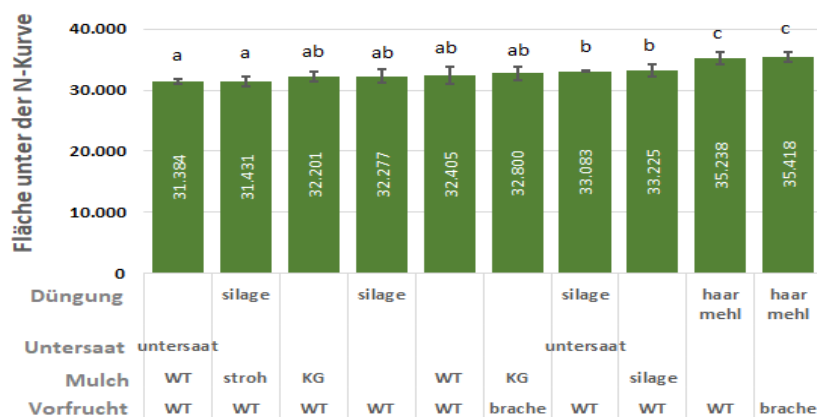


Abbildung 6: Kumulative Blattstickstoffgehalte über die Zeit, dargestellt als Fläche unter der Kurve (FuNK) (Kranz 1996) mit Standardabweichung, abhängig von den Varianten 2022. Signifikante Unterschiede zwischen den Behandlungen ($p < 0,05$) sind mit unterschiedlichen Kleinbuchstaben gekennzeichnet.

Die **Mikro- und Makronährstoffgehalte** in den Kartoffelblättern unterschieden sich jahresabhängig erheblich. Die Cu-Gehalte lagen in allen drei Jahren im Bereich zwischen 0,5 und 1 ppm. Im Gegensatz dazu lagen die Mn-Gehalte im Jahr 2021 bei nur etwas über 1 ppm, während sie in 2020 und 2022 zwischen 5 und 6 ppm lagen und die Mo-Gehalte lagen 2021 bei ca 1 ppm während sie in den beiden anderen Jahren deutlich darunter lagen. In einer anderen Größenordnung schwankten die Ca und K Gehalte. So lagen die Ca-Werte im Jahr 2020 bei ca 3000 ppm, 2021 bei unter 500 ppm und 2022 bei

etwas unter 2000 ppm. Die K-Gehalte lagen in den drei Jahren bei ca 2500 (2020) bis 4500 ppm (2022) (**Abbildung 7**).

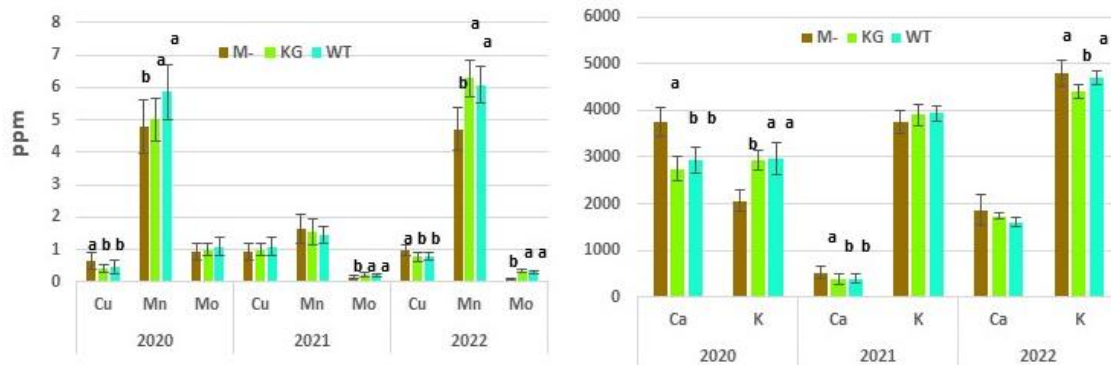


Abbildung 7: Konzentration von Makro- und Mikronährstoffen (ppm) in Kartoffellaub gesammelt als Mischprobe in Parzellen ohne Mulchanwendung (M-), mit Kleegras-Mulch (KG) und mit Wicktriticale-Mulch (WT). Erhoben jeweils im Juli.

Es scheint teilweise Interaktionen zwischen den Nährstoffgehalten und dem Einfluss des Mulches zu geben. Einerseits waren die Cu-Gehalte in den Jahren hoher Mn-Gehalte (2020 und 2022) durch Mulch statistisch signifikant reduziert aber nicht bei niedrigen Mn-Gehalten im Jahr 2021. Ebenfalls waren die Mn-Gehalte auch nur bei hohem Ausgangsgehalt durch Mulch signifikant erhöht. Die absoluten Unterschiede im Mo-Gehalt zwischen der Kontrolle und Mulch lagen in allen Jahren zwischen 0,07 und 0,23 ppm. Diese Unterschiede waren aber nur statistisch absicherbar, wenn die Kontrolle sehr niedrig lag (2021 und 2022), aber nicht in 2020 (**Abbildung 7** links). Mulch reduzierte die Ca -Gehalte signifikant unabhängig vom Gehaltsniveau in der ungemulchten Kontrolle in 2020 und 2021, aber nicht in 2022, wohingegen die Auswirkungen des Mulchs auf die K-Gehalte gegenläufig zu den Gesamtgehalten erscheinen. Im Jahr 2020 lag der K-Gehalt der Kontrolle bei 2000 ppm, 2021 bei ca 3800 ppm und 2022 bei 4800 ppm. Während Mulch den Gehalt 2020 um fast 50 % auf über 2900 ppm erhöhte, gab es 2021 keine Unterschiede, während 2022 der Kleegrasmulch den Gehalt signifikant auf 4400 ppm absenkte, der Wicktriticalemulch jedoch keinen Einfluss hatte (**Abbildung 7**, rechts).

4.4.4 Nährstoff und Wasserdynamik LFULG (Gefäß- und Feldversuche)

Aufgrund der Trockenheit und der hohen Temperaturen fanden 2019 kaum mikrobielle Abbauprozesse und keine Verlagerung des mineralischen Stickstoffs statt, so dass vermutet wird, dass ein Teil des Stickstoffs gasförmig entwichen ist. Die N_{min} -Gehalte der verschiedenen Varianten lagen nach der Kartoffelernte auf einem unbedenklichen Niveau von 20-40 kg N_{min} /ha. In den folgenden Jahren wurden dann bis zu 100 kg N_{min} /ha in den Parzellen mit Mulchauflage gemessen (**Abbildung 8**).

Dies ist ökologisch aufgrund der Auswaschungsgefahr in tiefere Schichten sehr bedenklich. Zum einen konnte die Kartoffel den mineralisierten Stickstoff nicht komplett aufnehmen, zum anderen waren die

mikrobiellen Umsetzungsmechanismen wegen des Wassermangels gehemmt. Durch die Bodenbewegung während der Ernte wurden diese Prozesse durch Sauerstoffzufuhr angeregt.

Bei Mais waren im Frühjahr 2019 die Stickstoffvorräte auf den ungemulchten Flächen sehr hoch, wurden aber bis zur Ernte trotz der Trockenheit aufgebraucht. Im Gegensatz dazu konnten sie 2020 wegen der Trockenheit während der Vegetationszeit nicht vollständig verwertet werden, da Wasser der ertragslimitierende Faktor war (im Mittel 30 dt TM/ha, siehe **Tabelle 5**, S.19 für Erträge).

Nach der Maisernte 2020 stiegen die N_{\min} -Werte auf 180 kg/ha bei den Mulchvarianten bzw. auf über 200 kg/ha auf den Parzellen ohne Mulch. Die im Spätsommer einsetzenden Niederschläge (124 mm im August 2020, **Abbildung 2**, S.14) kamen für die Pflanzen zu spät, setzten jedoch die Mineralisierungsprozesse im Boden in Gang, die durch die vorher andauernde Trockenheit gehemmt waren. Besonders in den ungepflügten Varianten waren die Werte sehr hoch (**Abbildung 8**). Vermutlich setzte die Mineralisierung der tiefer bearbeiteten Parzellen schon früher ein. Im darauffolgenden Frühjahr (März 2021) konnten bei der Nachfrucht Weizen Stickstoffverlagerungen (76 kg/ha N_{\min} mit Mulch zur Vorfrucht, 58 kg/ha N_{\min} ohne Mulch zur Vorfrucht) in tiefere Schichten (30-60 cm) festgestellt werden, die jedoch gut durch den Weizen aufgenommen werden konnten. In der Schicht 30-60 cm wurden demnach im September nach der Winterweizenernte in den Varianten mit Mulch 9 kg N_{\min} /ha bzw. in den Varianten ohne Mulch 8 kg N_{\min} /ha gemessen.



Abbildung 8: Stickstoffmineralisierung unter Kartoffel (A) und Mais (B). Besonders in den trockenen Jahren ab 2020 hinterlassen die zwei Kulturen zu hohe, auswaschungsgefährdete Nmin-Mengen im Boden. Bei Kartoffeln sind die hohen Werte auf die Mulchzufuhr zurückzuführen, nicht jedoch bei Mais. Es ist keine klare Tendenz bezüglich der Intensität der Bodenbearbeitung zu erkennen.

Für weitere Aussagen bezüglich der Nährstoffdynamik im Boden wurden 2021 die **Bodenwassergehalte im Feld** unter Mais durchgängig mit TDR-Sonden gemessen sowie in den anderen Versuchsjahren unter Mais, Ackerbohne und Kartoffel mit der N_{\min} -Beprobung gravimetrisch ermittelt. Weder durch die Ausbringung des Transfermulchs noch durch reduzierte Bodenbearbeitung konnte ein höherer Bodenwassergehalt nachgewiesen werden (**Abbildung 9**).

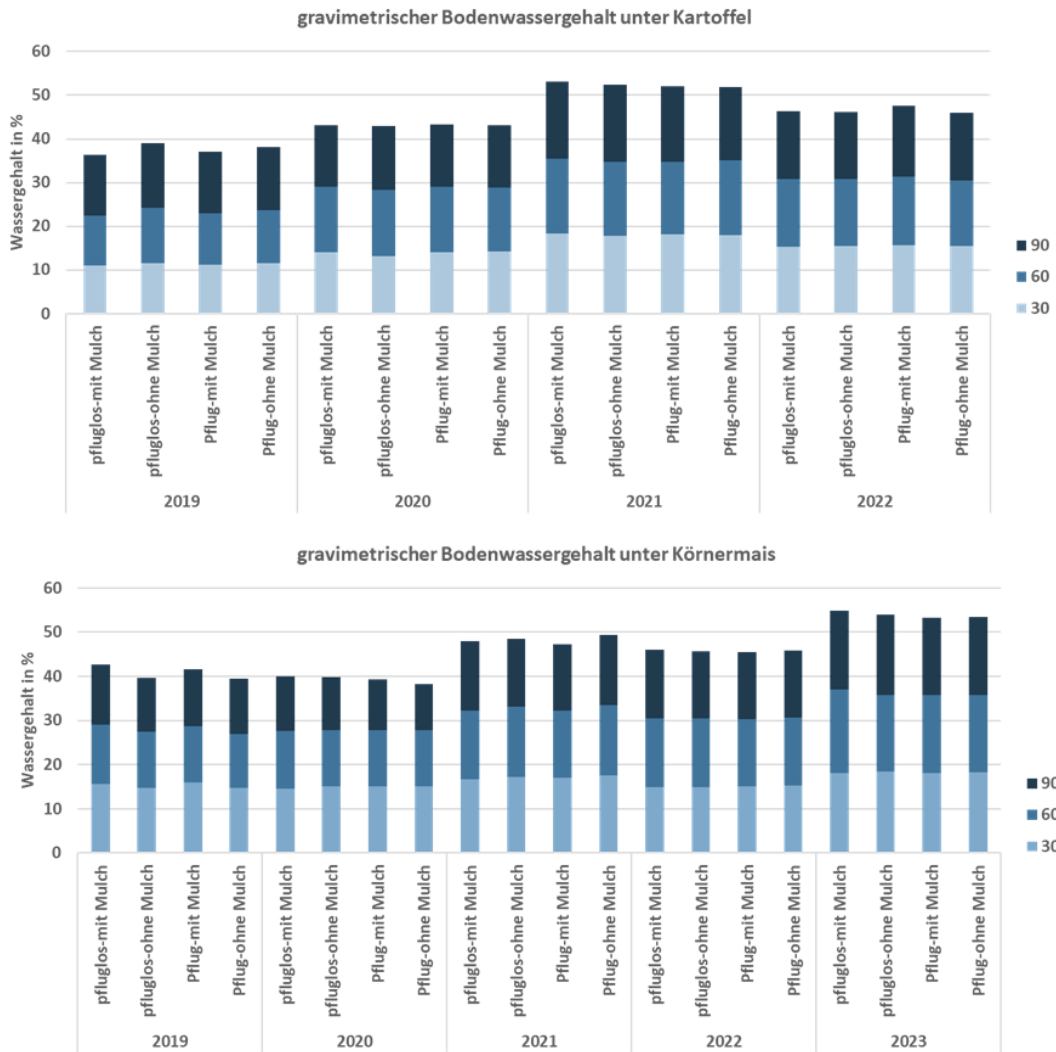


Abbildung 9: Gravimetrischer Bodenwassergehalt unter Kartoffel und Körnermais für die Jahre 2019-2023 gruppiert nach Bodenbearbeitung (pfluglos vs. Pflug) und Mulchanwendung (mit und ohne Mulch).

In Köllitsch traten keine Unterschiede zwischen Frischmulch und Silagemulch in Bezug auf die Maiserträge in den beiden Jahren 2020 und 2021 auf (Daten nicht gezeigt).

Im Gefäßversuch verringerte sich die Verdunstung von Bodenwasser durch eine vollständige Bodenbedeckung mit Mulchmaterial, mit den besten Werten für Stroh (**Abbildung 10**). Die Kleemulchbedeckung stellte zunächst auch eine Verdunstungsbarriere dar, durch die schnelle Zersetzung des Materials war aber ab sieben Wochen nach dem Mulchtransfer die Verdunstungsrate auf dem Niveau der Beikrautbrache, also den Töpfen ohne Bedeckung.

Wie oben erwähnt, stellt der Wasserverbrauch der bewachsenen Gefäße sowohl die direkte Verdunstung (Evaporation), als auch die Transpiration durch die Pflanzen dar. Letztere ist bei stärkerer Biomassebildung erhöht. Der Kleeschnitt liefert den Maispflanzen wichtige Nährstoffe, die sie in Ertrag

umsetzen können. Die Chlorophyllgehalte, die Rückschlüsse auf die Stickstoffversorgung der Pflanzen ziehen lassen, waren zwar bei allen Bodenarten für Pflanzen, die unter Kleemulchauflage wuchsen, höher, aber nicht statistisch absicherbar (Daten nicht gezeigt).

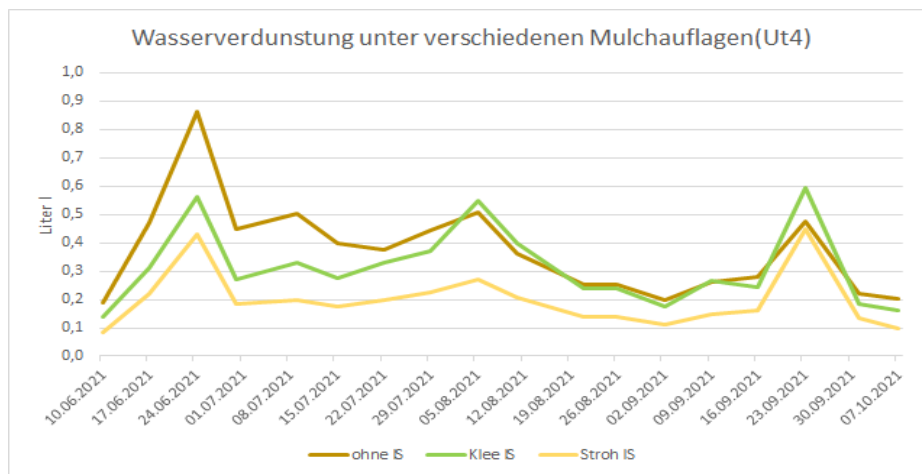


Abbildung 10: Wasserverdunstungskurven unter den Mulchauflagen Klee, Stroh und ohne Auflage in unbewachsenen Gefäßen.

Der Wasserverbrauchskoeffizient zeigt, dass die Maispflanzen mit Kleemulch in schluffigem Boden und lehmigen Sand sowie mit Stroh in Sandböden zur Ertragsbildung die geringste Wassermenge je Einheit Trockenmasse verbrauchten (**Abbildung 11**).

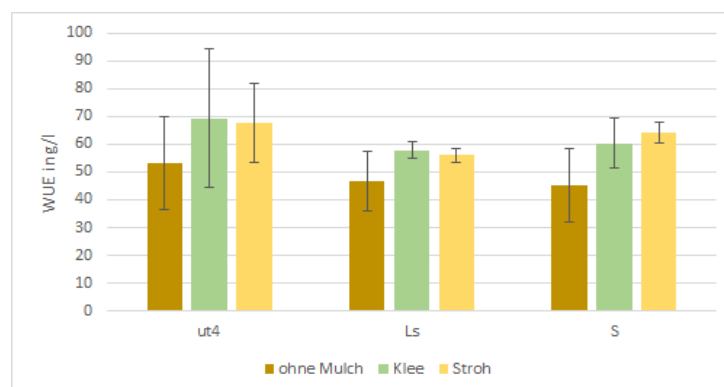


Abbildung 11: Wassernutzungseffizienz (WUE) von Maispflanzen in Abhängigkeit von Bodenart und -bedeckung. ut4 - Tonschluff, Ls - Lehm, S - Sand

4.5 Kann durch Mulchapplikation ein regenerativer Effekt im Boden in Bezug auf Humusaufbau, Bodenleben, und Struktur erzielt werden?

4.5.1 Auswirkungen auf den Gefügeindex (NEB)

Im Durchschnitt variierte der Gefügeindex (GI) für die verschiedenen Varianten im Jahresverlauf zwischen 20 und 60 mit starken Auswirkungen der Witterung auf das Geschehen. Während einerseits schon innerhalb weniger Wochen das Gefüge stark von unterschiedlichen Zwischenfrüchten beeinflusst wurde (**Abbildung 12**), gab es keine einheitliche Wirkung der Zwischenfrüchte. Die höchsten Werte wurden bei Wicke und Wicktriticale sowohl kurz nach der Ansaat am 23.10.2019 als auch vor dem Umbruch am 06.04.2020 in Experiment 1 und in Experiment 2 während Sommer/Herbst 2021 gefunden (**Abbildung 13**).



Abbildung 12: Veränderung des Gefügeindex während des Anbaus der Vornfrüchte. Das Gefüge hat sich entsprechend der Zwischenfrucht nach nur fünf Wochen stark ausdifferenziert.

Während sich der GI im ersten Winter 2019/20 insgesamt verbesserte, blieben im zweiten Winter 2020/21 die Werte unverändert und deutlich unter den Werten des ersten Winters. Nach Kartoffeln in Experiment 2 im Herbst 2021 waren die GIs gleich hoch, unabhängig von den Vorfrüchten, während die Wicktriticale vor Winter 2021/22 in Experiment 3 sich wieder deutlich besser darstellte als die Beikrautbrache. Diese Unterschiede waren aber nach Winter nicht mehr sichtbar (**Abbildung 13 A**). Im Gegensatz zu den Zwischenfrüchten hatten die unterschiedlichen Mulchauflagen Klee gras oder Wicktriticale nur geringe positive Auswirkungen auf das Bodengefüge während der Kartoffelsaison in Experiment 1 (Sommer 2020) aber nicht in Experiment 2 (Sommer 2021). Nach den Kartoffeln waren in beiden Experimenten keinerlei Auswirkungen zu beobachten (**Abbildung 13 B**).

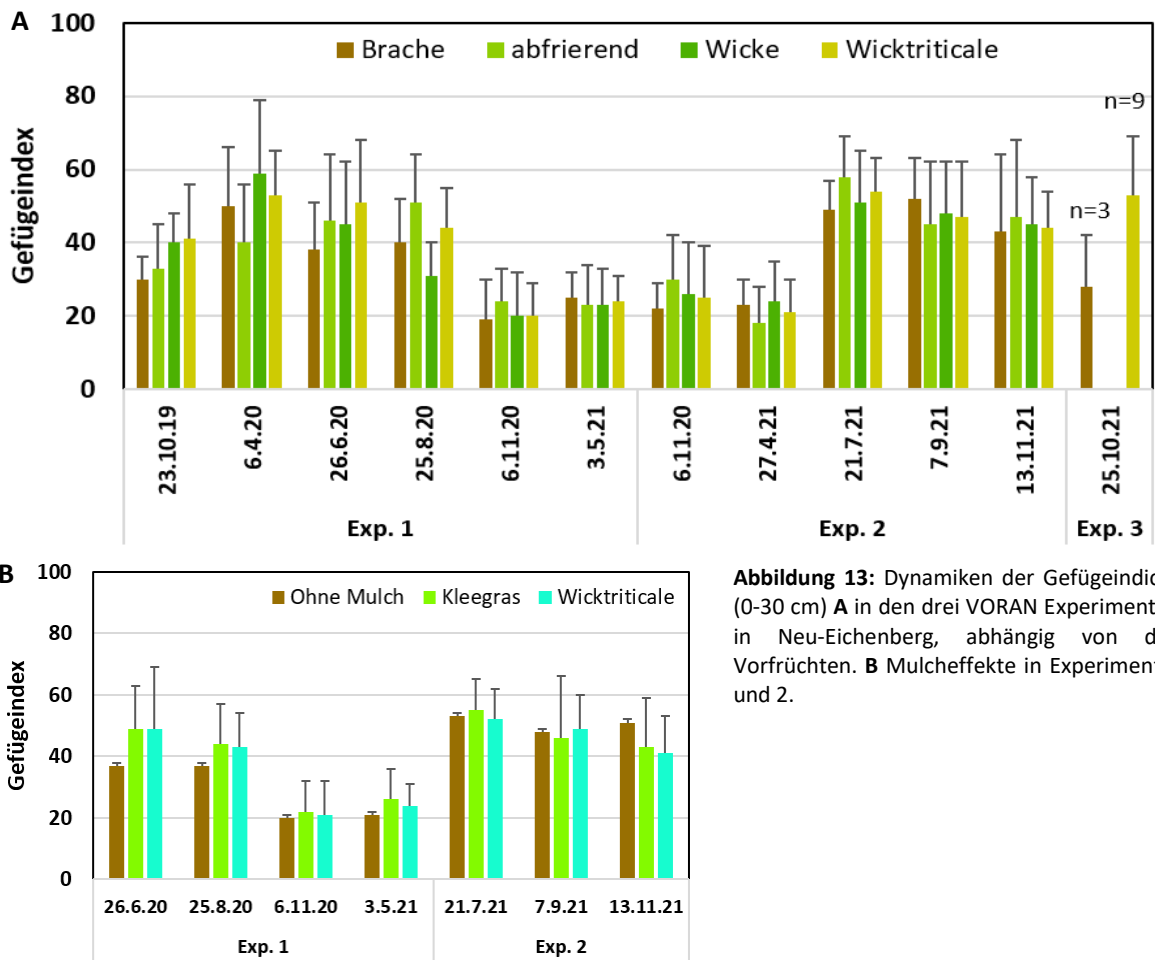


Abbildung 13: Dynamiken der Gefügeindices (0-30 cm) **A** in den drei VORAN Experimenten in Neu-Eichenberg, abhängig von den Vorfrüchten. **B** Mulcheffekte in Experiment 1 und 2.

Bei der Analyse der gekoppelten Varianten in Experiment 2+ und 3 ergab sich kein klar vorteilhaftes Bild für die eine oder andere Behandlungsvariante. Im Jahr 2021 wies die Variante mit Silagedüngung im Damm (Experiment 2+) während des Wachstums der Kartoffeln und bis kurz vor der Ernte einen hohen Gefügeindex auf. Am 07.09.2021 lag er in Silage-Mulch wie bei Wicktriticale-Mulch mit Untersaat bei 61-62, bei Silagedüngung bei 52. Am 13.11.2021 waren alle Varianten des Experiments 2+ mit im Mittel 36 Punkten auf einem vergleichbaren Niveau mit dem Rest von Experiment 2 (Daten nicht gezeigt).

In Experiment 3, das während der extremen Dürre 2022 stattfand, lagen die GI vor Umbruch der Zwischenfrüchte Mitte April 2022 bei ca. 20 recht niedrig und stiegen während der Vegetation Anfang Juli einzig bei Düngung mit Silage kombiniert mit Strohmulch auf über 40. Zur Ernte am 1.9. lagen Silagedüngung mit Wicktriticale Vorfrucht (GI 31) und die mit HMP gedüngte Brache (GI 41) am niedrigsten während alle anderen Varianten bei deutlich über 40 und teilweise über 50 lagen. Auch hier waren im Herbst, am 31.10.2022, die Silage-Mulch Variante mit einem GI von 50 erneut vergleichbar mit den beiden Kleegras-Mulch Varianten mit einem GI von 54 bzw. 41. Die Variante mit Wicktriticale-Mulch ohne Untersaat hatte zu diesem Zeitpunkt einen GI von 36.

Anders als beim Gefügeindex wurden bei der **Untersuchung der Oberfläche** jahresabhängig sehr große Unterschiede zwischen den Mulchvarianten und der Kontrolle gemessen. So wurde im Mittel die Oberfläche ohne Mulch mit 52 Punkten bewertet, während es mit Mulch 76 waren. Zu allen untersuchten Zeitpunkten war mit Mulchauflage die Oberflächenstruktur besser als ohne Mulchauflage, wobei vor allem im Hochsommer die Unterschiede sehr deutlich waren (**Abbildung 14**). In Experiment 3 war dieser Effekt auch nach der Ernte der Kartoffeln noch feststellbar. Ohne Mulch lag die Oberflächennote am 31.10.22 bei 59; mit Klee gras-Mulch bei 75 und Wicktriticale-Mulch bei 68. Dies weist auf ein deutlich verbessertes Infiltrationsvermögen und eine verbesserte Aggregatstabilität hin. Diese Beobachtung deckt sich sehr gut mit der verringerten Erosion durch Mulchauflagen, die durch das LFLUG gemessen wurde (Kap. 4.5.2 S. 33). Anders als der Mulch hatten die verwendeten Zwischenfrüchte keinen messbaren Einfluss auf die Oberfläche.

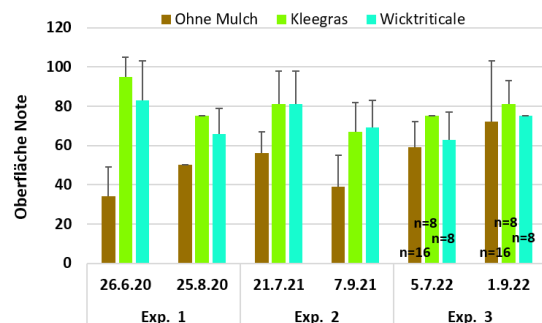


Abbildung 14: Links: **Wassererosion nach Starkregen:** Die gesteigerte Aggregatstabilität durch die organische Düngung mit Mulch zeigt sich auch am Ende der Saison, wie hier am Beispiel eines Starkregenereignisse im August 2015. Trotz geringer Bodenbedeckung mit Mulch ist der Bodenabtrag durch Wassererosion (Bildmitte) stark verringert. Rechts: **Oberflächenbonitur** während der Vollvegetation und vor der Ernte in den Experiment 1-3 in den Mulchvarianten.

4.5.2 Auswirkung der Bodenbearbeitung und von Mulch auf die Erosionsneigung (LfULG)

Abhängig von Jahr und Hauptfrucht variierte das Infiltrationsverhalten sowie die Menge an abgetragenem Bodenmaterial (Sedimentkonzentration) in den unterschiedlichen Behandlungen. Bei Kartoffeln war die Infiltration von Regenwasser in den gepflügten Böden am geringsten und schon nach 17 Minuten nahm die Infiltrationsleistung dramatisch ab (**Abbildung 15 A**), gekoppelt mit dem Einsetzen des Bodenabtrags (**Abbildung 15, B**). Bereits pfluglose Bearbeitung ohne Mulch milderte die Infiltrationsproblematik deutlich, allerdings wurde der Bodenabtrag mit der Zeit so stark wie mit dem Pflug. Bei beiden Bodenbearbeitungssystemen war die Infiltrationsleistung durch Mulch massiv erhöht, während praktisch kein Bodenabtrag zu verzeichnen war (**Abbildung 15**).

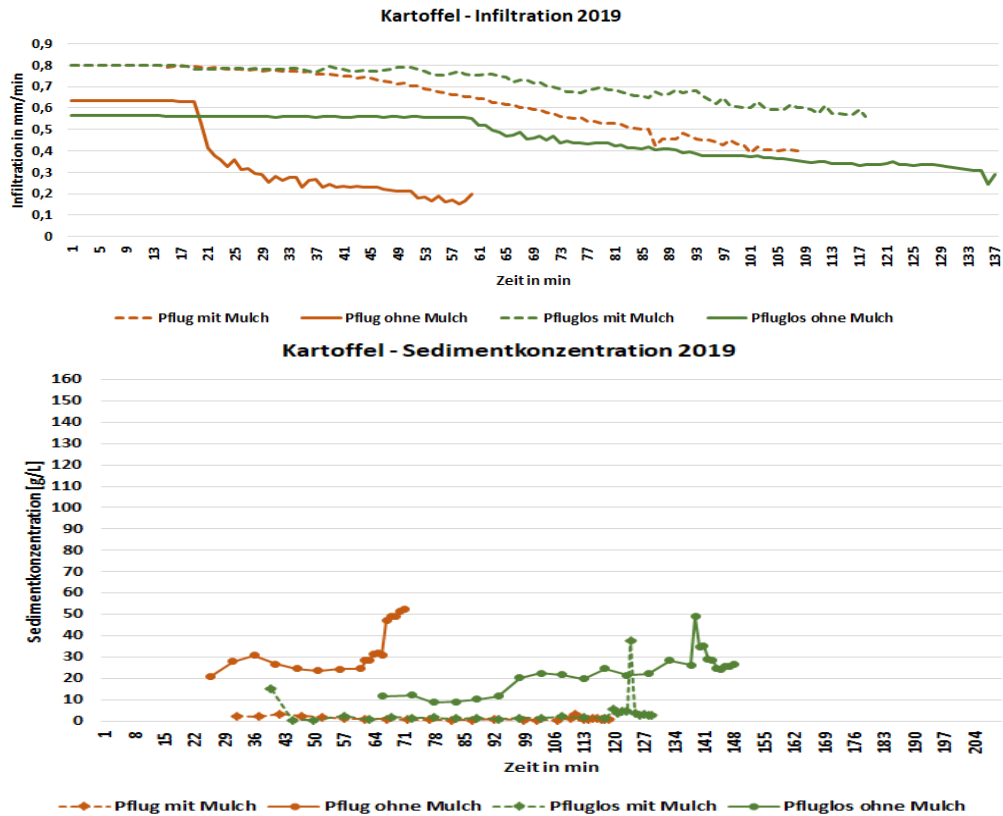


Abbildung 15: Infiltration (A) und Sedimentkonzentration (B) im Jahr 2019 bei Kartoffeln.

Während die Infiltrationsleistung bei Ackerbohnen deutlich höher war und der Abtrag entsprechend geringer, senkte auch hier die Mulchaufgabe den Abtrag deutlich, kombiniert mit pfluglos praktisch auf Null (Abbildung 16). Die Unterschiede bei der Infiltration waren im Mais deutlich geringer; der Bodenabtrag war einerseits durch die pfluglose Bearbeitung massiv verringert, bei Mulch gab es keinen Abtrag (Abbildung 17).

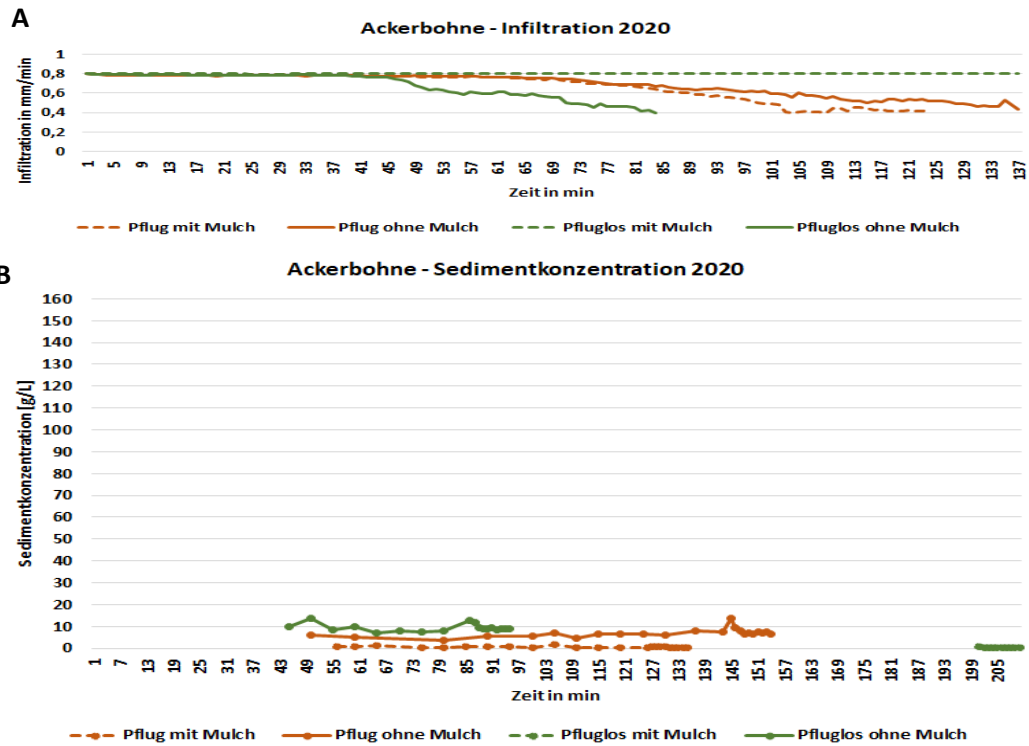


Abbildung 16: Infiltration (A) und Sedimentkonzentration (B) im Jahr 2020 bei Ackerbohnen.

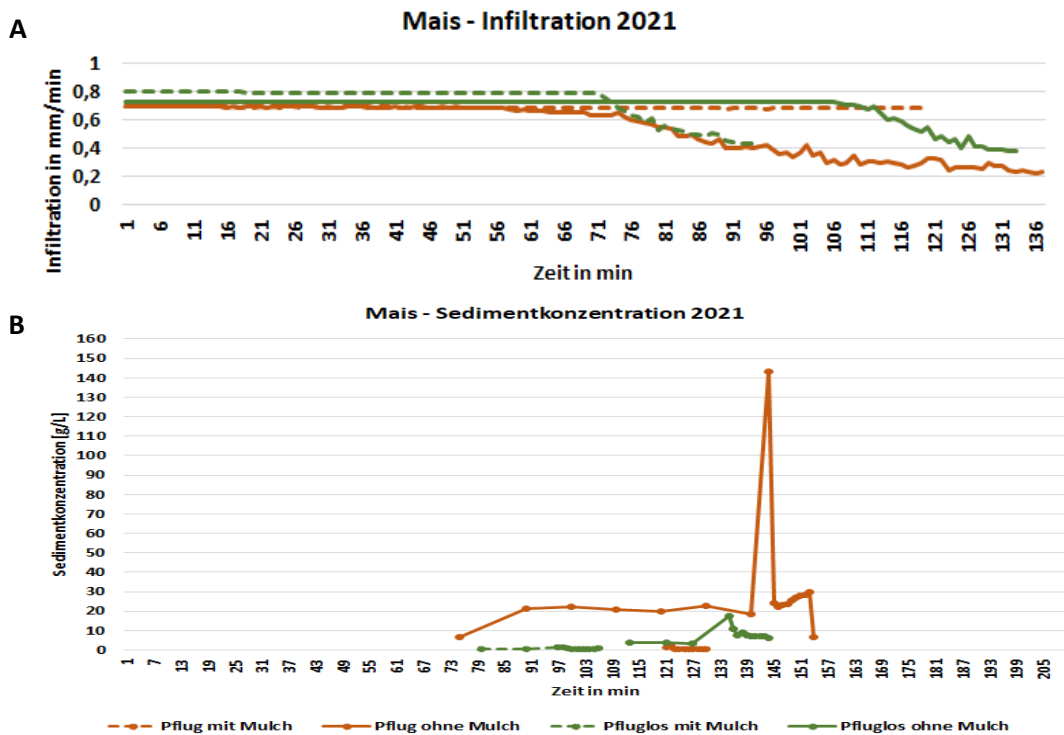


Abbildung 17: Ergebnisse der Infiltration (A) und der Sedimentkonzentration (B) im Jahr 2021 auf dem Maisschlag.

4.5.3 Auswirkung des Anbausystems auf die Humusgehalte (LFULG)

Beim jährlich gemessenen Gehalt an organischem Kohlenstoff (C_{org}) in den oberen 20 cm des Bodens waren kaum Unterschiede messbar. Einzig bei Kartoffeln lagen die Werte der ungepflügten Variante ohne Mulchauflage 2019 mit 1,27 % (=2.2 % Humusgehalt) deutlich höher als in allen anderen Varianten (ca 1,9 % Humusgehalt). Die C_{org} -Werte in 2020 und 2021 lagen in den ungemulchten Varianten jedoch deutlich tiefer, während die Gehalte durch die Mulchgabe weniger Schwankungen unterlagen. Durch die höheren Niederschläge und geringeren Temperaturen im Versuchsjahr 2021 stiegen die Werte bei pflugloser Bodenbearbeitung geringfügig sowohl mit als auch ohne Mulch. Wichtig ist, dass im Dürrejahr 2022 sowohl die pfluglose Bearbeitung als auch die Mulchapplikation den Humusgehalt verbessern konnte. Der Unterschied im Humusgehalt gepflügt ohne Mulch zu pfluglos mit Mulch betrug wie 2019 wieder 0,3 % (**Abbildung A 5**, dargestellt sind Humusgehalte = $C_{org} * 1,73$).

4.5.4 Auswirkung der Anbaumaßnahmen auf die Bodenmikrobiologie (NEB)

Mikrobiologische Parameter wurden detailliert für den Faktorvergleich Vorfrucht Beikrautbrache versus Wicktriticale entweder mit Kleeegrasmulch oder gedüngt mit Haarmehlpellets (Varianten 1-4, **Tabelle 1**, S.6) in allen drei VORAN Experimenten untersucht. Da im ersten Jahr kaum Unterschiede in diesen Varianten auftraten (Daten nicht gezeigt), wurden einige Zusatzvarianten in Experiment 2+ sowie in Experiment 3 mit untersucht. Zusätzlich ergab sich die Möglichkeit, im Langzeitversuch AKHWA in dem seit 12 Jahren die Faktoren pfluglos / gepflügt, mit und ohne Mulch und mit Kompostgaben versus P und K Ausgleichsdüngung verglichen werden, das Fruchtfolgeglied Kartoffel im Jahr 2022 in einer Reihe unterschiedlicher Varianten zu begleiten. Auch in Experiment 2 gab es bei Wicke und Wicktriticale weder nach Vorfruchtaussaat im Herbst noch im folgenden Frühjahr kurz vor Umbruch messbare Unterschiede in der mikrobiellen Biomasse und Basalatmung im Vergleich zur Beikrautbrache (nicht gezeigt). Erst nach Umbruch der Vorfrüchte, deutlich nach der Mulchabbringung zur Kartoffelblüte, konnten Unterschiede zwischen den Behandlungen in der oberen Tiefenstufe 0-15 cm gemessen werden. Während sich die Dynamik bei Winterwicke als Zwischenfrucht ohne Mulch, mit Kleeegras- oder Wicktriticale-Mulch sowie mit Untersaat ähnlich wie die vier anderen Varianten verhielt, wirkte sich die Düngung mit Silage massiv auf die mikrobielle Biomasse zum Zeitpunkt der Kartoffelblüte mit 1109 $\mu\text{g C/g Boden}$ (SE = 220) im Vergleich zur Wicke-Vorfrucht ohne Mulch (XVI, 401 $\mu\text{g C/g Boden}$, SE = 34) und der Kontrolle (I, 531 $\mu\text{g C/g Boden}$, SE = 52) um 177, bzw. 109 % aus (**Abbildung 18 A**). Diese Effekte waren in der Nachfrucht nicht mehr sichtbar und auch in Experiment 3, im Dürrejahr 2022, war der Silage-Effekt nicht anders als der der anderen Behandlungen, die sich aber deutlich besser als die Behandlung Beikrautbrache ohne Mulch darstellten (**Abbildung 18 A**).

Die Messungen der Basalatmung, die als Kenngröße der mikrobiellen Aktivität erhoben wurde, folgten in allen drei Jahren denen der mikrobiellen Biomasse. So wird die Basalatmung in Zeiten intensiver

Umsetzungsprozesse im Boden erhöht, wie beispielsweise die Umsetzung der Vorrucht in der Kartoffelblüte und der Mulchreste in der Nachfrucht. Erwartungsgemäß fand diese Erhöhung nur in der oberen Bodenschicht (0-15 cm) statt (nicht gezeigt, siehe letzter Bericht).

Im Langzeitversuch AKHWA wurde ebenfalls zur Kartoffelblüte die mikrobielle Biomasse gemessen. Zusätzliche Behandlungen waren die Bodenbearbeitung mit dem Pflug, Kompostgabe und Vitalisierung mit Komposttee als Blattapplikation sowie der Einsatz von Fermenten zur Flächenrotte und das Einspritzen von Ferment in den Unterboden der reduziert bearbeiteten Varianten bei der Tiefenlockerung, wie von Näser (2020) beschrieben. Transfermulch war wie in Experiment 3 Wicktriticale-Mulch, allerdings mit einem C:N Verhältnis von 40. Obwohl in den Jahren zuvor bei im Herbst genommenen Proben immer eine höhere mikrobielle Biomasse in der oberen Bodenschicht (0-10 cm) bei reduzierter Bearbeitung im Vergleich zum Pflug festgestellt wurde (nicht gezeigt), war dies im Dürresommer 2022 nicht der Fall. Auch die anderen Behandlungen hatten keinen Einfluss auf die mikrobielle Biomasse (**Abbildung 18 A rechts**).

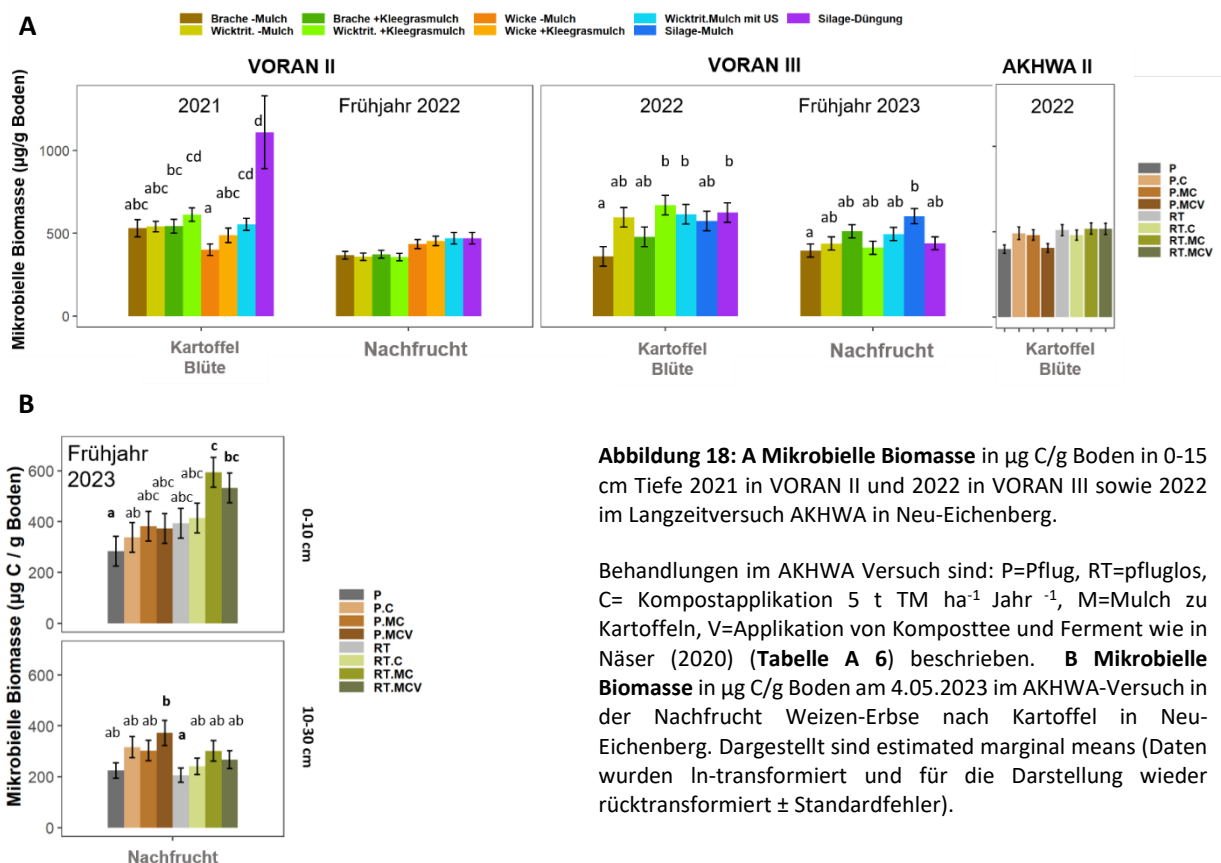


Abbildung 18: A Mikrobielle Biomasse in $\mu\text{g C/g}$ Boden in 0-15 cm Tiefe 2021 in VORAN II und 2022 in VORAN III sowie 2022 im Langzeitversuch AKHWA in Neu-Eichenberg.

Behandlungen im AKHWA Versuch sind: P=Pflug, RT=pfluglos, C= Kompostapplikation $5 \text{ t TM ha}^{-1} \text{ Jahr}^{-1}$, M=Mulch zu Kartoffeln, V=Applikation von Komposttee und Ferment wie in Näser (2020) (**Tabelle A 6**) beschrieben. **B Mikrobielle Biomasse** in $\mu\text{g C/g}$ Boden am 4.05.2023 im AKHWA-Versuch in der Nachfrucht Weizen-Erbse nach Kartoffel in Neu-Eichenberg. Dargestellt sind estimated marginal means (Daten wurden ln-transformiert und für die Darstellung wieder rücktransformiert \pm Standardfehler).

Anders stellte sich eine weitere Untersuchung der Nachfrucht Weizen in AKHWA I am 4.05.2023 dar (**Abbildung 18 B**). In der oberen Bodenschicht, diesmal 0-10 cm, wiesen die reduziert bearbeiteten Varianten mit Kompost, Mulch und Vitalisierung (RT.MK = 593, RT.MKV = 532 $\mu\text{g C/g}$ Boden) eine signifikant höhere mikrobielle Biomasse auf als die Variante Pflug ohne weitere Behandlungen (P = 284 $\mu\text{g C/g}$ Boden). In den unteren 10-30 cm jedoch kehrte sich das Bild um: Die Behandlung Pflug mit

Kompost, Mulch und Vitalisierung (P.MKV) hatte eine signifikant höhere Biomasse mit 372 µg C/g Boden als die Behandlung reduzierte Bearbeitung ohne weitere Behandlungen (RT) mit 206 µg C/g Boden (**Abbildung 18 B**). Dies gibt die Umsetzung der Mulchreste in der Nachfrucht und deren deutliche Stratifikation im Boden durch die Bearbeitungsmaßnahmen wieder. Damit kommt es sowohl beim Pflügen als auch bei reduzierter Bodenbearbeitung durch die Anwendung von Transfermulch zu einer Förderung der Mikroorganismen. Die Vitalisierung mit Komposttee und Ferment zeigte keinen zusätzlichen Effekt.

Mit dem **Ergosterolgehalt** kann auf die Menge an saprotrophen Pilzen im Boden geschlossen werden (Joergensen & Wichern, 2008), die vor allem schwer abbaubare organische Materialien mit hohem Ligninanteil und weitem C:N Verhältnis umsetzen. Grundsätzlich lagen die Gehalte in den oberen 15 cm Boden ca. drei Mal so hoch wie in der Unterkrume (15-30 cm). Ebenfalls lagen sie zur Kartoffelblüte im Sommer 2020 in Experiment 1 deutlich höher, als im Sommer 2021 in Experiment 2. Auch wenn zu fast keinem der untersuchten Termine statistisch absicherbare Unterschiede im Ergosterolgehalt gemessen wurden, sticht heraus, dass in beiden Experimenten nach Mulch die Gehalte deutlich höher lagen, (**Abbildung A 6**). Im Frühjahr in der Nachfrucht ist der Anteil an labilem Kohlenstoff aus Zwischenfrucht und Mulch bereits abgebaut und nur die schwer abbaubaren Anteile sind noch vorhanden. Entsprechend betrug der Ergosterolgehalt 1,06 µg/g Boden in der Variante Beikrautbrache ohne Mulch und 1,41 µg/g Boden in der Variante Beikrautbrache mit Klee gras-Mulch was einer Erhöhung durch den Mulch um 33 % entspricht.

Da der Mulch die Pflanzenernährung verändert, wurde in denselben Behandlungen, in denen mikrobielle Biomasse untersucht wurde auch Besiedelung der Wurzeln mit **Mykorrhiza** untersucht. Am meisten fällt auf, dass im Dürresommer 2022 (Nachfrucht Exp. 2 und Kartoffelblüte Exp. 3) die Mykorrhizierungsraten mit über 50 % fast verzehnfacht erscheinen im Vergleich zu allen anderen Messterminen mit Ausnahme Frühjahr 2021 (**Abbildung 19**). Hier ist jedoch der Tatsache Rechnung zu tragen, dass unterschiedliche Personen die Bonituren in den unterschiedlichen Jahren vorgenommen haben, was einen Vergleich zwischen den Jahren erschwert und große Vorsicht ist geboten.

Die Unterschiede zwischen den Behandlungen innerhalb der Jahre waren eher gering, wenn auch mitunter signifikant. Während in Experiment 1 und 2 zur Kartoffelblüte die Mykorrhiza durch Klee grasmulch nach Wicktriticale Vorfrucht signifikant reduziert war, lag im Dürresommer 2022 die Variante Wicktriticale ohne Mulch (54,3 % Mykorrhizierung) zwar niedriger als mit Mulch (61,1 %) aber statistisch nicht absicherbar. Absicherbar niedriger als Wicktriticale mit Mulch waren nur Beikrautbrache-Vorfrucht mit Klee gras-Mulch (50,9 %) und Wicktriticale- Vorfrucht und Wicktriticale-Mulch mit Untersaat (50,8 %) in der Nachfrucht 2023 (**Abbildung 19**). Letztere hatte auch den geringsten Kartoffelertrag (**Abbildung 4**).

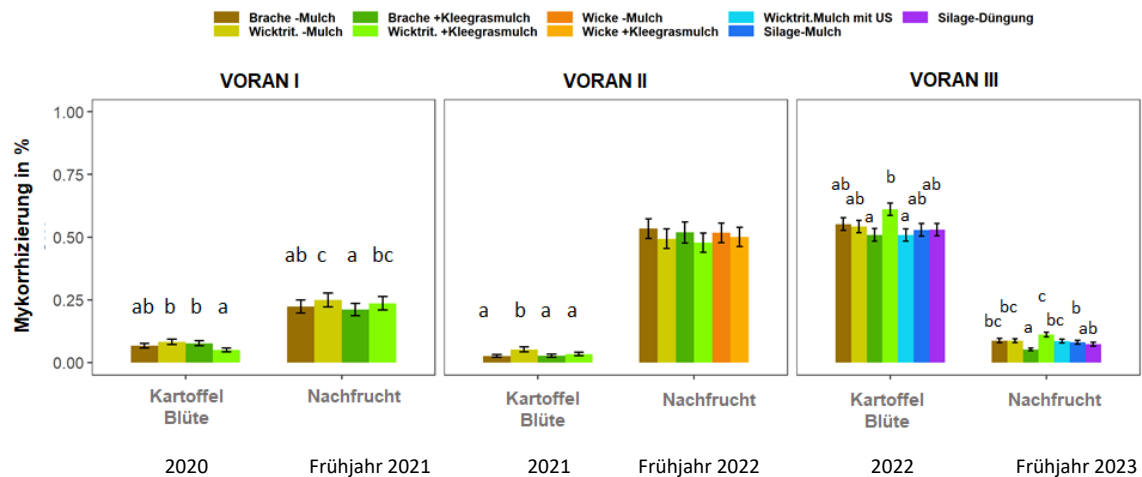


Abbildung 19: Mykorrhizierung in % in Abhängigkeit der Varianten und Probenahmezeitpunkte in den VORAN-Exaktversuchen in Neu-Eichenberg. Dargestellt sind rücktransformierte estimated marginal means und Standardfehler nach einem gemischten Modell mit binomial Verteilung. Signifikant unterschiedliche Werte innerhalb eines Probenahmetermins sind mit unterschiedlichen Buchstaben gekennzeichnet.

In der Folgefrucht stand Weizen als Hauptkultur in Experiment 1 und eine Triticale-Zwischenfrucht vor Mais in Experiment 2 und 3. In Experiment 1 steigerte sich die Mykorrhizierung um das 5-fache und es lagen positive Kleegras-Mulch-Effekte vor. In Experiment 2 verzehnfachte sich die Mykorrhizierung ohne Unterschiede zwischen den Varianten. In Experiment 3 brachen die Mykorrhizierungsraten komplett ein. Auf dem niedrigen Niveau allerdings hatte wie in der Kartoffelblüte 2022 Wicktriticale mit Kleegras-Mulch mit 11,2 % eine höhere Mykorrhizierung als Beikrautbrache mit Kleegras-Mulch (5,2 %). Auch bei Silage-Mulch und -düngung lagen die Werte hoch (**Abbildung 19**).

4.5.5 Einfluss der Anbaumaßnahmen auf die Bodenfauna NEB und LFULG

Im Exaktversuch in Neu-Eichenberg wurden im Frühjahr und Herbst vor und nach dem Anbau von Kartoffeln hauptsächlich endogäische **Regenwurmarten**, *Aporrectodea rosea* und *Apporectodea caliginosa*, gefunden, wobei Jungtiere 60-98 % der Gesamtzahl ausmachten. Die höchste Anzahl in Experiment 2 und 3 wurde im Frühjahr nach der Zwischenfrucht vor den Kartoffeln gefunden (keine Daten für Exp. 1), nach Kartoffeln nahmen die Regenwürmer ab, um dann über Winter wieder zuzunehmen. Während des Vorfruchtanbaus war die Anzahl juvenile und adulte Würmer in der Wicktriticale konsistent höher als in der Beikrautbrache, jedoch nicht signifikant. Das Muster erhielt sich in 2020 und 2021 ohne Mulch bis in den Herbst. Der Mulch wirkte sich abhängig vom Jahr sehr unterschiedlich aus. Nach Kartoffelanbau mit Kleegrasmulch kam es im Frühjahr in Experiment 1 zu einer signifikant höheren Anzahl an juvenilen Regenwürmern für die Beikrautbrache-Vorfrucht mit Kleegras-Mulch (237 Individuen/m²) im Gegensatz zu Beikrautbrache ohne Mulch (57 Individuen/m²). In Experiment 2 und 3 unterschieden sich diese Varianten nicht. In der Nachfrucht in Experiment 3 wurden in der Variante Wicktriticale-Mulch mit Untersaat (51 Individuen/m²), signifikant weniger juvenile Regenwürmer als in Beikrautbrache mit Kleegras-Mulch (139 Individuen/m²) und Silage-Mulch (115

Individuen/m²) gefunden. Die Bedingungen zum Schlüpfen der Regenwürmer waren möglicherweise besser bei Mulch mit niedrigem C:N-Verhältnis. Das C:N-Verhältnis des Wicktriticale-Mulchs war höher als das des Klee gras-Mulchs und der Silage (**Tabelle 4, S.15**).

Am LFULG sind die Regenwurmdaten aufgrund mangelnder Wiederholungen (Arbeitsbeschränkung wegen COVID-19) und methodischer Veränderungen über die Zeit wegen mehrmaligen Personalwechsel nicht valide verrechenbar. Festzuhalten ist, dass bei Kartoffeln keine Änderungen durch Transfermulcheinsatz sichtbar wurden. Im Oberboden im Winterweizen der nicht gepflügten Varianten wurde ein höherer Regenwurmbesatz in beiden Versuchsjahren notiert. Im Mais wurde ein höherer Besatz in allen drei Schichten in den ungepflügten Varianten mit Mulchauflage registriert, der im Vergleich zur Kartoffel insgesamt deutlich höher war. Dieser ist unter anderem mit der einjährigen Bodenruhe unter Klee vor Mais zu begründen. Diese Ergebnisse decken sich mit den Untersuchungen der Regenwürmer in Neu-Eichenberg, wo auch erst in der Nachfrucht Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt werden konnten.

In NEB betrug im Jahr 2021 (Experiment 2) die **Fraßaktivität** der Bodenmakro- und Mesofauna, gemessen mit den Bait-lamina Tests, im Mittel (0-7,5 cm) 25 % (± 17 %) bei der Kontrolle ohne Mulch. Die Aktivität war ähnlich in allen anderen Behandlungen außer bei der Silagedüngung, die mit 61 % (± 19 %) mehr als doppelt so hoch lag (**Abbildung 20 A, B**).

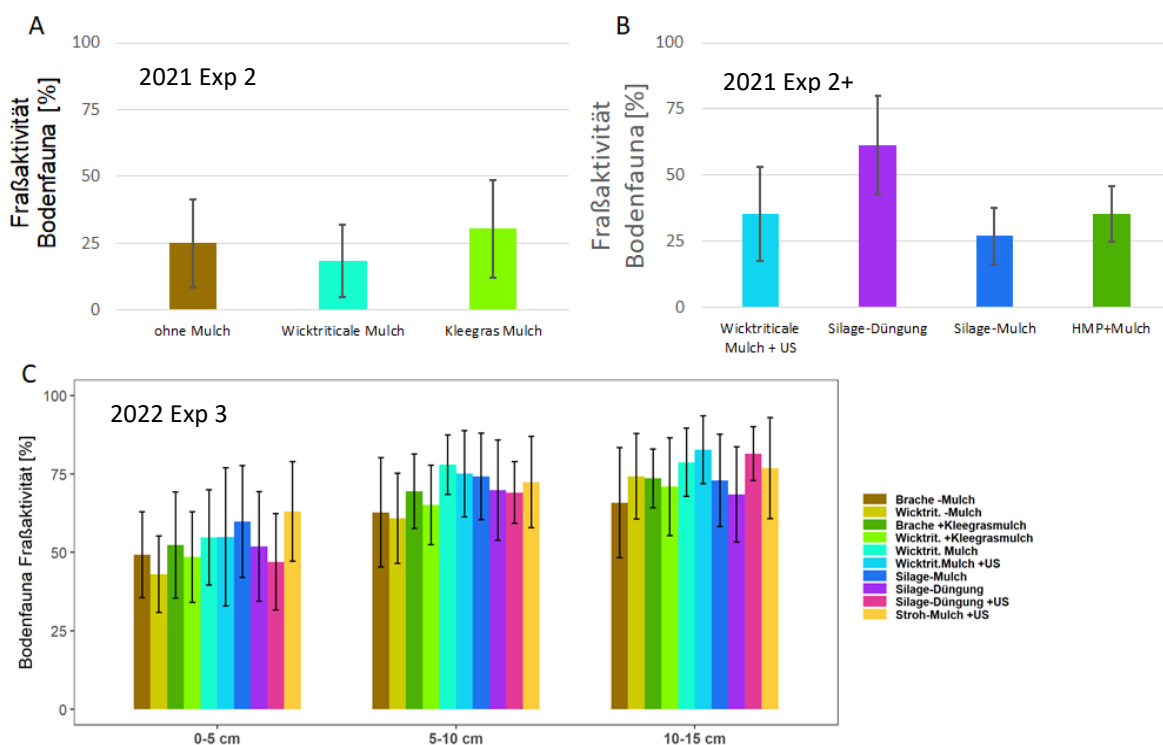


Abbildung 20: Fraßaktivität der Bodenfauna gemessen 2021 mit Bait-lamina Tests (0-7,5 cm Tiefe) (A, B) und 2022 mit Baitplates (0-15 cm) (C). Mittelwerte und Standardabweichungen. HMP = Haarmehlpellets, US = Untersaat.

In Experiment 3 konnten keine Unterschiede zwischen den Behandlungen in der Fraßaktivität in drei Bodentiefen (0-5, 5-10, 5-15 cm), gemessen mit den Baitplates, festgestellt werden. In der oberen Bodenschicht (0-5 cm) reichte die Fraßaktivität von 43 % (± 12 %) in Wicktriticale ohne Mulch bis 63 % (± 16 %) in Stroh-Mulch mit Silagedüngung. Anders als erwartet, stieg die Aktivität mit der Tiefe an. In der unteren Schicht (10-15 cm) reichte die Aktivität von 66 % (± 18 %) in Beikrautbrache ohne Mulch bis zu 83 % (± 11 %) in Wicktriticale-Mulch mit Untersaat (**Abbildung 20 C**). Die Anwendung fand in Experiment 3 vom 15. bis 30. Juli 2022 während einer extrem heißen und trockenen Zeit statt. Es ist davon auszugehen, dass die obere Bodenschicht trotz Mulchauflage zu trocken und warm für Bodentiere gewesen ist und sie sich in tiefere Schichten zurückgezogen haben.

4.6 Können Effekte auf Schaderreger und Beikräuter durch das Mikroklima, die Nährstoffversorgung oder Nützlinge erklärt werden?

4.6.1 Temperaturen im Bestand und im Damm

In allen Versuchen in Neu-Eichenberg wurden im Pflanzenbestand etwas höhere mittlere Tagestemperaturen (5-21 Uhr) in den Varianten mit Mulch im Vergleich zur Variante ohne Mulch gemessen, während es im Damm unter Mulch zu reduzierten Temperaturen kam (**Abbildung A 7**). Nachts war es im Bestand aufgrund der höheren Rückstrahlung vom warmen Boden in den ungemulchten Varianten wärmer, wohingegen es im Damm weiterhin mit Mulch kühler war. Tagsüber waren im Verlauf der Kartoffelsaison in 2020 die Temperaturen der Mulchvarianten in der Kultur oft um bis zu 2°C höher und im Damm zwischen 1°C und 3°C reduziert (**Abbildung A 7 A**). Im Jahr 2021 wurden vom 16.06. bis 20.06.2021 tagsüber im Bestand bei der Variante ohne Mulch von 26 bis 32°C als mittlere Tagestemperaturen gemessen, während es über Wicktriticale-Mulch in dem Zeitraum über 1 °C wärmer war. Wie im Vorjahr waren die Temperaturen unter Wicktriticale-Mulch im Damm um bis zu 3°C geringer waren als ohne Mulch (**Abbildung A 7 B**). Die anderen Mulcharten, Klee gras-Mulch und Wicktriticale-Mulch mit Untersaat, konnten an diesen Tagen die Temperaturen im Damm ebenfalls verringern. Dagegen waren die Temperaturen der Variante mit Silagedüngung sowohl im Bestand als auch im Damm denen der Kontrolle ohne Mulch sehr ähnlich.

In Experiment 3 wurde am 18.06.2022 in der Kontrolle im Bestand eine mittlere Tagestemperatur von 32,5°C gemessen, während es im Wicktriticale-Mulch 3 °C kühler war (**Abbildung A 7 C**). Im Damm wurde die Temperatur unter Klee gras-Mulch (20°C) im Vergleich zur Kontrolle ohne Mulch (23,8°C) um fast 4°C reduziert und unter Wicktriticale-Mulch (22,5°C) nur um 1°C (**Abbildung A 7 C**). Beide Mulcharten konnten über die Saison die Temperatur im Damm im Mittel um 1-3°C verringern.

Tagsüber war die relative Luftfeuchtigkeit aufgrund der höheren Lufttemperaturen und weil trockener Mulch hygroskopisch wirkt, in den Varianten mit Mulch niedriger. Nachts waren die Werte ähnlicher oder bei Mulch aufgrund der niedrigeren Temperaturen etwas höher.

4.6.2 Beikrautdeckungsgrade in Kartoffel und Nachfrüchten

Die Zwischenfrüchte vor Kartoffeln in **Neu-Eichenberg** hatten einen stärkeren Einfluss auf die Unterdrückung von Wurzelbeikrauttrieben als der applizierte Transfermulch. Insbesondere die Vorfrucht Winterwicke unterdrückte den Zuwachs der Triebe (**Abbildung 21**). Insgesamt jedoch kann das System Zuwächse der Wurzelbeikräuter nicht verhindern.



Abbildung 21: Zuwächse von Wurzelbeikrauttrieben in Abhängigkeit der Versuchsfaktoren Zwischenfrucht und Transfermulch. In den Balken werden die Mittelwerte angegeben, die grauen Linien illustrieren die Standardabweichung in positiver Richtung. In der Abbildung sind die mittleren Zuwächse während des Wachstums der Kartoffeln in den Jahren 2020 und 2021 dargestellt

Dagegen zeigte sich, dass die annualen Beikräuter durch den Mulch reguliert werden können. Alle untersuchten Mulchvarianten sind zu BBCH 30-40, kurz vor Reihenschluss der Kartoffel, im selben Maße in der Lage Beikräuter zu reduzieren wie dies ohne Mulch, aber mit regelmäßigen Hackdurchgängen möglich ist. Das bedeutet, dass sich durch das Mulchen Hackdurchgänge einsparen lassen. Somit entsteht durch das Mulchsystem Bodenschonung ohne Einbußen von Pflanzenschutz. In Experiment 1 wurden unmittelbar vor dem Reihenschluss am 01. Juli 2020 bei der Anwendung von zwei verschiedenen Mulcharten (Klee gras und Wicktritticale) und Kontrolle Deckungsgrade der Beikräuter ermittelt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Deckungsgrade ohne Mulch bei 2,9 %, mit Klee gras-Mulch bei 3,6 % und mit Wicktritticale-Mulch bei 5,4% lagen. In Experiment 2 wurden am 05. Juli 2021 erneut Deckungsgrade der Beikräuter kurz vor dem Reihenschluss erfasst. Dabei wurde festgestellt, dass die Deckungsgrade bei allen Varianten recht ähnlich waren: sie lagen ohne Mulch bei 2,0 %, mit Klee gras-Mulch bei 1,7% und mit Wicktritticale-Mulch ebenfalls bei 1,7%. Im Jahr 2022 wurde in Experiment 3 der Deckungsgrade der Beikräuter kurz vor Reihenschluss am 29. Juni ermittelt. Ohne Mulch lag der Deckungsgrad bei 5,9 %, mit Klee gras bei 4,88 % und mit Wicktritticale Mulch bei 7,5 %, wobei es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Behandlungen gab (**Abbildung 22**).

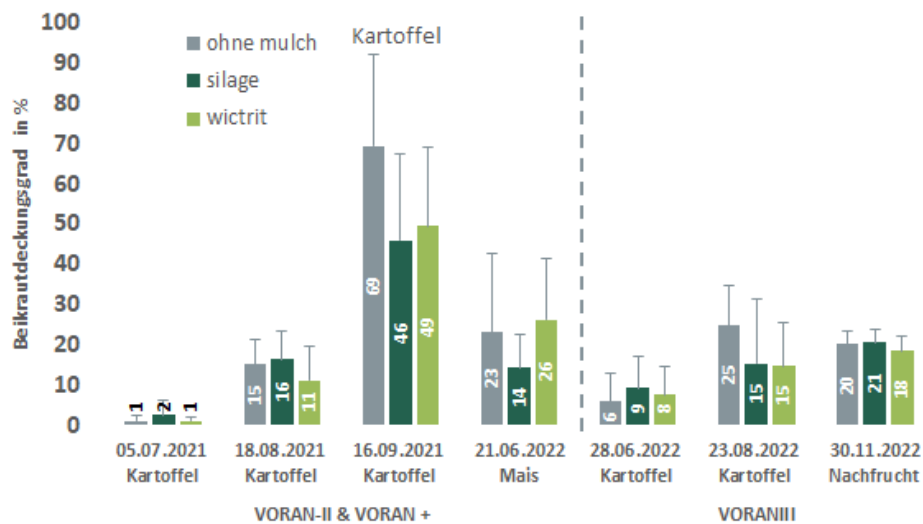


Abbildung 22: Beikrautdeckungsgrad (%) in Experiment 2 und 3, sowie dem Zusatzversuch Experiment 2+ 2021. Dargestellt sind mittlere Werte für die Kontrolle (ohne Mulch), die Variante mit Silage-Mulch (silage), sowie mit Wicktriticale-Mulch (wictrit).

Erst nach dem Abschlägeln des Kartoffelkrautes kann die Wirkung des Mulchs zur Beikrautunterdrückung sicher beurteilt werden. In allen Versuchsjahren wurde 1,5 Monate nach der ersten Untersuchung nach dem Abschlägeln bzw. Absterben des Krautes erneut die Beikräuter erfasst. Hier zeigte sich in zwei der drei Experimente eine signifikante Reduktion der Spätverunkrautung durch die Mulchanwendung. Am 16. August 2020 lagen in Experiment 1 die Deckungsgrade ohne Mulch bei 15,9 %, mit Klee gras-Mulch bei 24,8 % und mit Wicktriticale-Mulch bei 20,7 %. Diese Steigerung war nicht statistisch signifikant (Daten nicht gezeigt). In den Versuchsjahren 2021 und 2022 zeigte sich ein ähnliches Bild wie in Experiment 1, die Beikrautdeckungsgrade waren in beiden Jahren durch Mulch signifikant reduziert ($p < 0,05$) (**Abbildung 22**). Der Mulch konnte also auch nach dem Absterben der Kartoffeln im Vergleich zu mehrmaligen Hackdurchgängen eine Spätverunkrautung effektiver verhindern (**Abbildung 23**).



Abbildung 23: Reduziertes Beikraut aufkommen durch Mulch vor der Ernte trotz einer geringen Aufwandmenge von 5 Kg Frischmasse je m^2 und der Einsparung von zwei Dampfpflegemaßnahmen.

Der Mulch hatte in den drei Experimenten verschiedene Auswirkungen auf das Auflaufverhalten der Nachfrüchte. Im Experiment 1 wurden am 06.11.2020 55 bzw. 68 % erhöhte Kulturdeckungsgrade nach Klee gras bzw. Wicktriticale-Mulch festgestellt (**Abbildung 24**). In Experiment 2 war am 03.11.2021 nach

Wicktriticale-Mulch eine Erhöhung der Deckung der Nachfrucht um 30 % festzustellen. Nach der Dürre 2022 jedoch war die Deckung der Nachfrucht nach beiden Mulcharten um 7-16% leicht reduziert.

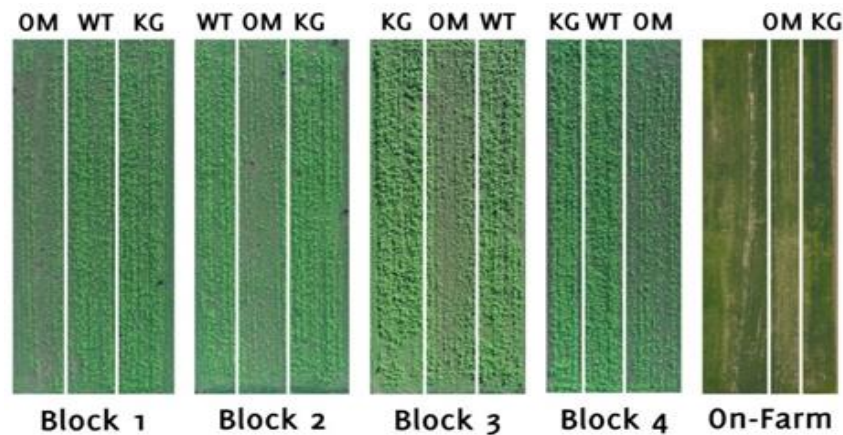


Abbildung 24: Unterschiedliches Auflaufverhalten der Nachfrüchte in Neu-Eichenberg, in Abhängigkeit der Mulchbehandlung am 04.11.2020. In allen 4 Wiederholungen (Block 1-4) lief die Zwischenfruchtmischung Buchweizen-Hafer-Senf in den Varianten mit Mulchanwendung (WT = Wicktriticale-mulch, KG = Klee-grasmulch) schnell und sicher auf. In den Kontrollvarianten (OM = Ohne Mulch) ging die Saat verzögert und sehr lückig auf. Dieser Effekt wurde auch in einem On-Farm-Experiment 03.04.2021 beobachtet

Die Beikräuter in der Folge verhielten sich parallel zur Entwicklung der Nachfrüchte. In Experiment 1 steigerte der Mulch die Deckungsgrade der Beikräuter in der Nachfrucht im Herbst um 90 bzw. 70 %, in Experiment 2 kam es ebenfalls zu leichten Steigerungen und in Experiment 3 senkten die Nachwirkungen des Mulchs das Beikrautaufkommen in der Nachkultur um 16 % bei Klee-gras-Mulch und 7 % bei Wicktriticale-Mulch (**Abbildung 23**). Keiner dieser Unterschiede ließ sich aufgrund der hohen Streuung sicher von zufälligen Effekten unterscheiden. Das Verhältnis von Kultur zu Beikraut unterschied sich nicht zwischen den Behandlungen. In der Nachfrucht nach dem Einarbeiten hatte der Klee-gras-Mulch oder Wicktriticale-Mulch keine beikrautunterdrückende Wirkung mehr.

Auch der **Silage-Mulch** war in der Lage, die Beikräuter während des Wachstums der Kartoffeln in gleichem Maße zu unterdrücken wie das mehrmalige Hacken in den Varianten ohne Mulch bzw. wie der Wicktriticale-Mulch. So war der Beikrautdeckungsgrad in Experiment 2+ am 16.09.2021 mit Silage-Mulch 46 %, d.h. ein Drittel Reduktion im Vergleich zur Kontrolle mit 69 %. Dieser Effekt konnte auch in der Folgefrucht Mais beobachtet werden. Hier konnte ein Jahr nach der Ausbringung der Silage eine Reduktion des Beikrautdeckungsgrades von 23 % auf 14 % festgestellt werden. Das entspricht einer Reduktion von 40 %. Da in Experiment 3 im Mais nach den Kartoffeln im Jahr 2023 nahezu keine Beikräuter wuchsen, wurde hier keine Untersuchung durchgeführt.

Am **LFULG** standen im ersten Versuchsjahr (2019) nur geringe Mulchmengen mit engem C:N Verhältnis zur Verfügung (siehe **Tabelle 5**, S.19) die sich schnell zersetzten, so dass eine gleichmäßige Bodenbedeckung nicht lang gegeben war. Ebenfalls wurde keine mechanische Beikrautregulierung durchgeführt. Daher wiesen die Varianten mit Mulch 2019 in allen drei Kulturen einen höheren

Beikrautdeckungsgrad auf als die Varianten ohne Transfermulch. Besonders deutlich war dieser Effekt in der Kartoffel zu sehen (**Abbildung 25**). Bei der Ackerbohne war die Variante „ohne Mulch“ 2019 ein Ackerbohnen-Hafer-Gemisch, was eine höhere Beikrautunterdrückung zur Folge hatte. In den folgenden Versuchsjahren wurde die Ackerbohne als Reinkultur angebaut. Ab 2020 wurde nach den Erfahrungen 2019 der erste Pflegegang gegen Beikräuter in den Kulturen auch in den Transfermulchvarianten durchgeführt.

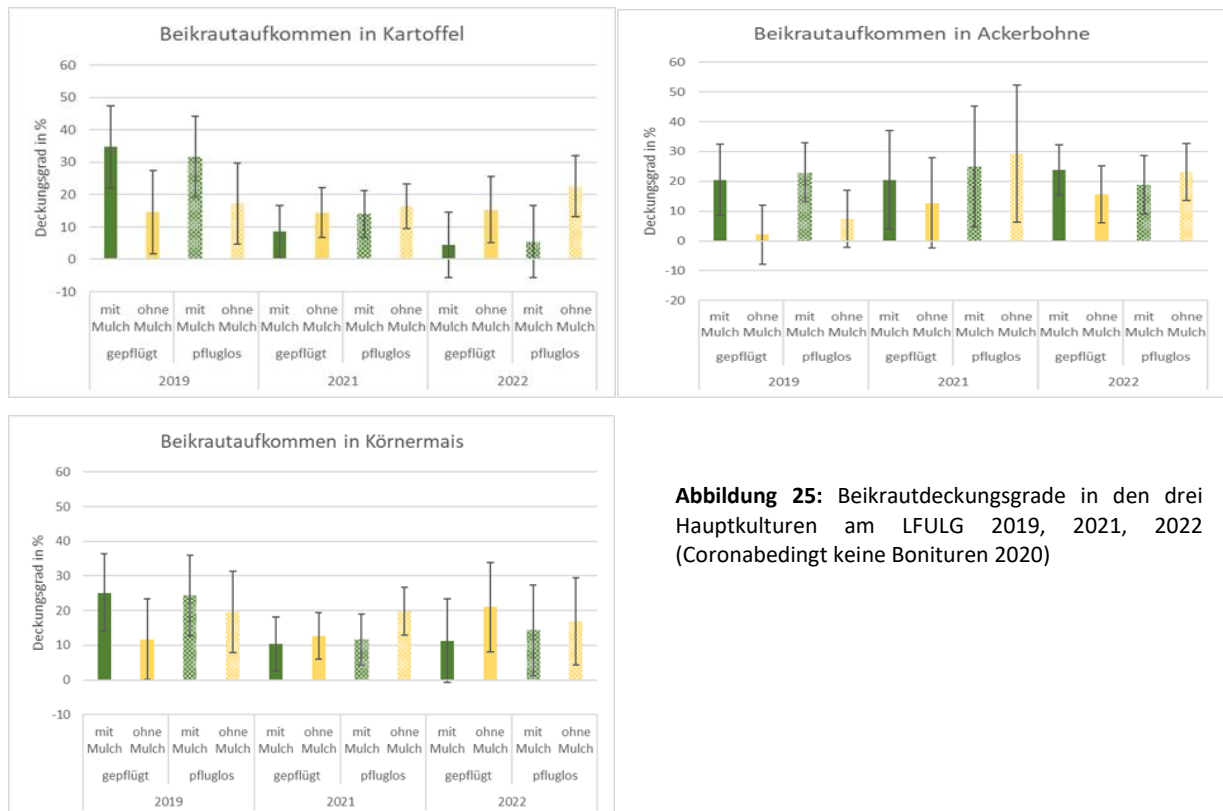


Abbildung 25: Beikrautdeckungsgrade in den drei Hauptkulturen am LFULG 2019, 2021, 2022 (Coronabedingt keine Bonituren 2020)

Alle drei Kulturen zeigen im Mittel einen geringeren Beikrautbesatz in den gepflügten Schlägen wobei bei Mais 2021 der Beikrautbesatz in der ungepflügten Variante mit Transfermulch signifikant geringer war. Eine ähnliche Tendenz, wenn auch statistisch nicht signifikant, zeigte sich bei den Kartoffeln in allen Jahren. In der Ackerbohne war keine beikrautunterdrückende Wirkung durch Mulch zu beobachten.

4.6.3 Knollengesundheit

Der Befall mit *Rhizoctonia solani* in Neu-Eichenberg war in allen drei Jahren gering. In 2020 und 2021 steigerte der Mulch bei sehr niedrigem Befall den Befallsindex mit *R. solani* leicht. Im dritten Versuchsjahr erhöhte Klee gras-Mulch den Befall leicht, während Wicktriticale-Mulch den Befall reduzierte. Bei der Auswertung der Varianten, die von Beginn an untersucht wurden, fällt auf, dass die Befallsindices nach Wicke und Wicktriticale Vorfrucht in allen drei Jahren gering waren (0,15-0,27), nach Ölrettich-Rauhafer Vorfrucht und Beikrautbrache geringfügig höher (0,30-1,23).

Der Schaden durch **Mäuse** wurden durch Mulchen bei Kartoffeln insgesamt im Mittel der Jahre um 118 % signifikant erhöht ($p < 0,0001$). Hier ist der Zersetzungsgrad des Mulches zur Zeit der Ernte entscheidend. In den trockenen Jahren 2020 und 2022 boten die Materialien noch einen ausreichenden Unterschlupf nach dem Krautabsterben. Im feuchten Jahr 2021 war der Schaden durch Mäuse im Mulch nur in kleinerem Umfang erhöht.

Im Gegensatz zu den Mäuseschäden konnte keine Veränderung der **Schneckenschäden** nachgewiesen werden. Durch die flache Bodenbearbeitung in den Experimenten in Neu-Eichenberg wurden zwar vermehrt **grüne Knollen** erwartet. Jedoch war im Mittel der Jahre der Anteil der grünen Knollen mit 7,5 % ($sd=5,2$) in der nicht gemulchten Variante am höchsten. Die gemulchten Varianten zeigten mit 5,6 % ($sd=3,5$) bei Klee gras-Mulch und 5,5 % ($sd=4,0$) bei Wicktriticale-Mulch geringere Anteile an grünen Knollen. Der Befall mit **Drahtwürmern** unterschied sich weder On-Farm noch in den Exaktversuchen signifikant zwischen den Varianten, wobei On-Farm der Anteil von Knollen mit Drahtwurmbefall im regenerativen (REKA) System gegenüber dem betriebsüblichen System (BÜKA) in allen Jahren reduziert war. In 2020 waren es 17 % in BÜKA und 5 % in REKA, 2021 3 % im BÜKA und 2 % in REKA, 2022 2 % im BÜKA kein Befall in REKA.

4.6.4 Kartoffelkäfer

Bei den Kartoffelkäfern zeigten sich, wie bei Junge et. al (2022) beschrieben, in beiden untersuchten Jahren große Unterschiede zwischen den Varianten. Vergleicht man die ungemulchte Variante mit den Varianten Klee gras-Mulch und Wicktriticale-Mulch für den 29.06.20 in Experiment 1, an welchem bereits ein deutlicher Befall zu verzeichnen war, so zeigte sich ein Trend, dass die Kartoffelkäferentwicklung im Klee gras-Mulch, aber vor allem auch im Wicktriticale-Mulch verzögert war. So waren in diesen Varianten 85 % der Eier noch nicht geschlüpft, während in der Kontrolle nur 22 % nicht geschlüpft waren. Für das Experiment 2 war die Reduktion der Kartoffelkäfer durch die vielen Starkregenereignisse weniger deutlich (**Tabelle 7**).

Tabelle 7: Anzahl Kartoffelkäfer: Adulte, Larven und Eier (Summe = Nachkommen) ha⁻¹ *Leptinotarsa decemlineata* abhängig von der Mulchapplikation am 29. Juni 2020 (Experiment 1), 15. Juli 2021 (Experiment 2) und 07.07.22 (Experiment 3) zur Kartoffelblüte.

	Adulte ¹	∑ Nachkommen	Sd	Eier	% Nachkommen	Sd	Larven	% Nachkommen	Sd
2020									
M-	8.000	177.333	22.364	39.000	22	189.077	138.333	78	337.819
KG	7.667	102.000	18.909	37.667	37	195.223	64.333	63	214.644
WT	10.333	111.667	24.042	94.667	85	296.441	17.000	15	70.848
2021									
M-	333	180.000	3651	38.667	22	225.854	141.333	78	208520
KG	2.667	150.667	10020	57.667	38	258.960	93.000	62	198966
WT	4.667	112.000	13898	64.333	57	314.032	47.667	43	136442
2022									
M-	5.625	170.625	15.723	128.125	75%	420.381	42.500	25%	103.003
KG	5.000	110.625	13.333	61.250	55%	270.446	49.375	45%	107.790
WT	7.500	359.375	20.000	271.875	76%	909.105	87.500	24%	108.291

In Mark-Release-Versuchen, die 2021 und 2022 jeweils im Juni (gleiche Pflanzenentwicklung) durchgeführt wurden, zeigte sich deutlich, dass adulte Käfer eine Präferenz für ungemulchte Kartoffelpflanzen haben. So befanden sich 2022 79 % der gefundenen Käfer nach 12 Stunden in den ungemulchten Parzellen (**Abbildung 26**).

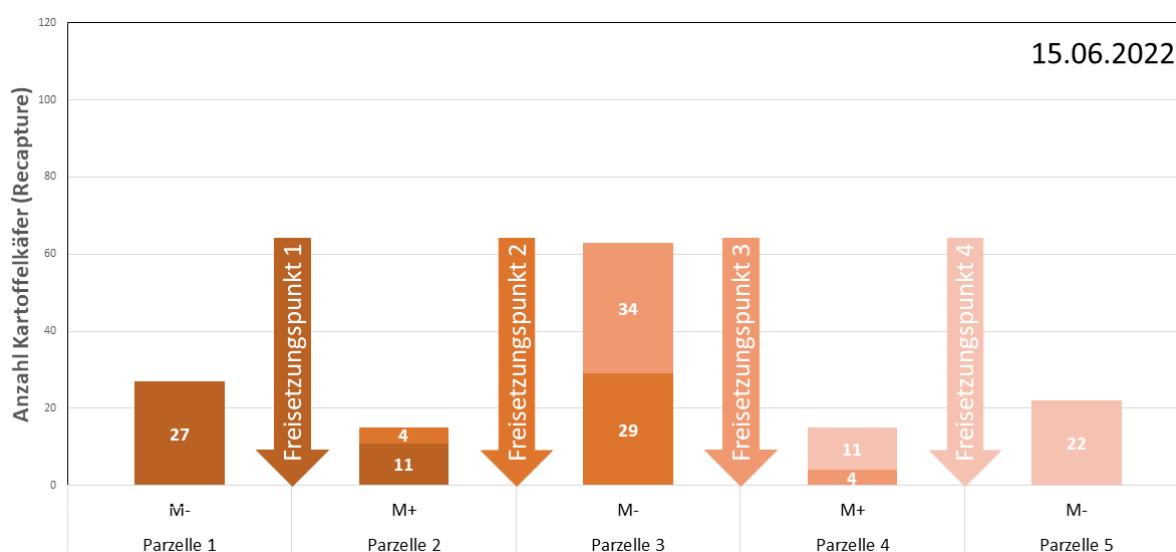


Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung der Individuen von *L. decemlineata* (Kartoffelkäfer) pro Parzelle ohne Mulchanwendung (M-) und mit Wickriticale-Mulch (M+) 12 Stunden nach Freisetzung. Bonitur am 15.06.22.

4.6.5 Kraut und Knollenfäule

Nur in den Jahren 2020 und 2021 (Experimente 1 und 2 in Neu-Eichenberg) trat die Krautfäule (*Phytophthora infestans*) auf. In Experiment 1 unterschieden sich die Geschwindigkeit der Befallsentwicklung und die Fläche unter der Befallskurve in den Behandlungen nicht voneinander (**Abbildung A 8**). Bei der Variante ohne Mulch und Silagedüngung lag die Fläche unter der Befallskurve

im Mittel bei 5479 (± 563), mit Wicktriticale-Mulch und zusätzlicher N-Düngung lag sie bei 4805 (± 998) und mit Silage-Mulch bei 4654 (± 1075).

Die in diesem Zeitraum in der Kultur gemessenen Bestandestemperaturen unterschieden sich nicht zwischen den Mulcharten. Auch die relative Luftfeuchte unterschied sich wenig. Die im Damm gemessenen Temperaturen waren im Juli, also vor Einsetzen des Befalls, in der Kontrolle ohne Mulch niedriger (aber nicht signifikant) als in den Varianten mit Mulch (**Abbildung A 7**).

4.7 Wie lässt sich das System in der Praxis umsetzen und welche Probleme treten auf?

Die Erträge der **On-Farm-Versuche** lagen in Betrieb 1 im Mittel über die zwei untersuchten Jahre mit 201 und 114 dt/ha auf niedrigem Niveau. Der Mulch konnte hier in beiden Jahren nicht mit der Betriebsüblichen Variante (BÜKA) mithalten. In Betrieb 3 wurde im Jahr 2020 durch den regenerativen Kartoffelbau (REKA) der Ertrag leicht gesenkt. (von 256 auf 195 dt/ha). In den folgenden Jahren lagen die Erträge mit 85, bzw. 298 dt/ha in den BÜKA und 114 bzw. 288 dt/ha in den REKA Varianten gleichauf. Nur Betrieb 4 konnte mit REKA den Ertrag in allen drei Untersuchungsjahren deutlich steigern. Im Jahr 2020 wurden 193 dt/ha in BÜKA und 270 dt/ ha in REKA erreicht. 2021 waren es 130 dt/ha bei BÜKA und 177 dt/ha in Reka und im letzten Versuchsjahr 2022 lagen die Erträge bei BÜKA und REKA mit 153 bzw. 153 dt/ha gleichauf.

Im Gegensatz zum Exaktversuch, in dem 2021 hohe Erträge erzielt wurden, waren auf allen drei Praxisbetrieben die Erträge in den Betriebsüblichen Varianten auch für ökologische Betriebe ungewöhnlich gering. Auf Betrieb 3 und 4 wurden die Erträge zwar gesteigert, lagen aber unter 200 dt/ha, was von Betrieb 4 mit der schwierigen Wettersituation erklärt wurde. Da keine Düngung in den betriebsüblichen Kartoffelbauvarianten eingesetzt wurde und die Nährstofffrachten aus dem Mulch sich auf den Ertrag auswirken sollten, überraschen die Mindererträge in den regenerativen Kartoffelbauvarianten. Dies lässt sich auf äußere Faktoren, z.B. starke Wühlmausschäden in den regenerativen Kartoffelanbauvarianten in 2020 bei Betrieb 3 zurückführen. Jedoch kann dies auch durch eine unsachgemäße Anwendung des Transfermulchverfahrens, wie z.B. zu spätes Mulchen erklärt werden.

Die **ökonomische Analyse und Vergleich** der Anbauverfahren wurde durch Albus et al. (2023) unter anderem anhand der Direkt- und Arbeitserledigungskostenfreien Leistungen (DAKfL) durchgeführt. Die DAKfL drückt durch die Einbeziehung der fixen Arbeitserledigungskosten die Wirtschaftlichkeit von Produktionsverfahren aus – unabhängig von den Eigentumsverhältnissen, die Vermarktung wird hierbei auch nicht berücksichtigt. Zwischen den Betrieben unterschied sich der Kartoffelanbau insbesondere hinsichtlich des gewählten Standortes, der Fruchtfolgestellung sowie der Ausgestaltung der

Arbeitserledigung. Diese Faktoren wurden in die betriebsspezifischen Berechnungen alle mit einbezogen. Die betriebswirtschaftliche Auswertung zeigte DAKfL zwischen -3.166 bis +21.134 €/ha bei Betriebsüblichem Kartoffelbau (BÜKA) und -7.422 bis +23.572 €/ha bei regenerativem Kartoffelbau (REKA). Detaillierter wurden die Ergebnisse im Zwischenbericht 2021 dargestellt. Die Ergebnisse von Albus zeigen, dass ein bloßer Wechsel von BÜKA zu regenerativem Anbau (REKA) allein nicht zwangsläufig zu verbesserten betriebswirtschaftlichen Ergebnissen führt. Unter spezifischen Bedingungen kann der regenerative Kartoffelanbau mit Transfermulchanwendung jedoch vergleichbare oder sogar höhere wirtschaftliche Erträge erzielen.

Die entscheidende Variable hierbei ist die Wahl eines Mulch-Ausbringverfahrens, das keine Flächenverluste durch Fahrspuren verursacht. Die Auswahl der Mulchverfahrenskette sollte insbesondere anhand der verfügbaren Arbeitszeit im Zeitraum Mitte Mai bis Mitte Juni erfolgen, wobei Betriebe mit Wiederkäuerhaltung zusätzlich die Feldarbeitstage für die Rohfütterernte berücksichtigen sollten. In Jahren mit geringem Ertrag besteht eine verstärkte Konkurrenz zwischen Mulchmaterial und Futterbedarf, was zu höheren Opportunitätskosten führen kann.

Für Betriebe mit Kartoffelanbauflächen von fünf Hektar und mehr sind ökonomische Vorteile des regenerativen Systems wahrscheinlicher, wenn eine kleine Streutechnik mit schmaler Spurweite für die Mulchhausbringung verwendet wird. Die Verfügbarkeit von mindestens zwei bis drei Miststreuer-Gespannen und drei bis vier Arbeitskräften gleichzeitig ist entscheidend, um die arbeitswirtschaftlichen Anforderungen zu erfüllen. Die vorhandene Technik auf einem Betrieb beeinflusst die Wahl des Verfahrens nur geringfügig, da fehlende Technik oft kostengünstig geliehen oder durch Lohnunternehmen bereitgestellt werden kann. Miststreuer und Ladewagen mit schmaler Spurweite können zudem zu erschwinglichen Preisen gebraucht erworben werden.

Weiterer Forschungsbedarf im Hinblick auf die ökonomische Betrachtung des Systems besteht insbesondere in Bezug auf die Entscheidungsfindung von Landwirten unter Unsicherheit. Darüber hinaus werden mögliche Weiterentwicklungen für Miststreuer mit schmaler Spurweite vorgeschlagen, um Bodenverdichtung zu reduzieren und die ökonomische Effizienz zu steigern.

Die Integration von umweltfreundlichen Praktiken erfordert eine eingehende Untersuchung der Lachgasemissionen aus Transfermulch sowie Maßnahmen zur Emissionsreduktion. Die ökonomische Bewertung externer Kosten und Leistungen, wie die Förderung der Bodenfruchtbarkeit, ist entscheidend, bevor das regenerative System breit in der Praxis angewendet wird. Nur wenn ökonomische, ökologische und soziale Aspekte zufriedenstellend berücksichtigt werden, kann eine nachhaltige Einführung des Verfahrens gewährleistet werden.

5. Diskussion der Ergebnisse

Die größte Herausforderung für die Landwirtschaft der Zukunft sind die immer weniger vorhersagbaren Wetterbedingungen und Wetterextreme. Hier zeigte sich an beiden Versuchsstandorten, dass der intensive Einsatz von Zwischenfrüchten hoher Qualität sowie von Transfermulch insgesamt eine abmildernde Funktion gegen Wetterextreme haben können. Dazuhin können sie mögliche negative Auswirkungen einer pfluglosen Bearbeitung in der Ökologischen Landwirtschaft im Hinblick auf die Pflanzenernährung weitgehend ausgleichen und externe Zukaufsdünger ersetzen. Mulch steigerte massiv die Infiltrationsleistung pfluglos bearbeiteter aber auch gepflügter Böden und reduzierte den Bodenabtrag sowie die Evaporation zugunsten der Evapotranspiration. Auch kühlte Mulch den Oberboden bei Hitzeereignissen um bis zu 3 °C und reduzierte Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht. Damit stellt Mulch ein wichtiges Werkzeug zum Bodenschutz und generell zum Schutz vor Extremwetterereignissen dar. Eine wichtige Frage im Projekt war die Nährstoffdynamik im System. Nicht überraschend war hier die wichtige Rolle des Wassers. Bei extremer Trockenheit verbleiben in jedem Anbausystem Nährstoffe im Boden, da die Mineralisation und Aufnahme verhindert wird, hier ist der Transfermulch keine Ausnahme. Es bedarf wie in jedem System einer flexiblen Anbauplanung, um mit eventuell im Herbst übrigen Nährstoffen umzugehen. Hier zeigte sich, dass die Nutzung von Silage entweder als Dünger und/oder als Mulch gut funktioniert und sich sehr positiv auf das Bodenleben auswirkt. Trotzdem muss bei allen Varianten in Reaktion auf die Wetterbedingungen und damit auf die verbleibenden Nährstoffe im System in Zukunft die Fruchtfolgeplanung flexibilisiert werden. Während der Einsatz von Zwischenfrüchten vor Kartoffeln sich sehr positiv und auch bis zwei Jahre nach der Kartoffel auf die Bodenqualität auswirkte, waren die Auswirkungen der Mulchapplikationen insgesamt von kurzer Dauer und wurden durch die starken Bodenbewegungen bei der Kartoffelernte weitgehend beendet. Die seit Jahren berichteten positiven Effekte auf die Kartoffelgesundheit, vor allem auf Kartoffelkäfer, konnten bestätigt werden, allerdings konnten die Begleituntersuchungen zu den Nährstoffgehalten und zum Mikroklima nichts zur Erklärung der beobachteten Effekte beitragen. Lediglich die Mark-Release Versuche waren eindeutig, dass Käfer ungemulchte Kartoffeln vorziehen, wenn sie die Wahl haben.

Ein Kernpunkt der Studie betrifft die **Düngewirkung**. Mit Transfermulch gedüngte Varianten unterschieden sich nicht statistisch absicherbar von der Kontrolle mit Haarmehlpelletedüngung (HMP). Haarmehlpellets werden besonders im ökologischen Gemüsebau verwendet da diese günstig sind und sicher düngen. Einerseits stehen HMP in der Kritik (Möller & Schultheiß, U., 2014), da sie aus konventionellen Schlachtabfällen stammen und potentiell mit Antibiotika belastet sein können, aber auch weil sie aufgrund der fehlenden Organik und dem geringen C:N-Verhältnis ähnlich wie mineralische Dünger wirken, was den Grundsätzen des Ökolandbaus widerspricht. Andererseits stellt Transfermulch

eine interessante Düngeralternative für Ackerbaubetriebe ohne Viehhaltung oder Biologisch-vegane Landwirtschaft dar.

Überraschend war, dass Transfermulch mit Ausnahme des Strohs bei C:N-Verhältnissen zwischen 16 und 43 in den Versuchen in Neu-Eichenberg zuverlässig düngte. Eine Studie von Laber et al. (2002) legt nahe, dass die Nettostickstoffmineralisierung aus der Organik ab einem C:N-Verhältnis von 25 gegen 0 tendiert. Nur bei einem C:N-Verhältnis von <15 wurde eine sichere Düngewirkung gefunden. Die Diskrepanz zwischen der genannten Studie und den Ergebnissen aus dem Forschungsprojekt könnte aus der potentiellen N-Freisetzungzeit resultieren. Während die Versuche von Laber aus z.T. kurzfristigen Brut- und Gefäßversuchen stammen, konnte die Organik im Mulch mit Hilfe des durch die Flächenrotte aktivierten Bodenlebens über etwa 10 Wochen mineralisieren. Da die Kartoffeln ihre Wurzeln auch direkt im Mulch entwickelten, konnten sie Nährstoffe zeitnah aufnehmen vorausgesetzt, es gab genügend Wasser. Alternativ wurde kürzlich von Sradnick & Feller (2020) vorgeschlagen, dass das Gesamtkohlenstoff zu Organischen Kohlenstoff-Verhältnis (C/Corg) statt dem C:N-Verhältnis erhoben werden sollte. Dieses würde sich für die Vorhersage der Stickstoffmineralisation besser eignen. In trockenen Sommern, wie auch 2022 geschehen, mineralisiert das Material nur unzureichend und hohe Reststickstoffmengen mineralisieren im Spätherbst und können ausgewaschen werden (Junge et al., 2023). Hier müssen Fruchtfolgen dynamischer gedacht werden und Zwischen- als auch Folgefrüchte entsprechend angepasst werden.

Die wichtige Rolle der Vorfrüchte auf die Reststickstoffmengen wurde durch die vorliegende Studie unterstrichen. Bewässerung, welche in spezialisierten und gärtnerischen Betrieben zum Standardverfahren gehört, könnte das Problem ebenfalls entschärfen. Auch die Verwendung von konserviertem Mulchmaterial wie Heu und insbesondere Silage könnte helfen zu hohe Stickstofffrachten zu vermeiden. Während der Lagerung könnten Nährstoffgehalte bestimmt und die Ausbringung daran angepasst werden.

In der Betrachtung der erwarteten **bodenregenerierend Prozesse** während des Anbaus durch die regenerativen Maßnahmen überraschte, dass sowohl die Vorfrüchte als auch der Transfermulch, nur einen zeitlich eng begrenzten Effekt auf das Bodenleben und die Bodengare hatten. Die extrem unterschiedlichen Wetterbedingungen, 2020 und 2021 während der Kartoffelsaison feucht bzw. zu nass und 2022 zu trocken, führten zu entsprechend variablen Ergebnissen. So gab es im Jahr 2020 keine absicherbaren Unterschiede zwischen den beprobten Varianten bei der mikrobiellen Biomasse. Auch 2021 waren die Behandlungen meist ähnlich, außer dass bei Silagedüngung die mikrobielle Biomasse massiv gesteigert war. Im Dürrejahr 2022 jedoch war auffällig, dass vor allem die Mulchvarianten die mikrobielle Biomasse steigern konnten, der Silagedünger jedoch nicht besser abschnitt (Abbildung 21A). Dies ist dem Umstand geschuldet, dass Trockenheit zu Inaktivität und Absterben des Bodenlebens führt

(Jansson & Hofmockel, 2020) während Feuchtigkeit das Bodenleben fördert (Bogati et al., 2023) und somit Kontraste zwischen den Behandlungen eher verwischt. Die starken Bodenbewegungen durch das Ernteverfahren zerstörte dann die Bodengare weitgehend und nivellierte die durch die Behandlungen entstandenen Unterschiede.

Trotz der Tatsache, dass nach der Ernte die positiven Mulcheffekte auf den Boden nivelliert wurden, war die Porosität der Oberfläche in den gemulchten Varianten während der Saison und sogar nach der Ernte stets besser. Da sie darüber entscheidet ob Wasser eindringen kann oder oberflächlich abläuft und Bodenpartikel verlagert werden spielt die Porosität der Bodenoberfläche eine entscheidende Rolle in Bezug auf die **Wassererosion** (Zhao et al., 2018). Somit erhöht Transfermulch nicht nur zeitweise die Aggregatstabilität und schützt Bodenaggregate vor dem Wassereinschlag, sondern er erhöht auch die Infiltrationsleistung und reduziert den Bodenabtrag, wie die Ergebnisse der LFULG eindrücklich gezeigt haben. Damit stellt Transfermulch ein wirksames Mittel gegen Erosion dar. Wichtig ist hier zu beachten, dass oberflächlich eingearbeitete Zwischenfrüchte zentral wichtig für den Erosionsschutz in der Zeit vor der Mulchapplikation sind. Nach dem Kartoffellegen können bei ausreichendem Aufwuchs der Zwischenfrucht auch die im Damm eingearbeiteten Zwischenfrüchte dienen, was für den großflächigen Anbau einfacher umzusetzen ist als zu Mulchen. Die Zwischenfrucht sollte aber auch teilweise aus recalcitrantem Material bestehen, wie z. B. Triticalehalme, um die Wirkung bis zum Reihenschluss zu gewähren.

Neben der Stickstoffversorgung und der Erosionsproblematik stellt im ökologischen Kartoffelanbau insbesondere der **Pflanzenschutz** eine Herausforderung dar. Der drohende Wegfall (Bundschuh, 2023) von *Bacillus thuringiensis* -Präparaten gegen Kartoffelkäferlarven macht ihre Bekämpfung alleine mit Neem deutlich teurer und schwieriger. Auch die Kraut und Knollenfäule kann durch Kupfer nur bedingt gemanagt werden und der Einsatz von Kupfer ist durchaus kritisch zu bewerten (Bangemann et al., 2014). In den Experimenten zeigte sich, ähnlich wie bei Junge et al. (2022), eine Reduktion der Eigelege und Larven des Kartoffelkäfer durch Transfermulch. Effekte auf *Phytophthora infestans* wie z.B. in Finkch et al. (2018) beschrieben blieben weitgehend aus, da die Krankheit kaum auftrat. Hier spielen möglicherweise auch die Kaliumfrachten der pflanzlichen Residuen eine wichtige Rolle. Kalium trägt zur pflanzlichen Abwehr und Trockheitsresistenz von Kulturpflanzen bei (Zörb et al., 2014). Da Transfermulch zwar die Befälle reduziert, jedoch den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln nicht verhindert, kann er als flankierende Maßnahme in allen Anbausystemen eingesetzt werden. In Kombination mit dem Einhalten von Anbauabständen (Boiteau et al., 2008), einer angepassten Stickstoffversorgung (Finckh et al., 2006) und einer Pflanzenstärkung durch Kompost (Junge et al., 2022) kann der Befall mit Kartoffelkäfern außer in Extremjahren auf ein erträgliches Maß reduziert werden. Annuelle Beikräuter werden durch Mulch so weit unterdrückt, dass die pfluglose Bearbeitung kein

Problem darstellt. Dabei ist aber zu beachten, dass ohne Herbizide sowohl annuelle als auch Wurzelunkräuter im Rahmen der Fruchtfolge gemanagt werden müssen.

Hinsichtlich der **Praxiseinführung** ergaben die Ergebnisse, dass insbesondere kleinere Anbauflächen bis 2 ha Größe, mit einer angepassten Verfahrenskette und naheliegenden Transfermulchgeberflächen einen ökonomischen Erfolg wahrscheinlich machen (Albus et al., 2023). Die Experteninterviews und auch die Entwicklung der Erträge in den Praxisbetrieben zeigten, dass Wissen bei der Anwendung ein entscheidender Faktor beim Anbauerfolg darstellt. Während grundlegende Faktoren wie die Beachtung exzellenter Pflanzgutqualität und Bodenschonung selbstverständlich sind, ist vieles auch Erfahrungswissen bezogen auf vorherrschende Witterungsverhältnisse, Mechanisierung und Arbeitsorganisation. Deswegen empfiehlt sich, den Austausch mit Kollegen zu suchen und auf kleiner Fläche zu beginnen um Ertragsverluste durch fehlende Erfahrung zu begrenzen.

Weiterführende Forschung sollte insbesondere Qualitätsparameter in Sonderkulturen in dem Anbausystem Transfermulch-Zwischenfruchteinsatz-reduzierte Bodenbearbeitung im Fokus haben. Denn Kulturen mit hoher Gewinnmarge, welche durch qualitative Parameter bestimmt wird, rechtfertigen insbesondere das material- und arbeitsintensive Mulchsystem. Dies zeigt der mitunter große Erfolg des Mulchgemüsebaus, wie z.B. dem Ökolandbaupreisgewinner Live2give (www.oekolandbau.de/landwirtschaft/betrieb/wettbewerbe-und-foerderpreise/bundeswettbewerb-oekologischer-landbau/preistraeger/bundespreis-2022/live2give-ggmbh) aber auch der vielen praktischen Anfragen zum Projekt per Mail und auf den Ökofeldtagen 2023. Zudem sollte in den folgenden Untersuchungen vor allem silierte Mulchmaterialien untersucht werden. Diese wiesen in Experiment 3 die geringsten N_{min}-Frachten vor Winter, bei sehr hohen Erträgen auf. Die konservierten Materialien entschärfen die Knappheit des Mulchmaterials in trockenen Frühjahren. Außerdem kann über Winter die Silage auf den Stickstoffgehalt analysiert werden, um noch angepasster mit Mulch zu düngen.

6. Praktischer Nutzen und Anwendbarkeit

Während der Projektlaufzeit fanden drei Mulchnetzwerktreffen und ein Feldtag statt. Ebenfalls wurde das Projekt auf den bundesweiten Ökofeldtagen 2022 am Gladbacher Hof und 2023 in Ditzingen vorgestellt. Angesichts des Klimawandels wird das Transfermulchsystem als sehr interessant für die Praxis wahrgenommen. Das Transfermulchsystem kann Erosion vermindern, die Infiltrationsleistung sowie die Wasserhaltefähigkeit des Bodens verbessern und Hitzestress im Boden verringern. Ebenfalls stellt Transfermulch einen betriebseigenen Dünger dar, der massiv Kosten einsparen kann und auch eine Alternativnutzung von Zwischenfrüchten und Futtergemengen in viehlosen Betrieben sein kann. Aus

diesen Gründen kann das Transfermulchsystem mit Kartoffeln sehr praxisrelevant für eine zukunftsfähige Landwirtschaft werden.

Die teilnehmenden Praxisbetriebe haben gezeigt, dass unter bestimmten Bedingungen das Transfermulchsystem auch ökonomisch erfolgreich sein kann. Die Chancen und Herausforderungen der Umsetzung des Transfermulchsystems in der Praxis wurden anhand leitfadengestützter Experteninterviews mit den On-Farm Betriebsleitern und anderen Betrieben, die Transfermulch in Kartoffeln anwenden, beleuchtet. Hier zeigte sich wie auch schon bei den ökonomischen Untersuchungen: "Der Erfolg des Systems hängt von betriebsindividueller Technik, Witterung, Anpassungsfähigkeit und Betriebsstrukturen ab" (Oberst, 2023). Das System ist gut für kleinere Betriebe anwendbar, da bei größeren Flächen die Bereitstellung einer ausreichenden Mulchmenge erschwert wird. Vor allem bei Gemischtbetrieben stehen die Mulchmaterialien in Konkurrenz zum Tierfutter. Eine Rolle spielen auch die Arbeitsspitzen beim Mulchen (Sommer, 2021). Auf Betriebsebene waren es vor allem die Technik, die Verfügbarkeit einer ausreichenden Mulchmenge auch in trockenen Jahren, sowie das richtige Timing der Ausbringung, die die Praktiker vor Herausforderungen stellte. Hier stellt der Einsatz von Silage eine wichtige Alternative zu den frischen Mulchmaterialien dar, wobei bei der Herstellung auf die richtige Häcksellänge geachtet werden muss und auch Fragen der Klimarelevanz noch nicht abschließend bewertet sind.

Zusammenhänge der Faktoren C:N-Verhältnis, reduzierte Bodenbearbeitung und Zwischenfrüchte im Mulchsystem wurden von den Praktikern bisher nicht ausreichend betrachtet. Dies kann im Hinblick auf den großen Einfluss des Wetters auf das System in Verbindung mit der nötigen Flexibilität im Management ein Problem sein. Fachwissen bezüglich Bodenfruchtbarkeitsmanagement ist essentiell für das Gelingen des Systems. Für eine großflächige Etablierung muss außerdem der Bekanntheitsgrad gesteigert und eine Infrastruktur für eine niedrigschwellige, erstmalige Etablierung aufgebaut werden. Dazu können Hebel auf politischer Ebene, wie regionale Vernetzungssysteme, die Integration in Beratung oder spezifische Förderungen beitragen. Die betriebliche Integration kann, je nach Betriebsstruktur, ein hohes Maß an Anpassung erfordern mit individuellen Herausforderungen. Deswegen ist es empfehlenswert, das System auf kleiner Fläche auszuprobieren, um den innerbetrieblichen Aufwand abschätzen und abwägen zu können. Die Vernetzung unter Landwirten kann diesen Prozess erleichtern und auch die Bekanntheit steigern. Feldtage auf Betrieben mit erfolgreicher Systemetablierung können dazu ebenfalls beitragen. Dies erfordert Offenheit und zeitliche Kapazitäten der Landwirte und Landwirtinnen. Um das System weiter zu optimieren und die Anpassungsfähigkeit in verschiedenen Betriebsstrukturen zu erleichtern, hat weitere Praxisforschung hohe Relevanz. Weiterhin soll sie offene Fragen zur Gewinnung von ausreichend Mulchmaterial, auch in trockenen Jahren klären (Oberst, 2023).

Die gewonnenen Erkenntnisse müssen direkt und leicht verständlich in die Praxis zurückgeführt werden. Großes Potential des Systems liegt in der Steigerung der Selbstwirksamkeit und Freude an der Arbeit, die den sozialen Problemen in der Landwirtschaft entgegenwirken können. Forschungsbedarf liegt dabei in der Erklärung und weiteren Bestätigung dieses Phänomens im Kontext regenerativer Landwirtschaft und dem Ausschöpfen dieses Potentials im größeren Stil.

7. Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen; Hinweise auf weiterführende Fragestellungen

VORAN sollte ein weiteres bodenregenerierendes Element in der Fruchtfolge konzipieren. Durch Zwischenfrüchte, reduzierte Bodenbearbeitung und Transfermulch kann dies während des Marktfruchtanbaus geschehen. In den jeweils über zwei Jahre geführten Versuchen in Neu-Eichenberg konnte gezeigt werden, dass sich durch die Anwendung von Transfermulch und den Anbau von Vorfrüchten das Bodenleben und damit die Bodenfruchtbarkeit erhöht und eine Düngung von 100 kg N ha⁻¹ ersetzt werden kann, wenn der richtige Mulch gewählt wird. Sowohl Mulch als auch Vorfrucht haben große Auswirkungen auf das Bodenmikrobiom, die jedoch nur mit molekularen Methoden detaillierter aufgeschlüsselt werden können. Silage kann als Dünger und/oder Mulchmaterial sowohl die Planungssicherheit als auch die Wirksamkeit des Systems verbessern. Auch die Ergebnisse in Nossen am LFULG zeigten die positiven Effekte von Transfermulch auf die Kulturen Kartoffeln, Mais und Ackerbohne.

Durch Anwendung der regenerativen Methoden konnten die oft beklagten negativen Auswirkungen der Hackfrucht Kartoffel auf die mikrobielle Biomasse und Regenwurmgemeinschaften verhindert werden. Aussagen über langfristige Auswirkungen des Mulches auf das Bodenleben konnten bei der Dauer der jeweiligen Versuche jedoch nicht getroffen werden. Damit ist auch keine Aussage über eine etwaige Steigerung des Humusgehaltes möglich. Am Standort Nossen in Sachsen wurde eine massiv erhöhte Bodenstabilität und verbesserte Wasserinfiltration durch das System gezeigt. Die ökologische Intensivierung durch Mulch und/oder reduzierte Bodenbearbeitung kann Erosion vermindern oder gar verhindern und vor allem der Mulch verbessert die Wasserinfiltrationsleistung des Bodens immens. Damit hat das Projekt das Ziel der Erosionssenkung erfüllt. Deutliche Reduktionen wurden bei Kartoffelkäfern durch das Mulchmaterial dokumentiert und bestätigten vorherige Erfahrungen (Junge et al., 2022). Die Reduktion der Kraut und Knollenfäule war geringer als bisher berichtet (Finckh et al., 2018; Nazareno et al., 2020), allerdings war das Auftreten insgesamt als schwach zu bezeichnen.

Durch den Transfermulch sind Betriebe in der Lage, betriebseigene Düngemittel zu produzieren und damit die üblicherweise eingesetzten Schlachtabfälle aus konventioneller Intensivtierhaltung zu ersetzen. Das entwickelte Mulchsystem bietet damit eine ideale Ergänzung zum Viehlosen Öko-Anbau. Es verknüpft betriebseigene Nährstoffkreisläufe gut und kann zusätzlich die Motivation der Landwirte steigern. Langfristig werden die Erkenntnisse zu einem Verzicht auf den Pflug im Ökolandbau beitragen und insbesondere viehlosen Betrieben eine effizientere Nutzung ihrer Gründünger ermöglichen.

7.1. Weiterführende Fragestellungen

Eine Reduktion von Trockenstress konnte nur im Gefäßversuch gezeigt werden, da die Interaktion von Wasserkonservierung und vermehrtem Pflanzenwachstum und damit Evaporation und

Evapotranspiration im Feld nicht mit einfachen Mitteln zu trennen ist. Der Feuchtekonservierende Effekt sollte ebenfalls im Feld vorhanden sein. Hier ist allerdings eine Messung gegen die Randbedingungen von aufsteigendem und versickerndem Wasser sowie von besser wachsenden Pflanzen sehr schwierig. Dafür braucht es methodisches und technisches Wissen und die sehr aufwändige Arbeit mit Lysimetern, um genaue Werte zu bestimmen

Besonders zur Bewertung des Düngeeffektes des Transfermulches werden mehr Informationen und Ergebnisse aus der Forschung gefordert. Hier sind Untersuchungen auf diversen Böden und unter diversen Umwelten notwendig. Zusätzlich bedürfte es exakter Messmethoden der Zersetzung des Mulchs, um die zeitliche Dynamik aufzuklären. Auch das Verständnis der Freisetzung weiterer Nähr- und Basenstoffe wie Kalium und Magnesium aus dem Mulch steht noch am Anfang. Hier sind detaillierte Messungen unverzichtbar, um eine sichere Düngung erreichen zu können. Derzeit werden zu diesem Thema mehrere wissenschaftliche Beiträge erstellt. Im Rahmen des Exaktversuches AKHWA, der ebenso wie VORAN auf dem Versuchsbetrieb der Uni Kassel angelegt ist, wurde in den Jahren 2022 und 2023 ebenfalls das Transfermulchverfahren angewendet und weiterhin untersucht, um einen Teil der bestehenden Forschungslücken zu schließen.

8. Zusammenfassung

Durch Transfermulch, Zwischenfrüchte und flache Bodenbearbeitung sollte im Projekt VORAN ein bodenregenerierendes Element in der Fruchtfolge ökologischer Betriebe konzipiert werden. Dazu wurden ab 2019 an der Universität Kassel drei zwei-jährige Fruchtfolgen sowie drei On-Farm Versuche zu Mulchkartoffelanbau durchgeführt. Am Sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft Und Geologie (LFULG) wurden Versuche zum Mulcheinsatz bei Kartoffeln, Mais und Ackerbohnen und pflugloser Bodenbearbeitung durchgeführt. Am LFULG wurden auch Gefäßversuche zur Evapotranspiration sowie Infiltrations- und Abtragsmessungen mithilfe einer Simulation von Starkregen (>100 L in zwei Stunden) durchgeführt. Extreme jährliche Wetterunterschiede bestimmten weitgehend die Ergebnisse. Grundsätzlich war zu beobachten, dass Transfermulch, wenn genügend Wasser zur Verfügung steht, N-Düngung durch externe Zukaufsdünger in allen untersuchten Kulturen komplett ersetzen kann. Ebenfalls zeigten die Infiltrations- und Abtragsmessungen, dass Mulch sowohl im gepflügten als auch im pfluglos bearbeiteten System massiv die Infiltration erhöht und den Bodenabtrag fast auf Null reduziert. Die Gefäßversuche zeigten, dass Mulch die unproduktive Evaporation aus dem Boden reduziert und damit die Wasserverfügbarkeit für das Pflanzenwachstum verbessert. Mulch konnte bei extremer Hitze die Temperaturen im Kartoffeldamm um bis zu 3 °C reduzieren. Bei extremer Sommertrockenheit zeigten sich in allen Anbausystemen hohe Reststickstofffrachten im Boden, da die Mineralisation und Aufnahme verhindert werden, hier ist der Transfermulch keine Ausnahme. Silage als Transfermulch zeigte im Vergleich reduzierte Reststickstofffrachten vor Winter und eine Erhöhung des Bodenlebens. Folge- und Zwischenfrüchte sollten angepasst an die Nährstofffrachten nach der Ernte gewählt werden, um N-Verluste über Winter zu vermeiden. Während der Einsatz der Zwischenfrüchte Wicke und Wicktriticale vor Kartoffeln sich sehr positiv auch bis zwei Jahre nach der Kartoffel auf die Bodenqualität auswirkte, waren die Auswirkungen der Mulchapplikationen insgesamt von kurzer Dauer. Die starken Bodenbewegungen bei der Kartoffelernte störten massiv das Bodengefüge und Bodenleben. Die vormals berichteten positiven Effekte auf die Kartoffelgesundheit, vor allem auf Kartoffelkäfer, konnten bestätigt werden. Mark-Release Versuche zeigten eindeutig, dass Käfer ungemulchte Kartoffeln vorziehen, wenn sie die Wahl haben. Weder klimatische noch Mikronährstoffuntersuchungen zeigten absicherbare Einflüsse. Als Hemmnisse in der Praxis bei der Einführung des Mulchverfahrens wurden vor allem Mäuse, ein höherer Beikrautdruck, fehlendes Wissen und Mulchverfügbarkeit (vor allem bei Trockenheit) genannt. Gleichzeitig wurde das System aber als deutlich klimaresilienter eingestuft. Die ökonomische Analyse und Optimierung der Ansätze zeigte, dass ein Wechsel zum regenerativen Anbausystem nur dann mit einer ökonomischen Verbesserung einhergehen kann, wenn die Verfahrenskette optimiert wurde. Die Ergebnisse wurden in 49 Vorträgen und Postern auf Fachveranstaltungen, davon zehn international, in zehn Zeitschriftenartikeln, darunter drei peer-reviewed, in Fachausbildungen, Podcasts und mehreren Youtube Beiträgen breit gestreut.

9. Literaturverzeichnis

- Albus, J., 2022. Ökonomische Bewertung und Optimierung des regenerativen Speise-Kartoffelanbaus unter Transfermulch (Masterarbeit). Universität Kassel, Witzenhausen.
- Albus, J., Möller, D., Junge, S., 2023. Ökonomische Bewertung und Optimierung eines regenerativen Speisekartoffelanbaus unter Transfermulch, in: One Step Ahead - Ein Schritt voraus. Presented at the 16. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Frick.
- Altieri, M., Nicholls, C., Montalba, R., 2017. Technological Approaches to Sustainable Agriculture at a Crossroads: An Agroecological Perspective. *Sustainability* 9, 349. <https://doi.org/10.3390/su9030349>
- Auerswald, K., Gerl, G., Kainz, M., 2006. Influence of cropping system on harvest erosion under potato. *Soil and Tillage Research* 89, 22–34. <https://doi.org/10.1016/j.still.2005.06.008>
- Bangemann, L.-W., Westphal, A., Zwerger, P., Sieling, K., Kage, H., 2014. Copper reducing strategies for late blight (*Phytophthora infestans*) control in organic potato (*Solanum tuberosum*) production. *J Plant Dis Prot* 121, 105–116. <https://doi.org/10.1007/BF03356498>
- Bates, D., Mächler, M., Bolker, B., Walker, S., 2015. Fitting Linear Mixed-Effects Models Using **lme4**. *J. Stat. Soft.* 67. <https://doi.org/10.18637/jss.v067.i01>
- Beste, A., 2003. Erweiterte Spatendiagnose: Weiterentwicklung einer Feldmethode zur Bodenbeurteilung, 1. Aufl. ed, Schriftenreihe Agrarwissenschaft. Köster, Berlin.
- Bhagat, P., Gosal, S.K., Singh, C.B., 2016. Effect of mulching on soil environment, microbial flora and growth of potato under field conditions. *IJARE* 50. <https://doi.org/10.18805/ijare.v50i6.6671>
- Bogati, K., Sewerniak, P., Walczak, M., 2023. Effect of changes in soil moisture on agriculture soils: response of microbial community, enzymatic and physiological diversity. *EQ* 34, 1–33. <https://doi.org/10.12775/EQ.2023.043>
- Boiteau, G., Picka, J.D., Watmough, J., 2008. Potato Field Colonization by Low-Density Populations of Colorado Potato Beetle as a Function of Crop Rotation Distance. *Journal of Economic Entomology* 101, 1575–1583. <https://doi.org/10.1093/jee/101.5.1575>
- Bouché, M.B., 1977. Strategies lombriciennes. *Ecological Bulletins* 122–132.
- Brookes, P.C., Landman, A., Pruden, G., Jenkinson, D.S., 1985. Chloroform fumigation and the release of soil nitrogen: A rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 17, 837–842. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(85\)90144-0](https://doi.org/10.1016/0038-0717(85)90144-0)
- Bundschuh, B., 2023. Pflanzenschutzmittel – Kartoffelkäfer im ökologischen Anbau durch Notfallzulassung bekämpfbar. Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg.
- Chaparro, J.M., Sheflin, A.M., Manter, D.K., Vivanco, J.M., 2012. Manipulating the soil microbiome to increase soil health and plant fertility. *Biol Fertil Soils* 48, 489–499. <https://doi.org/10.1007/s00374-012-0691-4>
- Clark, M., Tilman, D., 2017. Comparative analysis of environmental impacts of agricultural production systems, agricultural input efficiency, and food choice. *Environmental Research Letters* 12, 064016. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa6cd5>
- Crawley, M.J., 2013. The R book, 2nd edition. ed. Wiley, Chichester, West Sussex, UK.
- Finckh, M.R., Junge, S.M., Schmidt, J.H., Weedon, O.D., 2018. Disease and pest management in organic farming: a case for applied agroecology, in: University of Bonn, Germany, Köpke, U. (Eds.), *Burleigh Dodds Series in Agricultural Science*. Burleigh Dodds Science Publishing, pp. 271–301. <https://doi.org/10.19103/AS.2017.0029.11>
- Finckh, M.R., Schulte-Geldermann, E., Bruns, C., 2006. Challenges to organic potato farming: disease and nutrient management. *Potato Research* 49, 27–42.
- Giovannetti, M., Mosse, B., 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84, 489–500. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x>
- Henzel, D., Junge, S.M., Finckh, M.R., 2021. Wirkung von Transfermulch und reduzierte Bodenbearbeitung auf die Beikrautgesellschaft im ökologischen Kartoffelbau, in: *Gesunde*

- Pflanzen in Verantwortung Für Unsere Welt. Presented at the 62. Deutsche Pflanzenschutztagung, digital.
- IFOAM, 2005. Principles of Organic Agriculture [WWW Document]. URL https://www.ifoam.bio/sites/default/files/poa_english_web.pdf (accessed 1.16.18).
- Informationsblatt Weizen, 2023. Informationsblatt Weizen. Reiffeisen.
- Jäckel, U., 2021. Projekt „Verbesserung ökologischer Fruchtfolgen mit Transfermulch für ein Regeneratives, angepasstes Nährstoffmanagement - VORAN“.
- Jäckel, U., Corcek, S., Schmidt, W.A., 2017. Nichtchemische Unkrautbekämpfung (Schriftenreihe No. Heft 1/2017), Schriftenreihe LfULG. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG), Nossen.
- Jacob, I., Weiß, J., Heilmeier, L., 2022. Viehloser Ökoackerbau: Mit Klee gras Nährstoffe optimal managen. BIOTOPP 20–24.
- James, W.C., McKenzie, A.R., 1972. The effect of tuber-borne sclerotia of *Rhizoctonia solani* Kühn on the potato crop. *American Potato Journal* 49, 296–301. <https://doi.org/10.1007/BF02861667>
- Jansson, J.K., Hofmockel, K.S., 2020. Soil microbiomes and climate change. *Nat Rev Microbiol* 18, 35–46. <https://doi.org/10.1038/s41579-019-0265-7>
- Joergensen, R., Wichern, F., 2008. Quantitative assessment of the fungal contribution to microbial tissue in soil. *Soil Biology and Biochemistry* 40, 2977–2991. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.08.017>
- Joergensen, R.G., Mueller, T., 1996. The fumigation-extraction method to estimate soil microbial biomass: Calibration of the kEN value. *Soil Biology and Biochemistry* 28, 33–37. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(95\)00101-8](https://doi.org/10.1016/0038-0717(95)00101-8)
- Junge, S.M., Leisch, S., Hiestermann, S., Weiler, C., Finckh, M.R., 2023. Klimatische Bedingungen beeinflussen die Nährstoffversorgung durch Transfermulch, in: *One Step Ahead - Ein Schritt voraus*. Presented at the 16. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Frick. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.7732839>
- Junge, S.M., Leisch-Waskönig, S., Winkler, J., Kirchner, S.M., Saucke, H., Finckh, M.R., 2022. Late to the Party—Transferred Mulch from Green Manures Delays Colorado Potato Beetle Infestation in Regenerative Potato Cropping Systems. *Agriculture* 12, 2130. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122130>
- Junge, S.M., Pfister, J., Wedemeyer, R., Finckh, M.R., 2019. Regenerative Landwirtschaft – Bewertung des Systems durch die Erweiterte Spatendiagnose am Beispiel Kartoffel, in: *Innovatives Denken Für Eine Nachhaltige Land- Und Ernährungswirtschaft*. Beiträge Der 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau. Presented at the 15. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Dr. Köster, Berlin.
- Junge, S.M., Storch, J., Finckh, M.R., Schmidt, J.H., 2020. Developing Organic Minimum Tillage Farming Systems for Central and Northern European Conditions, in: Dang, Y.P., Dalal, R.C., Menzies, N.W. (Eds.), *No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture*. Springer International Publishing, Cham, pp. 173–192. https://doi.org/10.1007/978-3-030-46409-7_11
- Kladivko, Eileen J., Keeney, Dennis R., 1987. Soil nitrogen mineralization as affected by water and temperature interactions. *Biol Fert Soils* 5. <https://doi.org/10.1007/BF00256909>
- Klimawandel in der Zukunft, 2018. , Strategie zur Anpassung an den Klimawandel in Hessen. HLNUG - Fachzentrum Klimawandel und Anpassung, Wiesbaden.
- Kratz, W., 1998. The bait-lamina test: General aspects, applications and perspectives. *Environ. Sci. & Pollut. Res.* 5, 94–96. <https://doi.org/10.1007/BF02986394>
- Krück, S., 2018. Bildatlas zur Regenwurmbestimmung: mit einem Kompendium der Regenwurmfauna des Nordostdeutschen Tieflands. *Natur + Text*, Rangsdorf.
- Laber, H., Freitag, T., Hauptmann, G., 2002. Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft.
- Lal, R., 2001. Soil degradation by erosion. *Land Degradation & Development* 12, 519–539. <https://doi.org/10.1002/ldr.472>
- Leifeld, J., Fuhrer, J., 2010. Organic Farming and Soil Carbon Sequestration: What Do We Really Know About the Benefits? *AMBIO* 39, 585–599. <https://doi.org/10.1007/s13280-010-0082-8>

- Lenth, R., 2023. Emmeans: Estimated Marginal Means, aka Least-Squares Means_. R package version 1.8.8.
- Möller, K. (Ed.), 2003. Handbuch ökologischer Kartoffelbau, 1. Aufl. ed, Zukunft Bio Landwirtschaft. Österreichischer Agrarverl, Leopoldsdorf.
- Möller, K., Schultheiß, U., 2014. Organische Handelsdüngemittel tierischer und pflanzlicher Herkunft für den ökologischen Landbau – Charakterisierung und Empfehlungen für die Praxis (Schlussbericht No. FKZ: 2811OE034). BÖLN Bundesprogramm Ökologischer Landbau und andere Formen nachhaltiger Landwirtschaft, Bonn.
- Näser, D., 2020. Regenerative Landwirtschaft: Bodenleben und Pflanzenstoffwechsel verstehen. Ulmer, Stuttgart (Hohenheim).
- Nazareno, N.R.X. de, Finckh, M.R., Canalli, L.B. dos S., Yada, I.F.U., Kawakami, J., 2020. Potential use of fresh mulch to curb potato late blight epidemics in Brazil. *Summa Phytopathologica* 46, 191–197.
- Oberst, M., 2023. Die betriebsindividuelle Ausprägung von Stärken und Herausforderungen bei der Einführung von Transfermulchsystemen: Eine qualitative Evaluation (Bachelorarbeit). Universität Kassel, Witzenhausen.
- Pittelkow, C.M., Linqvist, B.A., Lundy, M.E., Liang, X., Van Groenigen, K.J., Lee, J., Van Gestel, N., Six, J., Venterea, R.T., Van Kessel, C., 2015. When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Research* 183, 156–168.
- Posit team, 2023. RStudio: Integrated Development Environment for R. Posit Software. Boston, MA.
- R Core Team, 2023. R: A Language and Environment for Statistical Computing_. R Foundation for Statistical Computing.
- Rahmann, G., Institut für Ökologischen Landbau, Bioland, Verband für Organisch-Biologischen Landbau (Eds.), 2011. Praxis trifft Forschung: neues aus dem ökologischen Ackerbau und der ökologischen Tierhaltung 2011, Landbauforschung Sonderheft. vTI, Braunschweig.
- Rohrmoser, K., Wermke, M., 1984. Kompendium für Feldversuche in der Technischen Zusammenarbeit: Klaus Rohrmoser unter Mitarb. von Manfred Wermke. [Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit <GTZ>], 2., verbesserte Aufl. ed. Eschborn.
- Römbke, J., 2014. The feeding activity of invertebrates as a functional indicator in soil. *Plant Soil* 383, 43–46. <https://doi.org/10.1007/s11104-014-2195-5>
- Schinner, F., Öhlinger, R., Kandeler, E., Margesin, R. (Eds.), 1993. Bodenbiologische Arbeitsmethoden. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-77936-7>
- Schmidt, H., 2003. Viehloser Ackerbau im ökologischen Landbau - Evaluierung des derzeitigen Erkenntnisstandes anhand von Betriebsbeispielen und Expertenbefragungen (Schlussbericht No. Forschungsprojekt Nr.: 02OE458). orgprints.org, Gießen.
- Schmidt, J.H., Bergkvist, G., Campiglia, E., Radicetti, E., Wittwer, R.A., Finckh, M.R., Hallmann, J., 2017. Effect of tillage, subsidiary crops and fertilisation on plant-parasitic nematodes in a range of agro-environmental conditions within Europe: Tillage and subsidiary crop effects on plant-parasitic nematodes in Europe. *Annals of Applied Biology* 171, 477–489. <https://doi.org/10.1111/aab.12389>
- Schmidt, J.H., Junge, S., Finckh, M.R., 2019. Cover crops and compost prevent weed seed bank buildup in herbicide-free wheat-potato rotations under conservation tillage. *Ecol Evol* 9, 2715–2724. <https://doi.org/10.1002/ece3.4942>
- Sommer, H., 2021. Evaluation der Praxistauglichkeit erster Ansätze eines regenerativen Kartoffelanbaus (Bachelorarbeit). Universität Kassel, Witzenhausen.
- Sradnick, A., Feller, C., 2020. A Typological Concept to Predict the Nitrogen Release from Organic Fertilizers in Farming Systems. *Agronomy* 10, 1448. <https://doi.org/10.3390/agronomy10091448>
- Struik, P.C., Haverkort, A.J., Vreugdenhil, D., Bus, C.B., Dankert, R., 1990. Manipulation of tuber-size distribution of a potato crop. *Potato Res* 33, 417–432. <https://doi.org/10.1007/BF02358019>
- Thomas, F., Archambeaud, M., Sturny, W., 2018. Zwischenfrüchte in der Praxis: eine Anleitung zur Bewirtschaftung. Bayer Handelsvertretung, Y-Th. Bayer, Berlin.

- Vance, E.D., Brookes, P.C., Jenkinson, D.S., 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology and Biochemistry* 19, 703–707. [https://doi.org/10.1016/0038-0717\(87\)90052-6](https://doi.org/10.1016/0038-0717(87)90052-6)
- Vierheilig, H., Coughlan, A.P., Wyss, U., Piché, Y., 1998. Ink and Vinegar, a Simple Staining Technique for Arbuscular-Mycorrhizal Fungi. *Applied and Environmental Microbiology* 64, 5004–5007.
- Vorobeichik, E.L., Bergman, I.E., 2021. Bait-lamina test for assessment of polluted soils: Rough vs. Precise scales. *Ecological Indicators* 122, 107277. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107277>
- Zhao, L., Hou, R., Wu, F., Keesstra, S., 2018. Effect of soil surface roughness on infiltration water, ponding and runoff on tilled soils under rainfall simulation experiments. *Soil and Tillage Research* 179, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.still.2018.01.009>
- Zörb, C., Senbayram, M., Peiter, E., 2014. Potassium in agriculture – Status and perspectives. *Journal of Plant Physiology* 171, 656–669. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.08.008>
- Zuur, A.F., Ieno, E.N., Walker, N.J., Saveliev, A.A., Smith, G.M., 2011. Mixed effects models and extensions in ecology with R, Statistics for biology and health. Springer, New York, NY.

10. Außendarstellung und Veröffentlichungen

Insgesamt wurden 21 Vorträge vor Praktikern und Beratern, 10 Fachbeiträge in Magazinen und Journalen sowie 18 Vorträge bzw. Poster auf wissenschaftlichen Tagungen vorgestellt. Auch auf Fachveranstaltungen, Social Media sowie Vorlesungen wurde das Projekt vorgestellt (**Tabelle 8**). Der geplante Feldtag wurde im Jahr 2023 durchgeführt.

Tabelle 8: Außendarstellung und Veröffentlichungen des Projektes VORAN. Aufgeführt werden nach Art der Veröffentlichung und in zeitlicher Abfolge die Erwähnungen und Auswertungen des Projektes.

Datum	Rahmen	Titel
Vorträge		
12.01.2021	Leitbetriebe NRW Kartoffeltag Vortrag	Ansätze für einen Humussteigernden Kartoffelbau
10.02.2021	Bioland Fachtag	Boden- und Pflanzenschutz im Kartoffelbau mit Transfermulch
17.02.2021	Mulchnetzwerktreffen 2021	3 Vorträge
16.09.2020	Buchvernissage: Regenerative Landwirtschaft (Näser)	Vortrag: Erste Ansätze für einen Regenerativen Kartoffelbau
17.06.2021	6. Webinarreihe Aufbauende Landwirtschaft	Das Transfermulchsystem im Kartoffelanbau als Pflanzenschutz- und Klimawandelanpassungsstrategie
27.08.2021	Market Gardening Seminar	Keynote Speech – Werkzeugkasten für einen regenerativen Gemüsebau
18.11.2021	Biokartoffeltagung CH- International	Transfermulch im Biokartoffelanbau - Vorteile und Herausforderungen
12.01.2022	22. Kartoffeltag	Humus im Kartoffelanbau
25.01.2022	Im Öko-Feld: Nährstoff- Think-Tank	Regenerativer Kartoffelbau - Nährstoffversorgung im System
15.02.2022	Mulchnetzwerktreffen 2022	4 Vorträge
08.10.2022	Biozyklischer – Vegane Vernetzungstagung	Phytophanze Effekte von Transfermulchsystemen
28.11.2022	23. Fachtag zum Ökolandbau 2022	Anpassungsstrategien im Öko-Kartoffelanbau. Was können wir aus den Dürreereignissen lernen?
28.01.2022	Symposium „Aufbauende Landwirtschaft“	Dickes Fell – Transfermulch als Pflanzenschutz und für die Klimawandelanpassung im Kartoffelbau
14.02.2023	Mulchnetzwerktreffen 2023	3 Vorträge

Datum	Rahmen	Titel
Fachtagungen		
Sep 21	62. Deutsche Pflanzenschutztagung	Henzel et al., (2021a). Wirkung von Transfermulch und reduzierter Bodenbearbeitung auf die Beikrautgesellschaft im ökologischen Kartoffelbau Junge et al., (2021a). Transfermulch aus Gründüngern als agrarökologisches Werkzeug gegen <i>Alternaria solani</i> im ökologischen Kartoffelanbau Weiler, (2021). Einfluss von Transfermulch auf Anzahl und Entwicklung der Larvenstadien des Kartoffelkäfers <i>Leptinotarsa decemlineata</i>
Sep 21	6. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften	Henzel et al., (2021b). Einfluss von Zwischenfrüchten und Transfermulch auf die Regenwurmpopulation im ökologischen Kartoffelbau Junge et al. (2021). Zwischenfrüchte und Transfermulch als Düngestrategie für viehlose Ökobetriebe
19.-21.1. 2021	Association of Applied Biologists, International	Finckh MR, Junge SM, Schmidt JH, Šišić A, Weedon OD. (2021). Intra- and interspecific diversity: the cornerstones of agroecological crop health management.
2.-6.8. 2021	Plant Health 2021, American Phytopathological Society, International	Maria R. Finckh, Christiane Weiler, Adnan Šišić, Stephan M. Junge (2021). Regenerative potato cropping effects on diseases, insects and rhizosphere microbiome in organic potatoes
18.11.2021	Vortrag GPZ AG Kartoffelzüchtung	Boden- und Pflanzenschutz durch das Transfermulchsystem
22.12.2022	Nutrinet - Nährstoffmanagement Ökologischer Landbau	Das Transfermulchsystem als Düngestrategie in Kartoffeln. Chancen- & Risikobewertung
8.-10.3.2023	WiTa 2023 -16. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, CH-International	Klimatische Bedingungen beeinflussen die Nährstoffversorgung durch Transfermulch im ökologischen Kartoffelanbau Kartoffelkäfer meiden Transfermulch – Freisetzungsversuch von <i>Leptinotarsa decemlineata</i> Poster: Kosten und Nutzen von biodiversitätsfördernden Maßnahmen am Beispiel Transfermulch im ökologischen Kartoffelanbau Workshop: Alle unter einer Decke - Vernetzungsansätze und Wissensstand zur Anwendung von Transfermulch im Ökolandbau Ökonomische Bewertung und Optimierung eines regenerativen Speisekartoffelanbaus unter Transfermulch
15.08.2023	Plant Health 2023 American Phytopathological Society, International	Finckh, et al. (2023). Agroecological plant health management reduces legume root diseases as well as potato late blight and potato beetles. Paper presented at the Plant Health 2023, Denver, Co. https://doi.org/10.1094/PHYTO-113-11-S3.1
26.-29.09.23	63. Deutsche Pflanzenschutztagung	Junge, et al. (2023). Transfermulch als systemische Pflanzenschutzstrategie im Ökokartoffelanbau gegen multiple Schaderreger. Weiler, et al. (2023). Transfermulch hemmt Kartoffelkäfer - Populationsentwicklung von <i>L. decemlineata</i> .
5.-8.3.2024	WiTa 2024 -17. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau	Weiler, et al. (2024). Mulch reduziert Kartoffelkäfer auch in der zweiten Generation.
Diverses		
26.05.2021	DEULA Maschinenausbildung	Regenerativer Kartoffelanbau als Klimawandelanpassungsstrategie
21.06.2021	Fachdiskussion Inforama (CH)	Das Potential Regenerativer Landwirtschaft im Kartoffelanbau
25.03.2021	Podcast Krautnah	Episode#14 Smells Like Green Spirit
19.10.2021	Youtube	Mulchkartoffelbau - Ertragspotenzial und Langzeiteffekte (11.100 Klicks, Stand 20.01.24)
15.10.2021	Youtube	Das Potenzial von Zwischenfrüchten & worauf man achten sollte (12.219 Klicks, Stand 20.01.24)
19.10.2021	Youtube	Das Potenzial von Mulch & warum das C:N-Verhältnis so wichtig ist (14.034 Klicks, Stand 20.01.24)
01.12.2021	Youtube	Transfermulch im ökologischen Ackerbau (3.301 Klicks, Stand 20.01.24)
03.05.2023	Youtube	Symposium Aufbauende Landwirtschaft - Das Transfermulchsystem im Kartoffelanbau (2.654 Klicks, Stand 20.01.24)

Datum	Rahmen	Titel
Beiträge zu wissenschaftlichen Fachzeitschriften		
Jun 20	Lumbrico	Junge, S., & Finckh, M. R. (2020). Biokartoffeln pfluglos anbauen. <i>Lumbrico</i> , 2020, 37-41.
Sept 2020	Kartoffelbau	Nimmrichter, U., Junge, S., & Finckh, M. R. (2020). Regenerative Landwirtschaft in Hackfrüchten. Mit natürlichen Prozessen Bodengesundheit und Erträge sichern. <i>Kartoffelbau</i> 9 & 10, 18-21.
Feb 2021	Top-Agrar	Lehnert, S. & Junge, S.M. (2021). Mehr Kartoffeln durch Transfermulch
Mär 2021	Ökologie und Landbau	Finckh, M. R., Baresel, J. P., Junge S.M, Šišić, A., Weedon, O. D., & Schmidt, J. H. (2021). Pflanzengesundheit richtig managen. <i>Ökologie und Landbau</i> , 03/2021, 41-43.
Mai 2021	Kartoffelbau	Winkler et al., (2021). Mit Transfermulch Blattlaus- und Virenbefall reduzieren
Mär 2023	BioTopp	Mutz, E. & Junge, S.M. (2023). Pflugloser Kartoffelanbau mit Transfermulch
Mai 2023	Lumbrico	Baresel, J.P., Šišić, A., Finckh, M.R., Junge, S.M. (2023) Produktivität ökologischer Anbausysteme steigern: Bio-Direktsaat in gemulchte Zwischenfrüchte. Keine Angst vor Leguminosen
Sep 2020	Peer-reviewed Buchkapitel	Junge, S. M., Storch, J., Finckh, M. R., & Schmidt, J. H. (2020). Developing organic minimum tillage farming systems for Central and Northern European conditions. In Y. P. Dang, R. C. Dalal & N. W. Menzies (Eds.), <i>No-till Farming Systems for Sustainable Agriculture: Challenges and Opportunities</i> (pp. 173-192). Amsterdam: Springer, Cham.
2021	Peer-reviewed Journal	Finckh, M. R., Junge, S. M., Schmidt, J. H., Šišić, A., & Weedon, O. D. (2021). Intra- and interspecific diversity: the cornerstones of agroecological crop health management. <i>Aspects of Applied Biology</i> , 146, Intercropping for sustainability: Research developments and their applications, 193-206.
Dez 2022	Peer-reviewed Journal	Junge, S. M., Leisch-Waskönig, S., Winkler, J., Kirchner, S. M., Saucke, H., & Finckh, M. R. (2022). Late to the Party-Transferred Mulch from Green Manures Delays Colorado Potato Beetle Infestation in Regenerative Potato Cropping Systems. <i>Agriculture</i> , 12(12), 2130. doi:10.3390/agriculture12122130

Auf der 17. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau in Gießen 2024 werden die Projektergebnisse weiterhin im Rahmen der Präsentationen zur Regenerativen Landwirtschaft vorgestellt. Wissenschaftliche Veröffentlichungen sind geplant zu den Themen Agronomie, Nährstoffdynamiken, Mikrobiologie, Ökonomie und zu den Detailstudien zum Kartoffelkäfer.

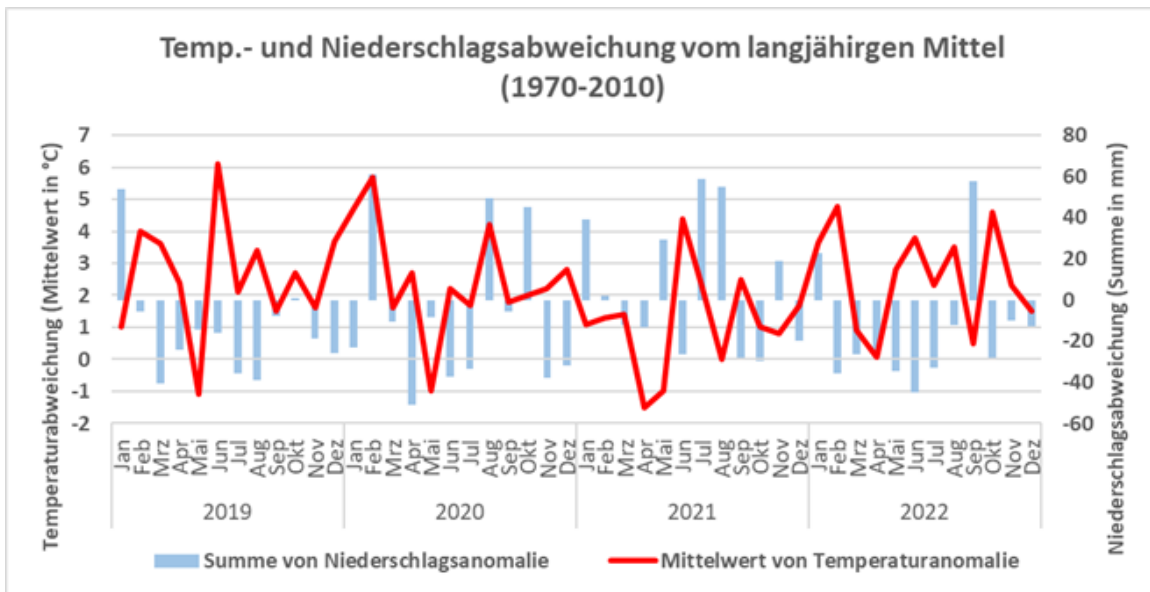


Abbildung A 2: Die Temperatur- und Niederschlagsabweichungen in den Versuchsjahren 2019-2022 am Standort Nossen. Die Säulen stellen auf der rechten Seite die abweichenden Niederschlagssummen der einzelnen Monate dar. Die Linien geben die mittleren Temperaturabweichungen der Monate auf der linken Seite wieder.

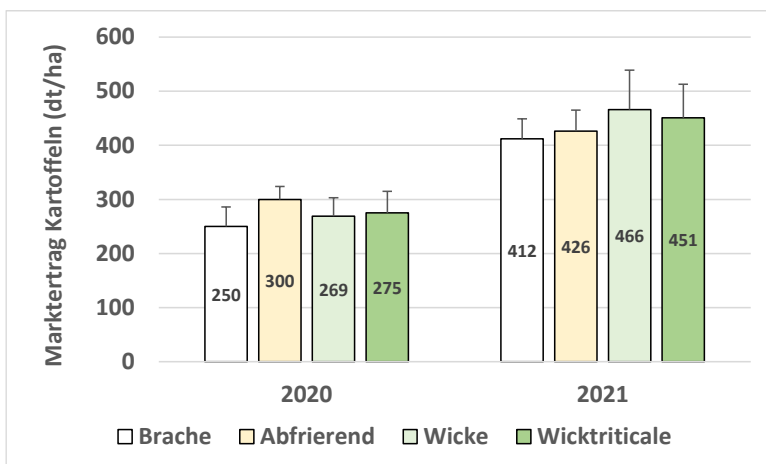


Abbildung A 3: Einfluss der Vorfrüchte auf die Markterträge der Kartoffeln in Neu-Eichenberg in 2020 und 2021.

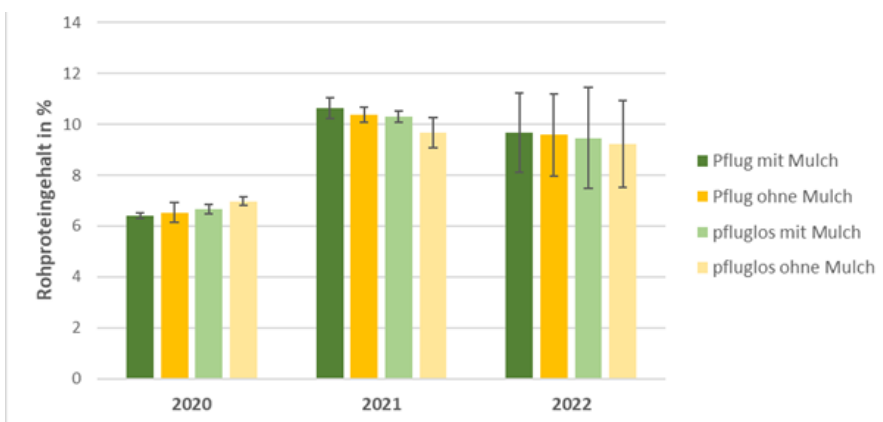


Abbildung A 4: Rohproteingehalte in Winterweizen am Standort Nossen gruppiert nach Bodenbearbeitung (Pflug vs. Pfluglos) und Mulchanwendung (mit und ohne Mulch).

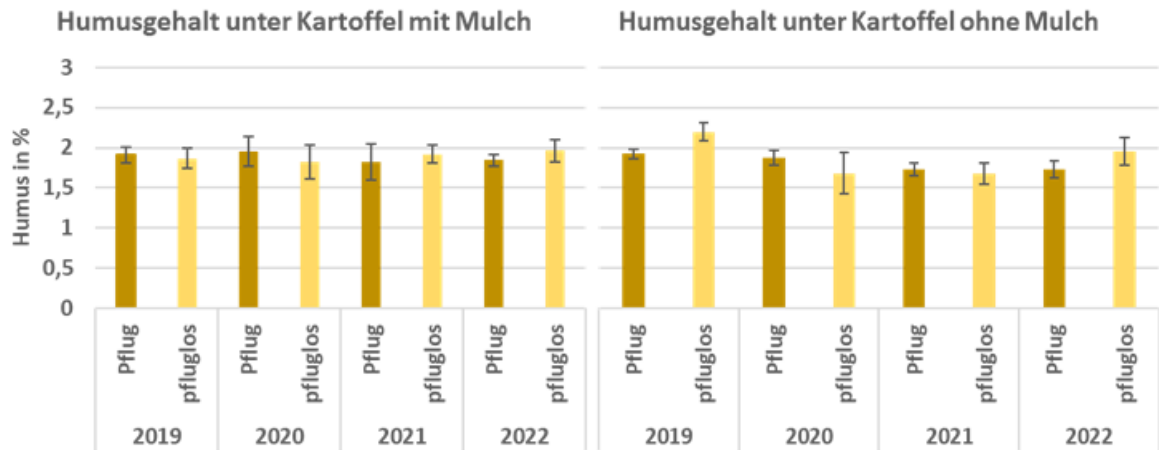


Abbildung A 5: Humusgehalte unter Kartoffeln am Standort Nossen mit und ohne Mulchanwendung.

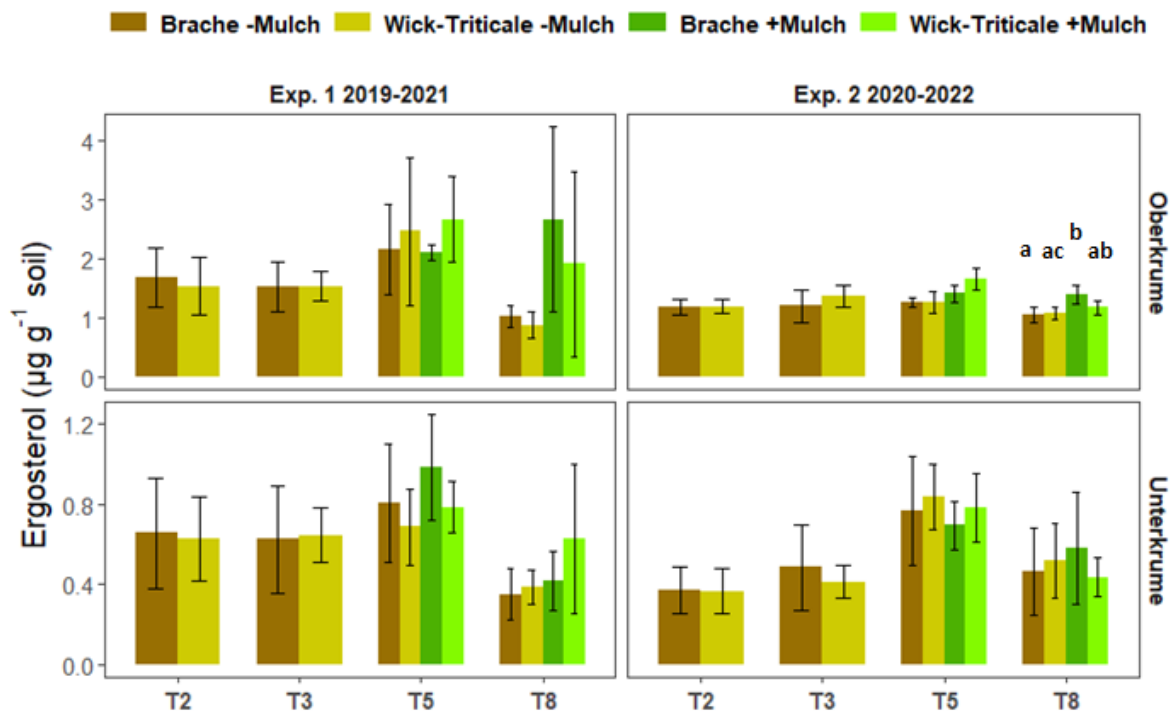


Abbildung A 6: Ergosterolgehalt in $\mu\text{g/g}$ Boden in Oberkrume (0-15 cm) und Unterkrume (15-30 cm) in Experiment 1 und 2 in Neu-Eichenberg. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichungen der Behandlungen 1 - 4. Unterschiedliche Buchstaben zeigen statistische Unterschiede an nach paarweisen Vergleichen mit Tukey Korrektur. T2 = Herbst-Vorfrucht, T3 = Frühjahr-Vorfrucht. T5 = Kartoffelblüte, T8 = Frühjahr-Nachfrucht.

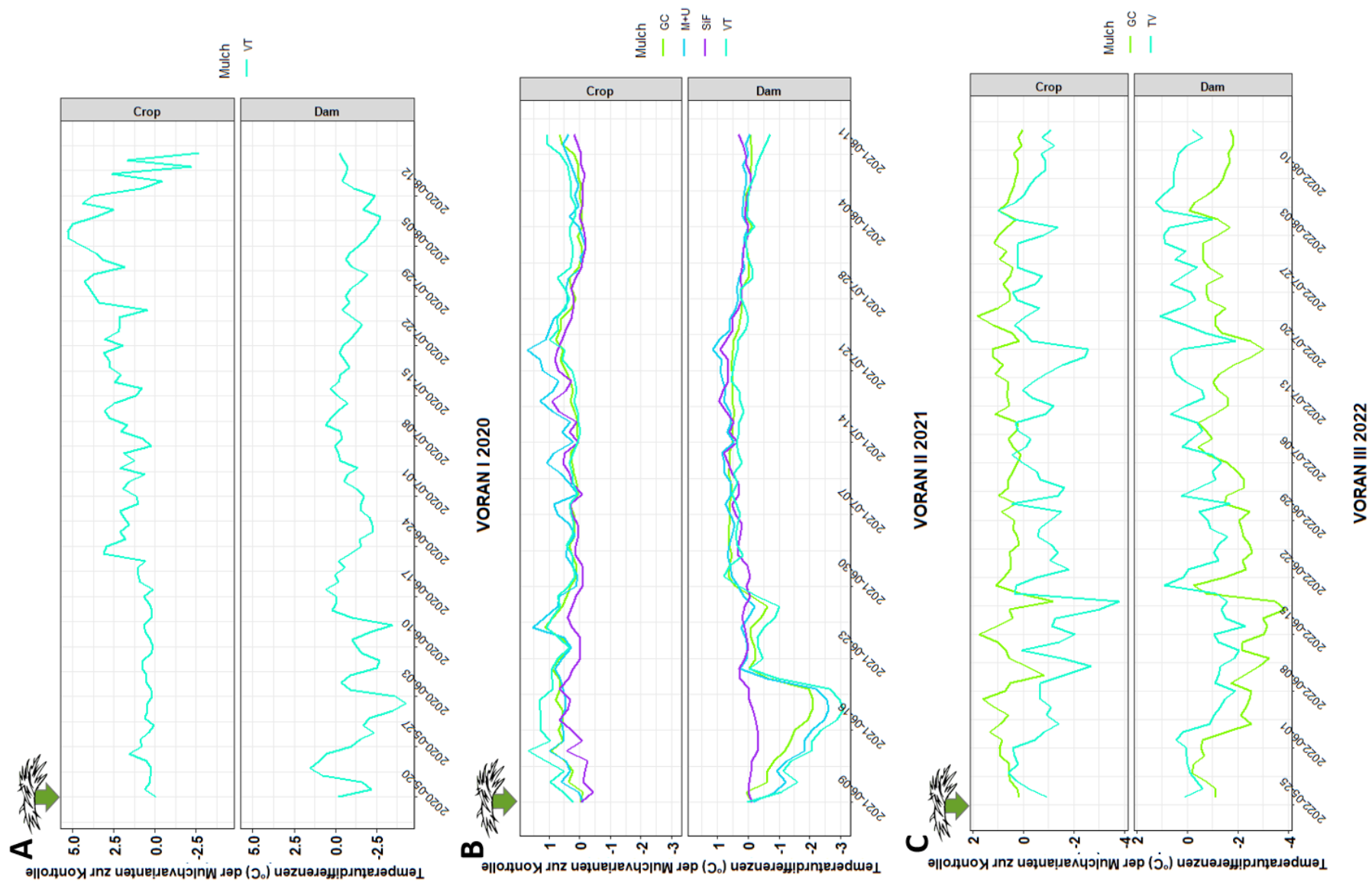


Abbildung A 7: Temperaturdifferenzen im Tagesmittel der Mulch Varianten zur Kontrolle ohne Mulch über die Kartoffelsaison in den Experimenten 1 (A), 2 (B) und 3 (C) in Neu-Eichenberg. VT = Wicktriticale-Mulch, GC = Kleegras-Mulch, M+U = Wicktriticale-Mulch mit Untersaat, SIF = Silagedüngung

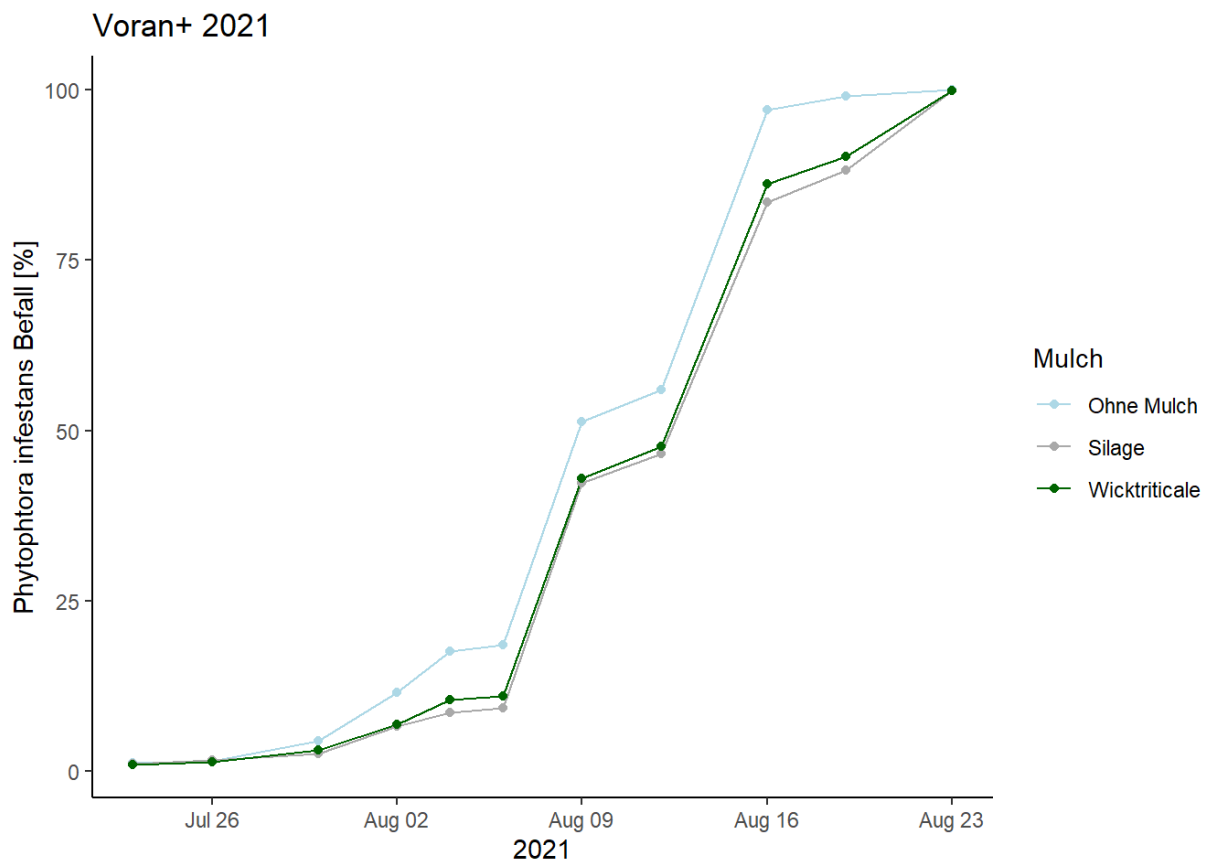
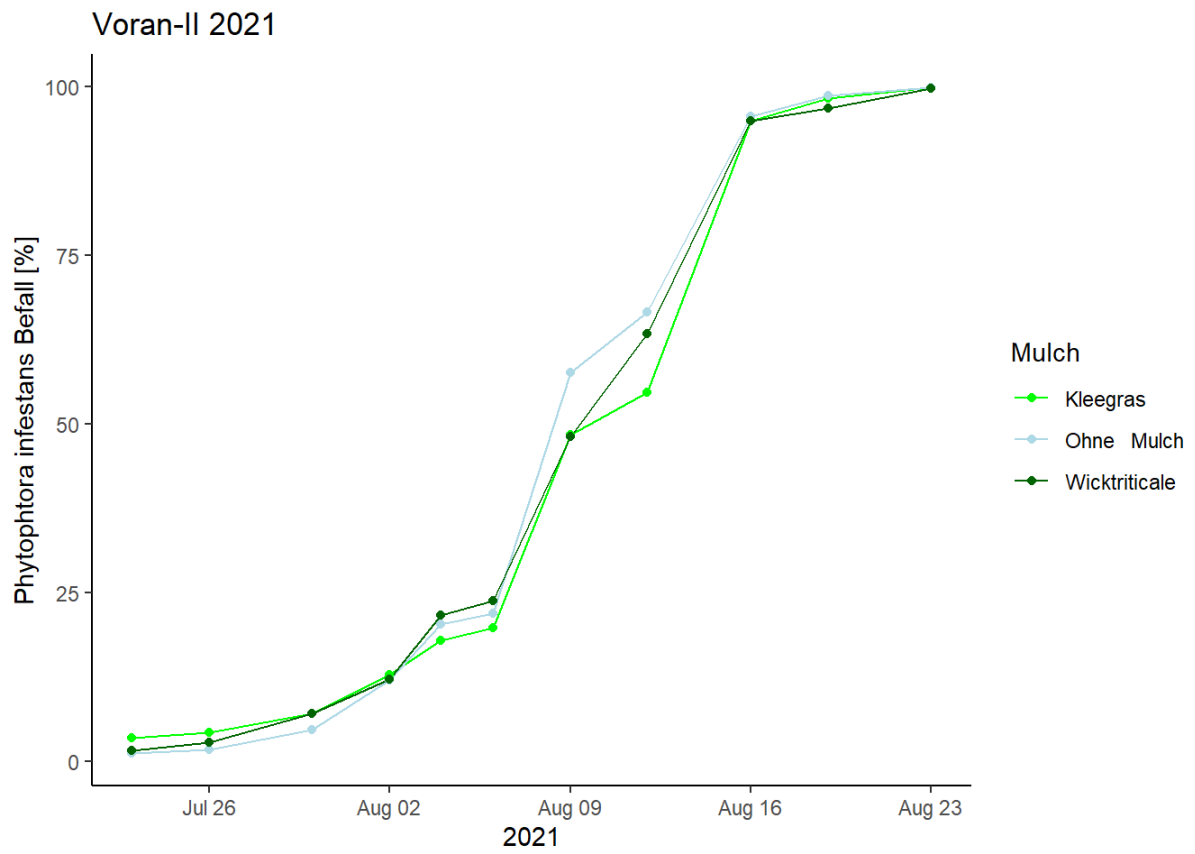


Abbildung A 8: Befall mit *Phytophthora infestans* (%) in Kartoffeln in Experiment 2 und 2+.

11.2 Tabellen

Tabelle A 1: Zeitliche Abfolge der Anbaumaßnahmen und Erhebungen in Experiment 1, 2 und 3. Darstellung Arbeitspakete (AP) in der Zwischen-, Haupt- und Folgefrucht.

Zeitraum	AP	Bonitur / Arbeitsschritt	Experiment 1 2020	Experiment 2 2021	Experiment 3 2022	
Zwischenfrucht	(4)	Fernoptische Erkundungen	17.3. 8.4. 17.4.	18.3. 25.3. 15.4. 23.4.	10.3. 23.3. 30.3. 11.4. 22.4. 28.4.	
	(4)	Ermittlung Mäuseschäden	19.3.			
	(4)	Beikrauterfassung	1.4.	24.3.	13.4.	
	(2)	Nmin-Beprobung	3.4.	25.3.	29.3.	
	(3)	Spatendiagnose	6.4.	27.4.	13.4.	
	(3)	Bodenbiologische Bestimmungen	6.4.	30.4.	13.4.	
	(3)	Regenwurmpopulation Erfassung	8.4.	26.4.	20.4.	
	(2)	Biomasseertrag, N-Gehalt Gründünger Düngung, Fermentapplikation, Einfräsen der Zwischenfrüchte / Grubbern	20.4. 20-21.4.	30.4. 30.4.	19.4. 20./ 29.4.	
Auflauf		Kartoffeln legen	22.4.	03.5.	26.4.	
	(4)	Fernoptische Erkundungen	08.4. 17.4. 15.5. 20.5. 30.5.	3.5. 11.5. 26.5. 2.6. 8.6.	4.5. 12.5. 20.5., 25.5. 1.6. 10.6.	
	(2)	Nmin-Beprobung	07.5.	25.5.	2.6.	
	(3)	Bodenbiologische Bestimmungen	18.5.	31.5.	-	
		Transfermulchapplikation	19./20.5.	9./10.6.	25.5.	
	(2)	Mulchhöhe, -masse und -N-Gehalt bestimmen	19./20.5.	9./10.6.	25.5.	
	(1)	Temperatur- / Feuchtigkeitslogger installieren	20.5.	10.6.	25.5.	
Blüte bis Ernte	Juni / Juli	(2)	Bestimmung Blattstickstoffgehalte	10.6. 12.6. 17.6. 19.6. 22.6. 24.6. 26.6. 29.6. 1.7. 6.7. 8.7. 10.7. 13.7. 15.7. 17.7. 20.7. 22.7. 24.7. 27.7. 29.7. 31.7. 3.8.	21.6. 24.6. 28.6. 5.7. 8.7. 12.7. 16.7. 19.7. 22.7. 26.7. 29.7. 2.8. 5.8. 9.8.	12.6. 22.6. 27.6. 11.7. 18.7. 25.7. 1.8. 11.8. 17.8.
		(2)	Nmin-Beprobung	23.6.	13.7.	5.7.
		(3)	Bodenbiologische Bestimmungen	25.6.	21.7.	13.7.
		(3)	Spatendiagnose	25.6.	21.7.	13.7.
	Juni-August	(1)	Aufnahme Stängel/Pflanze, Weißhohigkeit	29.6.	27.7.	25.7.
		(4)	Triebe Wurzelbeikräuter auszählen	30.6.	8.7.	
		(4)	Entwicklung Einzelindividuen Wurzelbeikräuter	30.6.	7.7.	Kein Auftreten
		(4)	Fernoptische Erkundungen	9.6. 16.6. 25.6. 1.7. 7.7. 13.7. 18.7. 23.7. 29.7.	18.6. 24.6. 2.7. 13.7. 22.7. 3.8.	16.6. 23.6. 30.6. 5.7. 14.7. 22.7. 28.7. 3.8.
		(5)	Kartoffelkäferbefallsbonituren	19.6. 22.6. 25.6. 29.6. 3.7. 6.7. 10.7. 13.7. 17.7. 20.7. 23.7.	22.6. 26.6. 28.6. 6.7. 8.7. 12.7. 15.7. 19.7. 22.7. 28.7.	13.6. 8.7. 26.7.
	(4)	Beikrauterfassung	1.7.	5.7.	28.6.	
	(6)	(P.infestans)/Alternaria-Bonituren	14.7. 16.7. 20.7. 22.7. 24.7. 27.7. 29.7. 31.7. 3.8. 5.8. 7.8. 8.8. 10.8. 12.8.	23.7. 26.7. 30.7. 2.8. 6.8. 9.8. 12.8. 16.8. 19.8. 23.8.	Kein Auftreten	

Fortsetzung Tabelle A 1

Zeitraum	AP	Bonitur / Arbeitsschritt	Experiment 1 2020	Experiment 2 2021	Experiment 3 2022	
Vor Ernte	Anfang - Mitte August	(4) Fernoptische Erkundungen	5.8. 12.8. 20.8. 27.8. 1.9. 9.9. 16.9. 23.9. 30.9.	11.8. 18.8. 24.8. 1.9. 10.9. 14.9. 16.9. 20.9.	9.8. 25.8. 31.8. 15.9. 22.9. 30.9.	
		(4) Triebe Wurzelbeikräuter auszählen	13.8.	17.8.	Kein Auftreten	
		(4) Entwicklung Einzelindividuen Wurzelbeikräuter	13.8.	18.8.	Kein Auftreten	
		(4) Beikrauterfassung	16.8.	18.8.	23.8.	
		(2) Bestimmung Abbaurate Mulch	19.8.	23.8.	15.9.	
		(2) Temperatur- / Feuchtigkeitslogger bergen	20.8.	21.9.	14.9.	
		(3) Bodenbiologische Bestimmungen	24.8.	7.9.	-	
	(3) Spatendiagnose	24.8.	7.9.	1.9.		
	Septemb er	Kartoffelernte		7.9. - 10.9.20	8.9./13.9.	24./ 25.9.
		Grundbodenbearbeitung / ZF- Einsaat		11.9.	25.9.	26.9.
Catchcrop	Anfang Septemb er - Anfang Novemb er	(4) Fernoptische Erkundungen	8.10. 15.10. 21.10. 27.10. 04.11. 11.11. 26.11. 17.12.	1.10. 7.10. 8.10. 27.10. 1.11. 8.11. 24.11. 16.12.	7.10. 13.10., 20.10. 01.11.	
		(2) Regenwurmpopulation Erfassung	3.11.	12.11.	26.10.	
		(2) Nmin-Beprobung	1.11.	23.11.	23.11.	
	er	(3) Spatendiagnose	6.11.	15.11.	31.10.	
		(3) Bodenbiologische Bestimmungen	6.11.	15.11.	2.11.	
		(4) Beikrauterfassung	6.11.	3.11.	2.12.	
Nachfrucht	Januar bis September im Folgejahr	2021			2022	2023
		(3) Bodenbiologische Bestimmungen	3.5.	3.5.	19.4.	
		(3) Spatendiagnose	3.5.	3.5.	19.4.	
		(2) Nmin-Beprobung	1.4.	1.3.	22.3.	
		(3) Regenwurmpopulation Erfassung	16.4.	2.5.	24.3.	
(2) Biomasseertrag	17.8.	13.9.	23.9.			
Nach-	im zweiten Jahr nach den Kartoffeln	2022			2023	2024
		(2) Ertragserfassung (Experiment 1 Ackerbohne, Experiment 2 Wickroggen)	4.8.	4.8.	-	

Tabelle A 2: Darstellung der in der Untersaatmischung enthaltenen Komponenten mit ihrem relativen Anteil in % an der Mischung und dem Anteil in kg von der Saatstärke 48 kg/ha sowie die bei der Auswahl berücksichtigte Funktion der Untersaatkomponenten.

Mischpartner	Aussaatstärke	rel. Anteil [%]	Funktion
	Anpassung [kg]		
Ackerbohne	19,81	41,27	N+, Biodiversität
Erbse	4,87	10,14	N+, Biodiversität
Zottelwicke	3,40	7,08	N+, Biodiversität
Platterbse	3,96	8,25	N+, Biodiversität
Buchweizen	4,53	9,43	Biodiversität
Phacelia	0,79	1,65	Biodiversität
Ölrettich	1,02	2,12	Biodiversität
Mais	2,83	5,90	N-Fixierer, C-Pumpe
Sonnenblume	3,40	7,08	N-Fixierer, Mykorrhizza+
Gemeiner Lein	3,40	7,08	Lückenfüller
Gesamt	48,00	100,00	

Tabelle A 3: Zeitliche Abfolge der Anbaumaßnahmen und Erhebungen in Experiment 1, 2 und 3 in Nossen.

Ackerfrucht	Zeitraum	AP	Bonitur/Arbeits-schritt	2019	2020	2021	2022
Exaktversuch							
Winterweizen	vor Aussaat	1	Bodenbeprobung Nmin und Makronährstoffe	-	25.10.	21.10.	
	Vegetationsbeginn	1	Nmin-Beprobung	-	-	22.02.	10.03.
	BBCH 25	1	Mulchtransfer und -beprobung	-	-	28.04.	20.04.
		2	Regenwurm-monitoring	-	16.03.	-	-
	nach Mulch-transfer	1	Nmin-Beprobung	-	-	12.05.	09.05.
	Ernte	1	Ertrag	18.07.	23.07.	29.07.	25.07.
	nach Ernte	1	Nmin-Beprobung	-	-	07.08.	01.08.
Kartoffel	vor Aussaat	1	Bodenbeprobung Nmin und Makronährstoffe	24.04.	20.04.	08.05.	06.05.
	Vegetations-beginn	1	Nmin-Beprobung	01.04.	24.04.	22.02.	09.03.
	BBCH 12	1	Mulchtransfer und -beprobung	13.05.	15.05.	04.06.	02.06.
	BBCH 54	4	Auftreten von Beikräutern	10.07.	-	20.07.	17.06.
	BBCH 64 (Blüte)	1	Nmin-Beprobung	24.06.	26.06.	23.06.	23.06.
		2	Regenwurm-monitoring	-	-	13.07.	
		3	Spatenprobe	-	-	16.06., 19.07.	-
		2	Erosionsanfällig-keit	28.05.	-	-	-
	Ernte	1	Ertrag, Knollen-bonitur	15.08.	18.09.	30.07.	17.07.
	nach Ernte	1	Nmin-Beprobung	20.08.	25.09.	22.08.	20.07.
Ackerbohne	vor Aussaat	1	Bodenbeprobung Nmin und Makronährstoffe	04.04.	06.04.	24.04.	27.04.
	Vegetations-beginn	1	Nmin-Beprobung	01.04.	24.04.	22.02.	09.03.
	BBCH 16	1	Mulchtransfer	15.04.	04.05.	06.05.	24.05.
	BBCH 23	4	Auftreten von Beikräutern	11.07.	-	18.06.	13.06.
		2	Erosionsanfällig-keit	-	10.05.	-	-
	Ernte	1	Ertrag	23.08.	14.08.	14.08.	17.08.
	nach Ernte	1	Nmin-Beprobung	25.08.	24.08.	20.08.	20.08.
Körnermais	vor Aussaat	1	Bodenbeprobung Nmin und Makronährstoffe	19.05.	18.05.	24.05.	12.05.
	Vegetations-beginn	1	Nmin-Beprobung	01.04.	27.05.	22.02.	10.03.
	BBCH 15	1	Mulchtransfer	04.06.	02.06.	02.06.	20.05.
	BBCH 34	4	Auftreten von Beikräutern	10.07.	-	18.07.	-
		2	Regenwurm-monitoring	-	05.10.	20.09.	-
		3	Spatenprobe	-	-	16.06., 19.07.	
		2	Erosionsanfällig-keit	-	-	14.06.	-
	Ernte	1	Ertrag	26.09.	23.10.	28.09.	26.09.
	nach Ernte	1	Nmin-Beprobung		01.11.	02.10.	30.09.
Gefäßversuch							
Körnermais	vor Aussaat	1	Bodenbeprobung Nmin und Makronährstoffe	23.04.	08.05.	19.05.	-
		1	Mulchausbringung	26.04.	08.05.	19.05.	-
	einmal pro Monat bis Ernte	1	Bodenbeprobung Nmin und Makronährstoffe in unbewachsenen Gefäßen	ab 23.05.	ab 05.06.	ab 06.07.	-
	einmal pro Woche bis Ernte	1	Messung SPAD-value	ab 28.06.	ab 01.07.	ab 17.06.	-
	Ernte	1	Ertrag, Nährstoffe	09.09.	16.10.	18.10.	-

Tabelle A 4: Übersicht über Probenahmeterminale für die mikrobiologischen Untersuchungen in NEB.

Jahr	Datum	Zeitpunkt	Entwicklungsstadium
Experiment 1			
2019	Oktober 22	T1	Zwischenfrucht Aussaat
2020	April 6	T2	Zwischenfrucht Umbruch
	Mai 18	T3	Nach Einarbeitung und Kartoffeln pflanzen
	Juni 25	T4	Kartoffelblüte
	August 24	T5	Vor Kartoffelernte
	November 11	T6	Nachfrucht
2021	Mai 3	T7	Nach-Nachfrucht Weizen/Erbse
Experiment 2			
2020	November 11	T1	Zwischenfrucht Aussaat
2021	April 30	T2	Zwischenfrucht Umbruch
	Mai 31	T3	Nach Einarbeitung und Kartoffeln pflanzen
	Juli 21	T4	Kartoffelblüte
	September 7	T5	Vor Kartoffelernte
	November 15	T6	Nachfrucht
2022	Mai 3	T7	Nach-Nachfrucht Weizen/Erbse
Experiment 3			
2022	April 13	T2	Zwischenfrucht Umbruch
	Juli 5	T4	Kartoffelblüte
	Oktober 31	T6	Nachfrucht
2023	Mai 3	T7	Nachfrucht

Tabelle A 5: Übersicht über die Probenahmezeitpunkte für die Regenwurmpopulation in NEB.

Jahr	Datum	Zeitpunkt	Entwicklungsstadium
Experiment 1			
2019	November 11	T1	Zwischenfrucht Aussaat
2020	April 8	T2*	Zwischenfrucht Umbruch
	November 11	T6	Nachfrucht
2021	April 15	T7	Nach-Nachfrucht Weizen/Erbse
Experiment 2			
2020	November 20	T1	Zwischenfrucht Aussaat
2021	April 28	T2	Zwischenfrucht Umbruch
	November 15	T6	Nachfrucht
2022	Mai 3	T7	Nachfrucht
Experiment 3			
2022	April 20	T2	Zwischenfrucht Umbruch
	Oktober 26	T6	Nachfrucht
2023	März 26	T7	Nachfrucht

* Daten nicht vorhanden.

Tabelle A 6: Behandlungen der mikrobiologischen Parameter des AKHWA Versuchs in Neu-Eichenberg.

Bhdlg.	Kürzel	BB	Kompost	Mulch	Vitalisierung
I	P	Pflug	-	-	-
II	P.K	Pflug	Kompost	-	-
III	P.MK	Pflug	Kompost	Mulch	-
IV	P.MKV	Pflug	Kompost	Mulch	-
V	RT	Reduziert	+	+	+
VI	RT.K	Reduziert	+		+
VII	RT.MK	Reduziert	+	+	-
VIII	RT.MKV	Reduziert	+	-	-