

Umsetzung der Europäischen Innovationspartnerschaft
„Landwirtschaftliche Produktivität und Nachhaltigkeit“ (EIP-AGRI)
in Niedersachsen/Bremen



Endbericht

für ein mit Mitteln des ELER gefördertes Vorhaben.

Titel des Vorhabens:

Entwicklung innovativer Strategien zum Glyphosatverzicht im pfluglosen Ackerbau



OG „Smarte **UN**kraut Kontrolle“

Inhalt

Inhalt	2
Abbildungsverzeichnis	4
Bildverzeichnis	7
1 Kurzdarstellung	8
1.1 Ausgangssituation und Bedarf	8
1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung	9
1.3 Mitglieder der OG	10
1.4 Projektgebiet	10
1.5 Projektlaufzeit und Dauer	10
1.6 Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen)	10
1.7 Ablauf des Verfahrens	11
1.8 Zusammenfassung der (erwarteten) Ergebnisse	14
2 Eingehende Darstellung	15
2.1 Verwendung der Zuwendung	15
2.1.1 Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte jeweils für ein OG-Mitglied und die Aufgaben im Rahmen der laufenden Zusammenarbeit einer OG	15
2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen	16
2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn	16
2.2.1 Ausgangssituation	16
2.2.2 Projektaufgabenstellung	16
2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf	17
2.3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet (ggf. Beispiele wie die Zusammenarbeit sowohl organisatorisch als auch praktisch erfolgt ist)?	17
2.3.2 Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projekts als OG?	18
2.3.3 Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen?	18
2.4 Ergebnisse des Innovationsprojekts	18
2.4.1 Zielerreichung	18
2.4.2 Abweichung zwischen Planung und Ergebnis	19
2.4.3 Projektverlauf	19
2.4.4 Untersuchung des Regenwurmorkommens bei unterschiedlichen Maßnahmen der Unkrautkontrolle	22
2.4.5 Untersuchung der Mykorrhiza bei unterschiedlichen Maßnahmen der Unkrautkontrolle	65
2.4.6 Mikrobielle Atmung	77
2.4.7 Collembolen	83
2.4.8 Bodenbiologische Untersuchungen	85
2.4.9 Einfluss mechanischer, biologischer oder elektrophysikalischer Verfahren der Unkrautregulierung auf die N-Mineralisierung des Bodens im Vergleich zur chemischen Alternative	91
2.4.10 Arbeitskraftstunden	93
2.4.11 Dieselbedarf und CO ₂ -Ausstoß	93
2.4.12 Digitale Erfassungen	95
2.4.13 Ertragskartierung	113
2.4.14 Ökonomische Bewertung	123
2.4.15 Arbeitszeitbedarf der Varianten	130
2.4.16 Fazit	131
2.4.17 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen	133



2.4.18 Nebenergebnisse 133

2.4.19 Arbeiten, die zu keiner Lösung/zu keinem Ergebnis geführt haben 133

2.4.20 mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern 133

2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis und verwertbare/nutzbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren oder Technologien entstanden? 134

2.6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse 134

2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit. Gibt es weitergehende (wissenschaftliche) Fragestellungen aus den Projektergebnissen, die zukünftig zu bearbeiten sind? 134

2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept..... 134

Literaturverzeichnis..... 142

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitschiene des EIP-Projektes.....	11
Abbildung 2 Versuchsanlage Großer Plan.....	12
Abbildung 3: Versuchsanlage Franke Weide.....	12
Abbildung 4: Anlageplan mit Fruchtfolge.....	12
Abbildung 5: Anlage der Prüfglieder, 2019 – 2023.....	13
Abbildung 6: Bodenzonenkarte Großer Plan.....	20
Abbildung 7: Bodenzonenkarte Franke Weide.....	20
Abbildung 8 Versuchsanlage Großer Plan.....	20
Abbildung 9: Versuchsanlage Franke Weide.....	20
Abbildung 10: Anlageplan mit Fruchtfolge.....	21
Abbildung 11: Anlage der Prüfglieder 2019-2023.....	22
Abbildung 12: Bodenfeuchtegehalte zur Probenahme am Standort Franke Weide im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021.....	27
Abbildung 13: Bodenfeuchtegehalte zur Probenahme am Standort Großer Plan im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021.....	27
Abbildung 14: Gesamtabundanzen der Regenwürmer am Standort Franke Weide im Vergleich von Frühjahr 2019 und Herbst 2019.....	28
Abbildung 15: <i>Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Franke Weide im Vergleich von Frühjahr 2019 und Herbst 2019.....</i>	29
Abbildung 16: Gesamtabundanzen der Regenwürmer am Standort Großer Plan im Vergleich von Frühjahr 2019 und Herbst 2019.....	30
Abbildung 17: Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Großer Plan im Vergleich von Frühjahr 2019.....	31
Abbildung 18: Gesamtabundanzen der Regenwürmer am Standort Franke Weide im Vergleich von Herbst 2020 und Frühjahr 2021.....	33
Abbildung 19: Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Franke Weide im Vergleich von Herbst 2020 und Frühjahr 2021.....	33
Abbildung 20: Gesamtabundanzen der Regenwürmer am Standort Großer Plan im Vergleich von Herbst 2020 und Frühjahr 2021.....	35
Abbildung 21: Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Großer Plan im Vergleich von Herbst 2020 und Frühjahr 2021.....	35
Abbildung 22: Gesamtabundanzen der Regenwürmer am Standort Franke Weide im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021.....	38
Abbildung 23: Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Franke Weide im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021.....	38
Abbildung 24: Gesamtabundanzen der Regenwürmer am Standort Großer Plan im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021.....	40
Abbildung 25: Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Großer Plan im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021.....	40
Abbildung 26: Abundanzen der Lebensformtypen am Standort Franke Weide im Vergleich von Frühjahr 2019 und Herbst 2019.....	53
Abbildung 27: <i>Abundanzen der Lebensformtypen am Standort Großer Plan im Vergleich von Frühjahr 2019 und Herbst 2019.....</i>	55
Abbildung 28: <i>Abundanzen der Lebensformtypen am Standort Franke Weide im Vergleich von Herbst 2020 und Frühjahr 2021.....</i>	58
Abbildung 29: <i>Abundanzen der Lebensformtypen am Standort Großer Plan im Vergleich von Herbst 2020 und Frühjahr 2021.....</i>	59
Abbildung 30: Abundanzen der Lebensformtypen am Standort Franke Weide im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021.....	61

Abbildung 31:: Abundanzen der Lebensformtypen am Standort Großer Plan im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021.....	63
Abbildung 32: <i>Mykorrhizierungsrate Gerste (Hordeum vulgare) Wurzelproben, April 2019</i>	67
Abbildung 33: <i>Mykorrhizierungsrate von Mais Wurzelproben, Vergleich der Varianten, Mai 2019</i>	69
Abbildung 34: <i>Mykorrhizierungsrate von Zea mays Wurzelproben, Mai 2019</i>	70
Abbildung 35: <i>Mykorrhizierungsrate von Hordeum vulgare Wurzelproben, Vergleich der Varianten, Juni 2020</i>	72
Abbildung 36: <i>Mykorrhizarate von Sommergerste (2019) Wurzelproben, Vergleich der Bedingungen Franke Weide zu Großer Plan</i>	73
Abbildung 37: <i>Durchschnittliche Sporenzahl (Sommergerste, 2019)</i>	74
Abbildung 38: <i>Mykorrhiza-Rate von Triticum aestivum-Wurzelproben im Vergleich verschiedener Bedingungen</i>	75
Abbildung 39: <i>Mykorrhizierungsrate von Winterweizen (2021) Wurzelproben im Vergleich der Bedingungen Franke Weide und Großer Plan</i>	76
Abbildung 40: <i>Anzahl Collembolen mit Standardabweichungen und Variationskoeffizienten</i>	84
Abbildung 41: <i>Mikroorganismen im Boden nach Varianten, Großer Plan 2021</i>	87
Abbildung 42: <i>Nmin-Gehalte (Winterweizen) der Versuchsvarianten, Großer Plan</i> ..	92
Abbildung 43: <i>Vergleich der Arbeitskraftstunden je ha in Abhängigkeit der Versuchsvarianten</i>	93
Abbildung 44: <i>Dieserverbrauch der angelegten Varianten</i>	93
Abbildung 45: <i>CO₂-Ausstoß im Verhältnis zum Ertrag (relativ A1=100 %)</i>	94
Abbildung 46: <i>Flugroute auf den Versuchsflächen</i>	95
Abbildung 47: <i>NDVI Großer Plan (vor Körnermais) 14.04.2019</i>	96
Abbildung 48: <i>NDVI Franke Weide (vor Körnermais) 14.04.2019</i>	96
Abbildung 49: <i>NDVI Großer Plan (Körnermais) 18.04.2019</i>	97
Abbildung 50: <i>NDVI Franke Weide (Körnermais) 18.04.2019</i>	97
Abbildung 51: <i>NDVI Großer Plan (Körnermais) 09.05.2019</i>	98
Abbildung 52: <i>NDVI Franke Weide (Körnermais) 09.05.2019</i>	98
Abbildung 53: <i>NDVI Großer Plan (Körnermais) 26.05.2019</i>	99
Abbildung 54: <i>NDVI Franke Weide (Körnermais) 26.05.2019</i>	99
Abbildung 55: <i>NDVI-Verlauf über alle Prüfglieder 2019, (Körnermais) Großer Plan</i>	100
Abbildung 56: <i>NDVI-Verlauf über alle Prüfglieder 2019, (Körnermais) Franke Weide</i>	101
Abbildung 57: <i>NDVI Großer Plan (vor Sommergerste) 18.03.2020</i>	101
Abbildung 58: <i>NDVI Franke Weide (vor Sommergerste) 18.03.2020</i>	101
Abbildung 59: <i>NDVI Großer Plan (Sommergerste) 14.04.2020</i>	102
Abbildung 60: <i>NDVI Franke Weide (Sommergerste) 14.04.2020</i>	102
Abbildung 61: <i>NDVI Großer Plan 04.05.2020 (Sommergerste)</i>	103
Abbildung 62: <i>NDVI Franke Weide 04.05.2020 (Sommergerste)</i>	103
Abbildung 63: <i>NDVI Großer Plan 25.05.2020 (Sommergerste)</i>	105
Abbildung 64: <i>NDVI Franke Weide 25.05.2020 (Sommergerste)</i>	105
Abbildung 65: <i>NDVI-Verlauf über alle Prüfglieder 2020, Großer Plan</i>	106
Abbildung 66: <i>NDVI-Verlauf über alle Prüfglieder 2020, Franke Weide</i>	106
Abbildung 67: <i>N-Aufnahme des Versuchsschlags Großer Plan, 24.03.2021</i>	108
Abbildung 68: <i>RGB Aufnahme Großer Plan, 24.03.2021</i>	109
Abbildung 69: <i>N-Aufnahme des Versuchsschlags Großer Plan, 10.05.2021</i>	110
Abbildung 70: <i>RGB Aufnahme Großer Plan, 10.05.2021</i>	110
Abbildung 71: <i>RGB Aufnahme Großer Plan, 14.09.2021</i>	111

Abbildung 72: N-Aufnahme des Versuchsschlags Großer Plan, 13.04.2022.....	112
Abbildung 73: Aufbau Ertragskartierung	113
Abbildung 74: <i>Ertragskarte Körnermais 2019, Großer Plan</i>	115
Abbildung 75: <i>Ertragskarte Körnermais 2019, Franke Weide</i>	115
Abbildung 76: Ertragskarte Sommergerste 2020, Großer Plan	117
Abbildung 77: Ertragskarte Sommergerste 2020, Franke Weide.....	117
Abbildung 78: Ertragskarte Winterweizen 2021, Großer Plan	119
Abbildung 79: Ertragskarte Winterweizen 2021, Franke Weide.....	119
Abbildung 80: Boxplot Ertragsdaten Winterraps 2021, Großer Plan.....	120
Abbildung 81: Boxplot Ertragsdaten Winterraps 2021, Franke Weide	120
Abbildung 82: Ertragskarte Winterweizen 2022, Großer Plan	122
Abbildung 83: Ertragskarte Winterweizen 2022, Franke Weide.....	122
Abbildung 84: Boxplot Ertragsdaten Winterraps 2022, Großer Plan.....	123
Abbildung 85: Boxplot Ertragsdaten Winterraps 2022, Franke Weide	123
Abbildung 86: Erträge in Getreideeinheiten, Großer Plan und Franke Weide	123
Abbildung 87: Deckungsbeiträge von Körnermais (2019), Daten SUNK-Projekt....	124
Abbildung 88: Deckungsbeiträge von Körnermais (2019), KTBL-Daten.....	125
Abbildung 89: Deckungsbeiträge von Sommergerste (2020), Daten SUNK-Projekt	126
Abbildung 90: Deckungsbeiträge von Sommergerste (2020), KTBL-Daten.....	126
Abbildung 91: Deckungsbeiträge von Winterweizen (2021), Daten SUNK-Projekt.	127
Abbildung 92: Deckungsbeiträge von Winterweizen (Jahr 2021), KTBL-Daten.....	128
Abbildung 93: Arbeitszeitbedarf je Hektar, Körnermais 2019	130
Abbildung 94: Arbeitszeitbedarf je Hektar, Winterweizen 2021	130
Abbildung 95: Disseminationsstrategie der Smarten Unkrautkontrolle	135



Bildverzeichnis

Bild 1: <i>Mykorrhizastrukturen in Hordeum vulgare Wurzel, April 2019</i>	68
Bild 2: <i>Mykorrhizastrukturen in Zea mays am Standort Franke Weide in Variante D1, Mai 2019</i>	70
Bild 3: <i>Arbuskuläre Strukturen in Wurzeln von Zea mays am Standort Franke Weide in Variante D1, Mai 2019</i>	71
Bild 4: <i>Repräsentatives Foto von Mykorrhiza-Strukturen in Hordeum vulgare Wurzeln</i>	73
Bild 5: <i>Abfolge des Bodenlebens</i>	78
Bild 6: <i>Messung der N-Aufnahme</i>	107

1 Kurzdarstellung

Die Forderung von Gesellschaft und Politik in den kommenden Jahren ist den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren. Die Anwendungen sollen auf ein notwendiges Maß beschränkt werden, weshalb Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes verstärkt gefördert werden. Durch den Wegfall bisher genutzter Herbizide wird die Unkrautkontrolle im konventionellen pfluglosen Ackerbau sowie in Direktsaatverfahren daher zukünftig zu einer Herausforderung.

Das Projekt entwickelt eine Strategie zu alternativen Anbausystemen bei Glyphosatverzicht, um weiterhin pfluglosen Ackerbau und Direktsaat mit all seinen Vorteilen auch im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes betreiben zu können. Hierzu erprobt das Projekt innerhalb einer dreijährigen Fruchtfolge verschiedene Strategien mit dem Ziel, unerwünschte Beikräuter zu unterdrücken. Dem Herbizideinsatz werden hierbei praxisgetriebene Neuentwicklungen, wie die elektrophysikalische Unkraut-bekämpfung und alternative Lösungsansätze mechanischer und biologischer Verfahren (Zwischenfrüchte, Untersaaten, Begleitpflanzen) gegenübergestellt. Das Projekt nutzt Smart Farming-Lösungsansätze wie georeferenzierte Probenahmen, Drohnentechnik, Multispektralkameras, Bodenscanner und Satellitendaten, um Verfahrenskombinationen zu erproben. Die Ergebnisse sollen Lösungswege aufzeichnen, wie im pfluglosen Ackerbau ökonomisch und ökologisch ohne den Einsatz von Glyphosat gewirtschaftet werden kann.

1.1 Ausgangssituation und Bedarf

Mit einem Glyphosat-Verbot in der Europäischen Union müssen in der Landwirtschaft chemische, mechanische, thermische oder auch elektrophysikalische Alternativen in Betracht gezogen werden. Diese Alternativen sollten weder ökologisch als auch ökonomisch der Glyphosat-Variante schlechter gestellt sein.

In der chemischen Variante können andere herbizide Pflanzenschutzmittel angewendet werden, die gegebenenfalls kombiniert werden müssen, um eine ähnliche Wirkung zu erzielen. Mit dem Ziel PSM generell in der Landwirtschaft zu reduzieren, ist dies keine Alternative.

Mechanische Bodenbearbeitung ist für Betriebe eine Alternative, die nicht auf Direktsaat setzen. Mechanische BB mit dem Pflug ist keine Alternative für konservierend wirtschaftende Betriebe. Mit den mechanischen Verfahren werden Unkräuter und Ausfallgetreide von der Fläche für den Moment entfernt. Mechanische Verfahren benötigen zum Teil mehrere Überfahrten. Dies bedeutet einen höheren Einsatz von Treibstoff, was sich monetär widerspiegelt. Bedeutet auch einen höheren Arbeitszeitaufwand. Infolge vermehrten Eingriffs in den Boden durch die BB steigt insbesondere auf erosionsgefährdeten Flächen die Gefahr des Abtrags durch Wind und Wasser können andere herbizide Pflanzenschutzmittel angewendet werden, die ggf. kombiniert werden müssen, um eine ähnliche Wirkung zu erzielen.

Thermische und elektrophysikalische Verfahren sind in der Breite der LW noch nicht angekommen und müssen noch erprobt und optimiert werden.

1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung

Titel des Projektes:

"Entwicklung innovativer Strategien zum Glyphosatverzicht im pfluglosen Ackerbau"

Das Ende der Zulassung von Glyphosat erfordert praxistaugliche Alternativen zur Beseitigung von Unkräutern und Ausfallgetreide vor der Saat der Hauptkultur. Im Anbausystem der pfluglosen Bodenbearbeitung wurden mechanische, elektrophysikalische und biologische Alternativen erprobt und bewertet. Die Anbausysteme wurden hinsichtlich Nachhaltigkeit, Ökonomie und Ökologie bewertet. Mit dem Vorhaben werden den Landwirten Alternativen aufgezeigt, Glyphosat zu substituieren.

Das Projekt entwickelt eine Strategie zu alternativen Anbausystemen bei Glyphosatverzicht, um weiterhin pfluglosen Ackerbau und Direktsaat mit all seinen Vorteilen auch im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes betreiben zu können. Hierzu erprobt das Projekt innerhalb einer dreijährigen Fruchtfolge verschiedene Strategien mit dem Ziel, unerwünschte Beikräuter zu unterdrücken. Dem Herbizideinsatz werden hierbei praxisgetriebene Neuentwicklungen, wie die elektrophysikalische Unkrautbekämpfung und alternative Lösungsansätze mechanischer und biologischer Verfahren (Zwischenfrüchte, Untersaaten, Begleitpflanzen) gegenübergestellt. Das Projekt nutzt Smart Farming-Lösungsansätze wie georeferenzierte Probenahmen, Drohnentechnik, Multispektralkameras, Bodenscanner und Satellitendaten, um Verfahrenskombinationen zu erproben.

1.3 Mitglieder der OG

Funktion	Name	Aufgabe
Lead-Partner	Dr. Jana Epperlein	Koordination Organisation Zusammenarbeit Netzwerkarbeit
OG-Mitglied (Landwirt)	Burkhard Fromme Hendrik Fromme	Bereitstellung der Versuchsflächen Umsetzung der agrotechnischen Maßnahmen Bonituren Beprobungen Öffentlichkeitsarbeit (Feldtage, Feldrundgänge, Vorträge)
OG-Mitglied (Landwirt)	Holger Bese	Bereitstellung der Versuchsflächen Umsetzung der agrotechnischen Maßnahmen Bonituren Beprobungen
OG-Mitglied (Wissenschaftliche Mitarbeiterin)	Dipl. Agrarbiologin Anja Schmidt	Planung, Anlage, Durchführung, Bonitur, Beprobungen, Erhebungen Auswertung der Versuche Berichterstellung Vorbereitung und Durchführung von Feldtagen, Feldrundgängen Fachartikel Vorträge Soziale Medien
OG-Mitglied (Wissenschaftliche Mitarbeiterin)	Dr. Jana Epperlein	Planung, Anlage, Durchführung, Bonitur, Beprobungen, Erhebungen Auswertung der Versuche Berichterstellung Vorbereitung und Durchführung von Feldtagen, Feldrundgängen Fachartikel Vorträge
OG-Mitglied (Wissenschaftliche Begleitung)	PD Dr. habil. Joachim Brunotte	Wissenschaftliche Fachbegleitung Unterstützung bei Feldtagen

1.4 Projektgebiet

Die Umsetzung des EIP-Projektes erfolgte auf landwirtschaftlichen Betrieben in Niedersachsen im Kreis Helmstedt. Die Praxisfläche „Großer Plan“ gehört dem Landwirtschaftsbetrieb Fromme. „Franke Weide“ - die zweite Praxisfläche gehört dem Landwirt Holger Bese.

1.5 Projektlaufzeit und Dauer

Mit Erhalt des Zuwendungsbescheids vom 04.02.2019 wurden die Arbeiten in der OG „Smarte Unkrautkontrolle“ aufgenommen. Der Bewilligungszeitraum umfasst den Zeitraum vom 05.02.2019 – 15.08.2022. Kostenneutrale coronabedingte Projektverlängerung bis 15.02.2023.

Über die Projektzeit hinaus ist geplant, die Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Projekt der Öffentlichkeit zu präsentieren.

1.6 Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen)

Das beantragte Gesamtbudget beläuft sich auf 350.612,00 €.

1.7 Ablauf des Verfahrens

Die Versuche wurden in einer 4-gliedrigen Fruchtfolge etabliert. Eingeteilt wurde der Versuchsablauf in Zeitabschnitte, die dem folgend dargestellten Phasenplan zu entnehmen ist (Abbildung 1). Dabei beinhaltete jede Projektphase einen bestimmten zeitlich dargestellten Abschnitt des Projektverlaufs, der sich eindeutig von den anderen Projektphasen abgrenzte. Die einzelnen Phasen wurden durch Meilensteine getrennt. Mit Anlage und Auswertung der 4-jährigen Versuche können praktische Einschätzungen zur Eignung des pfluglosen Anbauverfahrens ohne den Einsatz von Glyphosat gegeben werden. Ergebnisse und Erkenntnisse aus dem Projekt wurden auf zahlreichen Feldtagen, Fachmessen und nationalen wie internationalen Tagungen in Präsenz oder online präsentiert. Zudem wurden Artikel in Fachzeitschriften veröffentlicht. Ebenfalls wurde über die gesamte Projektlaufzeit in den sozialen Medien berichtet.

Die Innovationsidee zu dem Projekt und deren Umsetzung wurden in einer Videoreihe (7 Videoclips auf Youtube, GKB Youtube Kanal) dokumentiert.

Zudem wurde über die Projektlaufzeit ein gutes Netzwerk zu nationalen und internationalen EIP-Projekten aufgebaut.



Abbildung 1: Zeitschiene des EIP-Projektes

Phase 0 - Projektbeginn

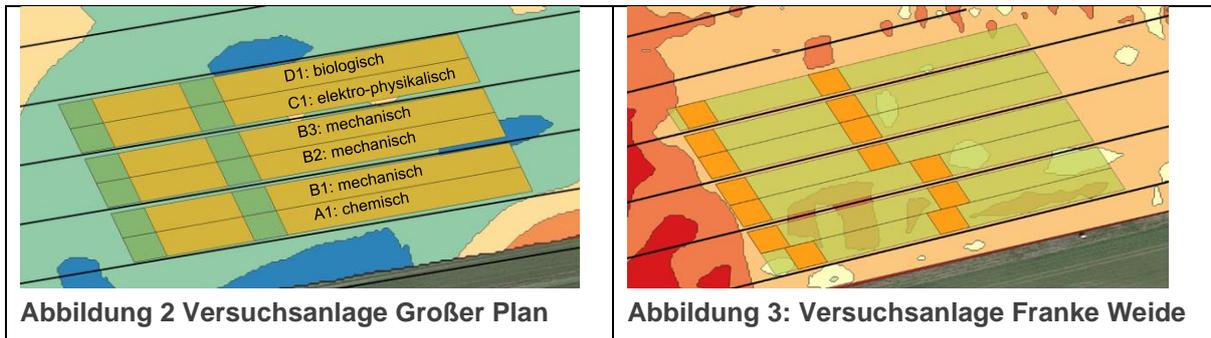
Mit Erhalt des Bewilligungsbescheid wurde ein Kick-Off-Meeting durchgeführt, an dem alle OG-Partner anwesend waren.

Phase 1 – Auswahl der Versuchsflächen

Vor Versuchsanlage wurden die Versuchsflächen nachfolgenden Kriterien ausgewählt:

- ~ Fruchtfolge
- ~ Hängigkeit
- ~ Digitale Biomassekarten der letzten fünf Jahre
- ~ Bodenzonenkarte mittels Bodenscanner (Topsoilmapper Fa. Geoprospectors)
- ~ Planung Fahrspurmanagement für Betriebstechnik
- ~ Planung der Versuchspartellen
- ~ Festlegung von Boniturpartellen

Abbildung 2 zeigt die Versuchsanlage Großer Plan mit eingezeichneten Boniturnpunkten und Prüfgliedern. Entsprechend zeigt Abbildung 3 die Versuchsfläche Franke Weide.



Phase 2 – Versuchsanlage

Um der Frage nachzugehen, welche Verfahren (chemisch, mechanisch, elektro-physikalisch, biologisch) sich im pfluglosen Ackerbau eignen Unkräuter, Ungräser und Ausfallgetreide wirkungsvoll zu unterdrücken wurden auf zwei Ackerflächen Versuche angelegt.

Die Versuche wurden unter realen Produktionsbedingungen durchgeführt. Das bedeutet, die Anlage der Varianten erfolgte auf Flächen mit praxisüblicher Größe und gebräuchlichen landwirtschaftlichen Maschinen. Die Form der Versuchsanlage versteht sich als On-Farm-Versuch. Damit aus den Ergebnissen Empfehlungen abgeleitet werden können, wurden die Grundsätze des landwirtschaftlichen Versuchswesen eingehalten und Proben georeferenziert über die Projektlaufzeit genommen. Bei der Versuchsanlage handelte es sich um einen Langparzellenversuch. Die Abbildung 4 zeigt den Aufbau des Versuches mit den einzelnen Prüfgliedern.

Die Fruchtfolge (Abbildung 4) auf den Versuchsflächen ist Körnermais mit Futterroggen als angebaute Zwischenfrucht, gefolgt von Sommergerste. Nach deren Ernte wurde eine Zwischenfrucht in der kurzen Vegetation bis zur Aussaat des Winterweizens angebaut. Danach folgt in der Fruchtfolge Winterraps mit Begleitpflanzen.

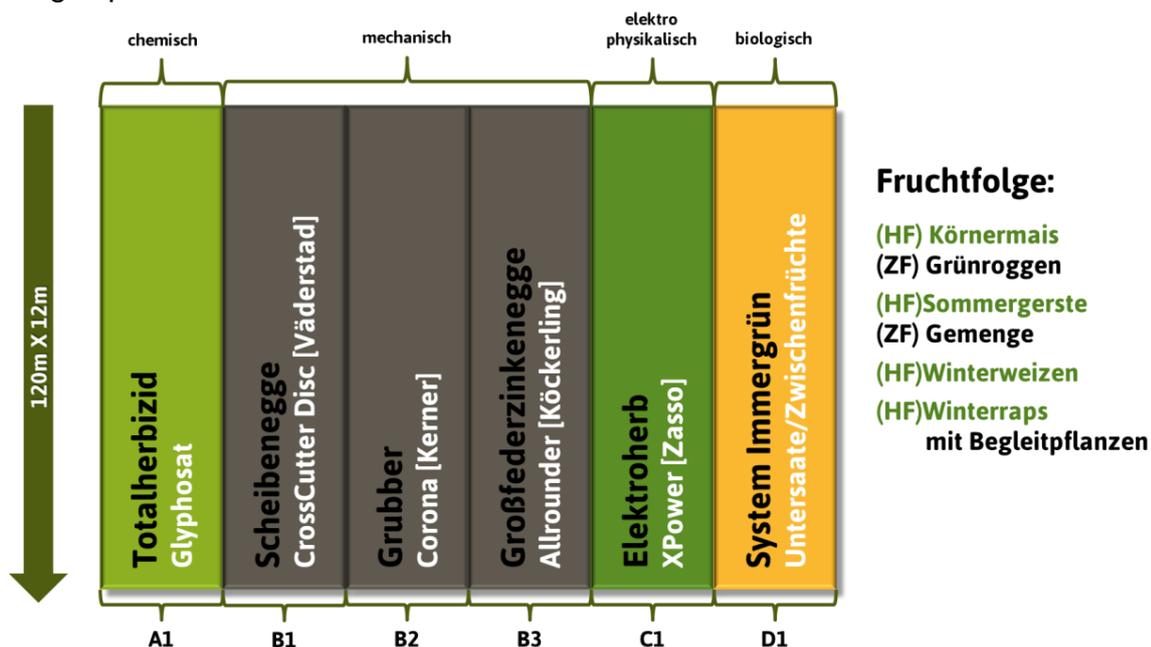


Abbildung 4: Anlageplan mit Fruchtfolge

Auf jeder Versuchsfläche werden vor der Aussaat der Hauptfrucht die in *Abbildung 5* dargestellten Prüfglieder angelegt. Ausfallgetreide und Unkräuter werden in den Varianten chemisch, mechanisch bzw. elektrophysikalische bekämpft und zu späteren Zeitpunkten der Wirkerfolg bonitiert.

PG	Variante	Einsatz	Aufwandmenge/Tiefe
A1	Chemisch <i>Totalherbizid</i>	Glyphosat	2 l/ha
B1	Mechanisch <i>nicht wendende BB</i>	Scheibenegge CrossCutter Disc (Väderstad)	3-5 cm
B2		Grubber Corona (KERNER)	3-5 cm
B3		Großfederzinkenegge Allrounder (Köckerling)	3-5 cm
C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	Zasso (XPower)	
D1	Biologisch <i>System Immergrün</i>	Untersaaten, Zwischenfrüchte, Begleitpflanzen	

Abbildung 5: Anlage der Prüfglieder, 2019 – 2023

Die Auswahl der Sorten erfolgt betriebsüblich. Ebenso die Düngung, welche über alle Prüfglieder einheitlich erfolgt. Unkraut- und Schädlingsbekämpfung erfolgen während der Vegetation systemangepasst über alle Prüfglieder einheitlich. Vor der Aussaat der Hauptfrucht wurde in der chemischen Variante (Prüfglied A1) das Totalherbizid Glyphosat mit einer Aufwandmenge von 2 l/ha eingesetzt. In allen weiteren Varianten wurde der Einsatz von Pflanzenschutzmittel durch mechanische bzw. elektrophysikalische Methoden ersetzt.

Die Ernte erfolgte mit Praxis-Mähdrescher - GPS-gesteuert mit Ertragskartierung.

Phase 3 – Vegetationsbegleitende Untersuchungen/Maßnahmen

Über die Vegetation werden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- ~ Daten zum Pflanzenbestand
- ~ Daten zum Wachstumsverlauf
- ~ Bodenbiologie/Mikrobiologie
- ~ N_{min} vor und nach Versuchsanlage (Winterweizen, 2021)
- ~ georeferenzierte Unkrautbonitur digital und optisch
- ~ Feldaufgang der Hauptfrucht
- ~ Pflanzenwachstum mittels Drohne und Multispektralkamera
- ~ georeferenzierte Messung der Bodenbiologie/Mikrobiologie
- ~ Erfassung der Mykorrhiza
- ~ Ökotoxik. Untersuchungen (Regenwürmer, Mikrobiologie, Collembolen)
- ~ Messung der relativen Bodenfeuchte mittels Bodenscanner

Über die Fruchtfolge wird von jeder Versuchsfläche eine Wirtschaftlichkeit gerechnet.

Zur exakten Aufzeichnung der Witterungsdaten wurde auf der Versuchsfläche Großer Plan eine LEMKEN Wetterstation installiert.

Phase 4 – Auswertung

Die im EIP-Projekt erhobenen Daten werden ausgewertet und im Endbericht dargestellt.

1.8 Zusammenfassung der (erwarteten) Ergebnisse

Mit der Umsetzung des SUNK-Projektes sollten in einer 4-jährigen Fruchtfolge Alternativen zum Glyphosat erprobt werden. Schwerpunkte lagen in der Bewertung der Varianten (chemisch, mechanisch, elektrophysikalisch und biologisch) hinsichtlich der praktischen Umsetzbarkeit für pfluglos arbeitende Betriebe. Des Weiteren sollten aber auch Umwelt- und ökologische Aspekte, sowie Wirtschaftlichkeit der Anbausysteme ausgewertet werden.

Die 4-jährigen Ergebnisse zeigen, dass eine Substitution des Totalherbizids Glyphosat durch flach arbeitende mechanische Werkzeuge zur Bekämpfung von Beikräutern und Ausfallgetreide generell möglich ist, ohne größere Verluste im Deckungsbeitrag. Jedoch nimmt der Arbeitszeitbedarf deutlich zu. In allen Kulturen konnten die Unkräuter mittels der Elektroherb-Anwendung nur ungenügend unterdrückt werden. Somit konnten sich hier die Kulturen im Vergleich zu den anderen geprüften Varianten schlechter entwickeln, was sich auch im Ertrag widerspiegelte. Die hohen Maschinenkosten für die elektrophysikalische Unkrautbekämpfung und geringen Erträge sind auch die Ursache für niedrigere Deckungsbeiträge in dieser Variante. Eine Verfahrenskombination aus mechanischer Beikrautbekämpfung und Einsaat einer Untersaat/Begleitsaat im Raps (biologische Variante) brachte aus ökonomischer Sicht keinen Vorteil. Der Grund lag in der schlechten Etablierung des Weißklee als Untersaat. Zukünftig sollten in weiteren Projekten die gute Etablierung von Untersaaten in der Hauptkultur vorangetrieben werden.

With the implementation of the sunk project, alternatives to glyphosate were to be tested in a 4-year crop rotation. The focus was on evaluating the variants (chemical, mechanical, electrophysical and biological) with regard to their practical feasibility for farms working without ploughs. Furthermore, environmental, and ecological aspects as well as the economic efficiency of the cultivation systems were to be evaluated.

The 4-year results show that a substitution of the total herbicide glyphosate by shallow mechanical tools for the control of weeds and volunteer cereals is generally possible without major losses in the contribution margin. However, the labour time requirement increases significantly. In all crops, the weeds could only be insufficiently suppressed by the electroherb application. This meant that the crops developed less well than the other variants tested, which was also reflected in the yield. The high machine costs for electrophysical weed control and low yields are also the cause of lower contribution margins in this variant.

A combination of mechanical weed control and sowing of an undersown/companion seed in rape (biological variant) did not bring any advantage from an economic point of view. The reason was the poor establishment of white clover as an undersown seed. In future projects, the good establishment of undersown crops in the main crop should be promoted.

2 Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung

2.1.1 Gegenüberstellung der Planung im Geschäftsplan und der tatsächlich durchgeführten und abgeschlossenen Teilschritte jeweils für ein OG-Mitglied und die Aufgaben im Rahmen der laufenden Zusammenarbeit einer OG

Alle Arbeitsschritte im Projekt wurden vollumfänglich umgesetzt. Auf Grund des großen Interesses an den Ergebnissen und Erfahrungen aus dem Projekt, wurden diese im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit in größerem Umfang als geplant durchgeführt. Mit der coronabedingten Verlängerung konnte mit dem Winterraps ein weiteres Fruchtfolgeglied in dem Versuch realisiert werden.

Bezeichnung	Koordination	Smarte UNkraut Kontrolle GbR			Landwirt	Wissenschaftler
	Dr. Jana Epperlein	Dr. Jana Epperlein	Anja Schmidt	Burkhard/Hendrik Fromme	Holger Bese	PD Dr. habil Joachim Brunotte
Kick Off - Meeting	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Auswahl der Versuchsflächen, Kartierung		✓	✓			
Bereitstellung der Versuchsflächen				✓	✓	
Koordination, Einhalten der Meilensteine	✓					
Beauftragung von externen DL, Vergaben	✓					
Versuchsanlage		✓		✓		
Vegetationsbegleitende Untersuchungen		✓	✓			
Ertragskartierung/Ernte der Hauptfrucht				✓		
Datenmanagement	✓		✓			
Auswertung der Daten	✓		✓			
Öffentlichkeitsarbeit Feldtage, Vorträge auf Fachtagungen, Messeauftritte, Fachpresse, Youtube, Facebook, Instagram	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Berichterstattung	✓		✓			
Teilnahme an OG-Treffen	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Projektabschluss	✓		✓	✓	✓	✓

2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen

Die Auflistung der einzelnen Ausgaben und der zahlenmäßige Nachweis der Kosten des Projekts erfolgte mittels verbindlicher Beleglisten. Die finanziellen Positionen zur Umsetzung des EIP Agri-Projektes sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: Aufstellung der finanziellen Positionen

Ausgaben der Zusammenarbeit	EUR
Personalausgaben	37.800,00
Öffentlichkeitsarbeit	9.832,86
Reisekosten	1.883,81
Zusammenarbeit Versuche (Lagerräume)	7.330,00
Summe	56.846,67
OG-Mitglied 1: SUNK GbR	
Personalkosten	147.402,00
wiss. Studien, Untersuchungen	100.817,86
Aufwandsentschädigung und Nutzungskosten	6.948,00
Kauf von Instrumenten und Ausrüstungsgegenständen	3.565,33
Summe	258.724,19
OG-Mitglied 2: LWB Bese	
Personalkosten	14.500,00
OG-Mitglied 3: LWB Brunotte	
Personalkosten	7.500,00

2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

2.2.1 Ausgangssituation

Die Zulassung für Glyphosat läuft in der Europäischen Union Ende 2022 aus. Ab 2024 soll es keine Anwendung des Wirkstoffs mehr geben. Für den pfluglosen Ackerbau ist das ein bedrohliches Szenario. Dabei erfüllt die Direkt- und Mulchsaat viele Forderungen, die an die Landwirtschaft der Zukunft gestellt werden: Sie ermöglicht einen wassersparenden Ackerbau, fördert die Biodiversität und hilft, CO₂ einzusparen und damit dem Klimawandel entgegenzuwirken. Gleichzeitig wird Bodenfruchtbarkeit aufgebaut und erhalten. Ohne Glyphosat wird all das schwieriger zu erreichen sein, weil die Unkrautbekämpfung ohne Totalherbizid und ohne das Wenden des Bodens zum Problem werden kann. Ohne Glyphosat werden die Bodenbearbeitungsgänge definitiv zunehmen, weil die Unkrautregulierung dann verstärkt, mechanisch passieren muss. Gleichzeitig wird ein verstärkter Einsatz von selektiven Herbiziden nötig sein.

Pfluglos wirtschaftende Landwirte sind schon heute gezwungen über praktische Lösungen nachzudenken und diese zu erproben, um Glyphosat durch pflanzenbauliche Maßnahmen zu substituieren und weiterhin nachhaltige Landwirtschaft zu betreiben.

2.2.2 Projektaufgabenstellung

Mit der Anlage des Projektes werden sowohl neue als auch erprobte Verfahren und Techniken zur Unkrautregulierung im pfluglosen Ackerbau gegenübergestellt und mit modernster Technik hinsichtlich Wirkerfolg (Unterdrückung unerwünschter Beikräuter und Problemunkräuter), Ökonomie (Verfahrenskosten) und Ökologie (Bodenbiologie) bewertet und auf den neusten Stand gebracht.

Im Projektverlauf, das heißt innerhalb einer dreijährigen Fruchtfolge, werden in weiteren Versuchsvarianten einzelne Maßnahmen und Techniken so kombiniert, dass diese auch ohne den Einsatz von Glyphosat eine möglichst hohe Unkrautreduzierung zeigen.

Ziel des Projektes ist es, eine Strategie und ein Entscheidungshilfemodell für die Landwirtschaft zu alternativen Anbausystemen bei Glyphosatverzicht zu entwickeln (Leitfaden), um weiterhin pfluglosen Ackerbau und Direktsaat mit allen bekannten Vorteilen betreiben zu können.

Gemeinsam mit der landwirtschaftlichen Praxis werden im Projekt komplexe Lösungen und Strategien zur Unkrautbekämpfung erarbeitet, welche es ermöglichen, flexibel im Anbausystem auf bestimmte Situationen und Anforderungen zu reagieren. Dabei werden nicht nur Einzelvarianten und -lösungen gegenübergestellt, sondern ganzheitliche Systeme betrachtet und entwickelt. Dieser Ansatz soll es ermöglichen, die Unkrautbekämpfungsstrategien in praxisübliche Fruchtfolgen und Anbausysteme zu integrieren und dem Praktiker Entscheidungshilfen an die Hand zu geben.

Mit dem zu entwickelnden Entscheidungshilfemodell steht der landwirtschaftlichen Praxis, den Beratungsdiensten und der Politik ein Werkzeug für Handlungsempfehlungen zur Verfügung, um den Glyphosateinsatz zur Unkrautunterdrückung zu minimieren bzw. langfristig zu ersetzen.

Mit dem Innovationsprojekt sollen gemeinsam durch die Akteure der **OG „Smarte UNkraut Kontrolle“** konkrete Lösungen zur nicht-chemischen Unkrautbekämpfung entwickelt und die Ergebnisse in die landwirtschaftliche Praxis transferiert werden. Die zu erprobenden ackerbaulichen Alternativen sollen:

-  einen hohen Wirkerfolg bei der Unkrautbekämpfung vorweisen,
-  zu Erhalt und Steigerung der Bodenfruchtbarkeit (namentlich biolog. Aktivität der Boden, Mykorrhizierung) beitragen,
-  Verzicht auf Glyphosat (Beitrag zur Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit) ermöglichen,
-  Bodenerosion durch Wind und Wasser trotz Verzicht auf Glyphosat erlauben,
-  Zur Beibehaltung des Ertrags- und Qualitätsniveaus beitragen,
-  der Erhaltung der Wettbewerbsfähigkeit (ökonomische Betrachtung) dienen,
-  die Belastung für Ökologie und Umwelt minimieren,
-  Die Klimarelevanz im Sinne von Bodenkohlenstoffspeicherung durch Konservierende Landwirtschaft stärken,
-  Resistenzen durch Verzicht bzw. Verminderung des Pflanzenschutzmitteleinsatzes vermeiden,
-  die gesellschaftliche Akzeptanz landwirtschaftlicher Handlungsweisen erhöhen

2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf

2.3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet (ggf. Beispiele wie die Zusammenarbeit sowohl organisatorisch als auch praktisch erfolgt ist)?

Mit der Bewilligung des EIP Agri Smarte Unkrautkontrolle Projektes trafen sich alle OG-Mitglieder zum Kick-off-Meeting statt. Alle inhaltlichen Absprachen zu Zeit- und Arbeitsplanungen wurden besprochen. Über die gesamte Projektlaufzeit wurden regelmäßige Projekttreffen in Präsenz und online durchgeführt auf denen von der Projektkoordinatorin stets zum aktuellen Umsetzungsstand berichtet wurde. Es wurden Ergebnisse vorgestellt und diskutiert, eventuell auftretende Probleme Lösungen gesucht und die weiteren Arbeitsschritte festgelegt.

Die Kommunikation für die Zusammenarbeit der OG lief stets sachlich, offen und ohne Konflikte. Durch das abgeschlossene EIP Agri Projekt „Begleitpflanzen im Raps“ wurden sowohl in der Projektkoordination als auch in der Zusammenarbeit positive Erfahrungen in das neue Projekt implementiert.

Regelmäßig tauschten sich die OG-Mitglieder über verschiedene Kommunikationswege (Telefon, E-Mail, WhatsApp-Gruppe, Zoom-Plattform) aus. Für Daten und Bildmaterial wurde eine Dropbox genutzt. Die einzelnen Mitglieder der OG waren selbständig und eigenverantwortlich für ihre Arbeitspakete verantwortlich. Bei Arbeitsspitzen unterstützten sich die OG-Mitglieder bei der Umsetzung. Dabei oblagen die Entscheidungen beim jeweiligen Verantwortlichen des Arbeitspaketes. Somit wurden Interessenkonflikte vermieden und die fachliche Kompetenz der einzelnen OG-Mitglieder wurde gewahrt.

2.3.2 Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projekts als OG?

Der Mehrwert bei der Durchführung des Projektes lag am nahen Praxisbezug aller OG-Mitglieder und ihrer Zugehörigkeit in der GKB. Der innovative Ansatz zur Durchführung des Projektes kam direkt von den Landwirten, die in Ihrer Arbeit stark von einem Glyphosatverbot betroffen sein würden. Ihr praktisches Verständnis erleichterte das Anlegen der Versuche in Parzellen. Ihre Beteiligung beim Wissenstransfer der Ergebnisse auf Feldtagen stellt einen großen Mehrwert dar, da die Landwirte direkt an Landwirte berichten können.

Durch das langjährig bestehende Netzwerk der GKB gestaltete der fachliche Austausch zwischen den beteiligten Gruppen (Landwirte, Beratung, Wissenschaftler und Industrievertreter) sehr vorteilhaft.

Über das EIP-Netzwerk wurden interessante neue Kontakte geknüpft, aus den neue Projektideen entstanden sind.

2.3.3 Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projekts vorgesehen?

Die OG-Partner sind aktive GKB-Mitglieder. Somit wird über die Projektlaufzeit hinaus weiter ein enger fachlicher Kontakt bestehen. Einzelne OG-Mitglieder sind in die Planung neuer Projekte u.a. in Niedersachsen involviert, deren Bewilligung noch aussteht.

2.4 Ergebnisse des Innovationsprojekts

2.4.1 Zielerreichung

Ziel des Projektes war die Entwicklung von Strategien zu alternativen Anbausystemen bei Glyphosatverzicht

Dazu wurde auf zwei landwirtschaftlichen Betrieben in Niedersachsen eine entsprechende Versuchsanlage in einer 4-gliedrigen Fruchtfolge etabliert.

Problemstellung

Die Forderung von Gesellschaft und Politik in den kommenden Jahren ist den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln zu reduzieren. Die Anwendungen sollen auf ein notwendiges Maß beschränkt werden, weshalb Maßnahmen des integrierten Pflanzenschutzes verstärkt gefördert werden. Durch den Wegfall bisher genutzter Herbizide wird die Unkrautkontrolle im konventionellen pfluglosen Ackerbau sowie in Direktsaatverfahren daher zukünftig zu einer Herausforderung.

Innovationsidee und Lösungsansatz

Das Projekt entwickelt eine Strategie zu alternativen Anbausystemen bei Glyphosatverzicht, um weiterhin pfluglosen Ackerbau und Direktsaat mit all seinen Vorteilen auch im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes betreiben zu können. Hierzu erprobt das Projekt innerhalb einer dreijährigen Fruchtfolge verschiedene Strategien mit dem Ziel, unerwünschte Beikräuter zu unterdrücken. Dem Herbizideinsatz werden hierbei praxisgetriebene Neuentwicklungen, wie die elektrophysikalische Unkrautbekämpfung und alternative Lösungsansätze mechanischer und biologischer Verfahren (Zwischenfrüchte, Untersaaten, Begleitpflanzen) gegenübergestellt. Das Projekt nutzt Smart Farming-Lösungsansätze wie georeferenzierte Probenahmen, Drohnentechnik, Multispektralkameras, Bodenscanner und Satellitendaten, um Verfahrenskombinationen zu erproben.

2.4.2 Abweichung zwischen Planung und Ergebnis

Die coronabedingte kostenneutrale Verlängerung ermöglichte es uns mit dem Winterraps eine weitere Kultur anzubauen, so dass wir eine 4-gliedrige Fruchtfolge auswerten können. Coronabedingt konnten wir die Regenwurmbeprobung Frühjahr 2020 nicht durchführen. Ebenfalls coronabedingt mussten wir den geplanten Feldtag am 14.04.2020 absagen.

2.4.3 Projektverlauf

Auswahl der Versuchsflächen

Die ausgewählten Schläge wurden mit einem Bodenscanner (Topsoilmapper Fa. Geoprospectors, Foto 1) abgefahren, welcher in vier Tiefen die relative Leitfähigkeit, welche durch den Wasser-, Salz- und Tongehalt bestimmt wird. Auf Basis dieser Messwerte wurde eine Bodenzonenkarte erstellt.



Foto 1: Bodenscanner

Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen die Bodenzonenkarten der Versuchsflächen Großer Plan und Franke Weide. Die roten Bereiche grenzen Zonen mit niedriger Leitfähigkeit ein, die blauen Bereiche, jene mit hoher Leitfähigkeit.

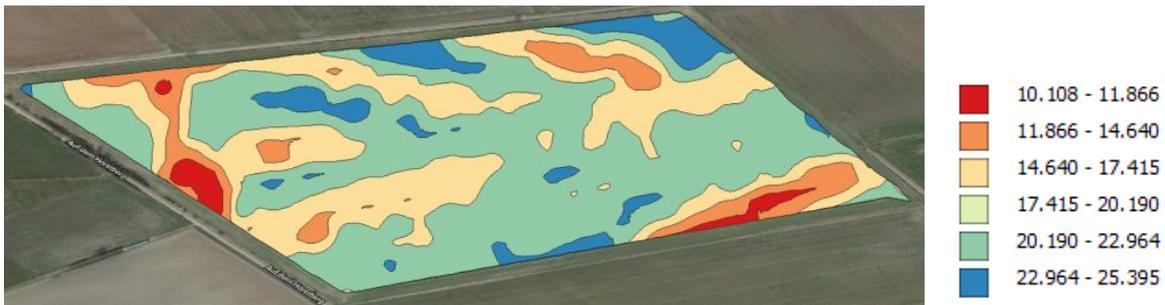


Abbildung 6: Bodenzonenkarte Großer Plan

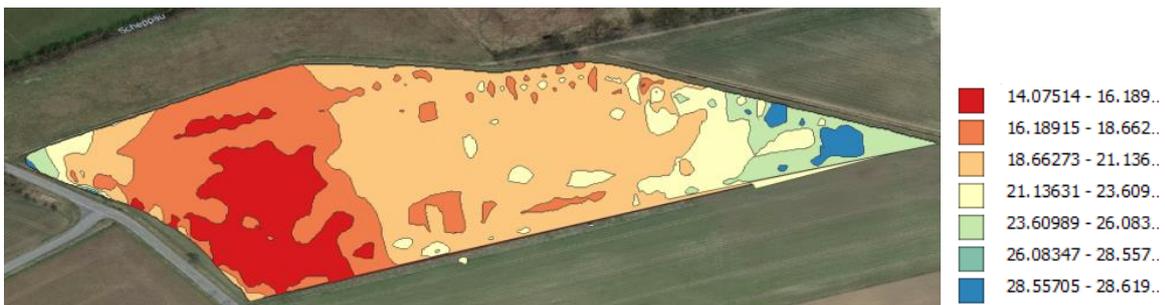


Abbildung 7: Bodenzonenkarte Franke Weide

Um Einflüsse auf den Versuch durch die Betriebstechnik auszuschließen, wurde mittels Satellitenbildern der vergangenen Jahre und GIS-Programm ein Fahrspurmanagement für die Feldversuche geplant. Die Feldversuche wurden entsprechend in homogene Bereiche gelegt (Abbildung 8 und Abbildung 9). Die Anlage erfolgte als Langparzellen von 120 m Länge und 12 m Breite mit praxisüblicher Großtechnik.

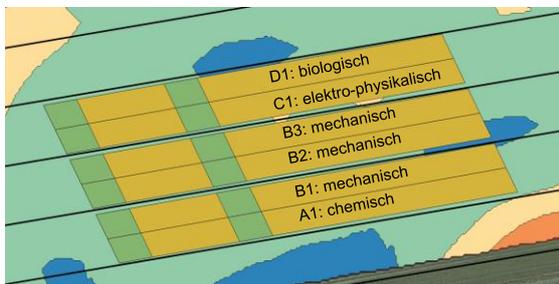


Abbildung 8 Versuchsanlage Großer Plan

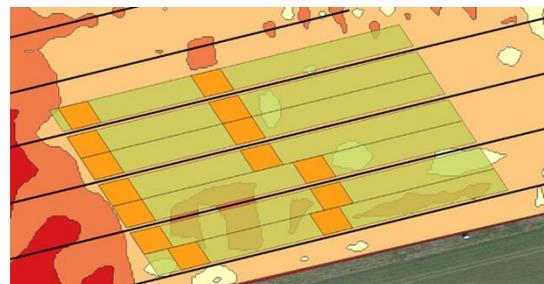


Abbildung 9: Versuchsanlage Franke Weide

Versuchsaufbau

Um der Frage nachzugehen, welche Verfahren (chemisch, mechanisch, elektrophysikalisch, biologisch) sich im pfluglosen Ackerbau eignen Unkräuter wirkungsvoll zu unterdrücken wurden auf zwei Ackerflächen ein Versuch angelegt. Die Umsetzung des EIP-Projektes erfolgte auf landwirtschaftlichen Flächen in Niedersachsen im Kreis Helmstedt. Die Versuchsfläche „Großer Plan“ gehört zum LWB Fromme und die Versuchsfläche „Franke Weide“ Landwirt Holger Bese. Beide Versuchsflächen befinden sich in der Nähe von Königslutter unweit voneinander entfernt.

Die Versuche wurden unter realen Produktionsbedingungen durchgeführt. Das bedeutet, die Anlage der Varianten erfolgte auf Flächen mit praxisüblicher Größe und gebräuchlichen landwirtschaftlichen Maschinen. Die Form der Versuchsanlage versteht sich als On-Farm-Versuch.

Damit aus den Ergebnissen Empfehlungen abgeleitet werden können, wurden die Grundsätze des landwirtschaftlichen Versuchswesen eingehalten und Proben georeferenziert über die Projektlaufzeit genommen. Bei der Versuchsanlage handelte es sich um einen Langparzellenversuch. Die Abbildung 10: Anlageplan mit Fruchtfolge zeigt den Aufbau des Versuches mit den einzelnen Prüfgliedern. Die Fruchtfolge auf den Versuchsflächen ist Körnermais mit Futterroggen als angebaute Zwischenfrucht, gefolgt von Sommergerste. Nach deren Ernte wurde eine Zwischenfrucht in der kurzen Vegetation bis zur Aussaat des Winterweizens angebaut. Danach folgt in der Fruchtfolge Winterraps mit Begleitpflanzen.

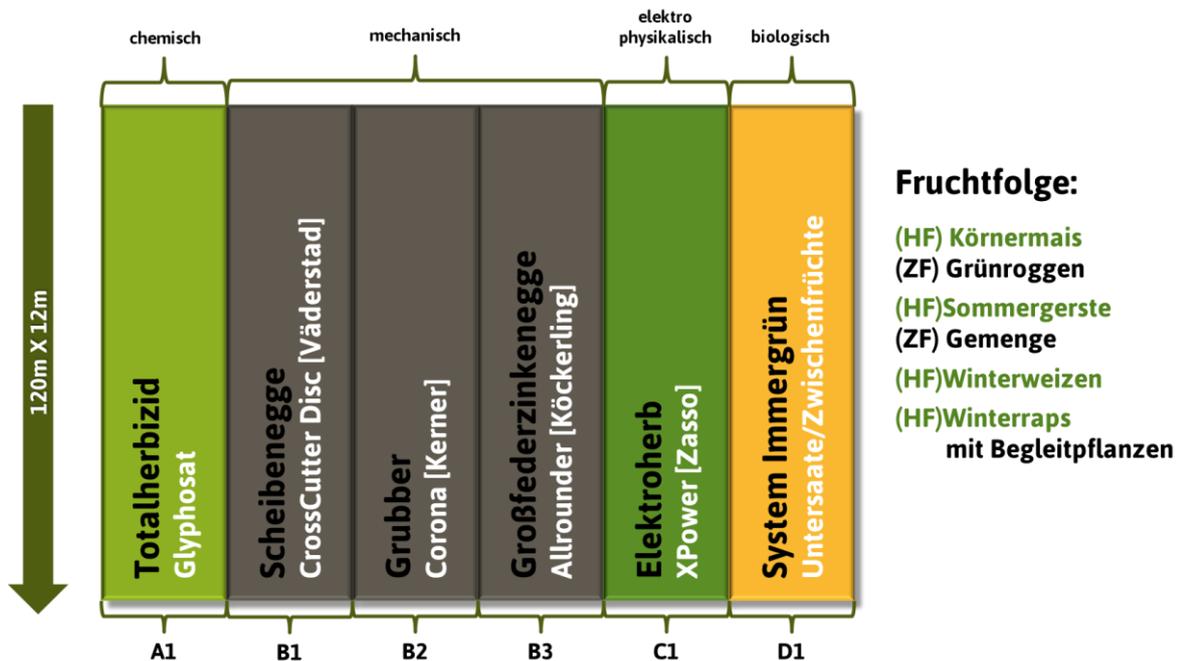


Abbildung 10: Anlageplan mit Fruchtfolge

Versuchsanlage

Auf jeder Versuchsfläche werden vor der Aussaat der Hauptfrucht die in Abbildung 11 dargestellten Prüfglieder angelegt. Ausfallgetreide und Unkräuter werden in den Varianten chemisch, mechanisch bzw. elektrophysikalisch bekämpft und zu späteren Zeitpunkten der Wirkerfolg bonitiert.

PG	Variante	Einsatz	Aufwandmenge/Tiefe
A1	Chemisch <i>Totalherbizid</i>	Glyphosat	2 l/ha
B1	Mechanisch <i>nicht wendende BB</i>	Scheibenegge CrossCutter Disc (Väderstad)	3-5 cm
B2		Grubber Corona (KERNER)	3-5 cm
B3		Großfederzinkenegge Allrounder (Köckerling)	3-5 cm
C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	Zasso (XPower)	
D1	Biologisch <i>System Immergrün</i>	Untersaaten, Zwischenfrüchte, Begleitpflanzen	

Abbildung 11: Anlage der Prüfglieder 2019-2023

2.4.4 Untersuchung des Regenwurmorkommens bei unterschiedlichen Maßnahmen der Unkrautkontrolle

Einleitung

Die Regenwurmzönosen ackerbaulich genutzter Böden sind in ihrer Zusammensetzung immer ein Resultat der Standorteigenschaften einerseits und der jeweiligen Bewirtschaftungsmaßnahmen andererseits, wobei Fruchtfolge, Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz Einfluss auf die Entwicklung der Populationen ausüben (KRÜCK ET. AL 2006, KRÜCK 1999). Allerdings können die Wirkungen verschiedener Bewirtschaftungsmaßnahmen komplex sein und sich auch entsprechend der Standort- und Bodeneigenschaften unterschiedlich auswirken.

Gut bekannt ist der Einfluss unterschiedlicher Bodenbearbeitungsverfahren, zu denen 2017 eine umfassende Auswertung durch BRIONES & SCHMIDT anhand einer Metastudie erschienen ist. In zahlreichen Untersuchungen ist wiederholt gezeigt worden, dass verschiedene Bodenbearbeitungsverfahren erheblichen Einfluss auf die Regenwurmpopulationen haben können und dies bereits nach kurzer Dauer (KRÜCK 1999, BRIONES & SCHMIDT 2017). Hierbei werden, aufgrund ihrer Lebensweise, die beiden auf Ackerflächen vertretenen Lebensformtypen durch die Bodenbearbeitung in unterschiedlichem Maße beeinflusst. Durch den Verzicht auf den Pflug beispielsweise, wird häufig eine Zunahme der tief graben-den Art *L. terrestris* verzeichnet (EDWARDS 1980, EDWARDS & LOFTY 1982, KRÜCK et. al 2001, BRIONES & SCHMIDT 2017).

Neben mechanischen Eingriffen spielt auf Ackerflächen die Anwendung von Pflanzenschutzmitteln eine mitunter bedeutende Rolle (TEIWES 1994), wobei bekannt ist, dass diese sich letal und subletal auf Regenwürmer auswirken können (EDWARDS & BOHLEN 1996, LEE 1985).

Als fördernd für Regenwurmpopulationen wird der Anbau von Zwischenfrüchten und Untersaaten angesehen, durch die über die Ernte- und Wurzelrückstände mit der größeren Zufuhr an organischer Substanz die Nahrungszufuhr für die Tiere erhöht wird (KRÜCK 1999). Dies wurde beispielsweise durch Untersuchungen aus Schweden bestätigt, in denen Regenwurmpopulationen verschiedener Fruchtfolgen untersucht wurden. Erhöhte Populationsdichten traten immer nach Kulturpflanzen mit hohen Mengen an Ernte- und Wurzelrückständen auf (LOFS-HOLMIN 1983). Neben der Gesamtmenge an verfügbarer organischer Substanz als Nahrungsgrundlage spielt die zeitliche Verfügbarkeit und die Qualität dieser ebenfalls eine Rolle, wie auch die Dauer der Bodenbedeckung und Durchwurzelungsintensität durch die Kultur.

Noch gänzlich unbekannt ist bisher die Wirkung einer elektrophysikalischen Unkrautregulierung bei dem Strom eingesetzt wird wie beim Elektroherb der Firma Zasso. Bei dieser Form der Unkrautregulierung wird Gleichstrom im Hochspannungsbereich oder ein hochfrequenter Wechselstrom durch die Blätter der Pflanzen und den Boden geleitet. Bekannt ist in diesem Zusammenhang jedoch, dass die Reizwirkung einer durch Strom erzeugten Spannungen bei der Oktett-Methode genutzt wird, um Regenwürmer aus dem Boden auszutreiben (THIELEMANN 1986).

Bei den vorliegenden Untersuchungen sind mit den verschiedenen Maßnahmen der untersuchten Varianten komplexe Wirkungen auf Regenwurmpopulationen erfasst worden. In der Variante A1 mit Anwendung des Herbizids Glyphosat ergibt sich neben einer möglichen direkten toxischen Auswirkung eine indirekte Wirkung, welche sich nach der Anwendung aus einer fehlenden Nahrungsgrundlage des blanken Bodens ergibt. In den mechanisch bearbeiteten Varianten (B1 bis B3) können sich neben direkter mechanischer Schädigung ebenfalls indirekte Wirkungen durch die verminderte Nahrungsgrundlage als Folge der Bearbeitung ergeben. In der Variante C1 mit der Anwendung der elektrophysikalischen Unkrautregulierung mit dem Elektroherb ist mit einer kurzzeitig erhöhten Nahrungszufuhr durch den abgetöteten Pflanzenbestand zu rechnen, der einen positiven Einfluss auf die Populationsentwicklung haben könnte. Mögliche negative Effekte der Anwendung des Stroms im Boden könnten hingegen die Populationen schädigen. Schließlich ist in der Variante D1 durch die Untersaaten mit einem positiven Effekt auf die Regenwürmer aufgrund der erhöhten Nahrungszufuhr und der kontinuierlichen Bodenbedeckung in dieser Variante zu rechnen.

Um diese komplexen Wirkungen zu erfassen, wurden die Regenwürmer im Frühjahr, direkt nach der Etablierung der Varianten durch Anwendung der Maßnahmen beprobt, um die akute Wirkung der jeweiligen Maßnahme erfassen zu können. Eine weitere Beprobung im Herbst diente der Erfassung der langfristigen Wirkungen eventuell geschädigter oder besonders geförderter Populationen.

Material und Methoden

Untersuchungsstandorte

Die Versuchsstandorte Großer Plan und Franke Weide wiesen spezifische Bodeneigenschaften auf. Hierbei wies der Boden am Standort Franke Weide höhere Sandanteile auf. Am Standort Großer Plan fanden sich hingegen deutlich höhere Lehmgehalte.

Unterschiede in den Standorteigenschaften wurden gewählt, um zu prüfen ob die angewandten Maßnahmen in ihrer Wirkung unter den jeweiligen Bodenbedingungen standortspezifische Effekte zeigen.

Zur Erfassung der Regenwürmer sind pro Variante vier Beprobungspunkte festgelegt worden, zwei am oberen Ende der Parzelle und zwei im mittleren Parzellenbereich. Die Beprobungspunkte wurden digital erfasst und eingemessen. Die Auswahl der Probenahmepunkte erfolgte anhand von Bodenscans der oberen Bodenschicht bis 20 cm, sodass alle Beprobungspunkte auf möglichst homogenen Bereichen mit vergleichbaren Bodeneigenschaften lagen. Die Probengröße betrug jeweils 1/8 m² auf 20 cm Tiefe.

Beprobungstermine

Frühjahr 2019 und Herbst 2019

Am 08.04.2019 wurden mit der Ausbringung des Herbizids Glyphosat auf der Teilfläche A1 (chemische Variante) im Versuch etabliert. Damit erfolgte die Etablierung der chemischen Variante eine Woche vor den weiteren Anlagevarianten, um eine Exposition der Regenwürmer mit dem Herbizid zu gewährleisten und um hierdurch eine eventuelle akute toxische Wirkung erfassen zu können.

Die mechanischen, elektrophysikalische und die Variante C1 (Verfahrenskombination aus mechanischer Bodenbearbeitung und Untersaat eingesät in Körnermais) wurden unmittelbar vor der Regenwurmbeprobung, am 15.04.2019 etabliert.

Die unmittelbare Beprobung der Flächen nach Durchführung der Maßnahmen in den Varianten B1 bis C1 sollte dazu dienen, mögliche direkte Schäden der mechanischen und elektrophysikalischen Verfahren auf die Regenwürmer zu erfassen. Insgesamt diente die Frühjahrsbeprobung somit der Erfassung akuter und direkter Schädigungen der Populationen.

Nach der Frühjahrsbeprobung wurde auf allen Parzellen Mais eingedrillt. Dieser wurde ca. 1 Woche vor der Herbstbeprobung geerntet und als Folgekultur wurde Roggen ausgesät, in dem dann die Herbstbeprobung der verschiedenen Varianten durchgeführt wurde. Eine Herbstbeprobung sechs Monate nach der Anwendung der verschiedenen Maßnahmen hatte zum Ziel eventuelle Schädigungen der Populationen mit Auswirkung auf die Populationsentwicklung zu erfassen.

Herbst 2020 und Frühjahr 2021

Nach dem Körnermais wurde auf beiden Versuchsflächen Wintergerste im Vegetationsjahr 2020/21 angebaut mit nachfolgender Zwischenfrucht (DSV TerraLife N-Fixx). Aufgrund unterschiedlicher Niederschlagssituationen auf den beiden Standorten lief lediglich am Standort Franke Weide (40 mm Niederschlag nach der Aussaat) die Zwischenfrucht auf und bildete einen Bestand. Am Standort Großer Plan, an dem es zu diesem Zeitpunkt keine Niederschläge gab, war kaum ein Aufgang der Zwischenfrucht zu verzeichnen.

Aufgrund der COVID-19-Pandemie und dem damit verbundenen Kontaktverbot war im zweiten Anlagejahr (Frühjahr, 2020) in der Sommergerste keine Beprobung der Regenwürmer wie im Vorfeld geplant möglich.

Anfang Oktober (12.10.2020), noch vor der Herbstbeprobung der Regenwürmer, wurde auf den Flächen Winterweizen ausgesät. Somit sind sowohl die Herbstbeprobung 2020 als auch die Frühjahrsbeprobung 2021 in dieser Kultur vorgenommen worden.

Entsprechend der Anlagevarianten wurden die einzelnen Prüfglieder etabliert. In der Variante C1 (Verfahrenskombination aus mechanischer und biologischer Variante) erfolgte eine zweimalige flache Bodenbearbeitung beider Flächen mit dem CrossCutter Disc (4 – 5 cm Bearbeitungstiefe am 07. und 10.10.2021) vor der Aussaat des Winterweizens. Dies war erforderlich, da die Versuchsvariante stark verunkrautet war.

Am 05.10.2020 wurde mit der Ausbringung des Herbizids Glyphosat auf der Teilfläche A1 diese Variante in den Versuchen etabliert. Am 07.10.2020 und bei zweimaliger Bearbeitung nochmal am 10.10.2020 sind alle mechanischen Bearbeitungsvarianten und die biologische Variante D1 etabliert worden. Die elektrophysikalische Bearbeitung mit dem Gerät Elektroherb (Elektroherb) der Variante C1 erfolgte ebenfalls am 07.10.2020. Eine Woche nach Etablierung der Varianten ist die Herbstbeprobung der Regenwürmer durchgeführt worden. Hierdurch diente die Herbstbeprobung der Erfassung akuter und direkter Schädigungen der Populationen durch die verschiedenen Maßnahmen. Die Frühjahrsbeprobung sechs Monate nach der Anwendung der verschiedenen Maßnahmen ermöglichte hingegen die Beobachtung der langfristigen Entwicklungen der Populationen.

Herbst 2021

Nach der Ernte des Winterweizens wurde auf beiden Versuchsflächen im Jahr 2021 Winterraps mit Erbsen als Begleitpflanzen etabliert. Das Stroh des Winterweizens sollte auf den Versuchsflächen verbleiben. Am Standort Großer Plan waren die Mengen an Stroh so umfangreich, dass das Stroh geräumt werden musste. Am Standort Franke Weide konnte das Stroh hingegen auf der Fläche verbleiben.

Als Versuchsvarianten sind, wie bereits in den vorigen Jahren auf den entsprechenden Parzellen des Vorjahres die verschiedenen mechanischen, die elektrophysikalische und die biologische Variante im Vergleich zu der chemischen Variante mit Glyphosat etabliert worden. Lediglich die elektrophysikalische Variante (C1) bildete eine Ausnahme, denn am Standort Franke Weide konnte diese, aufgrund des Strohs auf der Fläche im Jahr 2021 nicht angelegt werden. Das Stroh ist durch das Elektroherb-Gerät in Brand gesetzt worden, so dass die Maßnahme abgebrochen werden musste. Diese elektrophysikalische Variante (C1) wurde am Standort Franke Weide deshalb im Herbst 2021 bei der Regenwurmbeprobung nicht beprobt.

Die Beprobung erfolgte zum Winterraps im Oktober 2021 auf beiden Versuchsflächen.

Untersuchungsmethode

Zur Erfassung der Regenwürmer kam die Methodenkombination der Handsortierung mit anschließendem Austrieb durch eine Senföllösung (Allylisothiocyanat bzw. AITC) zur Anwendung (ZABORSKI 2003; ISO 23611-1 2018). Hierzu sind 1/8 m² Boden bis 20 cm Tiefe ausgehoben und unmittelbar darauf 2,5 l AITC-Lösung in einer Konzentration von 100 mg/L in das Beprobungsloch, zum Austrieb der Tiere aus tieferen Bodenschichten, gegeben worden. Jede Untersuchungsvariante ist mit insgesamt vier Proben beprobt worden. Diese dienten als Wiederholungen und sind auf den vorgesehenen Teilflächen im oberen und mittleren Bereich der Parzellen angeordnet worden. Hierdurch ergab sich eine Wiederholungszahl von vier Proben pro Variante.

Parallel zur Regenwurmbeprobung sind zur bodenklimatischen Beschreibung die Bodenfeuchte in 5 bis 15 cm und die Bodentemperatur in 10 cm Bodentiefe ermittelt worden.

Nach erfolgter Handsortierung kamen die Tiere ins Labor, wo die Bestimmung der Tiere durchgeführt und die Auswertung der Ergebnisse für die Erstellung des vorliegenden Berichts durch die Auftragnehmerin, Frau Dr. Stefanie Krück, vorgenommen wurden.

Auswertung

Folgende Parameter wurden erhoben:

-  Gesamtabundanz und Gesamtbio­masse
-  Abundanz und Bio­masse pro Altersstufe
-  Abundanz und Bio­masse pro Art
-  Abundanz und Bio­masse pro Art und Altersstufe
-  Abundanz und Bio­masse pro Lebensformtyp
-  Abundanz und Bio­masse pro Lebensformtyp und Altersstufe

Folgende Definitionen wurden zugrunde gelegt:

-  Gesamt = alle gezählten taxonomischen Einheiten (bezieht auch alle nicht bestimm­baren Tiere [indet. = indeter­minierbar] mit ein),
-  je Art / Lebensformtyp = alle von einer Art oder einem Lebensformtyp gefundenen Tiere (bezieht auch alle Tiere mit ein, bei denen das Alter nicht bestimmbar war),
-  je Altersstufe = alle Tiere mit bestimm­baren Altersmerkmalen.

Die Bestimmung wurde mindestens bis zur Gattung und i.d.R. bis auf Art­niveau unter Zuhilfenahme der üblichen Bestimmungsliteratur (GRAFF 1953, HERR & BAUCHHEN 1987, SIMS & GERARD 1999, KRÜCK 2018) durchgeführt. Die Nomenklatur folgte EASTON (1983) und BLAKEMORE (2008).

Zur Datenerfassung diente eine Datenbank. Für alle Parameter wurden Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient berechnet.

Ergebnisse

Umweltbedingungen bei der Probenahme

Regenwürmer sind im Frühjahr und Herbst bei ausreichender Bodenfeuchte und Bodentemperaturen bis etwa 14°C voll aktiv und können unter diesen Bedingungen gut mit der beschriebenen Beprobungsmethode erfasst werden. Unter ungünstigen Bedingungen (trockene und warme sowie gefrorene Böden) wandern die Tiere in tiefere Bodenschichten und gehen in ein Ruhestadium, sodass die Tiere dann auch durch eine Austriebsflüssigkeit, wie etwa der AITC-Lösung, nicht mobilisiert und ausgetrieben werden können (Kollmannsperger 1955, Lee 1985, Edwards & Bohlen 1996).

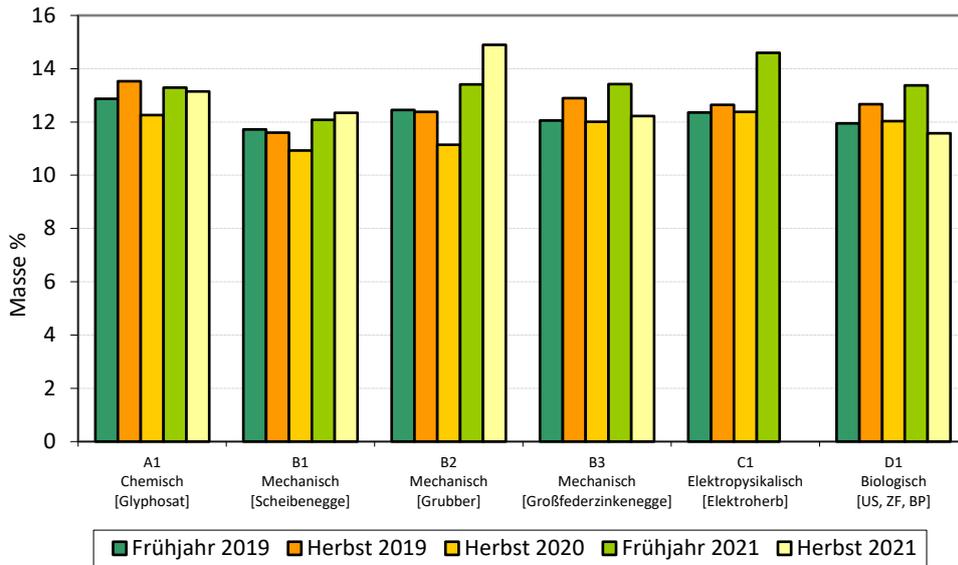


Abbildung 12: Bodenfeuchtegehalte zur Probenahme am Standort Franke Weide im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021

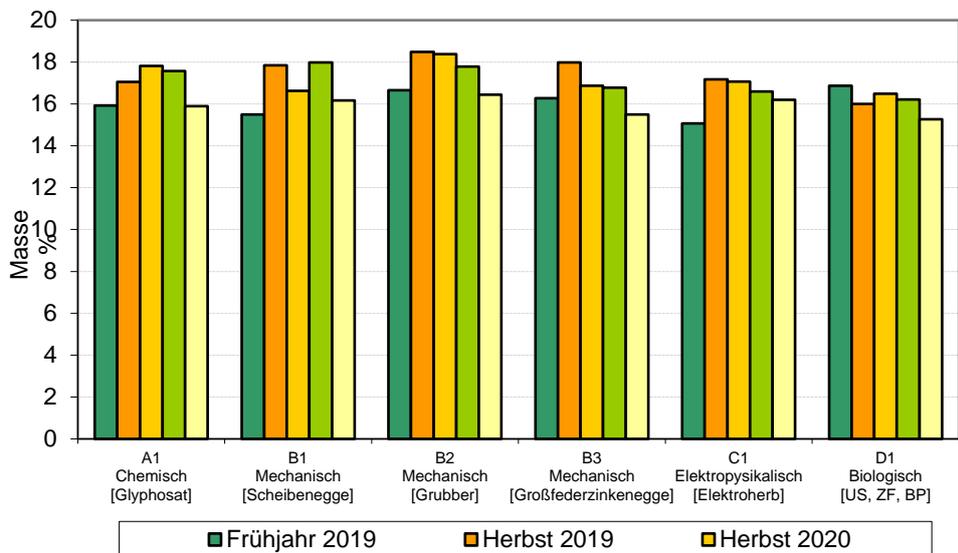


Abbildung 13: Bodenfeuchtegehalte zur Probenahme am Standort Großer Plan im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021

Gesamtabundanz und Gesamtbiomasse

Franke Weide (Frühjahr und Herbst 2019)

Die Gesamtabundanz wies am Standort Franke Weide zum Zeitpunkt der Frühjahrsbeprobung eine Spanne zwischen 48 und 102 Ind./m² in den verschiedenen Varianten auf (Abbildung 14). Im Herbst lagen die Abundanzwerte in allen Varianten etwas niedriger als im Frühjahr und erreichten Werte zwischen 26 und 84 Ind./m².

Gesamtabundanz

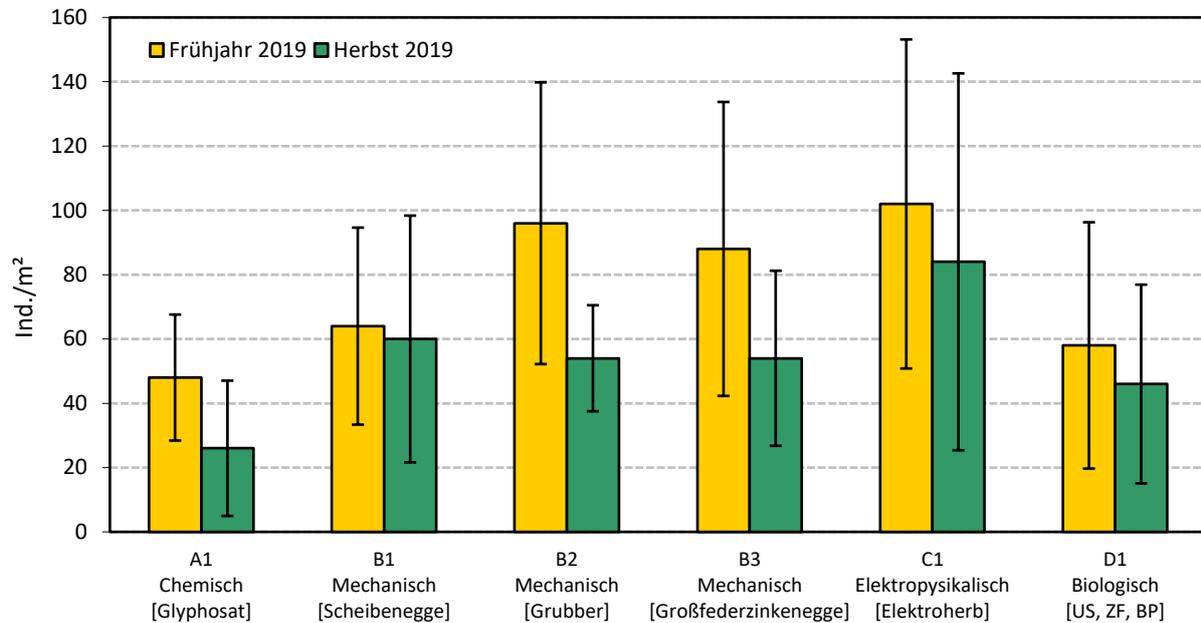


Abbildung 14: Gesamtabundanz der Regenwürmer am Standort Franke Weide im Vergleich von Frühjahr 2019 und Herbst 2019

Im Frühjahr wurden die geringsten Abundanz in der Variante A1 mit Anwendung des Herbizid Glyphosat ermittelt. Die Abundanz nahmen dann in der Reihenfolge D1 (begrünt) über B1, B3, B2 (mechanisch bearbeitet), bis hin zur C1 (elektrophysikalisch bearbeitete Variante Elektroherb) zu. Diese Reihenfolge in den Abundanz trat dann annähernd im Herbst genauso auf. Die Variante A1 (Glyphosat) hatte wiederum die geringsten Abundanz, gefolgt von der Variante D1 (begrünt). Anschließend folgten die drei mechanischen Varianten aber in etwas veränderter Reihenfolge als im Frühjahr. Die Variante mit den höchsten Abundanz war auch zu diesem Zeitpunkt die C1 (Elektroherb).

Die Gesamtabundanz waren, wie bereits oben erwähnt, in allen Varianten im Herbst gegenüber den Werten im Frühjahr vermindert. Besonders stark war der Rückgang in der Variante A1 (Glyphosat) wie auch in den Varianten B2 und B3 (mechanisch bearbeitet). In der dritten mechanisch bearbeiteten Variante B1 wie auch in der Variante C1 (Elektroherb) und D1 (begrünt) waren die Abnahmen im Herbst deutlich geringer.

Bei der Gesamtbioasse wurden im Frühjahr Werte zwischen ca. 42 und 68 g/m² in den verschiedenen Varianten ermittelt. Diese waren ebenfalls im Herbst in allen Varianten geringer als im Frühjahr und erreichten zu diesem Zeitpunkt Werte zwischen ca. 17 und 49 g.

Gesamtbiomasse

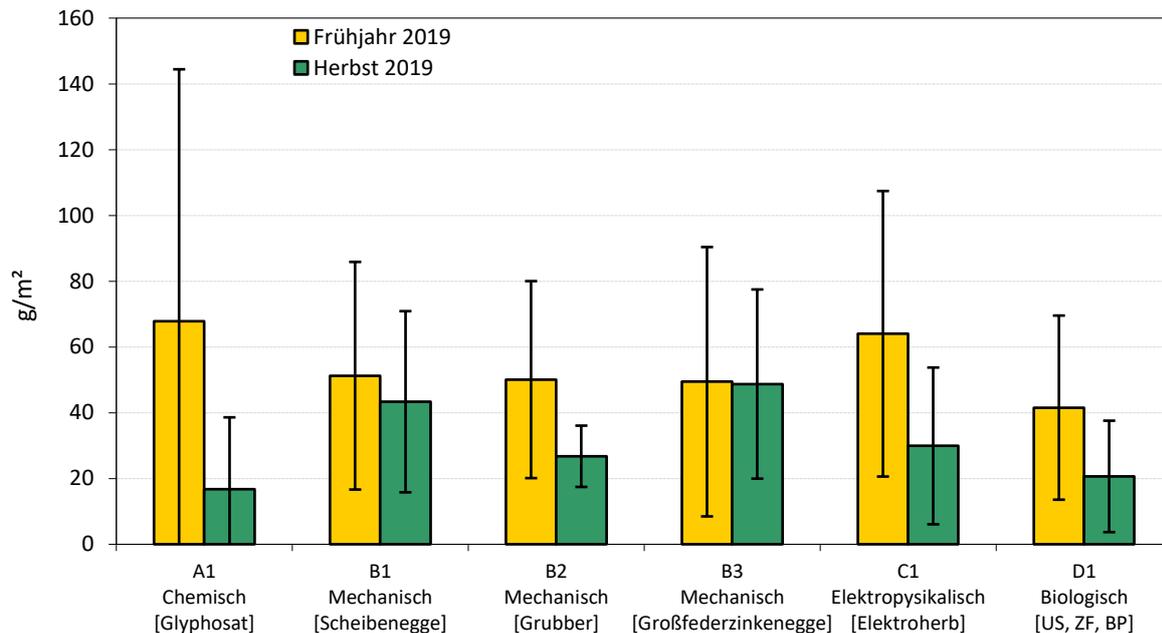


Abbildung 15: Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Franke Weide im Vergleich von Frühjahr 2019 und Herbst 2019

Anders als bei der Gesamtabundanz wurde im Frühjahr die geringste Gesamtbiomasse in der Variante D1 (begrünt) ermittelt (Abbildung 15). Die drei mechanisch bearbeiteten Varianten B1, B2 und B3 hatten vergleichbare Werte mit mittleren Gesamtbiomassen. Die höchsten Gesamtbiomassen wurden in den Varianten C1 (Elektroherb) und A1 (Glyphosat) erfasst.

Im Herbst waren in allen Varianten die Werte geringer als im Frühjahr. Ein besonders starker Rückgang der Gesamtbiomasse trat hierbei in der Variante A1 (Glyphosat) auf, die zu diesem Zeitpunkt die geringste Biomasse aufwies. Auch in der Variante C1 (Elektroherb) war ein starker Rückgang der Gesamtbiomasse zu verzeichnen. Die Gesamtbiomassen der Varianten B1 und B3 (mechanisch bearbeitet) lagen hingegen nur wenig unter den Werten des Frühjahrs.

Großer Plan (Frühjahr und Herbst 2019)

Am Standort Großer Plan lagen die Gesamtabundanz im Frühjahr 2019 mit Werten zwischen 160 und 248 Ind./m² deutlich höher als am Standort Franke Weide (Abbildung 16). Im Herbst hatten die Gesamtabundanz lediglich in den Varianten A1, B1 und B2 abgenommen, in allen drei weiteren Varianten nahmen die Abundanz zu. Auch die Gesamtbiomassen erreichten am Standort Großer Plan im Frühjahr mit Werten zwischen 103 und 157 g/m² deutlich höhere Werte als am Standort Franke Weide. Die Gesamtbiomassen der verschiedenen Varianten nahmen zum Herbst hin teilweise ab, teilweise nahmen sie zu, mit einer Spanne der Werte von 83 bis 204 g/m².

Gesamtabundanz

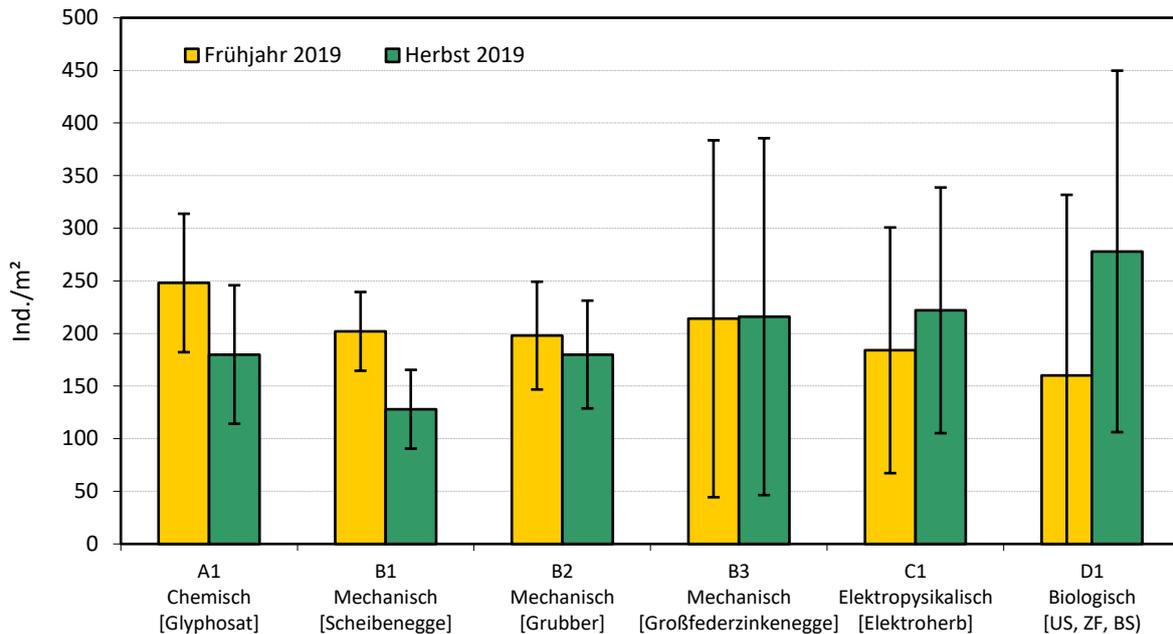


Abbildung 16: Gesamtabundanz der Regenwürmer am Standort Großer Plan im Vergleich von Frühjahr 2019 und Herbst 2019

Anders als am Standort Franke Weide, sind am Standort Großer Plan in der Variante A1 mit Anwendung des Herbizid Glyphosat im Frühjahr 2019 die höchsten Abundanz aller untersuchten Varianten ermittelt worden. Auch die mechanisch bearbeiteten Varianten B1, B2 und B3 wiesen höhere Gesamtabundanz als die Varianten C1 (Elektroherb) und D1 (begrünt) auf.

Zum Zeitpunkt der Herbstbeprobung hatten die Abundanz der Variante A1 (Glyphosat), wie am Standort Franke Weide, deutlich abgenommen. Auch hatten die Abundanz der Varianten B1 und B2 sich vermindert, sodass diese drei Varianten nun geringere Gesamtabundanz aufwiesen als die Varianten B3, C1 (Elektroherb) und D1 (begrünt). Die höchsten Gesamtabundanz traten zu diesem Zeitpunkt in der Variante D1 (begrünt) auf.

Die Gesamtbiomasse am Standort Großer Plan erreichte im Frühjahr die geringsten Werte in der Variante A1 (Glyphosat) (Abbildung 17). Die höchsten Werte wurden hingegen in der Variante D1 (begrünt) ermittelt. Gesamtabundanz und Gesamtbiomasse zeigen somit fast gegenläufige Ergebnisse. Auch die Zunahme oder Abnahme der Werte zum Herbst hin unterschied sich bei den Gesamtbiomassen von denen der Gesamtabundanz, wobei insbesondere die Varianten A1 (Glyphosat), B2 (mechanisch) und D1 (begrünt) erhöhte Werte aufwiesen, in den anderen drei Varianten waren hingegen im Herbst die Biomassen vermindert.

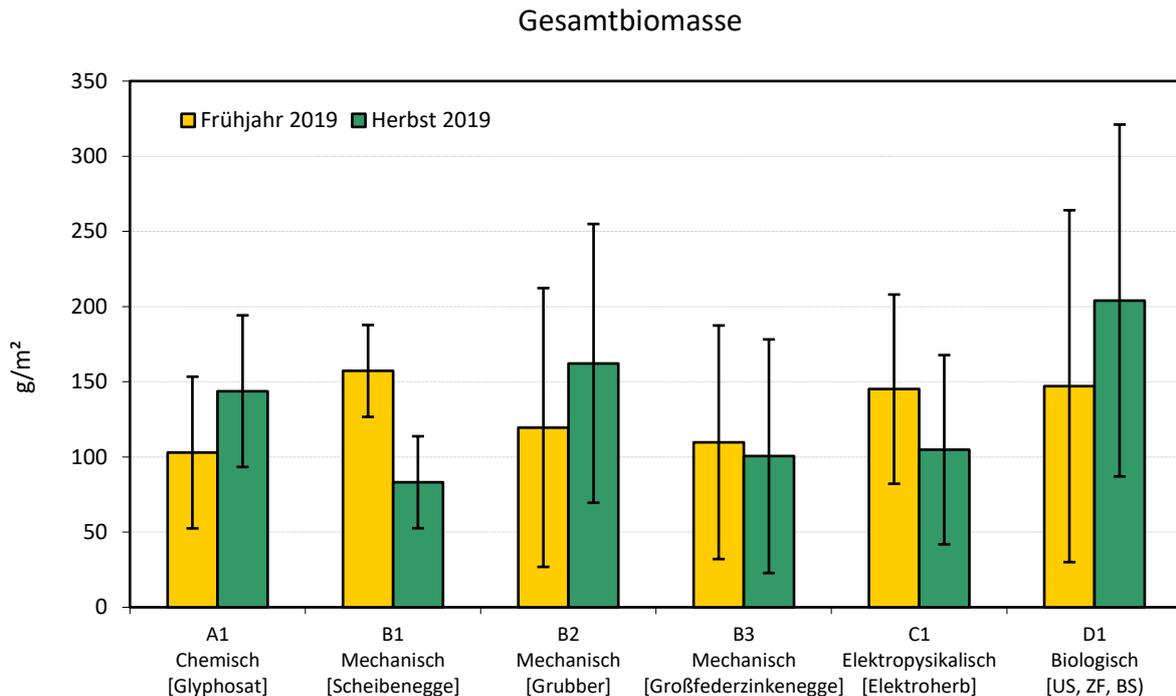


Abbildung 17: Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Großer Plan im Vergleich von Frühjahr 2019

Für die beiden Standorte Franke Weide und Großer Plan zeigten sich somit sowohl direkt nach Etablierung der Varianten im Frühjahr als auch in der langfristigen Auswirkung der Maßnahmen, die durch die Beprobung im Herbst ermittelt wurden, keine einheitliche Wirkung der in den Varianten durchgeführten Maßnahmen. Auch die Wirkung auf die Parameter Gesamtabundanz und Gesamtbiomasse war nicht einheitlich ausgeprägt.

Interessant ist, dass die Populationsentwicklungen, die beim Vergleich der Frühjahrs- und Herbstwerte deutlich werden, für beide Standorte ähnliche Tendenzen erkennen lassen. So nahm auf beiden Standorten die Abundanz in der Variante A1 (Glyphosat) deutlich ab. In den Varianten C1 (Elektroherb) und D1 (begrünt) waren die Abnahmen zwischen Frühjahrs- und Herbstbeprobung hingegen deutlich geringer (am Standort Franke Weide), bzw. die Abundanzen nahmen in diesen Varianten sogar zu (Standort Großer Plan). Diese Entwicklung deutet auf Bewirtschaftungseffekte der verschiedenen Maßnahmen hin.

Die unterschiedlichen Ergebnisse der Gesamtbiomassen im Vergleich zu den Gesamtabundanzen können in Unterschieden in der Altersstruktur der verschiedenen Populationen begründet liegen, es könnten aber auch die Artenspektren Ursache dieser Differenzen sein.

Franke Weide (Herbst 2020 und Frühjahr 2021)

Die Gesamtabundanz wies am Standort Franke Weide zum Zeitpunkt der Herbstbeprobung 2020 eine Spanne zwischen 24 und 90 Ind./m² für die verschiedenen Varianten auf. Im Frühjahr lagen die Abundanzen mit 30 bis 118 Ind./m² auf einem dem vorangegangenen Herbst vergleichbaren bzw. etwas erhöhten Niveau (Abbildung 18). Bei der Gesamtbiomasse sind im Herbst 2020 Werte zwischen ca. 13 und 77 g/m² in den verschiedenen Varianten ermittelt worden. Die Biomasse nahm zum Frühjahr in allen Varianten zu und erreichten zu diesem Zeitpunkt Werte zwischen ca. 35 und 145 g/m² (Abbildung 19).

Im Herbst 2020 wurden in den Varianten mit mechanischer Bearbeitung (B1, B2 und B3) die geringsten Abundanzen ermittelt. Die ebenfalls zu diesem Termin mechanisch bearbeitete Variante D1 erreichte jedoch mit 62 Ind./m² doppelt so viel Tiere wie die bereits im zweiten Jahr mechanisch bearbeiteten Varianten und war in ihren Abundanzwerten mit der Variante C1 (elektrophysikalisch bearbeitete Variante Elektroherb) vergleichbar. In der Variante A1 mit Anwendung des Herbizid Glyphosat wurden mit 90 Ind./m² etwa dreimal so viele Tiere wie in den mechanisch bearbeiteten Varianten ermittelt. Der starke Einbruch der Abundanzen in den mechanisch bearbeiteten Varianten liegt vermutlich darin begründet, dass die Bearbeitung zu einem Zeitpunkt durchgeführt wurde in der die Tiere voll aktiv waren und sich in der oberen Bodenkrume befanden. Besonders die frisch geschlüpften und kleinen Jungtiere schienen hierbei betroffen zu sein. Die flache Bearbeitung zu diesem Zeitpunkt dürfte somit die Tiere und insbesondere die Jungtiere direkt erfasst und geschädigt haben (Abbildung 18). Die weitere Entwicklung der Populationen, ermittelt im Frühjahr 2021, zeigte keine Erholung der Population in der mechanisch bearbeiteten Variante B1. In den beiden weiteren mechanisch bearbeiteten Varianten B2 und B3 erholten sich hingegen die Populationen leicht und in der Variante begrünt (D1) war im Frühjahr ebenfalls eine leichte Erhöhung der Population zu verzeichnen (Abbildung 18). Aber auch in den Varianten A1 (Glyphosat) und C1 (Elektroherb) nahmen die Populationen zum Frühjahr hin zu, weshalb diese beiden Varianten auch im Frühjahr die höchsten Abundanzen aufwiesen (Abbildung 18).

Gesamtabundanz

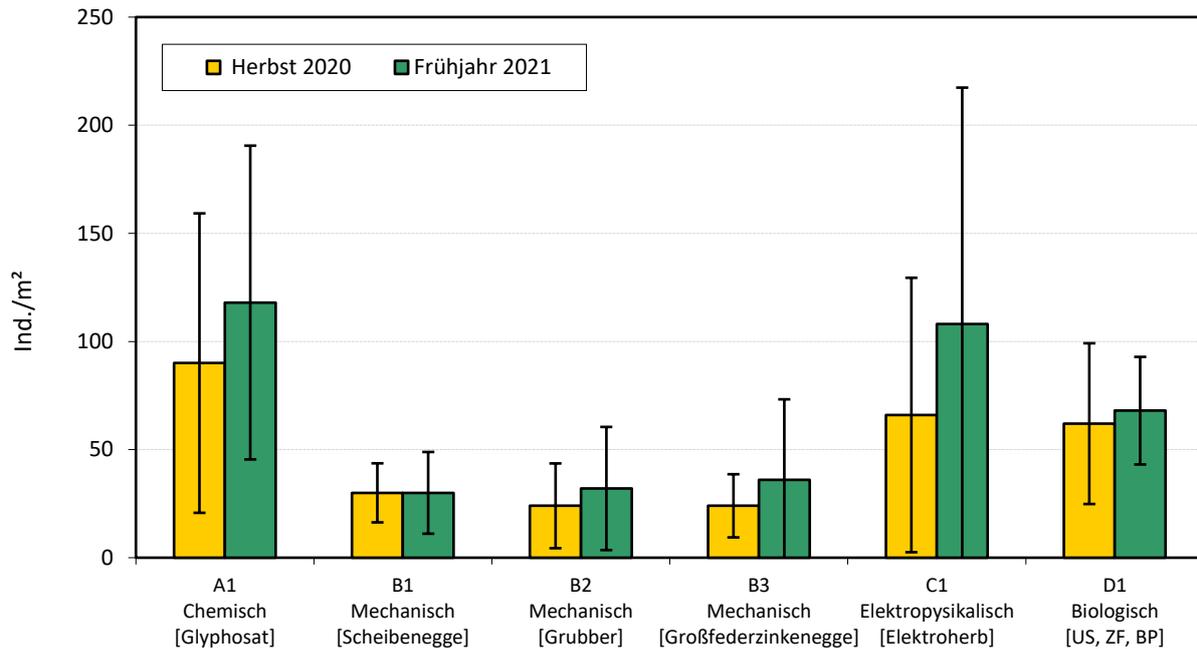


Abbildung 18: Gesamtabundanz der Regenwürmer am Standort Franke Weide im Vergleich von Herbst 2020 und Frühjahr 2021

Gesamtbiomasse

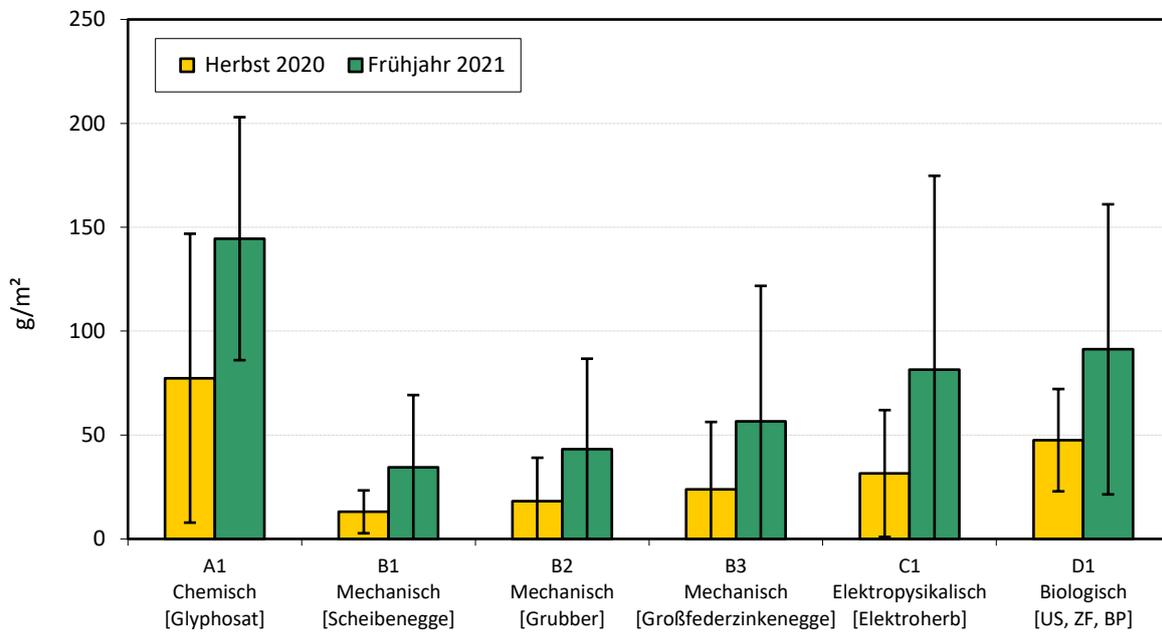


Abbildung 19: Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Franke Weide im Vergleich von Herbst 2020 und Frühjahr 2021

Bei der Gesamtbiomasse lagen, wie bereits bei den Abundanz, die Werte in den mechanisch bearbeiteten Varianten niedriger als in den anderen Varianten (Abbildung 19).

In der Variante D1 (Verfahrenskombination aus mechanisch und begrünt) lagen hingegen die Werte zur Biomasse, wie bereits bei der Gesamtabundanz, um das doppelte höher als in den mechanisch bearbeiteten Varianten und auch höher als in der Variante C1 (Elektroherb). Die Variante A1 (Glyphosat) erreichte auch bei der Biomasse Werte, die um das Dreifache und mehr über den mechanisch bearbeiteten Varianten B1, B2 und B3 lagen. Im Frühjahr war in allen Varianten eine Zunahme bei den Biomassewerten zu verzeichnen, die in allen Varianten etwa eine gleiche Größenordnung erreichte (Abbildung 19).

Großer Plan (Herbst 2020 und Frühjahr 2021)

Am Standort Großer Plan lagen die Gesamtabundanzen im Herbst 2020 mit Werten zwischen 142 und 322 Ind./m² deutlich über denen des Standorts Franke Weide, wodurch wie bereits in der ersten Versuchsperiode die Bodenunterschiede dieser beiden Standorte sichtbar wurden (Tabelle 2). Ähnlich wie am Standort Franke Weide konnten jedoch auch an diesem Standort deutlich geringere Abundanzen in den mechanisch bearbeiteten Varianten (B1, B2 und B3) ermittelt werden. Diese erreichten lediglich etwa 50 % der Abundanzwerte der Varianten A1 (Glyphosat) und C1 (Elektroherb) welche mit 308 und 322 Ind./m² einen sehr guten Besatz aufwiesen. In der Variante lagen die Abundanzen ebenfalls deutlich höher als in den bereits im zweiten Jahr mechanisch bearbeiteten Varianten, mit 260 Ind./m² konnten hier jedoch nicht die Werte der unbearbeiteten Varianten A1 und C1 erreicht werden (Tabelle 2). Statistisch lagen die Gesamtabundanzen der Varianten A1 (Glyphosat) und C1 (Elektroherb) signifikant höher als jene der mechanisch bearbeiteten Varianten.

Tabelle 2: Gesamtabundanz und Gesamtbioasse der Regenwurmpopulationen am Standort Großer Plan 2020/21

Variante	Parameter			
	Abundanz Ind./m ²		Biomasse g/m ²	
	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr
A1 Chemisch Glyphosat	308	272	206,3	261,5
B1 Mechanisch Scheibenegge	142	148	127,6	124,4
B2 Mechanisch Grubber	172	268	130,5	277,1
B3 Mechanisch Großfederzinkenegge	156	290	135,5	246,5
C1 Elektrophysikalisch Elektroherb	322	302	138,8	207,4
D1 Biologisch US, ZF, BP	260	280	132,5	193,4

Im Frühjahr 2021 zeigten die Populationen der Varianten A1 (chemische Variante) und C1 (elektrophysikalische Variante) einen leichten Rückgang auf, in allen anderen Varianten nahmen die Abundanzen zu. Besonders deutlich war dies in den beiden mechanisch bearbeiteten Varianten B2 und B3. Die Zunahmen in den Varianten B1 und D1 waren hingegen geringer (Tabelle 2). Statistisch signifikante Differenzen der Gesamtabundanz waren zu diesem Termin zwischen den Varianten nicht mehr nachzuweisen.

Auch die Gesamtbiomassen erreichten am Standort Großer Plan im Herbst 2020 mit Werten zwischen 128 und 206 g/m² deutlich höhere Werte als am Standort Franke Weide.

Die Gesamtbiomassen der verschiedenen Varianten nahmen zum darauffolgenden Frühjahr hin in allen Varianten zu, außer in der mechanisch bearbeiteten Variante B1 in der die Biomassewerte keine Veränderung zum Herbst zeigten (Tabelle 2).

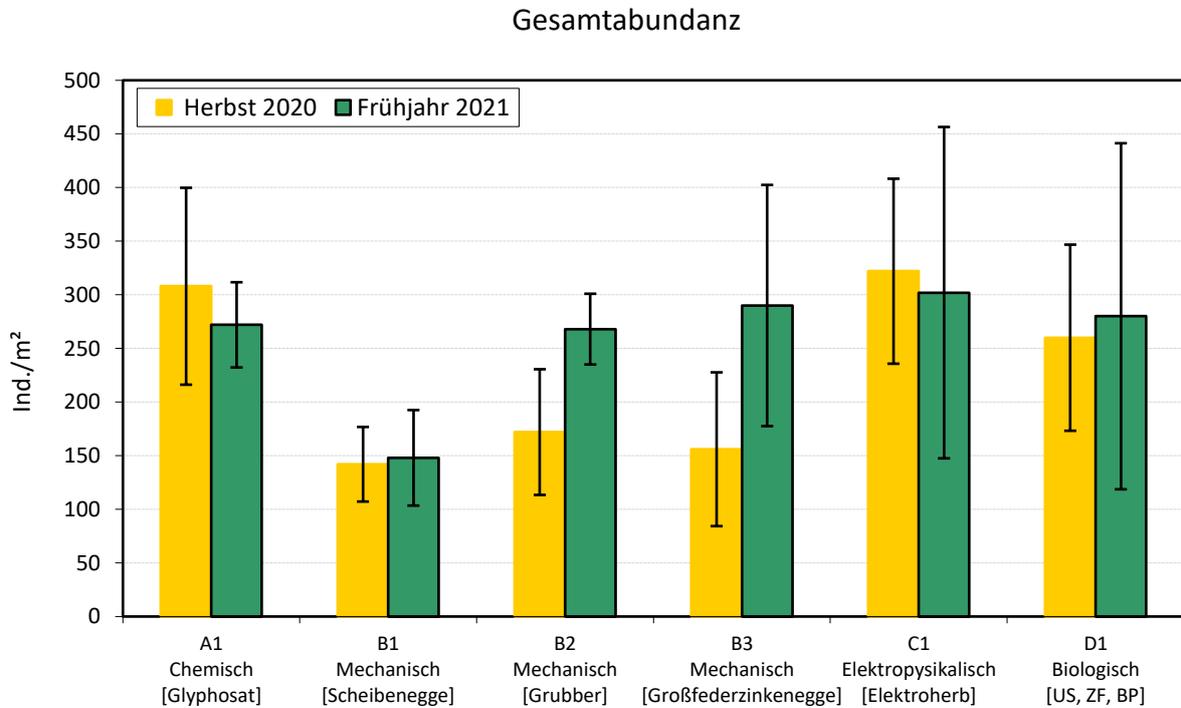


Abbildung 20: Gesamtabundanz der Regenwürmer am Standort Großer Plan im Vergleich von Herbst 2020 und Frühjahr 2021

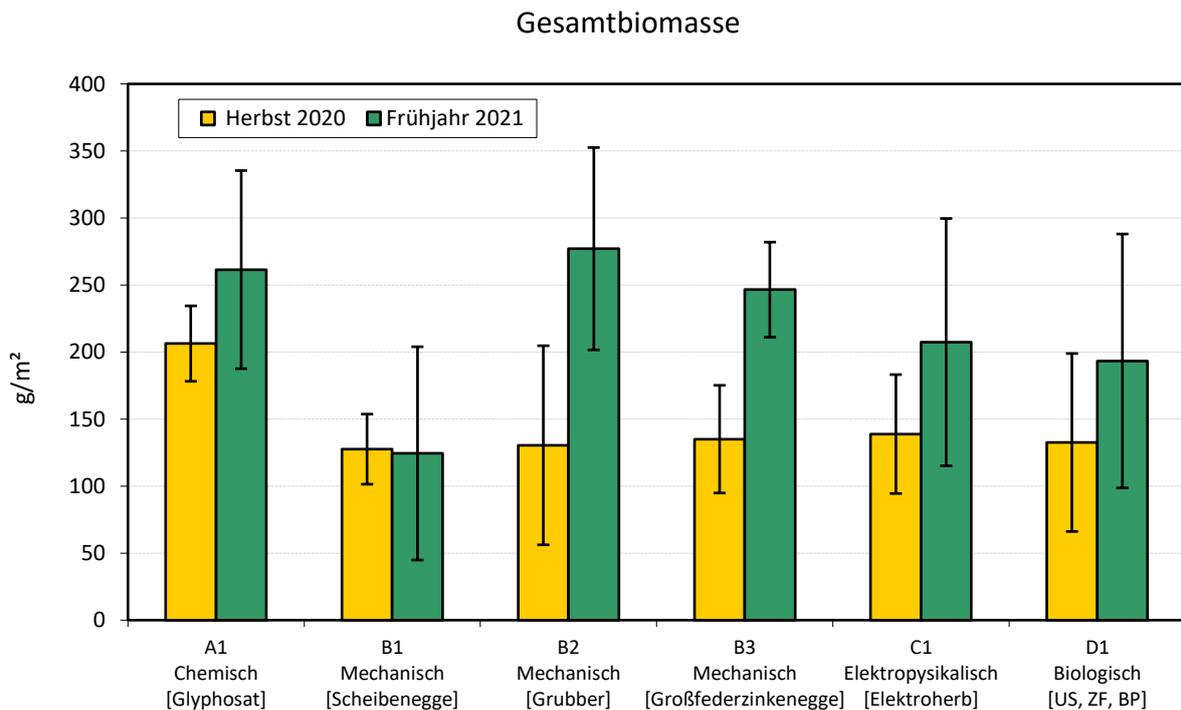


Abbildung 21: Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Großer Plan im Vergleich von Herbst 2020 und Frühjahr 2021

Die Gesamtbiosmassen der verschiedenen Varianten unterschieden sich im Herbst 2020 kaum, mit Ausnahme der Variante A1 (Glyphosat), in der deutlich höhere Werte zu finden waren (Abbildung 21). Dieser Unterschied war, im Gegensatz zu der Gesamtabundanz jedoch bei der Gesamtbiosmasse nicht signifikant. Die höchsten Zunahmen in der Biosmasse zum Frühjahr 2021 ergaben sich, wie bereits bei den Abundanzwerten, in den mechanischen Varianten B2 und B3. Anders als bei den Abundanzwerten war jedoch die Biosmasse auch in den Varianten A1, C1 und D1 im Frühjahr deutlich erhöht (Abbildung 21). Für die beiden Standorte Franke Weide und Großer Plan zeigten sich somit ein deutlicher Einfluss der Maßnahmen (Varianten), indem auf beiden Standorten der mechanische Eingriff insbesondere in den Varianten B1, B2 und B3 in einer Abnahme der Populationen sichtbar wurde. Da in allen drei Varianten lediglich eine flache, nicht wendende Bearbeitung vorgenommen wurde, ist davon auszugehen, dass aufgrund des Bearbeitungszeitpunkts, der scheinbar mit der vollen Aktivität der Tiere und ihrer Reproduktionsphase zusammenfiel, insbesondere zahlreiche junge Juvenile in der obersten Bodenschicht durch den mechanischen Eingriff geschädigt wurden. Durch das Abtöten des Zwischenfruchtbestands chemisch durch Glyphosat (Variante A1) oder elektrophysikalisch (Elektroherb, Variante C1) zeichnen sich diese beiden Varianten zum einen durch Bodenruhe und zum anderen durch eine kurzzeitig sehr hohe Futterzufuhr nach Abtöten des Zwischenfruchtbestands aus. Beides wirkt sich fördernd auf die Regenwurmpopulationen aus und könnte der Grund für die hohen Populationswerte beider Standorte zum Zeitpunkt der Herbstbeprobung kurz nach der Anwendung der Maßnahmen sein. Die biologische Variante mit vorheriger Bodenbearbeitung (Variante D1) zeichnet sich durch ein System mit kontinuierlicher Futterzufuhr, durch die Kleeuntersaat, aus. Durch den hohen Unkrautdruck wurde vor der Einsaat der Hauptfrucht eine Bodenbearbeitung mit dem CrossCutter durchgeführt. Dies könnte die geringeren Populationswerte im Vergleich zu den Varianten ohne Bodenbearbeitung A1 und C1 erklären. Die Populationsentwicklungen, die beim Vergleich der Herbst- und darauf folgenden Frühjahrswerte sichtbar sind, sind für die beiden Standorte leicht verschieden. So zeigen sich am Standort Franke Weide tendenziell Zunahmen der Abundanzwerte für alle Varianten. Am Standort Großer Plan nehmen die Abundanzen in den Varianten mit kurzfristig hoher Futterzufuhr (Varianten A1 und C1) leicht ab und nur alle weiteren Varianten zeigen Populationszunahmen. Die Standortunterschiede spielen bei diesen Unterschieden der Populationsentwicklung eine große Rolle, denn auf dem Standort Franke Weide ist in stärkerem Maße das Futter limitierender Faktor als am Standort Großer Plan.

Franke Weide (Herbst 2021)

Die Gesamtabundanz wies am Standort Franke Weide zum Zeitpunkt der Herbstbeprobung 2021 mit 32 und 138 Ind./m² eine sehr weite Spanne zwischen den verschiedenen Varianten auf.

Bei der Gesamtbiosmasse sind im Herbst 2021 Werte zwischen ca. 31,5 und 94,5 g/m² in den verschiedenen Varianten ermittelt worden.

Tabelle 3: Gesamtabundanz und Gesamtbiomasse der Regenwurmpopulationen am Standort Franke Weide Herbst 2021

Variante	Parameter	
	Abundanz Ind./m ²	Biomasse g/m ²
Herbst 2021		
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	114,0	94,5
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	32,0	31,5
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	48,0	47,9
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	84,0	58,0
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>		
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	138,0	63,7

1) Die Variante Elektroherb konnte im Herbst 2021 nicht angelegt werden und wurde deshalb nicht beprobt

Im Herbst 2021 wurden ebenfalls, wie bereits im vorangegangenen Herbst, in den Varianten mit mechanischer Bearbeitung (B1, B2 und B3) die geringsten Abundanzen ermittelt. Die höchsten Abundanzen traten in der Variante D1 (biologisch) mit 138 Ind./m² auf. Im Herbst 2020 war auch in der biologischen Variante eine mechanische Bearbeitung durchgeführt worden, welche insbesondere in den Varianten B1, B2 und B3 zu einer Verringerung im Regenwurmbesatz gegenüber dem Vorjahr führte. Die stärkste Erholung der Populationen nach mechanischer Bearbeitung zeigte sich somit in der mechanisch bearbeiteten Variante D1. Aber auch die mechanisch bearbeitete Variante B3 zeigte im Herbst 2021 eine deutliche Erholung der Population gegenüber dem Herbst 2020. Die mechanisch bearbeitete Variante B2 zeigte eine mäßige Erholung, bei der Variante B1 war hingegen kaum eine Zunahme der Abundanzen gegenüber dem Herbst 2020 zu erkennen (Abbildung 22).

Die Vergleichsvariante Glyphosat (A1) erreichte mit 114 Ind./m² höhere Werte als die mechanisch bearbeiteten Varianten. Sie lag jedoch etwas unter dem in der biologischen Variante (D1) ermittelten Wert.

Bei der Gesamtbiomasse lagen im Herbst 2021, wie bereits bei den Abundanzen, die Werte in den mechanisch bearbeiteten Varianten niedriger als in den anderen Varianten. In der Variante D1 (begrünt) erreichten hingegen die Werte zur Biomasse nicht die höchsten Werte. Diese wurden bei der Gesamtbiomasse in der Variante A1 (Glyphosat) erreicht. Die unterschiedlichen Ergebnisse für die Gesamtabundanz und Gesamtbiomasse liegen in den Altersverteilungen der Populationen in den verschiedenen Varianten begründet.

Gesamtabundanz

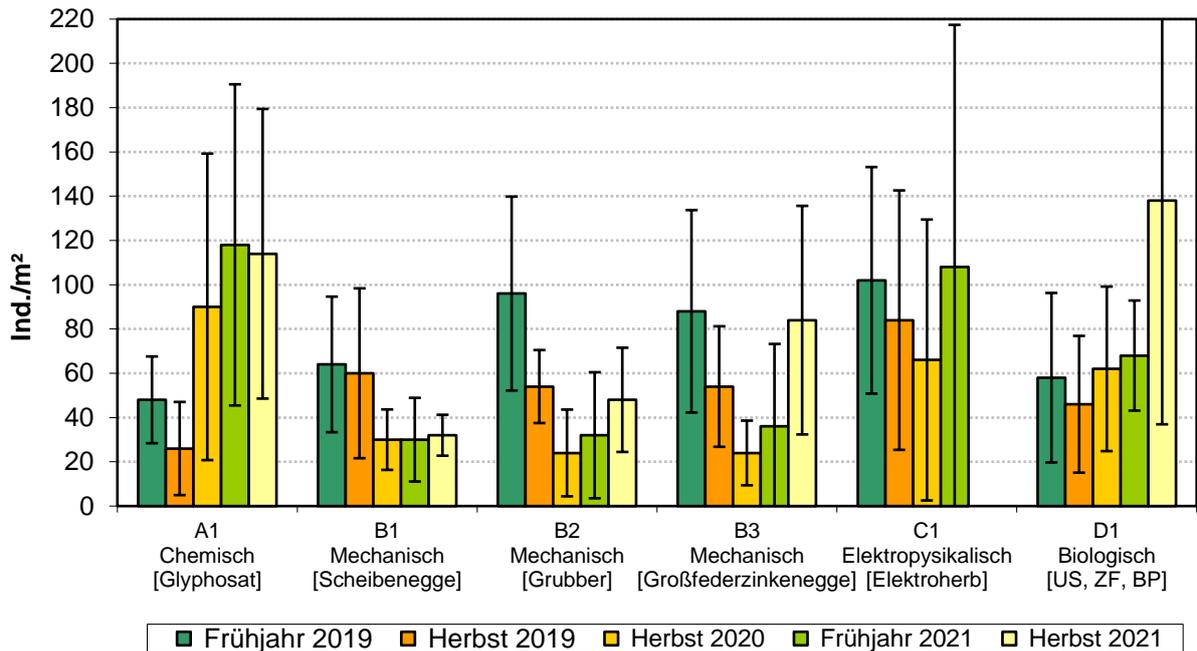


Abbildung 22: Gesamtabundanz der Regenwürmer am Standort Franke Weide im Versuchszeitraum Fröhjahr 2019 bis Herbst 2021

Gesamtbiomasse

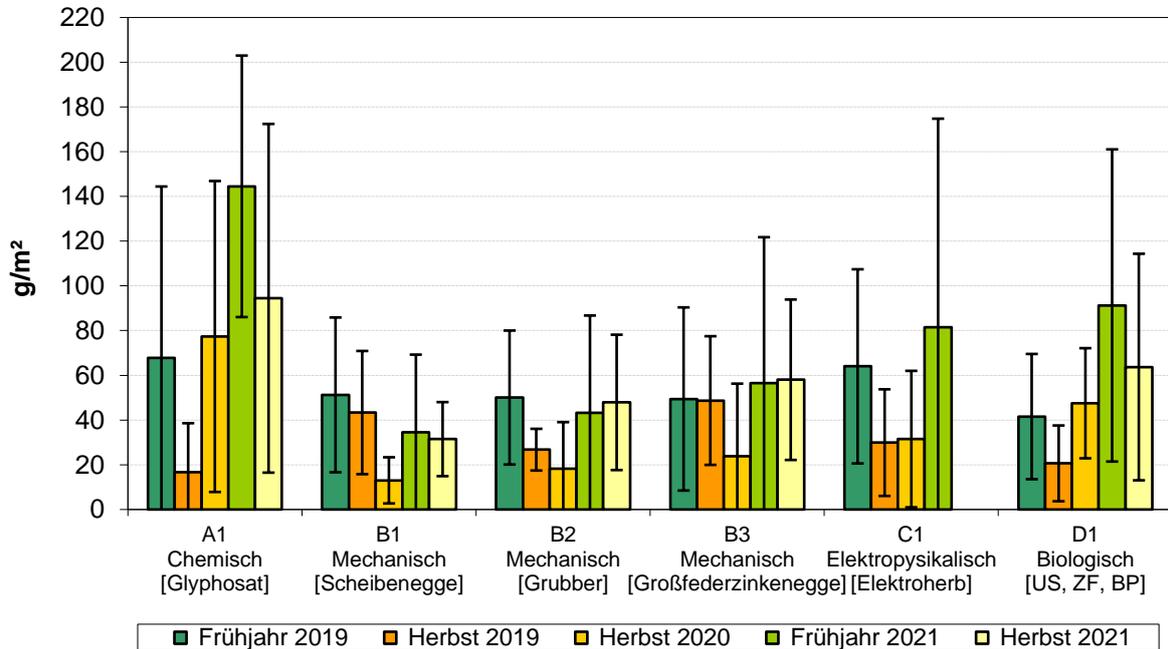


Abbildung 23: Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Franke Weide im Versuchszeitraum Fröhjahr 2019 bis Herbst 2021

Großer Plan (Herbst 2021)

Am Standort Großer Plan lagen die Gesamtabundanz im Herbst 2021 mit Werten zwischen 128 und 404 Ind./m² deutlich über denen des Standorts Franke Weide, wodurch wie bereits in der ersten beiden Versuchsperiode die Bodenunterschiede dieser beiden Standorte sichtbar wurden und ihr Einfluss auf die Regenwurmpopulationen bestätigt werden konnte.

Ähnlich wie am Standort Franke Weide konnten auch an diesem Standort deutlich geringere Abundanz in den mechanisch bearbeiteten Varianten (B1, B2 und B3) ermittelt werden als in den Varianten A1 (Glyphosat) und C1 (Elektroherb). Hierbei erreichten die mechanischen Varianten, wie bereits im vorangegangenen Jahr, lediglich etwa 50 % der Abundanzwerte der Varianten A1 (Glyphosat), welche mit 404 Ind./m² die bisher höchsten Abundanzwerte im gesamten Versuchszeitraum aufwies. Auch gegenüber der Variante C1 (Elektroherb) waren die Abundanz der mechanischen Varianten noch teilweise deutlich verringert. Lediglich die Variante D1 (biologisch) wies noch geringere Gesamtabundanz mit nur 128 Ind./m² auf (Tabelle 4, Abbildung 24).

Tabelle 4: Gesamtabundanz und Gesamtbioasse der Regenwurmpopulationen am Standort Großer Plan Herbst 2021

Variante	Parameter	
	Abundanz Ind./m ²	Bioasse g/m ²
Herbst 2021		
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	404,0	189,1
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	170,0	135,4
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	220,0	183,4
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	146,0	158,5
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	256,0	160,5
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	128,0	120,5

Statistisch lagen die Gesamtabundanz der Varianten A1 (Glyphosat) signifikant höhere als in alle anderen Varianten. Ebenfalls statistisch signifikant höher waren die Abundanz der Variante C1 (Elektroherb) gegenüber der mechanischen Variante B3 und der biologischen Variante D1.

Die Gesamtbioassen erreichten am Standort Großer Plan im Herbst 2021 mit Werten zwischen 121 und 189 g/m² weitaus geringere Unterschiede zwischen den Varianten als die Abundanz. Die Reihenfolge der Gesamtbioassen von den höchsten zu den niedrigsten zeigte mit A1 > C1 > B2 > B3 > B1 > D1 jedoch annähernd die gleiche Reihenfolge wie bei der Abundanz auf. Diese Unterschiede waren jedoch, im Gegensatz zu der Gesamtabundanz, bei der Gesamtbioasse nicht signifikant.

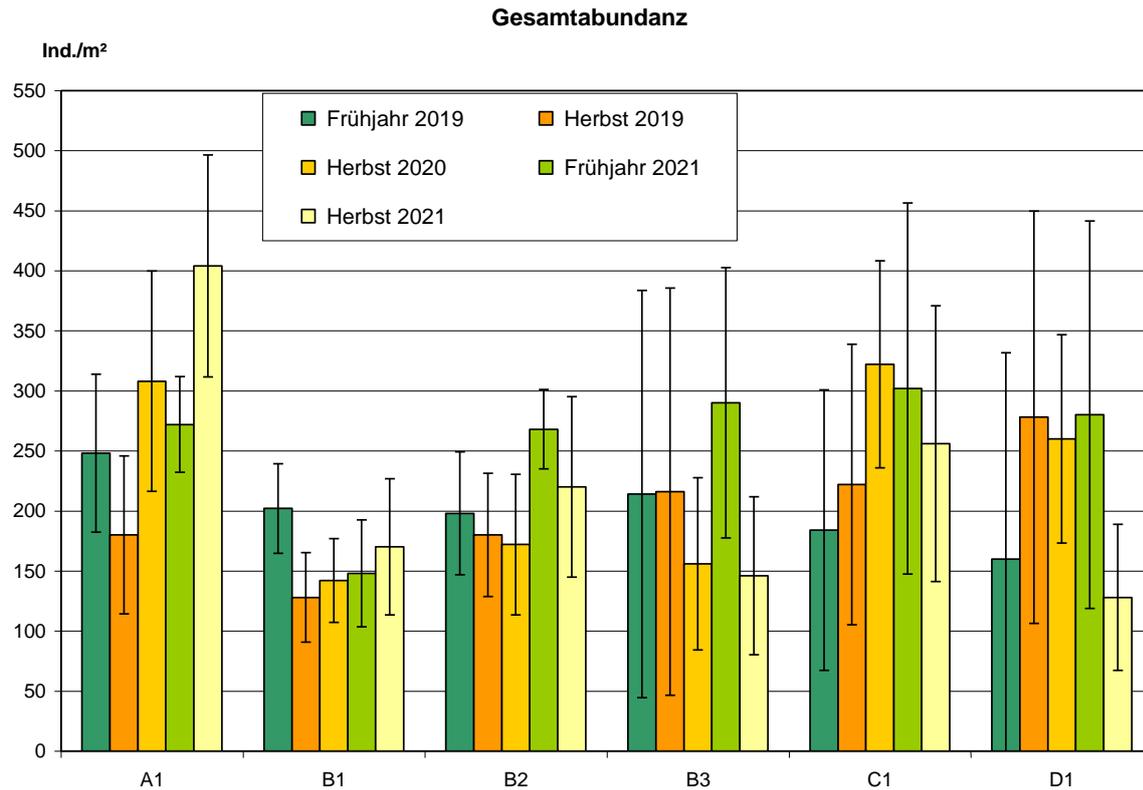


Abbildung 24: Gesamtabundanz der Regenwürmer am Standort Großer Plan im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021

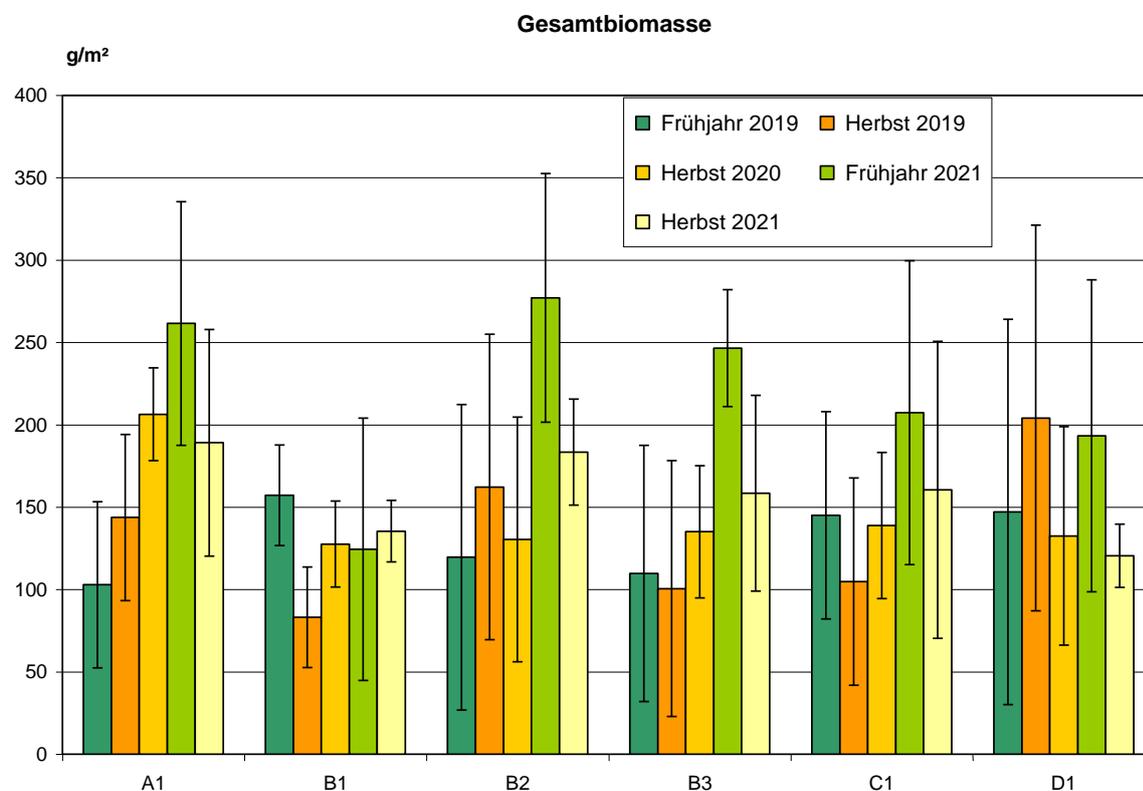


Abbildung 25: Gesamtbiomasse der Regenwürmer am Standort Großer Plan im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021

Altersstruktur und Kokons

Franke Weide (Frühjahr und Herbst 2019)

Am Standort Franke Weide wurden im Frühjahr und im Herbst 2019 weitestgehend ausgeglichene Anteile adulter und juveniler Tiere gefunden. Hierbei ergaben sich leichte Unterschiede zwischen den Varianten. In den Varianten A1 (Glyphosat) und C1 (Elektroherb) dominierten zu diesem Zeitpunkt die adulten Tiere etwas. Alle anderen Varianten zeigten ein nahezu ausgeglichenes Verhältnis (Tabelle 5). Zum Herbst hatte sich das Verhältnis von adult zu juvenil in den beiden Varianten A1 (Glyphosat) und C1 (Elektroherb) dahingehend verändert, dass nun die juvenilen Tiere dominierten. In der Variante B1 (mechanisch) dominierten zu diesem Zeitpunkt die adulten Tiere. In allen anderen Varianten war das Verhältnis der Altersgruppen nach wie vor ausgeglichen.

Tabelle 5: Altersstruktur der Regenwurmpopulationen am Standort Franke Weide

Variante	Parameter			
	Adult %		Juvenil %	
	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	50,0	30,8	41,7	61,5
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	40,6	66,7	40,6	26,7
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	45,8	40,7	47,9	44,4
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	45,5	51,9	45,5	44,4
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	64,7	31,0	33,3	57,1
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	48,3	52,2	41,4	43,5

1) Anteil aller bestimmbarer Tiere an der Gesamtabundanz

Großer Plan (Frühjahr und Herbst 2019)

Am Standort Großer Plan waren die Populationen aller Varianten durch das dominante Auftreten juveniler Tiere gekennzeichnet, welche Anteile von 55 bis 71 % einnahmen. Dies ist eine zu dieser Jahreszeit typische Verteilung der Altersgruppen. Im Herbst tendieren dann die adulten Tiere zu dominieren, was jedoch an diesem Standort nicht der Fall war. Auch im Herbst waren in allen Varianten die juvenilen Tiere leicht dominant und erreichten Anteile von 50 bis 69 % (Tabelle 6).

Tabelle 6: Altersstruktur der Regenwurmpopulationen am Standort Großer Plan

Variante	Parameter			
	Adult %		Juvenil %	
	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	25,8	33,4	66,1	56,7
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	23,8	29,7	66,3	50,0
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	23,2	42,2	70,7	54,4
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	31,8	32,4	61,7	63,9
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	27,2	21,6	70,7	69,4
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	40,0	30,9	55,0	64,8

1) Anteil aller bestimmbarer Tiere an der Gesamtabundanz

In Bezug auf die verschiedenen Varianten zeigte die Altersstruktur keinen eindeutigen Effekt, die einen Einfluss der Maßnahmen auf dieses Merkmal begründen würde. Wie bereits bei der Gesamtabundanz und Gesamtbiomasse aufgeführt, wird eine Weiterführung der Beprobungen hilfreich sein, um einen eventuell vorhandenen Einfluss der Bewirtschaftung auf die Dynamik der Populationen aufzuzeigen.

Die Unterschiede in der Altersstruktur der Populationen der beiden Standorte liegen in den unterschiedlichen Bodeneigenschaften dieser Standorte begründet. Der Verlauf der bodenklimatischen Bedingungen, wie Bodenfeuchte und Bodentemperatur, führen den Bodeneigenschaften entsprechend zu einem anderen zeitlichen Verlauf und damit verbunden auch die Entwicklungszyklen der Populationen an den Standorten. Dies wird besonders beim Parameter Kokons, der neben den Tieren erfasst wurde, deutlich. Unter den klimatischen Bedingungen in Deutschland legen Regenwürmer vor allem im Frühjahr Kokons ab und in geringerem Umfang im Herbst. Dies war am Standort Franke Weide sehr deutlich erkennbar. Hier wurden im Frühjahr 10 bis 62 Kokons pro m² gefunden. Im Herbst waren lediglich in zwei Varianten Kokons vorhanden und dann auch nur 2 bzw. 8 pro m² (Tabelle 7).

Die Variante mit einer auffällig hohen Anzahl an Kokons war die Variante C1 (Elektroherb) mit 62 Kokons pro m². Diese hohe Anzahl an Kokons geht einher mit dem geringsten Anteil an juvenilen Tieren im Vergleich zu den anderen Varianten zu diesem Zeitpunkt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Anzahl Kokons pro m²

Variante	Standort			
	Franke Weide		Großer Plan	
	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	20,0	0,0	4,0	0,0
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	28,0	2,0	4,0	6,0
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	24,0	8,0	4,0	2,0
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	22,0	0,0	2,0	2,0
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	62,0	0,0	0,0	2,0
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	10,0	0,0	0,0	4,0

Wie stark sich die bodenklimatischen Unterschiede auf die Entwicklung der Populationen auswirken, kann zeigt sich im Vergleich der beiden Standorte zur Frühjahrsbeprobung, denn am Standort Großer Plan waren mit 0 bis 4 Kokons pro m² zu diesem Zeitpunkt kaum noch Kokons zu finden (*Tabelle 7*). Andererseits zeigt die Altersstruktur der Populationen an diesem Standort im Gegensatz zum Standort Franke Weide eine deutliche Verschiebung zu den juvenilen (vermutlich hier bereits geschlüpften) Tieren hin.

Bezüglich des Einflusses der unterschiedlichen Maßnahmen ist, wie bereits bei der Altersstruktur aufgeführt kein eindeutiger Effekt auf die Reproduktion (Anzahl an Kokons) erkennbar geworden. Es kann jedoch erwartet werden, dass mögliche Effekte der Maßnahmen in den Folgeuntersuchungen der kommenden zwei Jahre deutlich werden, falls die verschiedenen Maßnahmen einen Einfluss auf die Populationsentwicklung haben.

Franke Weide (Herbst 2020 und Frühjahr 2021)

Am Standort Franke Weide lag der Anteil juveniler Tiere im Herbst 2020 mit Ausnahme der mechanischen Varianten B2 und B3 auf einem für die Jahreszeit äußerst hohem Niveau. Diese erreichten Anteile von über 70 bis über 90 %. Aber auch in den beiden anderen genannten Varianten nahmen die juvenilen Tiere zu diesem Zeitpunkt mit über 40 bis 50 % einen vergleichsweise großen Anteil ein. Entsprechend gering waren die jeweiligen Anteile an adulten Tieren (*Tabelle 8*). Im Frühjahr dominierten in den meisten Varianten ebenfalls die juvenilen Tiere und erreichten Anteile von etwa 65 bis 89 %. Die entsprechenden Anteile an adulten Tieren lagen bei 11 bis 33 %. Wie bereits im Herbst stellte die Variante B2 hierbei eine Ausnahme dar, denn im Frühjahr 2021 lag der Anteil juveniler Tiere in dieser Variante bei 50 % und der Anteil adulter Tiere bei 38 % (*Tabelle 8*).

Tabelle 8: Altersstruktur der Regenwurmpopulationen am Standort Franke Weide 2020/2021

Variante	Parameter			
	Adult ¹⁾ %		Juvenil ¹⁾ %	
	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	22,2	20,3	71,1	78,0
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	6,7	33,3	93,3	66,7
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	58,3	37,5	41,7	50,0
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	50,0	11,1	50,0	88,9
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	12,1	25,9	84,9	70,4
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	16,1	32,4	77,4	64,7

1) Anteil aller bestimmbarer Tiere an der Gesamtabundanz

Großer Plan (Herbst 2020 und Frühjahr 2021)

Am Standort Großer Plan waren die Populationen aller Varianten an beiden Untersuchungsterminen ebenfalls durch das dominante Auftreten juveniler Tiere gekennzeichnet, welche zweidrittel und mehr der Population ausmachten. Entsprechend lagen die Anteile an adulten Tieren im Herbst 2020 bei nur 14 bis 28 %. Im Frühjahr 2021 wurden Anteile zwischen 18 und 24 % gefunden. Lediglich in der mechanischen Variante B2 ist auch an diesem Standort ein leicht höherer Anteil an adulten Tieren im Frühjahr 2021 ermittelt worden, der bei rund 37 % lag (Tabelle 9

Tabelle 9: Altersstruktur der Regenwurmpopulationen am Standort Großer Plan 2020/2021

Variante	Parameter			
	Adult ¹⁾ %		Juvenil ¹⁾ %	
	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	22,7	24,3	72,7	74,3
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	28,2	17,6	69,0	81,1
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	23,3	36,6	72,4	61,9
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	28,2	20,0	71,8	76,6
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	14,3	13,3	85,1	84,1
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	20,8	17,9	77,7	80,7

1) Anteil aller bestimmbarer Tiere an der Gesamtabundanz

Hohe Anteile an juvenilen Tieren sind im Frühjahr typisch, denn zu diesem Zeitpunkt findet in unseren Breiten die Hauptvermehrung der Regenwürmer statt und bei günstigen Bodenfeuchtebedingungen und steigenden Bodentemperaturen schlüpfen die Jungtiere vermehrt aus ihren Kokons (KOLLMANNSPERGER 1955). Ungewöhnlich ist hingegen diese Altersstruktur im Herbst vorzufinden.

Zu diesem Zeitpunkt dominieren, bei normaler Populationsentwicklung im Jahresverlauf die adulten Tiere. Vermutlich spielen die außergewöhnlichen Witterungsverhältnisse des Jahres 2020 eine Rolle. Denn Im Frühjahr 2020 konnte auf vielen Standorten beobachtet werden, dass aufgrund der ausgeprägten Trockenheit im April eine Vermehrung bei den Regenwurmpopulationen ausblieb (KRÜCK 2021, nicht publizierte Beobachtungen). Im darauffolgenden Herbst, dem Zeitpunkt der vorliegenden Untersuchung, sind nicht nur auf den vorliegenden beiden Standorten, sondern auf zahlreichen Standorten eine starke Reproduktion beobachtet worden. In vielen Fällen, wie auch im vorliegenden Fall, erscheint es so, als hätten die Populationen die Reproduktion des Frühjahrs im Herbst nachgeholt. In Bezug auf die verschiedenen Varianten zeigte die Altersstruktur keine Unterschiede auf mit Ausnahme der mechanisch bearbeiteten Variante B2 und teilweise B3. In diesen Varianten lag der Anteil adulter Tiere tendenziell höher als in den anderen Varianten. Im Herbst 2020 am Standort Franke Weide war diese Tendenz besonders stark ausgeprägt. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass in diesen Varianten die mechanische Bearbeitung besonders die juvenilen Tiere schädigte, was in dem reduzierten Anteil an juvenilen Tieren zum Ausdruck kommt. Am Standort Großer Plan zeigte sich, dass die signifikanten Differenzen in den Gesamtabundanzten auch in signifikanten Differenzen bei dem Parameter Gesamtjuvenil zu sehen waren. Zusätzlich zu den Regenwurmpopulationen sind die Kokons ermittelt worden. Hierbei traten im Herbst sowohl am Standort Franke Weide wie auch am Standort Großer Plan keine oder kaum Kokons auf (lediglich 2 Kokon pro m² am Standort Großer Plan in der Variante D1) (*Tabelle 10*). Dies ist ein typischer Befund für eine Herbstbeprobung, steht aber erstmal im Widerspruch zu den Ergebnissen der Altersverteilung, die eine hohe Reproduktion zu diesem Zeitpunkt nahelegt. Es ist deshalb davon auszugehen, dass zum Zeitpunkt der Beprobung die Phase des Schlüpfens bereits abgeschlossen war und deshalb viele kleine Jungtiere in den Populationen zu finden waren. Der starke reduzierende Effekt der mechanischen Bearbeitung, vor allem in den mechanischen Varianten B1, B2 und B3, ist mit dieser Populationsdynamik ebenfalls erklärbar, denn die flache Bearbeitung erfasst besonders die kleinen juvenilen Tiere in der obersten Bodenkrume. Im Frühjahr 2021 sind an beiden Standorten Kokons gefunden worden, was ein typisches Bild für diesen Beprobungszeitraum darstellt. Variantenunterschiede waren bei der Anzahl an Kokons nicht ausgeprägt (*Tabelle 10*).

Tabelle 10: Anzahl Kokons pro m² 2020/2021

Variante	Standort			
	Franke Weide		Großer Plan	
	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	0	6	0	6
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	0	0	0	2
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	0	0	0	6
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	0	4	0	0
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	0	4	0	6
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	0	2	2	6

Franke Weide (Herbst 2021)

Am Standort Franke Weide lag der Anteil juveniler Tiere im Herbst mit Werten zwischen 50 und 64 % in einem für die Jahreszeit leicht erhöhten Bereich. Die Anteile adulter Tiere erreichten entsprechend zu diesem Zeitpunkt Werte zwischen etwa 36 und 42 % (Tabelle 11). Besonders hoch lagen hierbei der Anteile an juvenilen Tieren in den Varianten D1 (biologisch) und B3.

Tabelle 11: Altersstruktur der Regenwurmpopulationen, Herbst 2021

Variante	Parameter			
	Adult ¹⁾ %	Juvenil ¹⁾ %	Adult ¹⁾ %	Juvenil ¹⁾ %
	Franke Weide		Großer Plan	
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	38,6	27,2	27,2	69,8
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	37,5	31,8	31,8	67,1
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	41,7	36,4	36,4	62,7
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	35,7	21,9	21,9	76,7
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i> ²		22,7	22,7	74,2
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	37,7	42,2	42,2	56,3

1) Anteil aller bestimmbarer Tiere an der Gesamtbandanzahl

2) Die Variante Elektroherb (Franke Weide) konnte im Herbst 2021 nicht angelegt werden und wurde deshalb nicht beprobt

Hohe Anteile juveniler Tiere im Herbst vorzufinden ist eher ungewöhnlich. Zu diesem Zeitpunkt dominieren, bei normaler Populationsentwicklung im Jahresverlauf die adulten Tiere. Hohe Anteile an juvenilen Tieren sind im Frühjahr typisch, denn zu diesem Zeitpunkt findet in unseren Breiten die Hauptvermehrung der Regenwürmer statt. Bei günstigen Bodenfeuchtebedingungen und steigenden Bodentemperaturen schlüpfen die Jungtiere vermehrt aus ihren Kokons (Kollmannsperger 1955).

Vermutlich spielen die außergewöhnlichen Witterungsverhältnisse der vorangegangenen Jahre dabei eine Rolle, dass auf vielen Standorten, wie auch auf den vorliegenden Standorten, eine Verschiebung der Reproduktionsphase zum Herbst hinzubeobachtet ist (Krück 2021, nicht publizierte Beobachtungen). Am vorliegenden Standort konnte bereits im zweiten Jahr diese verstärkte Reproduktion im Herbst beobachtet werden, die sich auch in einer hohen Anzahl Kokons zum Zeitpunkt der Herbstbeprobung 2021 zeigt (siehe unten).

Es ist somit, wie bereits für den vorangegangenen Herbst auch im Herbst 2021 von einer verstärkten Reproduktion der Populationen auszugehen.

Tabelle 12: Anzahl Kokons pro m² Herbst 2021

Variante	Standort	
	Franke Weide	Großer Plan
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	26	4
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	2	0
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	4	2
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	6	0
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i> ¹		10
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	14	4

1) Die Variante Elektroherb (Franke Weide) konnte im Herbst 2021 nicht angelegt werden und wurde deshalb nicht beprobt

Zusätzlich zu den Regenwurmpopulationen sind die Kokons erfasst worden. Diese erreichten sowohl in der Variante A1 (Glyphosat) als auch in der Variante D1 (biologisch) mit entsprechend 26 und 14 Stück pro m² hohe Werte und spiegeln die hohe Reproduktion in diesen Varianten wider (Tabelle 12).

Großer Plan (Herbst 2021)

Am Standort Großer Plan waren die Populationen aller Varianten ebenfalls durch das dominante Auftreten juveniler Tiere gekennzeichnet, welche etwa zweidrittel und mehr der Population ausmachten.

Entsprechend lagen die Anteile an adulten Tieren im Herbst bei nur 22 bis 42 %. (Tabelle 11).

In Bezug auf die verschiedenen Varianten zeigte die Altersstruktur in ihrer prozentualen Verteilung keine großen Unterschiede auf. Lediglich die biologische Variante (D1) hatte mit 56 % einen vergleichsweise niedrigeren Anteil an juvenilen Tieren. Wie bereits am Standort Franke Weide ist am Standort Großer Plan somit auch die Verschiebung der Reproduktion in den Herbst zu beobachten (Tabelle 11).

Auf die Absolutwerte bezogen (Ergebnisse nicht dargestellt) zeigen die Abundanzwerte sowohl beim Parameter Gesamtjuvenil als auch beim Parameter Gesamtadult ähnliche statistisch signifikante Differenzen auf, wie diese bereits bei der Gesamtabundanz beschrieben wurden.

Auch am Standort Großer Plan sind im Herbst 2021 Kokons gefunden worden (Tabelle 12). Diese erreichten mit 10 Stück pro m² jedoch nicht ganz die Mengen, welche am Standort Franke Weide auftraten. In diesen unterschiedlichen Populationsdynamiken der beiden Standorte kommen die bodenbedingten Unterschiede und ihre Auswirkungen auf die Regenwurmpopulationen ebenfalls zum Ausdruck.

Vergleich der Regenwurmpopulation beider Standorte

Bei der vergleichenden Betrachtung der beiden Standorte, Franke Weide und Großer Plan, werden die Unterschiede im Niveau der Gesamtabundanz besonders deutlich. Diese spiegeln, wie bereits dargestellt, die unterschiedlichen Bodeneigenschaften der Standorte wieder.

Auf beiden Standorten wirkten die durchgeführten Maßnahmen (Varianten) im Herbst 2021 in ähnlicher Weise auf die Regenwurmpopulationen, indem auf beiden Standorten die mechanische Bearbeitung in den Varianten B1, B2 und B3 zu geringeren Abundanzen gegenüber den nicht mechanisch bearbeiteten Varianten A1 und teilweise C1 oder D1 führten. Am Standort Franke Weide war hierbei die Variante D1 (begrünt) die günstigste Variante für die Regenwurmpopulationen. Am Standort Großer Plan war dies hingegen die Variante A1 (Glyphosat).

Die im Herbst 2021 gefundenen Differenzen sind das Ergebnis einer nunmehr dreimaligen Anwendung der Maßnahmen und sie gibt somit die Entwicklung mehrmaliger Anwendungen wieder. Auch nach drei Jahren ist jedoch für den Standort Franke Weide oder den Standort Großer Plan ein deutlich wiederkehrender Einfluss der Maßnahmen erkennbar geworden. Vielmehr zeigen sich die Wirkungen der Maßnahmen an allen Terminen tendenziell verschieden. Es kann deshalb davon ausgegangen werden, dass Witterung, Zeitpunkt der Bewirtschaftungsmaßnahmen und vermutlich auch die Fruchtarten den Einfluss der Maßnahmen modifizieren. Dennoch ist über den Beprobungszeitraum von 5 Beprobungen für beide Standorte deutlich zu erkennen, dass die Variante A1 (Glyphosat) einen tendenziell günstigen Einfluss auf die Regenwurmpopulationen hatte. Dies ist neben der Variante C1 (Elektroherb) die einzige komplett konsequent nicht mechanisch bearbeitete Variante. Mechanische Bearbeitung hingegen kann, je nach Zeitpunkt der Anwendung, zu deutlichen Einbrüchen bei den Populationen führen.

Artenspektrum und Lebensformtypen

Regenwürmer können aufgrund ihrer unterschiedlichen Lebensweise im Boden und unterschiedlichen Ansprüche an die Nahrung in drei ökologische Gruppen, den Lebensformtypen, eingeteilt werden.

Epigäische Arten, welche ihren Lebensraum in der Streu haben und sich nicht oder nur sehr flach in den Boden eingraben, leben vorwiegend in Wäldern oder auf dem Grünland. Nur unter sehr günstigen Bedingungen, etwa wenn über längere Zeiträume eine Mulchschicht den Boden bedeckt, sind Arten dieser Lebensform auch auf Ackerflächen zu finden. Die endogäischen Arten, auch als Flachgräber bezeichnet, leben in der oberen Bodenschicht bis etwa 60 cm Tiefe und ernähren sich geophag, d. h., sie nehmen Mineralboden und zersetzte organische Substanz als Nahrung auf. Sie graben ständig neue, horizontale Gänge und erschaffen dabei vernetzte Gangsysteme. Die anektischen Arten oder Tiefgräber sind ebenfalls Bodenbewohner, legen jedoch senkrechte Röhren als permanente Wohnröhren an, welche mit 1 m und mehr sehr tief in den Boden hinunter reichen können. Sie ernähren sich wie die epigäischen Arten von der Streu an der Bodenoberfläche.

Frühjahr und Herbst 2019

Insgesamt konnten auf den Versuchsflächen die nachfolgend aufgeführten drei Arten und damit Vertreter aus zwei Gruppen der Lebensformtypen nachgewiesen werden:

Endogäisch (Flachgräber)

 *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826)

 *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826)

Anektisch (Tiefgräber)

 *Lumbricus terrestris* Linnaeus, 1758

Die Artengesellschaften der beiden Standorte unterschieden sich vor allem im Vorkommen der Art *A. rosea*. Diese Art war am Standort Franke Weide lediglich zur Frühjahrsbeprobung und auch lediglich in der Variante A1 vorhanden. In allen anderen Varianten und im Herbst wurden ansonsten an diesem Standort nur die beiden Arten *A. caliginosa* und *L. terrestris* gefunden (Tabelle 13, Tabelle 14).

Tabelle 13: Artenverteilung in Prozent der Abundanz am Standort Franke Weide, Frühjahr 2019

Variante	Parameter		
	A. caliginosa (%) ¹⁾	A. rosea (%) ¹⁾	L. terrestris (%) ¹⁾
A1 Chemisch Glyphosat	50,0	4,2	37,5
B1 Mechanisch Scheibenegge	59,4	0,0	25,0
B2 Mechanisch Grubber	70,8	0,0	22,9
B3 Mechanisch Großfederzinkenegge	70,5	0,0	18,2
C1 Elektrophysikalisch Elektroherb	84,3	0,0	13,7
D1 Biologisch US, ZF, BP	65,5	0,0	20,7

1) Anteil aller bis zur Art bestimmbaren Tiere an der Gesamtabundanz

Die Art *A. rosea* benötigt im Vergleich zu *A. caliginosa* höhere Humusgehalte und einen größeren Anteil an Ton- und Schluffgehalten. Sehr sandige Böden stellen eher Grenzstandorte für diese Art dar (KRÜCK ET AL. 2006). Da in Franke Weide der Boden deutlich sandiger als am Standort Großer Plan war könnte dies der Grund für das Fehlen dieser Art am Standort Franke Weide sein, wobei es scheint, dass dieser Standort aufgrund seiner Bodeneigenschaften als Grenzstandort für das Vorkommen von *A. rosea* gelten könnte.

A. caliginosa war am Standort Franke Weide zum Zeitpunkt der Frühjahrsbeprobung mit Anteilen von mindestens 50 % und bis über 80 % die dominante Art in allen Varianten. Die Anteile der Art *L. terrestris* erreichten demgegenüber Werte zwischen etwa 14 und 38 % (Tabelle 13). Für *A. caliginosa* sind im Herbst mit Anteilen zwischen 46 und 87 % ähnliche Werte wie im Frühjahr ermittelt worden. Die Spanne der Werte bei *L. terrestris* war hingegen im Herbst größer, mit Werten zwischen 9 und 46 % (Tabelle 14).

Tabelle 14: Artenverteilung in Prozent der Abundanz am Standort Franke Weide, Herbst 2019

Variante	Parameter		
	A. caliginosa (%) ¹⁾	A. rosea (%) ¹⁾	L. terrestris (%) ¹⁾
A1 Chemisch Glyphosat	46,2	0,0	46,2
B1 Mechanisch Scheibenegge	80,0	0,0	13,3
B2 Mechanisch Grubber	66,7	0,0	11,1
B3 Mechanisch Großfederzinkenegge	77,8	0,0	18,5
C1 Elektrophysikalisch Elektroherb	69,1	0,0	16,7
D1 Biologisch US, ZF, BP	87,0	0,0	8,7

Anteil aller bis zur Art bestimmbaren Tiere an der Gesamtabundanz

Tabelle 15: Artenverteilung in Prozent der Abundanz am Standort Großer Plan, Frühjahr 2019

Variante	Parameter		
	A. caliginosa (%) ¹⁾	A. rosea (%) ¹⁾	L. terrestris (%) ¹⁾
A1 Chemisch Glyphosat	50,0	7,3	33,1
B1 Mechanisch Scheibenegge	58,4	9,9	27,7
B2 Mechanisch Grubber	64,7	6,1	20,2
B3 Mechanisch Großfederzinkenegge	60,8	8,4	26,2
C1 Elektrophysikalisch Elektroherb	48,9	12,0	35,9
D1 Biologisch US, ZF, BP	60,0	3,8	31,3

1) Anteil aller bis zur Art bestimmbaren Tiere an der Gesamtabundanz

Tabelle 16: Artenverteilung in Prozent der Abundanz am Standort Großer Plan, Herbst 2019

Variante	Parameter		
	A. caliginosa (%) ¹⁾	A. rosea (%) ¹⁾	L. terrestris (%) ¹⁾
A1 Chemisch Glyphosat	51,1	2,2	37,8
B1 Mechanisch Scheibenegge	43,8	7,8	37,5
B2 Mechanisch Grubber	52,2	10,0	31,1
B3 Mechanisch Großfederzinkenegge	63,9	8,3	24,1
C1 Elektrophysikalisch Elektroherb	48,7	6,3	33,3
D1 Biologisch US, ZF, BP	51,8	13,7	30,2

1) Anteil aller bis zur Art bestimmbaren Tiere an der Gesamtabundanz

Auch am Standort Großer Plan war *A. caliginosa* zum Zeitpunkt der Frühjahrsbeprobung mit Anteilen von 50 bis 65 % die dominante Art. An diesem Standort war *A. rosea* als zweite endogäische Art mit Anteilen von 4 bis 12 % vertreten. *L. terrestris* nahm mit Werten zwischen 20 und 36 % ebenfalls größere Anteile an der Population ein (Tabelle 16).

Zum Zeitpunkt der Herbstbeprobung waren die Anteile aller drei Arten ähnlich wie im Frühjahr. *A. caliginosa* bildete Anteile an den Populationen von 44 bis 64 %, *A. rosea* lag wiederum mit Werten zwischen 2 und 14 % deutlich niedriger. Die Anteile von *L. terrestris* erreichten Werte zwischen 24 bis 38 % (Tabelle 16).

Verteilung der Lebensformtypen

Frühjahr und Herbst 2019

Wie bereits beim Artenspektrum deutlich wurde, nehmen auf beiden Versuchsstandorten die endogäischen Arten den dominanten Anteil an den Populationen ein.

Da am Standort Franke Weide nahezu ausschließlich die zwei Arten *A. caliginosa* (endogäisch) und *L. terrestris* (anektisch) vorkamen, entspricht die prozentuale Verteilung der Lebensformtypen annähernd denen der beiden Arten. Entsprechend waren die jeweiligen Anteile der Lebensformtypen im Frühjahr denen im Herbst vergleichbar (Tabelle 17, Abbildung 26).

Tabelle 17: Verteilung der Lebensformtypen am Standort Franke Weide

Variante	Parameter	Endogäisch (%) ¹⁾				Anektisch (%) ¹⁾			
		Frühjahr		Herbst		Frühjahr		Herbst	
		Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
A1	Chemisch Glyphosat	58,3	53,9	37,5	46,2				
B1	Mechanisch Scheibenegge	71,9	83,3	25,0	13,3				
B2	Mechanisch Grubber	75,0	85,2	22,9	11,1				
B3	Mechanisch Großfederzinkenegge	79,6	77,8	18,2	18,5				
C1	Elektrophysikalisch Elektroherb	84,3	78,6	13,7	16,7				
D1	Biologisch US, ZF, BP	75,9	91,3	20,7	8,7				

1) Anteil aller bestimmbarer Tiere an der Gesamtabundanz

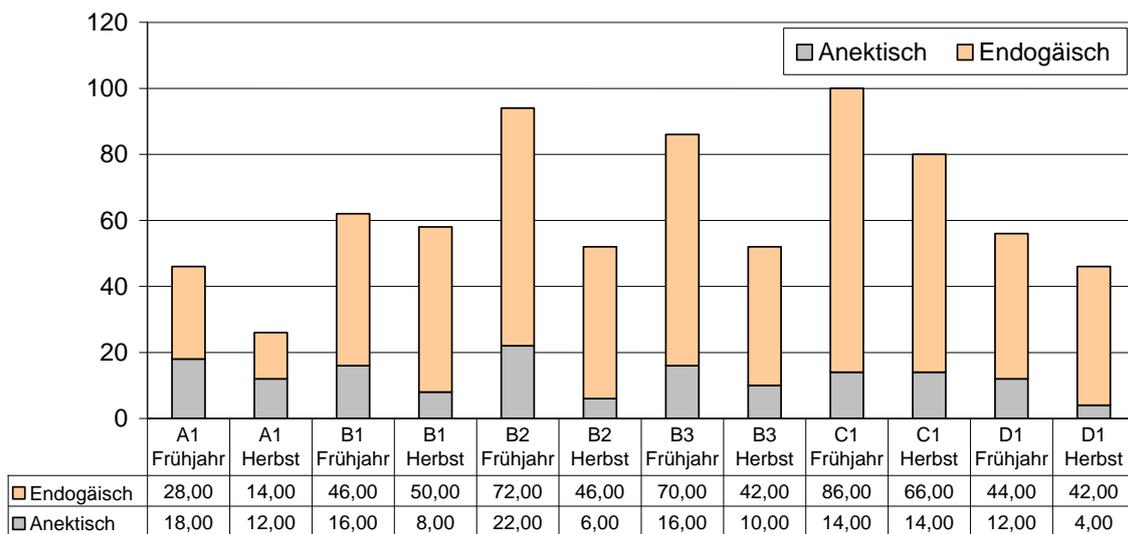


Abbildung 26: Abundanzen der Lebensformtypen am Standort Franke Weide im Vergleich von Frühjahr 2019 und Herbst 2019

Die Entwicklung der prozentualen Anteile im Artenspektrum (Veränderung vom Frühjahr zum Herbst) wies in den beiden mechanisch behandelten Varianten B1 und B2 eine leichte Zunahme im Anteil der endogäischen Arten auf, verbunden mit einer leichten Abnahme der Tiefgräber. Diese Verschiebung zu einer Erhöhung des Anteils an endogäischen Arten ist ebenfalls in der biologischen Variante D1 und hier noch ausgeprägter vorhanden. Anders verhielt es sich in der Variante C1 (Elektroherb), in der der endogäische Anteil leicht abnahm und der Anteil anektisch leicht zunahm. Eine Betrachtung der Absolutwerte zeigt für alle Varianten eine Abnahme der endogäischen Abundanzen, mit Ausnahme der Variante B1, in der die Abundanzen von 46 auf 50 Ind./m² leicht zunahm. Auch die Abundanzen der anektischen Art *L. terrestris* nahm in allen Varianten ab, mit Ausnahme der Variante C1 in der die Abundanzen gleichblieben.

Am Standort Großer Plan nahmen im Frühjahr die endogäischen Arten mit Anteilen zwischen 62 und 77 % etwa zwei Drittel und mehr an der Population ein. Entsprechend lagen die Anteile bei den anektischen Arten mit 20 bis 36 % unter oder bei einem Drittel der Population. Im Herbst zeigten sich nur leichte Verschiebungen in diesen Anteilen, wobei in den Varianten A1 bis B2 Zunahmen im anektischen Anteil feststellbar waren, in den Varianten B3 bis D1 hingegen minimale Abnahmen (Tabelle 18, Abbildung 27).

Tabelle 18: Verteilung der Lebensformtypen am Standort Großer Plan

Variante	Parameter			
	Endogäisch (%) ¹⁾		Anektisch (%) ¹⁾	
	Frühjahr	Herbst	Frühjahr	Herbst
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	63,7	60,0	33,1	37,8
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	71,3	59,4	27,7	37,5
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	76,8	68,9	20,2	31,1
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	72,0	75,9	26,2	24,1
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	62,0	64,0	35,9	33,3
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	67,5	67,6	31,3	30,2

1) Anteil aller bestimmbarer Tiere an der Gesamtabundanz

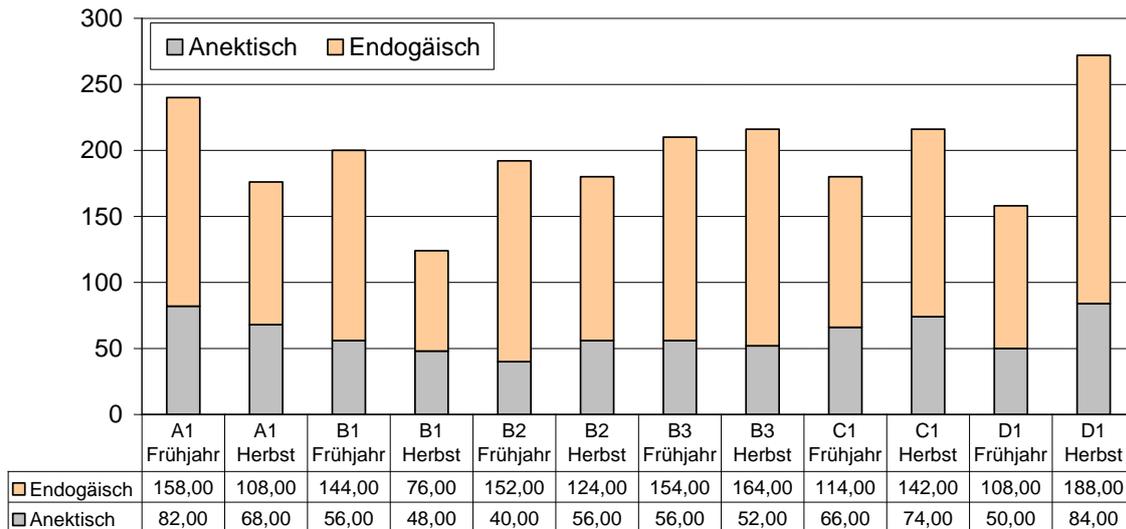


Abbildung 27: Abundanzen der Lebensformtypen am Standort Großer Plan im Vergleich von Frühjahr 2019 und Herbst 2019

Anders als am Standort Franke Weide nahmen die Absolutwerte der endogäischen Arten nur in einigen Varianten ab, nämlich in den Varianten A1 bis B2. In den anderen drei Varianten, B3 bis D1 gab es eine Zunahme bei den endogäischen Arten. Auch bei den anektischen Arten konnten in einigen Varianten eine Abnahme der Abundanzen festgestellt werden, in anderen nahmen die Abundanzen zu oder blieben unverändert. Eine besonders deutliche Zunahme der anektischen Art *L. terrestris* fand sich in der Variante D1 in der die Population von 50 auf 84 Ind./m² anstieg (Abbildung 27).

Herbst 2020 und Frühjahr 2021

Insgesamt konnten auf den Versuchsflächen mit den nachfolgend aufgeführten vier Arten eine Art mehr als im Vorjahr nachgewiesen werden:

Endogäisch (Flachgräber)

-  *Allolobophora chlorotica* (Savigny, 1826)
-  *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826)
-  *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826)

Anektisch (Tiefgräber)

-  *Lumbricus terrestris* Linnaeus, 1758

Die Artengesellschaften der beiden Standorte unterschieden sich vor allem im Vorkommen der Art *A. rosea* und in der neu hinzugekommenen Art *A. chlorotica*. So bestätigte sich für den Standort Franke Weide, dass dieser Standort von seinen Bodenbedingungen für *A. rosea* ein Grenzstandort darstellt. Erst am Standort Großer Plan sind mit den besseren Bodeneigenschaften Bedingungen für das regelmäßige Vorkommen dieser Art gegeben, denn diese Art benötigt einen gewissen Humus- und Tonanteil im Boden (KRÜCK ET AL. 2006, KRÜCK 2018). Die feuchteliebende Art *A. chlorotica* stellt noch spezifischere Ansprüche an den Standort und kommt nur dort vor, wo entweder texturbedingt oder aufgrund von Gewässernähe durchgehend feuchte Bodenbedingungen vorliegen (KRÜCK 2018). Diese Art trat deshalb in Franke Weide nie auf. Der Standort Großer Plan scheint mit seinen Bodeneigenschaften für diese Art einen Grenzstandort darzustellen. Sie trat hier, allerdings nur als Einzelexemplar, in der Variante D1 (begrünt) auf. Für den Standort Franke Weide ergab sich somit für den Beprobungszeitraum 2020/21 ein Artenspektrum mit den

beiden Arten *A. caliginosa* und *L. terrestris*. Am Standort Großer Plan war dieses um die Art *A. rosea* erweitert (*Tabelle 19* sowie *Tabelle 20* und *Tabelle 21*).

Tabelle 19: Artenverteilung in Prozent der Abundanz am Standort Franke Weide 2020/2021

Variante	Herbst 2020		Frühjahr 2021	
	<i>A. caliginosa</i> (%) ¹⁾	<i>L. terrestris</i> (%) ¹⁾	<i>A. caliginosa</i> (%) ¹⁾	<i>L. terrestris</i> (%) ¹⁾
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	53,3	40,0	61,0	37,3
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	33,3	66,7	73,3	26,7
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	66,7	33,3	56,3	43,8
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	58,3	41,7	61,1	38,9
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	66,7	30,3	72,7	20,4
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	54,8	41,89	58,8	38,2

1) Anteil aller bis zur Art bestimmbaren Tiere an der Gesamtabundanz

A. caliginosa war am Standort Franke Weide zum Zeitpunkt der Frühjahrsbeprobung mit Anteilen von mindestens 50 % und bis über 65 % die dominante Art in allen Varianten. Die Anteile der Art *L. terrestris* erreichten demgegenüber Werte zwischen etwa 30 und etwas über 40 % (*Tabelle 19*). Eine Ausnahme bildete die Variante B1, in der *L. terrestris* zweidrittel der Population und *A. caliginosa* lediglich 1/3 ausmachten. Die Dominanz der Art *A. caliginosa* zeigte sich in der darauffolgenden Frühjahrsbeprobung noch ausgeprägter, indem diese Art Anteile von 56 bis 73 % erreichte. Entsprechend nahmen die Anteile von *L. terrestris* zu diesem Zeitpunkt etwas ab und lagen zwischen 20 und etwas über 40 % (*Tabelle 19*). Zwischen den Varianten zeigten sich, mit der Ausnahme der Variante B1 im Herbst, keine Unterschiede im Artenspektrum. Auch am Standort Großer Plan war *A. caliginosa* zum Zeitpunkt der Herbstbeprobung 2020 mit Anteilen von 45 bis 56 % die dominante Art. An diesem Standort erreichte *A. rosea* als zweite endogäische Art Anteile von 3 bis 18 %. *L. terrestris* nahm hingegen mit Werten zwischen 31 und 42 % ebenfalls größere Anteile an der Population ein (*Tabelle 20*). Zum Zeitpunkt der Frühjahrsbeprobung waren die Anteile aller drei Arten denen der Herbstbeprobung ähnlich. *A. caliginosa* bildete Anteile an den Populationen von 46 bis 56 %, *A. rosea* lag wiederum mit Werten zwischen 7 und 18 % deutlich niedriger. Die Anteile von *L. terrestris* erreichten Werte zwischen 27 bis 38 % (*Tabelle 21*).

Tabelle 20: Artenverteilung in Prozent der Abundanz am Standort Großer Plan, Herbst 2020

Variante	Parameter	Parameter			
		A. chlorotica (%) ¹⁾	A. caliginosa (%) ¹⁾	A. rosea (%) ¹⁾	L. terrestris (%) ¹⁾
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>		0	50,0	2,6	42,2
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>		0	56,3	9,9	31,0
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>		0	55,8	4,7	36,1
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>		0	48,7	18,0	32,1
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>		0	44,7	11,8	41,6
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>		0	50,8	11,5	35,4

1) Anteil aller bis zur Art bestimmbar Tiere an der Gesamtabundanz

Tabelle 21: Artenverteilung in Prozent der Abundanz am Standort Großer Plan, Frühjahr 2021

Variante	Parameter	Parameter			
		A. chlorotica (%) ¹⁾⁰	A. caliginosa (%) ¹⁾	A. rosea (%) ¹⁾	L. terrestris (%) ¹⁾
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>		0	55,9	6,6	35,3
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>		0	48,7	12,2	37,8
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>		0	55,2	11,2	31,3
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>		0	46,2	17,9	31,7
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>		0	45,7	13,3	38,4
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>		0	52,9	16,4	27,1

Auch am Standort Großer Plan zeigten die Anteile der beiden Arten *A. caliginosa* und *L. terrestris* nur geringe variantenspezifische Unterschiede. Auffällig ist jedoch, dass *A. rosea* sowohl bei der Herbst 2020- als auch bei der darauffolgenden Frühjahrsbeprobung 2021 in der Variante A1 (*Glyphosat*) die geringsten Anteile aufwies. Lediglich im Herbst 2020 sind in der Variante B2 ähnlich niedrige Anteile bei dieser Art festgestellt worden. Dies könnte auf einen Varianteneffekt hindeuten (*Tabelle 20* und *Tabelle 21*). Bei der Betrachtung der Absolutwerte von *A. caliginosa* und *L. terrestris* werden jedoch für diese beiden Arten ebenfalls Variantenunterschiede sichtbar. So zeigt sich, dass die signifikanten Differenzen in der Gesamtabundanz im Herbst 2020 auf signifikante Differenzen bei *L. terrestris* zurückzuführen sind und insbesondere auf die juvenilen Tiere dieser Art. Die Varianten A1 und C1 lagen dabei signifikant höher als die mechanische bearbeiteten Varianten B1, B2 und B3.

Zum Frühjahr hatten sich die Populationen dieser Art erholt und es fanden sich keine signifikanten Differenzen bei *L. terrestris* mehr. Zu diesem Zeitpunkt unterschieden sich die adulten Abundanzen der Art *A. caliginosa* und erreichten signifikant geringere Werte in der Variante B2 gegenüber einiger der anderen Varianten.

Verteilung der Lebensformen Herbst 2020 und Frühjahr 2021

Wie bereits beim Artenspektrum deutlich wurde, nehmen auf beiden Versuchsstandorten die endogäischen Arten den dominanten Anteil an den Populationen ein.

Tabelle 22: Verteilung der Lebensformtypen am Standort Franke Weide 2020/2021

Variante	Parameter			
	Endogäisch (%) ¹⁾		Anektisch (%) ¹⁾	
	Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	57,8	61,0	40,0	37,3
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	33,3	73,3	66,7	26,7
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	66,7	56,3	33,3	43,8
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	58,3	61,1	41,7	38,9
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	69,7	79,6	30,3	20,4
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	58,1	61,8	41,9	38,2

1) Anteil aller bestimmbarer Tiere an der Gesamtabundanz

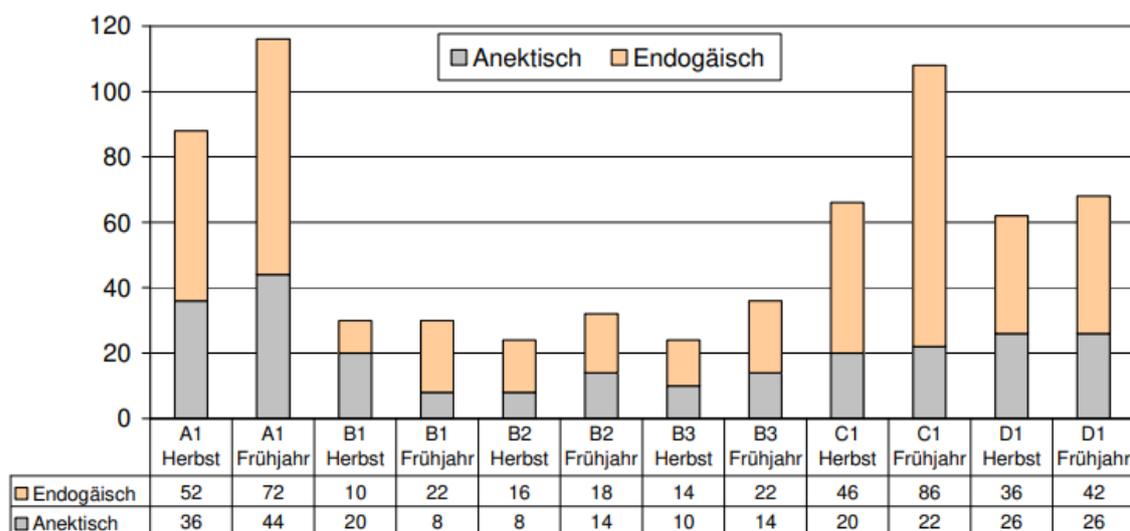


Abbildung 28: Abundanzen der Lebensformtypen am Standort Franke Weide im Vergleich von Herbst 2020 und Frühjahr 2021

Da am Standort Franke Weide in der Versuchsperiode 2020/21 ausschließlich die zwei Arten *A. caliginosa* (endogäisch) und *L. terrestris* (anektisch) vorkamen, entspricht die prozentuale Verteilung der Lebensformtypen annähernd jener dieser beiden Arten.

Entsprechend zeigten sich zwischen den Varianten keine Unterschiede in der Verteilung der Lebensformtypen. Lediglich bei der mechanischen Variante B1 im Herbst 2020 fällt der hohe Anteil an L. terrestris und entsprechend hohe Anteil anektisch auf (Tabelle 22, Abbildung 28). Auch in der Betrachtung der Populationsentwicklung, anhand der Veränderungen in den Anteilen der verschiedenen Lebensformtypen vom Herbst 2020 zum Frühjahr 2021, zeigen sich die Werte sehr konstant. Hier fällt wieder die mechanische Variante B1 etwas raus, bei der eine deutliche Zunahme im Anteil endogäisch und entsprechende Abnahme an anektisch zu verzeichnen war (Abbildung 28). Eine Betrachtung der Absolutwerte zeigt für alle Varianten eine Zunahme der endogäischen Abundanzen. Auch die Abundanzen der anektischen Art L. terrestris nahm in allen Varianten zu, mit Ausnahme der Variante B1 in der die Abundanzen dieser Art deutlich abnahm. In der Variante D1 (begrünt) blieb die Abundanz der anektischen Art mit 26 Ind./m² konstant (Abbildung 28).

Tabelle 23: Verteilung der Lebensformtypen am Standort Großer Plan 2020/2021

Variante	Parameter	Parameter			
		Endogäisch (%) ¹⁾		Anektisch (%) ¹⁾	
		Herbst	Frühjahr	Herbst	Frühjahr
A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	56,5	64,0	42,2	35,3
B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	67,6	62,2	31,0	37,8
B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	64,0	68,7	36,1	31,3
B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	68,0	68,3	32,1	31,7
C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	58,4	61,6	41,6	38,4
D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	63,1	72,1	35,4	27,1

1) Anteil aller bestimmbaren Tiere an der Gesamtabundanz

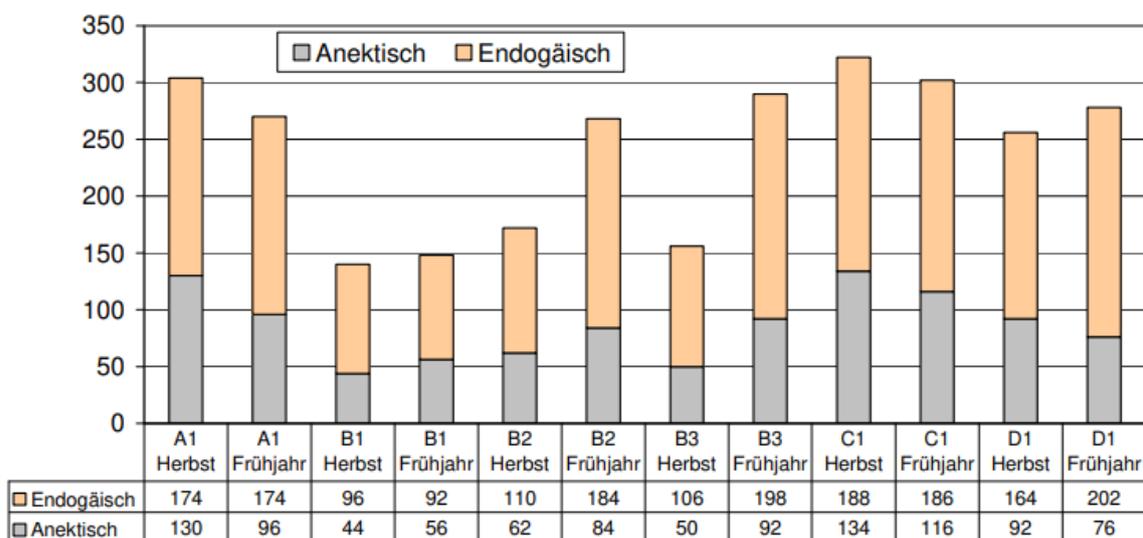


Abbildung 29: Abundanzen der Lebensformtypen am Standort Großer Plan im Vergleich von Herbst 2020 und Frühjahr 2021

Am Standort Großer Plan nahmen im Herbst die endogäischen Arten mit Anteilen zwischen etwa 57 und 68 % ebenfalls den dominanten Anteil an der Population ein. Der Anteil der anektischen Art erreichte mit 31 bis 42 % etwa ein Drittel der Population. Im Frühjahr zeigten sich nur leichte Verschiebungen in diesen Anteilen (Tabelle 23, Abbildung 29). Die Populationsentwicklung zeigte sich am Standort Großer Plan etwas differenzierter als am Standort Franke Weide. So nahm die anektische Art *L. terrestris* in den drei mechanisch bearbeiteten Varianten B1, B2 und B3 zu, in allen anderen drei Varianten hingegen ab. Dies wird bei der Betrachtung der Absolutwerte deutlich. Bei dem Lebensformtyp endogäisch waren hingegen kaum Abnahmen zu verzeichnen. Variantenunterschiede traten am Standort Großer Plan auf und erreichten im Herbst für den Parameter Abundanz bei anektisch juvenil statistisch signifikante Differenzen, welcher bereits oben bei der Artenverteilung besprochen wurde. Im Frühjahr 2021 traten dann die statistisch signifikanten Differenzen bei endogäisch adult auf, welche auf signifikante Differenzen bei *A. caliginosa* adult zurückzuführen waren und ebenfalls bereits oben bei der Artenverteilung besprochen wurden.

Verteilung der Lebensformen Herbst 2021

Insgesamt konnten im Herbst 2021 auf den Versuchsfeldern mit den nachfolgend aufgeführten drei Arten das Artenspektrum des ersten Versuchsjahrs bestätigt werden:

Endogäisch (Flachgräber)

 *Aporrectodea caliginosa* (Savigny, 1826)

 *Aporrectodea rosea* (Savigny, 1826)

Anektisch (Tiefgräber)

 *Lumbricus terrestris* Linnaeus, 1758

Die Artengesellschaften der beiden Standorte unterschieden sich vor allem im Vorkommen der Art *A. rosea*. Auch im dritten Untersuchungsjahr bestätigte sich für den Standort Franke Weide, dass dieser Standort von seinen Bodenbedingungen für *A. rosea* ein Grenzstandort darstellt. Diese Art trat im Herbst 2021 am Standort Franke Weide lediglich in der chemischen Variante A1 in sehr geringen Abundanzen auf. Erst am Standort Großer Plan sind mit den besseren Bodeneigenschaften Bedingungen für das regelmäßige Vorkommen dieser Art gegeben, denn diese Art benötigt einen gewissen Humus- und Tonanteil im Boden (Krück et al. 2006, Krück 2018).

Für den Standort Franke Weide ergab sich somit für den Beprobungszeitraum Herbst 2021 ein Artenspektrum mit den beiden Arten *A. caliginosa* und *L. terrestris*. Zudem trat *A. rosea* sporadisch in der chemischen Variante A1 auf.

Tabelle 24: Artenverteilung in Prozent der Abundanz am Standort Franke Weide Herbst 2021

Variante	<i>A. caliginosa</i> (%) ¹⁾	<i>A. rosea</i> (%)	<i>L. terrestris</i> (%)
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	56,1	3,5	38,6
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	50,0	0,0	43,8
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	37,5	0,0	54,2
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	66,7	0,0	33,3
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i> ²⁾	-	-	-
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	69,6	0,0	29,0

1) Anteil aller bestimmbarer Tiere an der Gesamtabundanz

2) Die Variante Elektroherb konnte im Herbst 2021 nicht angelegt werden und wurde deshalb nicht beprobt

A. caliginosa war, wie bereits zu den vorangegangenen Terminen mit Anteilen von 50 % und mehr die dominante Art in allen Varianten außer der mechanischen Variante B2. Diese fällt durch den vergleichsweise geringen Anteil an *A. caliginosa* von rund 38 % zu diesem Termin auf. Die Anteile der Art *L. terrestris* erreichten in der mechanischen Variante B2 dann auch einen prozentualen Anteil von über 50 %. Alle anderen Varianten erreichten demgegenüber Werte zwischen etwa 30 und etwas über 44 % (

Tabelle 24).

Eine Betrachtung der Lebensformtypen zeigt bei dem oben dargestellten Artenspektrum annähernd das gleiche Bild wie die Betrachtung der einzelnen Arten. Die Gruppe der endogäischen Arten war deutlich dominant mit 46 bis 71 %. Der Lebensformtyp anektisch erreichte entsprechend 29 bis 54 % (Abbildung 30).

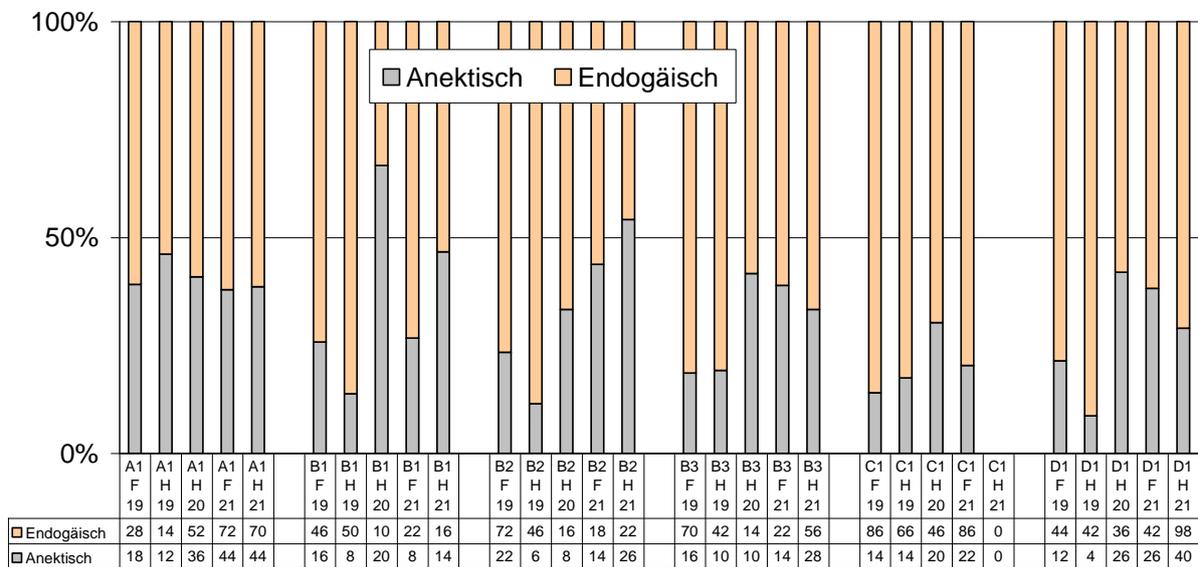


Abbildung 30:: Abundanzen der Lebensformtypen am Standort Franke Weide im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021

Über die Zeit betrachtet war die Verteilung der Lebensformtypen in der chemischen Variante A1 (Glyphosat) recht konstant und zeigte mit Anteilen an anektischen Arten von knapp 40 bis fast 50 % vergleichsweise hohe Anteile. Auch in der elektrophysikalischen Variante C1 konnten im Verlauf der drei Jahre nur geringe Schwankungen bei der Verteilung der Lebensformtypen ermittelt werden, der Anteil an anektischen Arten lag aber hier mit 25 % und weniger deutlich geringer (Abbildung 30). Alle anderen vier Varianten wiesen im Versuchsverlauf große Unterschiede in der Verteilung der Lebensformtypen auf. Hierbei scheint der Anteil an anektischen Arten von einem eher geringen Niveau im Ausgangsjahr tendenziell zugenommen zu haben. Auch am Standort Großer Plan war *A. caliginosa* zum Zeitpunkt der Herbstbeprobung 2021 mit Anteilen von 38 bis 67 % die dominante Art. An diesem Standort erreichte *A. rosea* als zweite endogäische Art Anteile von 2 bis 9 %. *L. terrestris* nahm hingegen mit Werten zwischen 27 und 58 % ebenfalls größere Anteile an der Population ein (Tabelle 25).

Tabelle 25: Artenverteilung in Prozent der Abundanz am Standort Großer Plan, Herbst 2021

Variante	<i>A. caliginosa</i> (%) ¹⁾	<i>A. rosea</i> (%)	<i>L. terrestris</i> (%)
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	67,3	3,0	26,7
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	51,8	9,4	37,7
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	54,6	2,7	41,8
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	38,4	2,7	57,5
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i> ²⁾	54,7	1,6	40,6
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	50,0	9,4	39,1

Am Standort Großer Plan zeigten die Anteile der beiden Arten *A. caliginosa* und *L. terrestris* wie im Vorjahr nur geringe variantenspezifische Unterschiede. Auffällig ist lediglich die Variante B3 mit geringen Anteilen an *A. caliginosa* von 38 % und entsprechend hohen Anteilen an *L. terrestris* mit 58 % (Tabelle 25). Die Art *A. rosea* konnte in den Varianten D1 und B1 mit fast 10 % nennenswerte Anteile erreichen. In den anderen Varianten waren die Anteile dieser Art mit 2 bis 3 % eher gering.

Bei der statistischen Verrechnung der Absolutwerte von *A. caliginosa* (nicht dargestellte Werte) zeigten sich die signifikanten Differenzen, die bei der Gesamtabundanz vorhanden waren in ähnlicher Weise bis runter zum Artniveau. Hierbei konnten für *A. caliginosa* statistisch signifikante Differenzen zwischen den Varianten ermittelt werden.

Wie bereits beim Artenspektrum deutlich wurde, nahmen im Herbst 2021 die Gruppe der endogäischen Arten den dominanten Anteil an den Populationen ein. Der Anteil anektisch lag dabei zwischen 27 und 58 %. Im Vergleich der Varianten fällt die mechanische Variante B3 stark auf, mit einem deutlich höheren Anteil an anektisch im Vergleich zu den anderen Varianten (Abbildung 31).

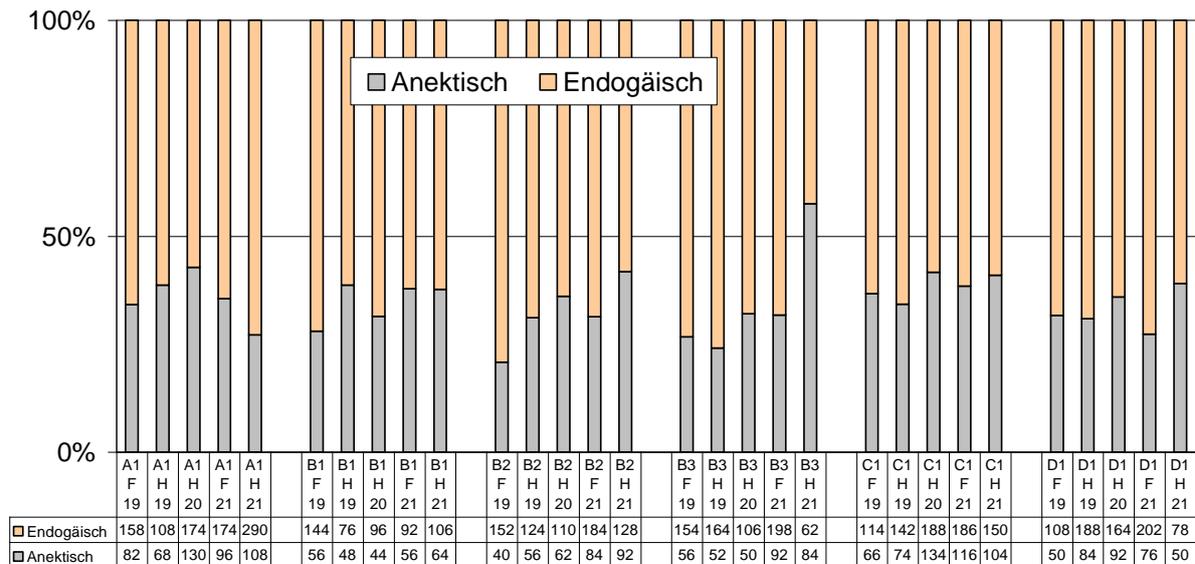


Abbildung 31:: Abundanzen der Lebensformtypen am Standort Großer Plan im Versuchszeitraum Frühjahr 2019 bis Herbst 2021

Über die gesamte Versuchsdauer betrachtet erwies sich die Verteilung der Lebensformtypen als ausgeglichen. Lediglich im Herbst 2021 zeigt sich eine deutliche Zunahme der anektischen Arten in der mechanisch bearbeiteten Variante B3 (Abbildung 31).

Zusammenfassung

Bei den vorliegenden Untersuchungen sind mit den verschiedenen Maßnahmen der untersuchten Varianten komplexe Wirkungen auf Regenwurmpopulationen erfasst worden. In der chemischen Variante A1 mit Anwendung des Herbizids Glyphosat ergibt sich neben einer möglichen direkt toxischen Auswirkung eine indirekte Wirkung, welche sich nach der Anwendung aus einer kurzfristig stark erhöhten und folgender fehlenden Nahrungsgrundlage des blanken Bodens ergibt. In den mechanisch bearbeiteten Varianten (B1 bis B3) können sich neben direkter mechanischer Schädigung ebenfalls indirekte Wirkungen durch die verminderte Nahrungsgrundlage als Folge der Bearbeitung ergeben. In der Variante C1 mit der Anwendung der elektrophysikalischen Unkrautregulierung mit dem Elektroherb-Gerät ist ebenfalls mit einer kurzzeitig erhöhten Nahrungszufuhr durch den abgetöteten Pflanzenbestand zu rechnen, mit einem entsprechend positiven Einfluss auf die Populationsentwicklung. Unbekannt ist ob negative Effekte der Stromanwendung im Boden durch direkte Schädigung der Tiere durch den Strom entstehen können. Schließlich ist in der Variante D1 durch die Untersaaten mit einem positiven Effekt auf die Regenwürmer aufgrund der erhöhten und kontinuierlichen Nahrungszufuhr und der permanenten Bodenbedeckung und Bodenruhe in dieser Variante zu rechnen.

Um diese komplexen Wirkungen zu erfassen, wurden Regenwürmer in insgesamt fünf Beprobungen über einen Zeitraum von etwa drei Jahren untersucht. Die Beprobungen sind teilweise direkt nach Anwendung der verschiedenen Maßnahmen durchgeführt worden. Teilweise lagen die Beprobungen etwa sechs Monate nach der Anwendung den Maßnahmen. Auf diese Weise war es möglich einerseits die Kurzzeit- oder Akutwirkung der Maßnahmen zu erfassen und andererseits eventuelle langfristige Wirkungen in den Populationsentwicklungen aufzuzeigen.

Außerdem war es durch die Untersuchungsdauer von etwa drei Jahren und der jährlich durchgeführten unterschiedlichen Maßnahmen zur Unkrautkontrolle möglich zu prüfen, ob bei wiederholter Anwendung der Maßnahmen Effekte sich in ihren Wirkungen akkumulieren.

Zu allen Beprobungsterminen waren zwischen den untersuchten Standorten deutliche Unterschiede im Gesamtniveau der jeweiligen Populationen sichtbar, mit höheren Populationsdichten und einem weiteren Artenspektrum am Standort Großer Plan. Diese spiegeln die unterschiedlichen Bodeneigenschaften der Standorte, welche den jeweiligen Regenwurmbezug bestimmen, deutlich wieder.

Nach dreijähriger Anwendung der zu untersuchenden Maßnahmen zur Unkrautregulierung werden ähnliche Effekte für beide Standorte lediglich tendenziell sichtbar. Besonders deutlich war hierbei die tendenziell reduzierende Wirkung der mechanischen Bearbeitung. Andererseits wurde in allen drei nicht mechanisch bearbeiteten Varianten tendenziell eine Förderung der Populationen erkennbar.

Neben dieser übergeordneten tendenziellen Wirkung der verschiedenen Maßnahmen konnten weder zwischen den Jahren noch für die beiden Standorte eindeutige und wiederkehrende Effekte der Maßnahmen erkannt werden, was darauf hin deutet, dass Witterung, Zeitpunkt der Bewirtschaftungsmaßnahmen und vermutlich auch die Fruchtarten den Einfluss der untersuchten Maßnahmen modifizieren. Dennoch ist über den Beprobungszeitraum von fünf Beprobungen für beide Standorte deutlich zu erkennen, dass in der Variante A1 (Glyphosat) die Regenwurmpopulationen tendenziell hohe Werte aufwiesen. Dies ist neben der Variante C1 (Elektroherb) die einzige konsequent nicht mechanisch bearbeitete Variante. Mechanische Bearbeitung hingegen kann, je nach Zeitpunkt der Anwendung, zu deutlichen Einbrüchen bei den Populationen führen, wie dies im Herbst 2020 in allen mechanisch bearbeiteten Varianten inklusiver der Variante D1, die zu auch mechanisch bearbeitet wurde.

Mit den Ergebnissen am Standort Großer Plan, die im Jahr 2020 und 2021 weiterführende statistische Analysen ermöglichten, wurde ersichtlich, dass nicht nur bei der Gesamtabundanz und Gesamtbioasse, sondern auch bis runter auf Artniveau die Effekte der Maßnahmen zwischen den Jahren variierten. So waren im Herbst 2020 insbesondere juvenile Tiere der Art *L. terrestris* in den mechanisch bearbeiteten Varianten nach Durchführung der Maßnahmen vermindert. Im Herbst 2021 traten hingegen signifikante Differenzen bei der endogäischen Art *A. caliginosa* auf.

Hohe Populationsdichten in den Varianten A1 (Glyphosat) und C1 (Elektroherb), wie auch teilweise in der Variante D1 (begrünt), zeigen einen positiven Varianteneffekt, der auf fördernde Faktoren dieser Varianten hinweist. Hierbei spielt sicherlich das Abtöten des Zwischenfruchtbestands chemisch durch Glyphosat (Variante A1) oder elektrophysikalisch (Elektroherb, Variante C1) eine Rolle, bei der in beiden Varianten kurzzeitig eine sehr hohe Futterzufuhr nach Abtöten des Zwischenfruchtbestands gegeben ist. Dies und die Bodenruhe in diesen Varianten könnte sich fördernd auf die Regenwurmpopulationen ausgewirkt haben.

In der biologischen Variante (Variante D1) war aufgrund der vorgesehenen Bodenruhe und der kontinuierlichen Futterzufuhr von einem Aufbau der Population über die Zeit hinweg zu rechnen. Allerdings war in dieser Variante eine mechanische Bearbeitung im Herbst 2020 erforderlich geworden, um die entstandene starke Verunkrautung zu regulieren. Hierdurch sind einmalig in dieser Variante die beiden oben genannten Bedingungen (Bodenruhe, kontinuierliche Futterzufuhr) gestört worden. Dies könnte die geringeren Populationswerte im Vergleich zu den Varianten A1 und C1 zum Zeitpunkt der Herbstbeprobung 2020 erklären.

Auf beiden Standorten nahmen in dieser Variante (D1) die Populationen zum Frühjahr hin wieder zu. Dennoch zeigt sich im Herbst 2021 nur am Standort Franke Weide eine weitere Zunahme der Population. Am Standort Großer Plan war hingegen zu diesem Zeitpunkt eine deutliche Abnahme zu verzeichnen.

Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der Regenwurmpopulationen und der Zufuhr an organischer Substanz (Menge an Aufwuchs, Dauer und Grad der Bodenbedeckung) der einzelnen Varianten werden als weiterführende Möglichkeit empfohlen, um die komplexen Beziehungen der Varianteneffekte und der Entwicklung der Regenwurmpopulationen besser einordnen zu können.

2.4.5 Untersuchung der Mykorrhiza bei unterschiedlichen Maßnahmen der Unkrautkontrolle

Einleitung

Mehr als 90 % aller Landpflanzen gehen eine enge, gegenseitig nutzbringende Beziehung mit Bodenpilzen ein. Von diesen Mykorrhiza-Symbiosen ist die Arbuskuläre Mykorrhiza, die es seit rund 450 Mio. Jahren auf der Erde gibt und die wohl maßgeblich an der Evolution der Landpflanzen beteiligt war, nicht nur die älteste, sondern auch die am weitesten verbreitete. Sie ist folglich in den meisten natürlichen Ökosystemen und auch in Agroökosystemen zu finden (FACELLI et al. 2009:338).

Mykorrhiza-Pilzarten besitzen unterschiedliche Eigenschaften, die sich wiederum in Kombination mit verschiedenen Pflanzenarten sehr spezifisch auswirken, z.B. was die Nährstoffaufnahme und die Krankheitsanfälligkeit der Pflanzen betrifft.

Bei ihren Wirtspflanzen übernehmen Mykorrhizapilze im Wesentlichen die Funktion in der Erschließung der Nährstoffvorräte des Bodens. Ihr Hyphennetzwerk trägt zu erhöhter Aggregatstabilität im Oberboden, zur Bildung des Krümelgefüges und zum Erosionsschutz bei.

Ein Eingriff in den Boden reduziert die Besiedlungsdichte und verringert ihre Diversität. Im Rahmen des EIP-Agri-Projektes wurden die angelegten Varianten zur Unkrautunterdrückung (chemisch, mechanisch, elektrophysikalisch und biologische) auf den Grad der Mykorrhizierung untersucht.

Material und Methoden

Beprobt wurden aus jeder Variante (A1, B1, B2, B3, C1, D1) Wurzelproben der angebauten Kultur und entsprechend Bodenproben. Die Proben wurden im Labor des Instituts für Pflanzenkultur untersucht und ausgewertet.

Wurzelproben

Die feinen Wurzelstücke wurden nach dem Färbeprozess mit China Ink (Vierheilig et al., 1998) lichtmikroskopisch auf Besiedelung mit Mykorrhizapilzen untersucht und die Intensität der Besiedelung (Vorhandensein von Vesikeln und Arbuskeln) bewertet. Die Bewertung der Mykorrhizabesiedelung wurde nach Trouvelot et al. (1986) durchgeführt.

Bodenproben

Zur Bestimmung der Sporenzahl wurden je Bodenprobe 3 x 10 g mit Hilfe einer Nass-Fraktionierung über Turmsiebe mit 425, 200, 75 und 40 µm mesh und anschließender Dekantierung durchgeführt (Gerdemann and Nicolson, 1963). Die verbleibenden Bodenfraktionen in den Sieben wurde jeweils in eine Petrischale überführt und unter dem Binokular auf Mykorrhizasporen untersucht.

Die Daten wurden mit dem Statistik-T Test verarbeitet ($P < 0.05$, nach arcsin Umwandlung). Die Datenanalyse wurde mit einer Excel-Software durchgeführt.

Mykorrhiza vor Versuchsanlage (Ausfallgerste, 2019)

Die Probenahme erfolgte vor Etablierung des Versuches in der Ausfallgerste auf beiden Versuchsschlägen im Frühjahr 2019. Die Untersuchung der Proben erfolgte durch das Institut für Pflanzenkultur. Die Daten zur Mykorrhizierungsrate sind in Abbildung 32 dargestellt und zeigen die Anwesenheit von Mykorrhizastrukturen, wenn auch im geringen Maße. Ein signifikanter Unterschied zeigt sich nur in Parameter a% (Häufigkeit von Arbuskeln in mykorrhizierten Teilen der Wurzel – P -Wert: 0,0393), mit einem höheren Wert auf dem Standort Großer Plan im Vergleich zum Standort Franke Weide. Zudem zeigen sich die Mykorrhizastrukturen durchgängig nur als Arbuskeln und feine Hyphen mit Verdickungen (Bild 1) und keine Vesikel. Diese Strukturen ähneln sehr dem *Rhizophagus tenuis* (früher *Glomus tenue* (Greenall) I.R. Hall, 1977; Basionym: *Rhizophagus tenuis* Greenall, 1963, Orchard et al., 2017 für nähere Information). Weitere Mykorrhiza-Arten in den Wurzeln konnten nicht festgestellt werden.

In den Bodenproben der Versuchsstandorte Großer Plan und Franke Weide konnten Mykorrhizasporen nachgewiesen werden, durchschnittlich 25,3 Sporen/10g Boden auf dem Standort Franke Weide, und 2,3 Sporen/10 g Boden auf dem Standort Großer Plan (Signifikanz P -Wert: 0,0021). Es konnten keine Sporen von *R. tenuis* in den Bodenproben beider Versuchsstandorte nachgewiesen werden.

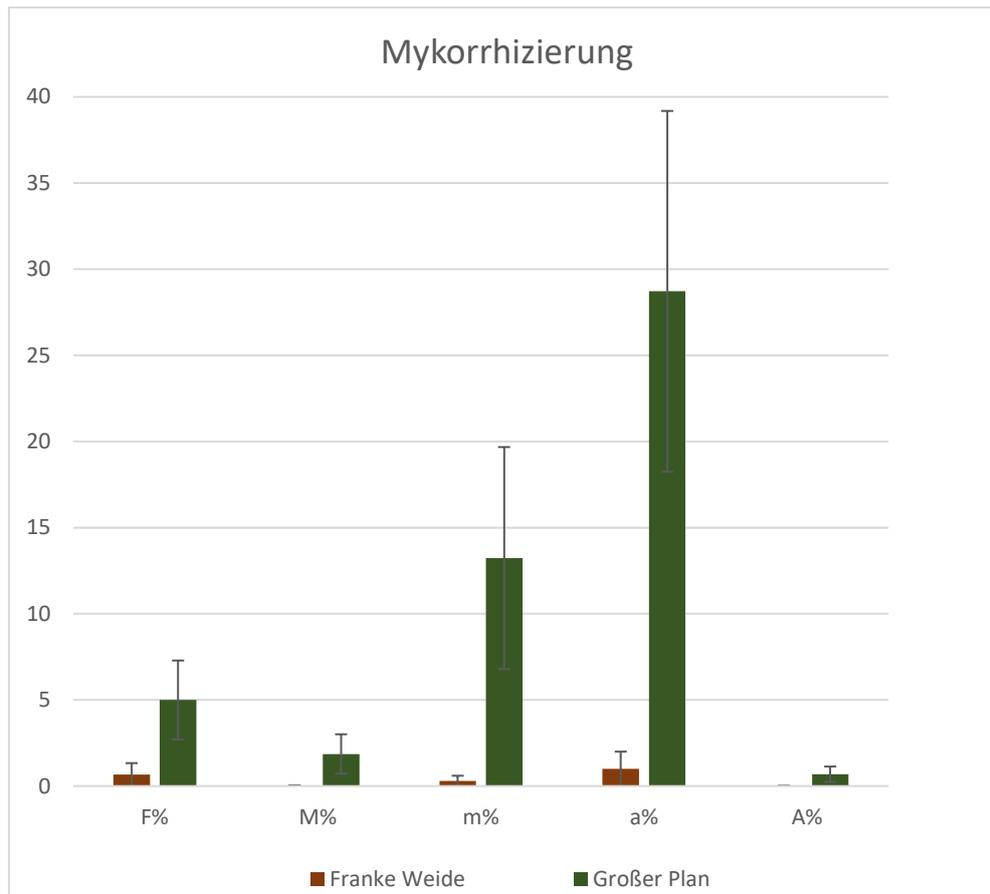


Abbildung 32: Mykorrhizierungsrate Gerste (*Hordeum vulgare*) Wurzelproben, April 2019

F% : Häufigkeit von Mykorrhiza im Wurzelsystem
 M% : Intensität der Besiedelung im Wurzelsystem
 m% : Intensität der Besiedelung in den Wurzelstücken
 a% : Häufigkeit von Arbuskeln in mykorrhizierten Teilen der Wurzelstücke
 A% : Häufigkeit von Arbuskeln im Wurzelsystem

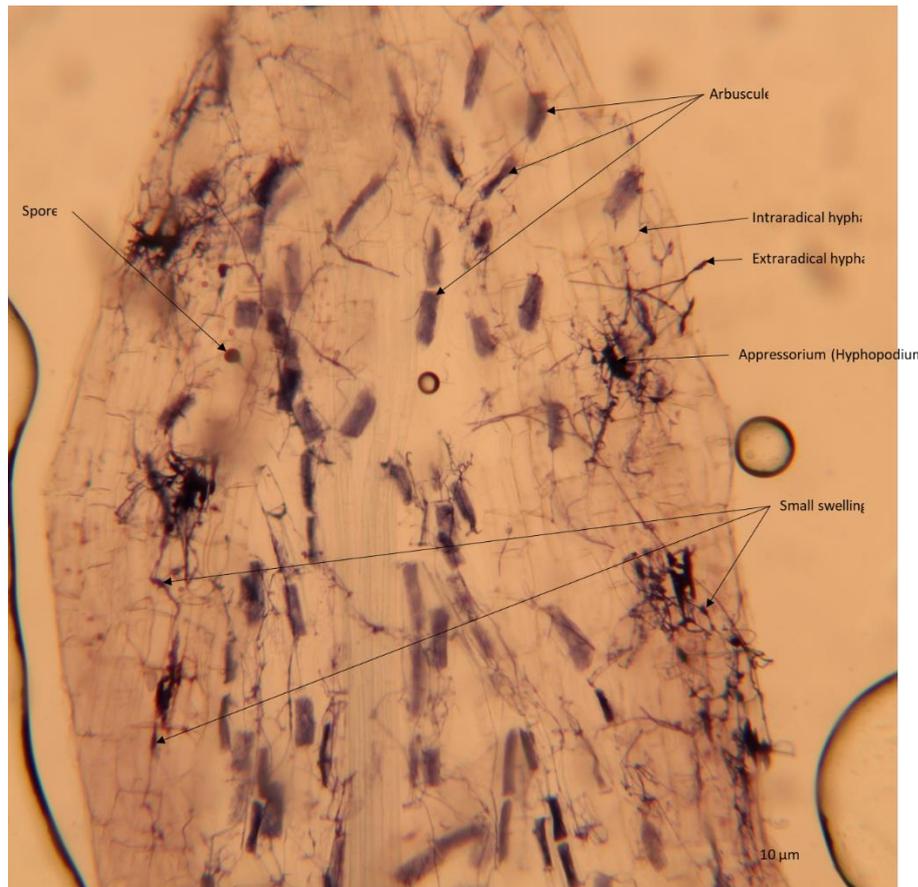


Bild 1: Mykorrhizastrukturen in *Hordeum vulgare* Wurzel, April 2019

In allen Wurzeln von *Hordeum vulgare* (Gerste) sind Mykorrhizapilze nachgewiesen und alle Wurzelproben sind sehr wahrscheinlich von *Rhizophagus tenui* besiedelt. Die Häufigkeit von Arbuskeln in den mykorrhizierten Wurzelstücken ist auf der Versuchsfläche Großer Plan signifikant höher als auf der Versuchsfläche Franke Weide. Die Anzahl der Mykorrhizasporen war in der Bodenprobe Franke Weide höher als in Großer Plan.

Die Besiedelungsrate und die Sporenanzahl sind als gering einzustufen. Es kann kein Zusammenhang zwischen Besiedelungsrate und Sporenanzahl hergeleitet werden. Die nachgewiesenen Mykorrhizasporen aus der Siebanalyse können nicht *Rhizophagus tenuis* zugewiesen werden. Die Sporen von dieser Arbuskulären Mykorrhizaart sind sehr klein (10-12 µm - Hall, 1984) und nicht sehr zahlreich, was einen Nachweis per Siebanalyse erschwert.

Mykorrhiza nach Versuchsanlage (Mais, 2019)

Im Mai 2019 wurde eine weitere Beprobung der Versuchsflächen nach Anlage der Varianten und Aussaat des Körnermais durchgeführt. Es wurden Wurzel- und Bodenproben von Mais (*Zea mays*) zur Analyse an das Institut für Pflanzenkultur eingeschickt. Die Wurzelsysteme des heranwachsenden Körnermais wurde auf Besiedelung mit Arbuskulären Mykorrhizapilzen untersucht.

Die Daten für die Parameter der Mykorrhizierungsrate sind in Abbildung 33 und Abbildung 34 dargestellt. Die Daten deuten darauf hin, dass eine Mykorrhizabesiedelung vorliegt, wenn auch mit einer geringen Rate. Die höchste Mykorrhizierungsrate wird in Variante D1 (Verfahrenskombination aus mechanischer Bodenbearbeitung mit anschließender Einsaat einer Kleeuntersaat) auf der Versuchsfläche Franke Weide festgestellt. Die niedrigste Mykorrhizierung auf dem Standort Franke Weide in der mechanischen Variante B1.

Bilder von mykorrhizierten Strukturen sind in Bild 2 und Bild 3 und dargestellt. Im Vergleich zu Franke Weide Proben waren bei den Große Plan Proben eine stärkere Mykorrhiza Entwicklung zu beobachten.

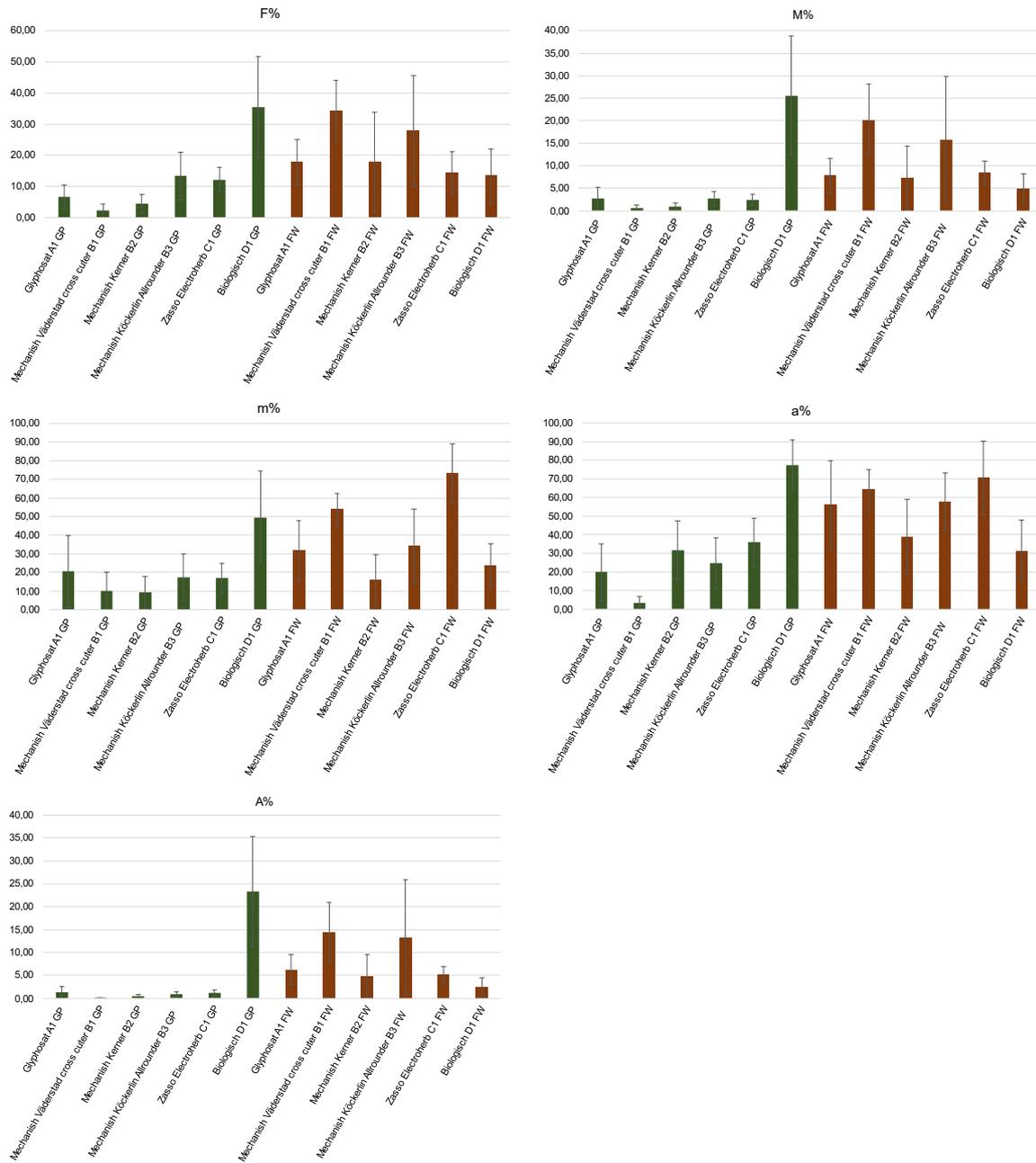


Abbildung 33: Mykorrhizierungsrate von Mais Wurzelproben, Vergleich der Varianten, Mai 2019

Mykorrhizarate

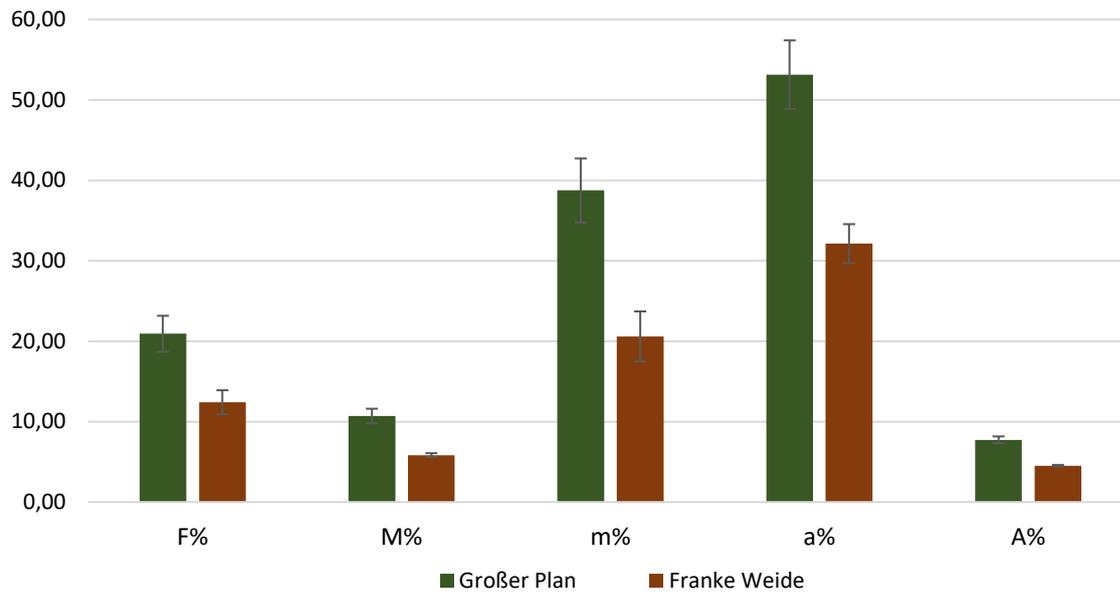


Abbildung 34: Mykorrhizierungsrate von Zea mays Wurzelproben, Mai 2019

F% : Häufigkeit von Mykorrhiza im Wurzelsystem
 M% : Intensität der Besiedelung im Wurzelsystem
 m% : Intensität der Besiedelung in den Wurzelstücken
 a% : Häufigkeit von Arbuskeln in mykorrhizierten Teilen der Wurzelstücke
 A% : Häufigkeit von Arbuskeln im Wurzelsystem

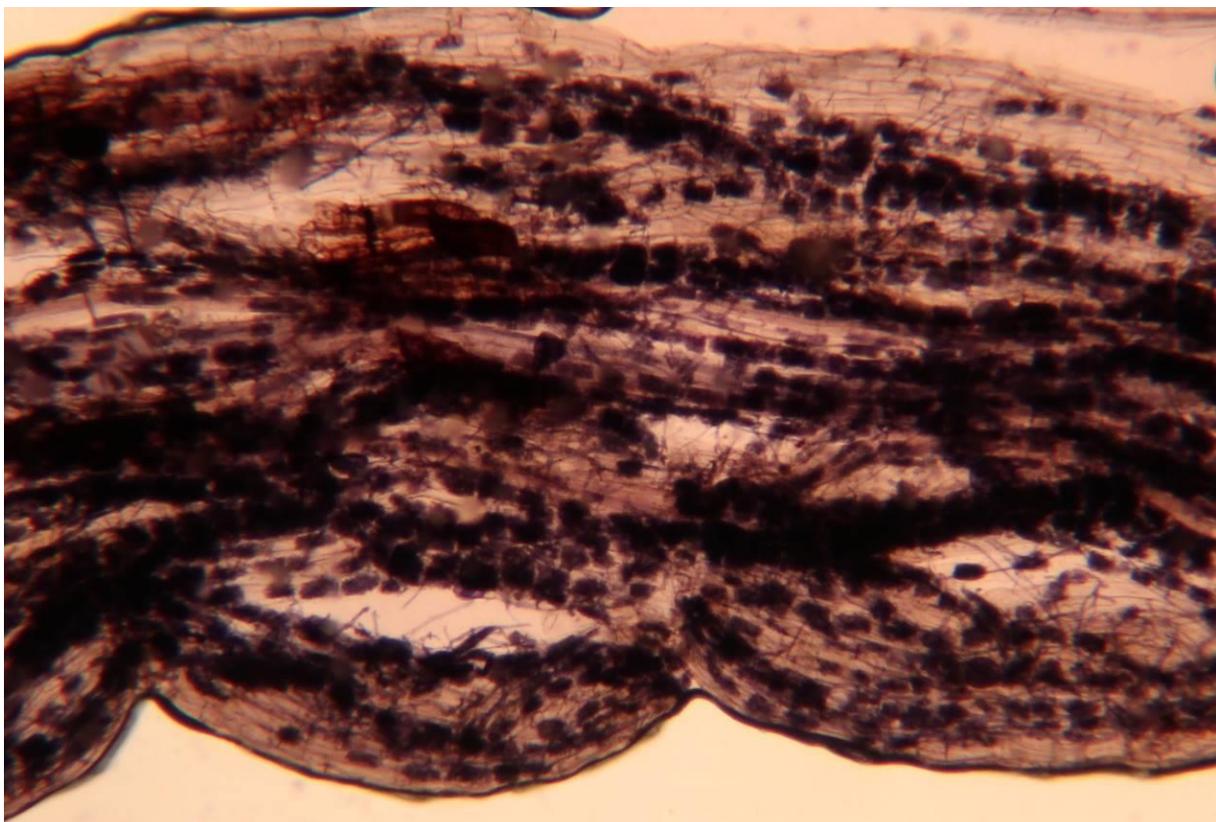


Bild 2: Mykorrhizastrukturen in Zea mays am Standort Franke Weide in Variante D1, Mai 2019

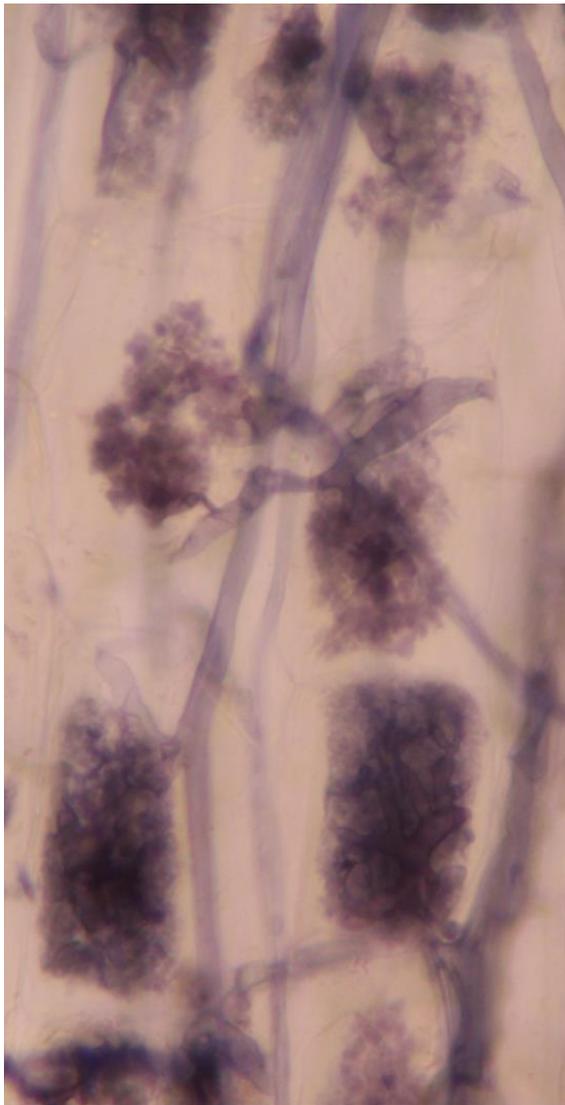


Bild 3: Arbuskuläre Strukturen in Wurzeln von *Zea mays* am Standort Franke Weide in Variante D1, Mai 2019

Bild 3 zeigt Arbuskuläre Mykorrhizastrukturen an Mais. Diese bilden in den Zellen der Wurzelrinde bäumchenartige Gebilde, die Arbuskeln. Diese sind der Ort des aktiven Stoffaustausch zwischen Pflanzen und Mykorrhiza.

In den Wurzeln von *Zea mays* sind in allen Varianten Mykorrhizapilze vorhanden. Es kann festgestellt werden, dass aus dem Versuchsstandort Großer Plan eine höhere Besiedelung mit Mykorrhiza im Vergleich zum Standort Franke Weide im Allgemeinen vorhanden ist, dass jedoch die höchste Mykorrhiza-Besiedelungsrate in Variante D1 (Verfahrenskombination aus mechanischer Bodenbearbeitung mit Untersaat im Mais) am Standort Franke Weide festgestellt werden.

Vorhandensein von Mykorrhizapilzen ohne statistisch unterschiedliche Besiedelungsrate in den Varianten. Generell wurde auf dem Standort Großer Plan eine höhere Besiedelung festgestellt im Vergleich zum Standort Franke Weide.

Mykorrhizierung der Sommergerste (2020)

Im Juni 2020 wurden Wurzel- und Bodenproben aus der Sommergerste (*Hordeum vulgare*) genommen und die Besiedelungsraten aus Wurzelproben (Abbildung 35) und die Sporenzahl (Abbildung 36) aus Bodenproben untersucht.

Die Mykorrhiza Entwicklung ist vorhanden (Bild 4), wenn auch mit geringer Rate.

Auf dem Standort Großer Plan wurde in der elektrophysikalischen Variante C1 der höchste Wert der Mykorrhizierung beobachtet (8,03 %). Der niedrigste Wert am Standort Franke Weide in den Varianten B2 (Mechanisch mit Grubber), B3 (Mechanisch mit Federzinkenegge) und C1 (Elektroherb von Elektroherb). Hier ließen sich im Labor keine Strukturen von Mykorrhizierung nachweisen. Bei keiner der untersuchten Pilzparameter-Variablen wurde ein signifikanter Unterschied zwischen den angelegten Varianten festgestellt. Auch im zweiten Anlagejahr konnte kein signifikanter Einfluss der Anlagevarianten zwischen chemisch, mechanisch, elektrophysikalisch und biologisch festgestellt werden. Auch bei der Mykorrhiza-Untersuchung in Gerste im Juni 2020 zeigte sich eine signifikant höhere Mykorrhiza-Entwicklung (alle Pilzparameter) auf dem Standort Großer Plan im Vergleich zum Standort Franke Weide

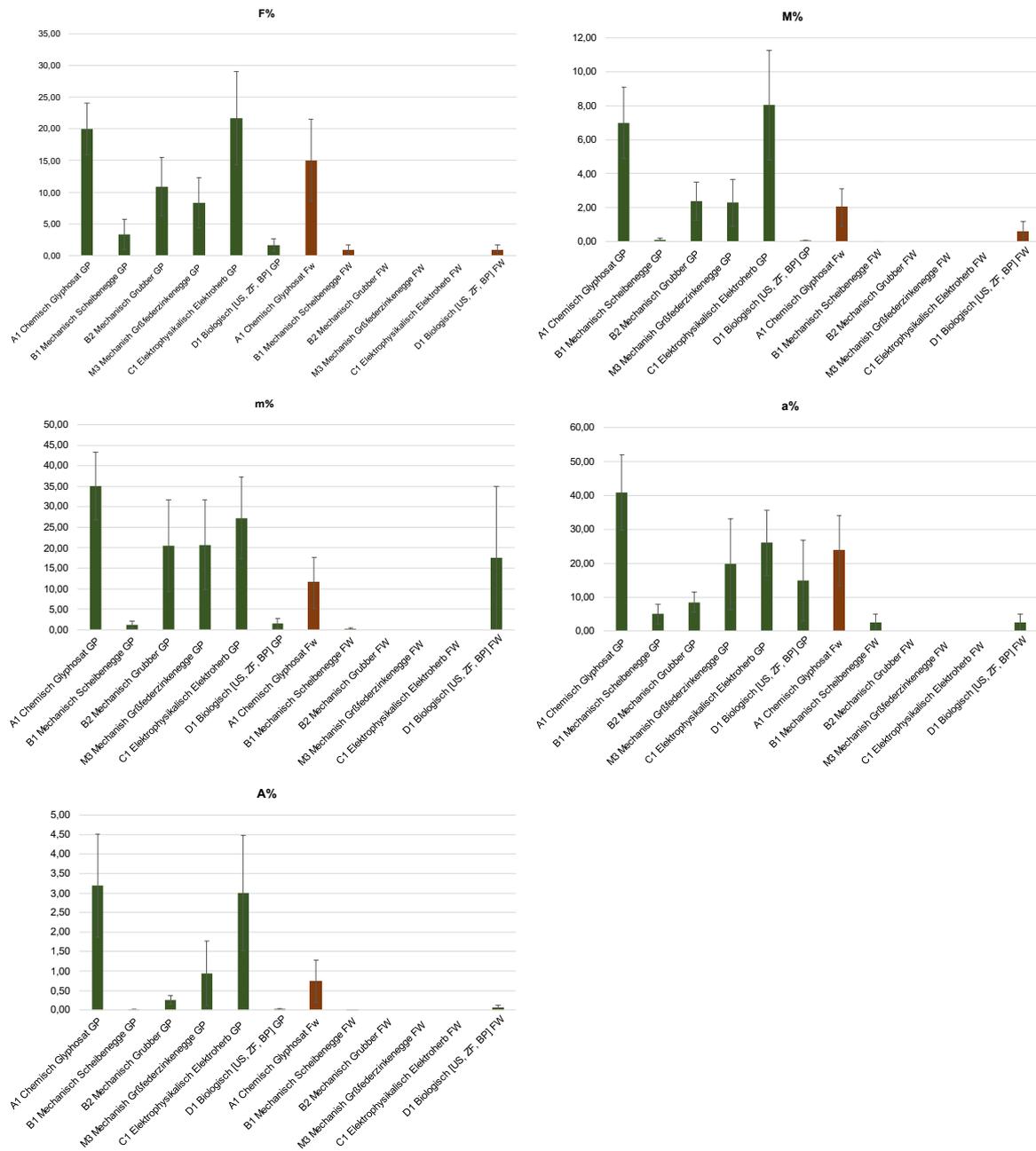


Abbildung 35: Mykorrhizierungsrate von *Hordeum vulgare* Wurzelproben, Vergleich der Varianten, Juni 2020

Mykorrhizarate

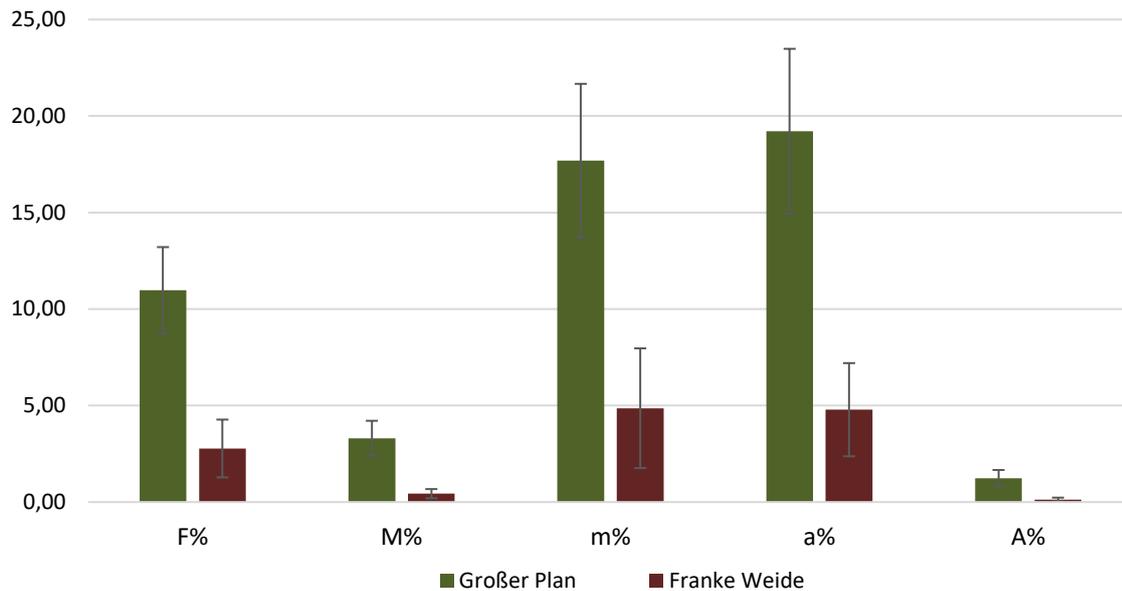


Abbildung 36: Mykorrhizarate von Sommergerste (2019) Wurzelproben, Vergleich der Bedingungen Franke Weide zu Großer Plan

- F % Häufigkeit von Mykorrhiza im Wurzelsystem
- M % Intensität der Mykorrhiza-Besiedlung im Wurzelsystem
- m % Intensität der Mykorrhiza-Besiedlung in den Wurzelfragmenten
- a % Arbuskelhäufigkeit in mykorrhizierten Wurzelfragmenten
- A % Häufigkeit von Arbuskeln im Wurzelsystem

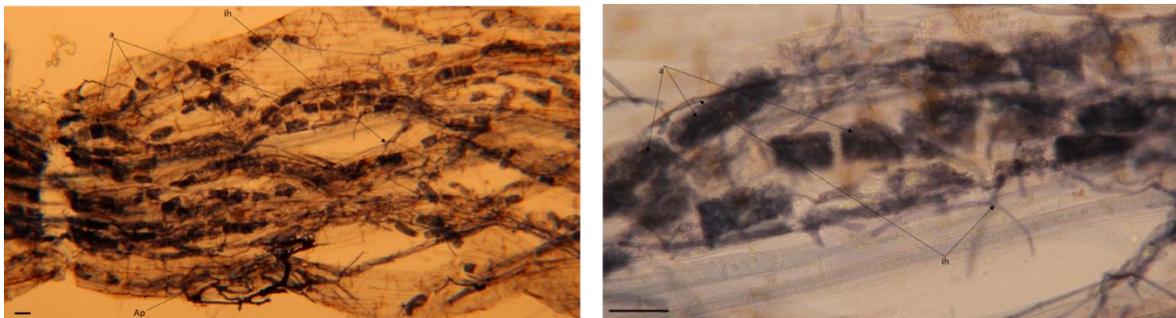


Bild 4: Repräsentatives Foto von Mykorrhiza-Strukturen in Hordeum vulgare Wurzeln

Bild 4 zeigt eine Mikroskopaufnahme von Wurzeln der Gerste (*Hordeum vulgare*) aus dem Prüfglied A1 (chemisch) vom Standort Großer Plan. Gefärbt wurden die Wurzeln mit schwarzer Tinte. Die Aufnahme entspricht einem Skalierbalken von 50 µm.

Die Auswertung der Sporenzahl aus den Bodenproben auf den Standorten Großer Plan und Franke Weide in den angelegten Varianten ist in Abbildung 37 dargestellt. Die höchste Anzahl von Sporen wurde in der Variante D1 - Biologisch mit Untersaat auf dem Standort Großer Plan (13,3 Sporen/10 g Boden, oder 1,333 Sporen/kg - signifikant im Vergleich zu allen anderen Bodentypen außer A1 - Chemisch mit Glyphosat am Standort Großer Plan und die niedrigste in C1 - Elektroherb von Elektroherb auf dem Standort Franke Weide (0,33 Sporen/10 g Boden, oder 33 Sporen/kg) erzielt. Die Untersuchung der Bodenproben zeigten auf dem Standort Großer Plan eine höhere Sporenzahl als auf dem Standort Franke Weide mit 6,22 bzw. 1,94 Sporen/10 g Boden.

Auf dem Standort Großer Plan wurde im Vergleich zu Franke Weide in den Varianten A1 Chemisch mit Glyphosat, B1 – Mechanisch mit Scheibenegge, C1 – Elektroherb von Elektroherb und D1 – Biologisch mit Untersaat eine signifikant höhere Sporenzahl gefunden.

Auf dem Standort Großer Plan zeigen die Varianten mit wenig mechanischen Eingriff in den Boden bzw. flachen mechanischen Eingriff in den Boden, damit die Varianten A1 – Chemisch mit Glyphosat, C1 – Elektroherb von Elektroherb und D1 – Biologisch (Bodenbearbeitung mit anschließender Einsaat einer Untersaat eine signifikant höhere Sporenzahl.

Im Gegensatz dazu wurde am Standort Franke Weide eine signifikant höhere Sporenzahl in der Behandlung A1 – Chemisch mit Glyphosat, B2 – Mechanisch mit Grubber und B3 – Mechanisch mit Federzinkenegge im Vergleich zu B1 – Mechanisch mit Scheibenegge und C1 – Elektroherb. Es wurde keine Korrelation zwischen Sporenzahl und Wurzelbesiedlungsparametern gefunden.

Mykorrhizarate

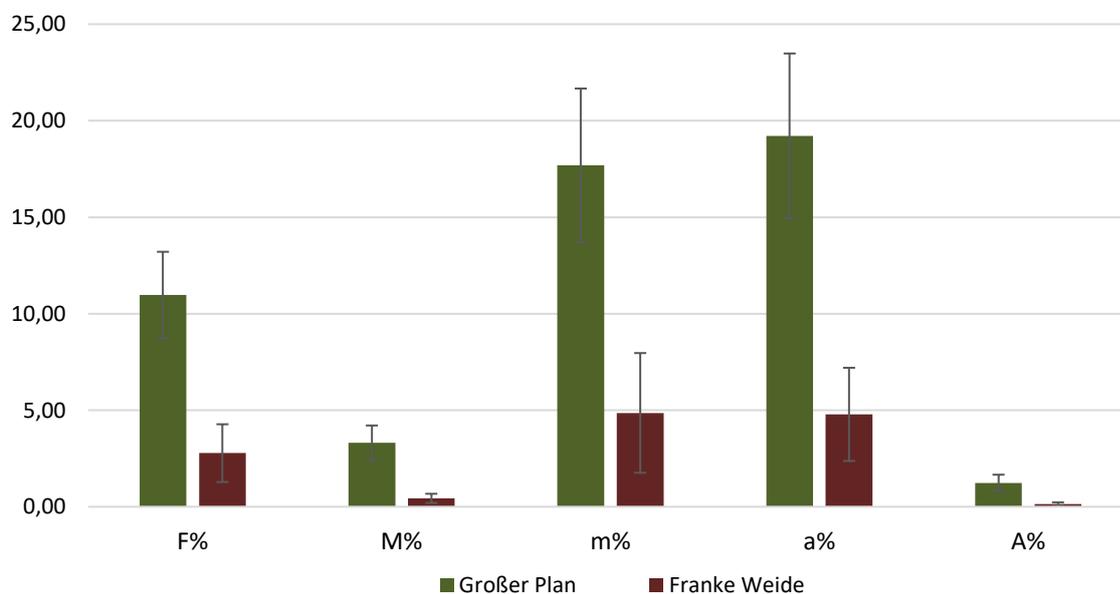


Abbildung 37: Durchschnittliche Sporenzahl (Sommergerste, 2019)

Abbildung 37 zeigt die durchschnittliche Sporenzahl in 10 Gramm Feldbodenprobe. Mykorrhizapilze sind in der Wurzel von Gerste (*Hordeum vulgare*) in fast allen Varianten (außer am Standort Franke Weide in den mechanischen Varianten B2 und B3 und der elektrophysikalischen Variante C1) vorhanden. Es wurde jedoch kein statistischer Unterschied festgestellt. Damit lässt sich kein Rückschluss der Varianten (chemisch, mechanisch, elektrophysikalisch oder biologisch) auf die Mykorrhizierung herleiten. Festgestellt wurde, dass auch in der Probenahme im zweiten Anlagejahr eine höhere Mykorrhiza Besiedlung am Standort Großer Plan im Vergleich zu Franke Weide beobachtet wurde. Die beste Mykorrhiza-Entwicklung ließ sich in den Varianten A1 – Chemisch mit Glyphosat und C1 – Elektroherb auf dem Standort Großer Plan beobachten. In den Bodenproben ließen sich Sporen in mäßiger bis geringer Menge nachweisen. Auf dem Standort Großer Plan lag die Anzahl der Sporen signifikant höher als am Standort Franke Weide, hier wurden signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungen festgestellt. Es wurde jedoch keine Korrelation zwischen der Sporenzahl im Boden und den Wurzelbesiedlungsparametern gefunden.

Mykorrhizierung des Winterweizens (Frühjahr, 2021)

Im Frühjahr 2021 wurden Wurzel- und Bodenproben von Winterweizen (*Triticum aestivum*, vc Acker) aus den Anlagevarianten beider Versuchsflächen genommen und im Labor wurde die Mykorrhizierungs-Rate der Wurzelproben bestimmt und die Sporenanzahl der Bodenproben ermittelt.

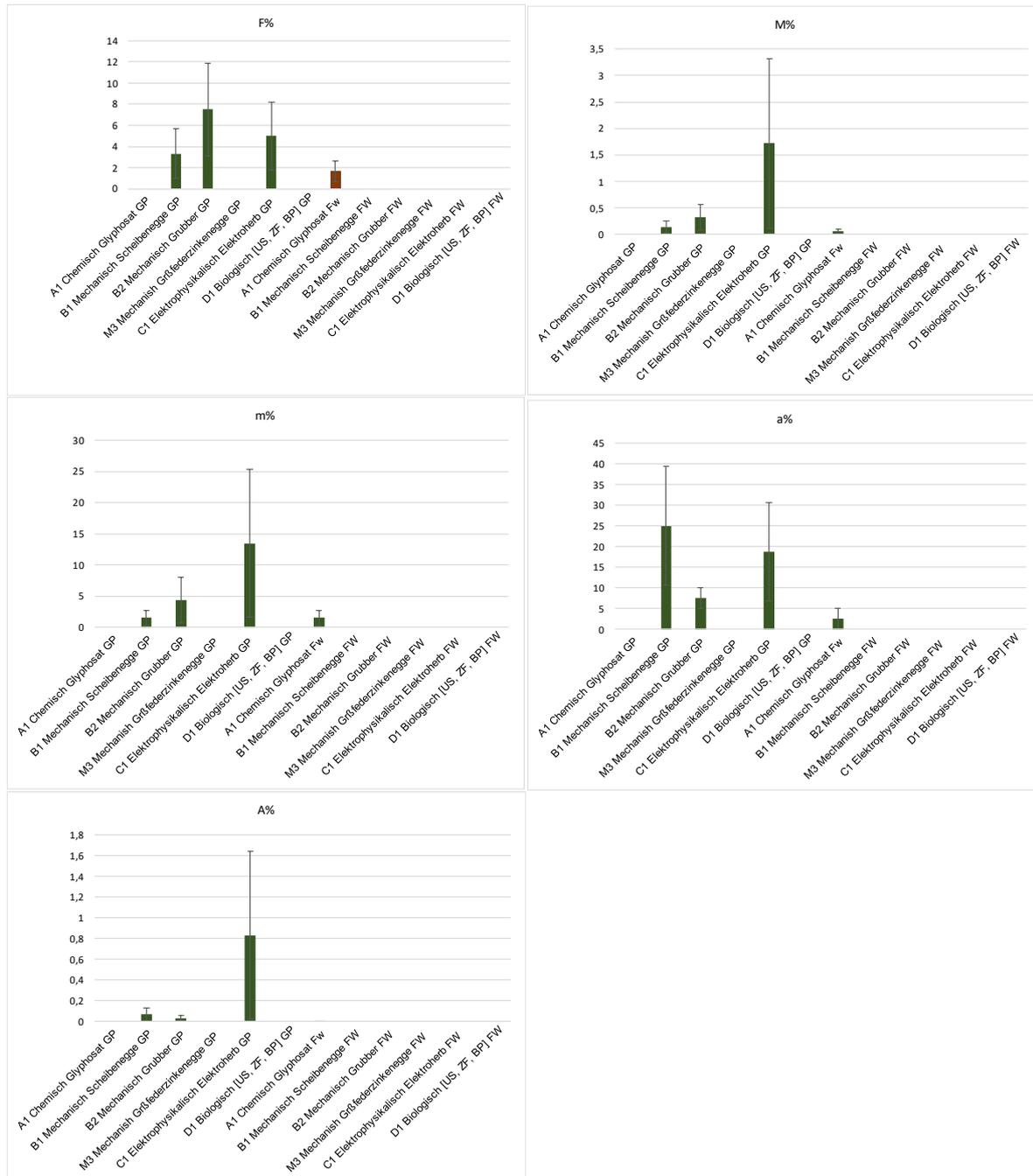


Abbildung 38: Mykorrhiza-Rate von Triticum aestivum-Wurzelproben im Vergleich verschiedener Bedingungen

F% : Häufigkeit der Mykorrhiza im Wurzelsystem
M% : Intensität der Mykorrhizabesiedlung im Wurzelsystem
m% : Intensität der Mykorrhizabesiedlung in den Wurzelfragmenten
a% : Abundanz der Arbuskeln in den mykorrhizierten Teilen der Wurzelfragmente
A% : Arbuskelhäufigkeit im Wurzelsystem

Die Daten zu den Parametern der Mykorrhiza-Rate sind in Abbildung 38 und Abbildung 39 dargestellt. Die Mykorrhiza-Entwicklung ist vorhanden, wenn auch in sehr geringem Umfang. Die höchste Mykorrhiza-Bildung wurde auf dem Standort Großer Plan in der elektrophysikalischen Variante C1 ($M\% = 1,72\%$ - Abbildung 38) festgestellt.

Keine Mykorrhizastrukturen wurden auf dem Standort Großer Plan in den Prüfgliedern A1 (chemisch), B3 (mechanisch) sowie D1 (Verfahrenskombination aus mechanisch und biologisch). Ebenfalls keine Mykorrhizierung festzustellen war auf dem Standort Franke Weide in allen mechanischen Varianten (B1, B2, B3), der elektrophysikalischen Variante C1 und der Variante D1 (Verfahrenskombination aus mechanisch und biologisch).

Mykorrhizapilze sind in der Wurzel vom angebauten Weizen (*Triticum aestivum*) nur in wenigen Prüfgliedern in Spuren nachweisbar. Generell ließ sich eine höhere Mykorrhizabesiedlung auf dem Standort Großer Plan im Vergleich zu Franke Weide feststellen.

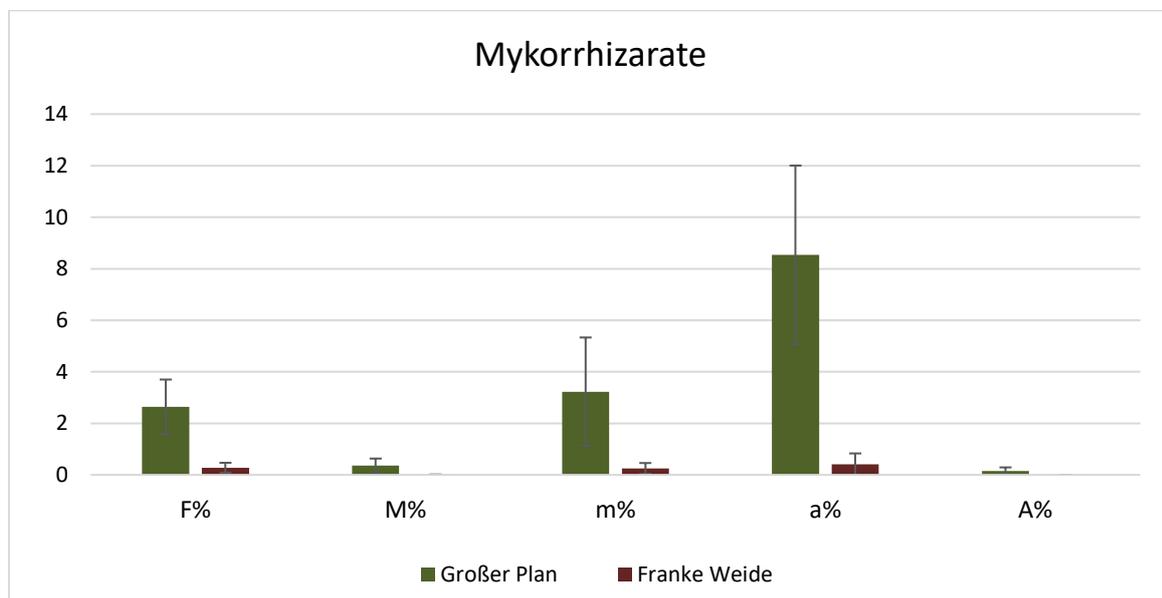


Abbildung 39: Mykorrhizierungsrate von Winterweizen (2021) Wurzelproben im Vergleich der Bedingungen Franke Weide und Großer Plan

F% : Häufigkeit der Mykorrhiza im Wurzelsystem

M% : Intensität der Mykorrhizabesiedlung im Wurzelsystem

m% : Intensität der Mykorrhizabesiedlung in den Wurzelfragmenten

a% : Abundanz der Arbuskeln in den mykorrhizierten Teilen der Wurzelfragmente

A% : Arbuskelhäufigkeit im Wurzelsystem

In keiner Bodenprobe konnten Mykorrhizasporen nachgewiesen werden.

2.4.6 Mikrobielle Atmung

Einleitung

Die Mikrobielle Atmung (Atmung der Kleinlebewesen) reagiert unterschiedlich sowohl auf Bearbeitungsverfahren als auch auf den Anbau der Kulturpflanzen. Der überwiegende Teil der Bodenorganismen gewinnt die für Entwicklung, Wachstum und Vermehrung notwendige Energie aus der Oxidation organischer Verbindungen. Das bei Atmungsprozessen im Boden freigesetzte CO₂ entstammt zum überwiegenden Teil (etwa 70%) aus der Stoffwechselaktivität der Mikroorganismen und zu etwa 30% aus der Wurzelatmung.

Um die Versuchsvarianten (chemisch, mechanisch, elektrophysikalisch und biologisch) der Unkrautbekämpfung hinsichtlich mikrobieller Aktivität und auch ökotoxikologischer Wirkungen bewerten zu können, wurde jeweils im Frühjahr in den einzelnen Prüfgliedern der Varianten die biologische Reaktionsfähigkeit des Bodens mittels Solvita®-Tests bestimmt.

Solvita® Natural Soil Respiration ermöglicht es, den Boden direkt im Feld zu testen, und ist für die Verwendung mit frischem, feuchtem Boden vorgesehen, der den natürlichen Zustand darstellt. Die Messung der Bodenatmung mit frisch entnommener, nicht getrockneter und gemahlener Erde kann wichtige Informationen über das Verhalten unter realen Bedingungen liefern, ohne dass die Verarbeitung, Trocknung und Zerkleinerung des Bodens gestört oder unterbrochen wird.

Die Intensität der Bodenatmung ist vom Zusammenwirken verschiedener Faktoren abhängig, wobei u.a. Menge und Qualität der organischen Substanz die "veratmet" werden kann, Durchlüftung des Bodens, Wasserversorgung, Temperatur, Bodenreaktion und Mineralstoffgehalt des Bodens eine zentrale Rolle spielen.

Die Bodenatmung gibt einen Hinweis auf die Aktivität und die Stickstofffreisetzung der Mikroorganismen. Durch Zufuhr organischer Substanzen erhöht sich i.d.R. infolge verstärkter Zersetzungsprozesse die Bodenatmung und kann daher auch als Indikator für die gesamte Bodenaktivität herangezogen werden.

Material und Methode

Der Ablauf der Probenahme ist in *Bild 5* fotografisch festgehalten.



Bild 5: Abfolge des Bodenlebens test

Mit einem Bodenstecher wurden in jeder Variante in einer Tiefe von 5 cm Proben genommen und gesiebt. Von jedem Prüfglied wurden zur Bestimmung 90 Gramm gesiebter Boden in normierte Becher eingewogen, ein Teststreifen eingesetzt, geschlossen und bei 20 C für 24 Stunden inkubiert. Die in dieser Zeit abgegebene CO₂-Menge wird über ein Teststäbchen in einem Colormeter ausgewertet.

Mikrobielle Atmung; Körnermais

Die erste mikrobielle Messung wurde im Mais am 03.04.2019 bei 10 C Bodentemperatur auf beiden Versuchsflächen in vierfacher Wiederholung durchgeführt. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 26* dargestellt.

Tabelle 26: Bestimmung des CO₂-C über den Solvita Test (Mais, 03.04.2019)

Versuchsfläche "Großer Plan"			Versuchsfläche "Franke Weide"		
Variante		lb/a CO ₂ -C	Variante		lb/a CO ₂ -C
A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	11,7	A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	10,7
B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	12,2	B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	8,2
B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	11,5	B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	6,1
B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	9,8	B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	8,3
C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	10,8	C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	7,0
D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	10,5	D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	5,0

Tabelle 26 zeigt die Ergebnisse der gemessenen Bodenatmung georeferenziert beprobt vor der Anlage des Versuchs im Frühjahr 2019 auf beiden Versuchsflächen Großer Plan und Franke Weide, entsprechend den Varianten die später angelegt wurden. Die Beprobung dient der Bestimmung der Ausgangssituation. Die gemessene Bodenatmung erfolgt durch Umsetzung der organischen Substanz des Bodens gemessen in mg CO₂-C [kg/ha].

Die mikrobielle Aktivität auf beiden Standorten liegt in allen untersuchten Probenahmepunkten auf vergleichbarem Niveau, mit Werten zwischen 5 und 12 CO₂-C (kg/ha).

Ein weiterer CO₂-Burst-Test wurde am 10.05.2019 bei 13 °C Bodentemperatur auf beiden Versuchsflächen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Bestimmung des CO₂-C über den Solvita Test (Mais, 10.05.2019)

Versuchsfläche "Großer Plan"			Versuchsfläche "Franke Weide"		
Variante		lb/a CO ₂ -C	Variante		lb/a CO ₂ -C
A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	4,1	A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	15,1
B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	20,3	B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	5,4
B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	15,2	B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	15,3
B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	33,4	B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	18,9
C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	13,8	C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	13,9
D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	10,8	D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	11,9

Nach der Ernte von Körnermais zu Vegetationsende am 18.12.2019 wurde eine weitere Beprobung bei 9 °C auf beiden Versuchsflächen durchgeführt (*Tabelle 28*).

Tabelle 28: Bestimmung des CO₂-C über den Solvita Test (Mais, 18.12.2019)

Versuchsfläche "Großer Plan"			Versuchsfläche "Franke Weide"		
Variante		lb/a CO ₂ -C	Variante		lb/a CO ₂ -C
A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	10,3	A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	8,1
B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	9,9	B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	6,3
B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	9,6	B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	12,2
B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	21,0	B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	14,7
C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	24,8	C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	9,4
D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	13,5	D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	9,2

Mikrobielle Atmung; Sommergerste

Im zweiten Anlagejahr wurden auf den Versuchsfeldern Großer Plan und Franke Weide in der Sommergerste am 06.Mai 2020 ein Solvita Test durchgeführt (*Tabelle 29*).

Tabelle 29: Bestimmung des CO₂-C über den Solvita Test, (Sommergerste, 06.05.2020)

Versuchsfeld "Großer Plan"			Versuchsfeld "Franke Weide"		
Variante		lb/a CO ₂ -C	Variante		lb/a CO ₂ -C
A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	14,2	A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	25,3
B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	37,0	B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	24,1
B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	29,8	B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	22,0
B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	37,1	B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	23,9
C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	45,8	C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	23,3
D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	47,5	D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	9,9

In *Tabelle 29* dargestellt sind die Ergebnisse der gemessenen Bodenatmung im zweiten Anlagejahr in der Sommergerste im Mai 2020.

Die mikrobielle Aktivität auf beiden Standorten liegt deutlich höher als in den Beprobungen im ersten Anlagejahr.

Auf dem Standort Franke Weide liegen die Werte auf vergleichbarem Niveau zwischen 22 und 25,3 lb/a CO₂-C. Ausnahme zeigt die Biologische Variante D1, in der sich witterungsbedingt im Vorjahr die Untersaat nicht etablieren konnte.

Unterschiede in der Bodenatmung zeigten sich am Standort Großer Plan. Die chemische Variante mit Glyphosat wies mit 14,2 lb/a CO₂-C die geringste Bodenatmung auf. In den mechanischen Varianten lag der gemessene Wert zwischen 30 und 37 lb/a CO₂-C. Die höchste Bodenaktivität wurde mit Werten zwischen 46 und 48 lb/a CO₂-C in der elektrophysikalischen Variante (C1) und der biologischen (D1) gemessen. In der elektrophysikalischen Variante wurde der im Herbst etablierte Futterroggen und Unkräuter mit hoher elektrischer Spannung abgetötet. Das abgestorbene Material verbleibt anschließend auf der Fläche.

Dieses organische Material diente den Bodenorganismen als Nahrungsquelle, was sich im Bodenatmungstest widerspiegelte.

In der biologischen Variante erfolgte nur eine ultraflache Bearbeitung mit der Scheibenegge vor der Ansaat der Sommergerste, in der sich die Untersaat erfolgreich etablieren konnte. In der biologischen Variante erfolgte nur eine ultraflache Bearbeitung mit der Scheibenegge vor der Ansaat der Sommergerste, in der sich die Untersaat erfolgreich etablieren konnte.

Mikrobielle Atmung; Winterweizen

Die letzte Messung im Versuch wurde im Winterweizen am 06.05.2021 auf beiden Versuchsflächen durchgeführt. Die Ergebnisse sind in *Tabelle 30* dargestellt.

Tabelle 30: Bestimmung des CO₂-C über den Solvita Test, (Winterweizen, 06.05.2021)

Versuchsfläche "Großer Plan"			Versuchsfläche "Franke Weide"		
Variante		lb/a CO ₂ -C	Variante		lb/a CO ₂ -C
A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	10,0	A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	13,8
B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	16,9	B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	20,5
B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	17,2	B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	7,1
B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	20,8	B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	24,0
C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	7,2	C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	16,5
D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	14,4	D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	33,5

Auffällig ist in der Beprobung im Frühjahr 2021 im Winterweizen, dass die elektrophysikalische Variante und auch die Glyphosatvariante am Standort Großer Plan geringere Bodenatmungen verzeichneten. Die Bodentemperaturen lagen, wie in den anderen Frühjahrsbeprobungen in allen Varianten zwischen 9 und 10 Grad Celsius. Angenommen werden kann, dass durch die nicht durchgeführte Bodenbearbeitung in der Variante A1 und C1 weniger Sauerstoff in den Boden gelangt ist. In den Varianten B1-B3 wurde mehrfach der Boden flach gelockert, Sauerstoff in den Boden eingebracht und die Mikroorganismen zur Aktivität angeregt, was sich auch in höheren Atmungswerten zeigt.

2.4.7 Collembolen

Im ersten Anlagejahr wurden am Standort Großer Plan zu drei Probenahmeterminen aus jeder Variante Bodenproben entnommen. Diese wurden im Labor (BioChem agrar GmbH) auf Springschwänze (Collembolen) ausgewertet.

Einleitung und Zielsetzung

Collembolen (Springschwänze) sind kleine Gliedertiere, welche im oder auf dem Boden leben. Sie gehören zu den dominanten Bodenarthropoden mit einer Anzahl auf Ackerflächen und Grünlandflächen von 20.000-50.000 Individuen pro m² bei 20-30 Arten pro Standort. Die meisten Collembolen leben in den obersten Boden- oder Streuschichten. Sie ernähren sich von einer Vielzahl von Nahrungsressourcen wie Laub, Bodenpilzen und lebenden und abgestorbenen Pflanzenwurzeln. Die große bodenbiologische Bedeutung liegt in Zersetzungsleistung (Sekundärzersetzer), damit nehmen sie eine ökologisch relevante Rolle im Nährstoffkreislauf des Bodenökosystems ein.

Als wichtige Akteure in der Lebensgemeinschaft des Bodens sind Collembolen potenziell als Indikatoren für alle Veränderungen dieses Lebensraums geeignet. Im Rahmen des EIP Agri-Projektes wurde untersucht, ob sich der Einsatz des Totalherbizids oder die verschiedenen Bodenbearbeitungssysteme oder aber der Einsatz elektrophysikalischer Technik die Population der Collembolen beeinflusst. Die Untersuchungen erfolgten auf der Versuchsfläche Großer Plan.

Material und Methoden

Probenahme und Extraktion der Collembolen erfolgte gemäß der Richtlinie ISO 23611-2 (2006): Bodenbeschaffenheit - Probenahme von Wirbellosen im Boden - Teil 2: Probenahme und Extraktion von Mikroarthropoden (Collembolen und Milben).

Von jeder Variante wurden acht Proben mittels Edelstahlzylinders genommen (Tiefe 0-5 cm, Durchmesser: 5 cm, Volumen: 19,6 cm³) und die Collembolen mit Hilfe eines MacFadyen-Extraktors (MacFadyen 1961) extrahiert. Unmittelbar nach der Probenahme wurden die mit Bodenmaterial gefüllten Edelstahlzylinder mit Kappen verschlossen, etikettiert, in Kühlboxen überführt und ins Labor transportiert. Mit der Extraktion der Collembolen aus den Bodenkernen wurde noch am Tag der Probenahme begonnen. Die Extraktion der Collembolen aus dem Boden erfolgte mit Hilfe eines MacFadyen-Hochgradienten-Extraktors (Wärme/Licht Extraktionsmethode) über die Dauer von 9 Tagen (Heizregime: 20 °C für 24 h, 25 °C für 24 h, 30 °C für 24 h, 35 °C für 24 h, 40 °C für 24 h, 45 °C für 24 h, 50 °C für 24 h und 55 °C für 48 h). Die extrahierten Collembolen wurden während der Extraktion in Probengefäßen aufgefangen und in 70 %iger Ethanollösung konserviert. Nach der Extraktion lagerten die Proben bis zur Auszählung kühl. Zur Auszählung der extrahierten Collembolen wurde der Inhalt jedes Probengefäßes separat in einer Petrischale, mit Pipette und Stereomikroskop untersucht. Die Probenahmen erfolgte zu drei Terminen (15.04.2019; 25.06.2019 und 29.10.2019).

An jeder Probenahme wurden Wassergehalt, Bodentemperatur, Kultur und Bedeckungsgrad der Vegetation bestimmt. Einen Überblick hierzu gibt Tabelle 31.

Tabelle 31: Collembolen, Umweltbedingungen während der Probenahmen (2019)

Parameter	Probenahme		
	Termin 1	Termin 2	Termin 3
Termin der Probenahme	15.04.2019	25.06.2019	29.10.2019
Kultur	-	Mais	-
Bodenbedeckung durch Vegetation [%]	0	30 - 80	0
Vegetationshöhe [cm]	0	30 - 80	0
Bodentemperatur [°C]	7,8	25,5	9,0
Wassergehalt des Bodens [% w/w]	18,3	13,3	20,3

Ergebnisse der Untersuchung auf Collembolen

Berechnet wurden die Gesamtanzahlen vorkommender Collembolen zu jedem Probenahmezeitpunkt und in jeder Versuchsvariante. Die Berechnungen erfolgten mit ungerundeten Werten. Die Ergebnisse sind als Mittelwerte mit Standardabweichung und Variationskoeffizienten in Abbildung 40 dargestellt.

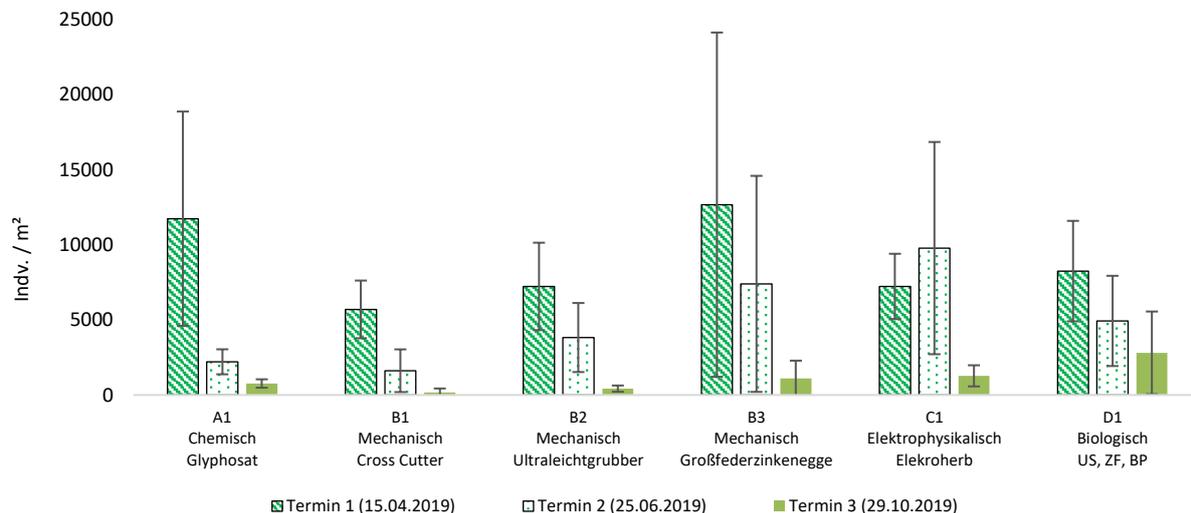


Abbildung 40: Anzahl Collembolen mit Standardabweichungen und Variationskoeffizienten

Die erste Probenahme erfolgte vor Versuchsanlage im April 2019. Die Abbildung 40 zeigt eine relative gleichmäßige Verteilung der Collembolen über die gesamte Versuchsfläche. Der zweite Probenahmetermin lag nach Anlage des Versuchs nach den Varianten (chemisch, mechanisch, elektrophysikalisch und biologisch). Zu diesem Zeitpunkt nahm die Anzahl der Collembolen - mit Ausnahme der elektrophysikalischen Variante C1 – stark ab. In allen Varianten sank die Collembolenpopulation zum dritten Probenahmetermin im Herbst 2019 auf 500-1000 Collembolen pro m² (Abbildung 40). Mit ca. 3000 Collembolen pro m² zeigte die biologische Variante (Körnermais mit Grasuntersaat) die höchste biologische Aktivität. Die Untersaat bietet einen deckenden Bestand zwischen den Maisreihen und könnte somit auf die Lebensraumbedingungen der Collembolen im Oberboden einen positiven Einfluss auf deren Population haben. Die Ergebnisse zeigen, dass Collembolen sensibel auf Veränderungen im Oberboden landwirtschaftlich genutzter Flächen reagieren. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass der Einsatz von Pflanzenschutzmittel oder die mechanische Bearbeitung sowie der elektrophysikalische Einsatz zur Unkrautunterdrückung vor der Aussaat keinen Einfluss auf die Population der Collembolen zeigt.

Die biologische Variante Körnermais mit Untersaat zeigt in dem Untersuchungsjahr das höchste Vorkommen zu Vegetationsende.

2.4.8 Bodenbiologische Untersuchungen

Im Frühjahr 2021 wurden auf dem Schlag Großer Plan von jeder angelegten Variante im Winterweizen Bodenproben gezogen. Die Untersuchungen erfolgten im Labor (ORGO). Ausgezählt wurden Bakterien, Protozoen, Nematoden und Pilze. Bestimmt wurde, ob jede funktionale Gruppe eine ausreichende Anzahl an Individuen aufweist. Neben der Quantität ist auch das Verhältnis, besonders das von Pilzen zu Bakterien, für ein gutes Pflanzenwachstum wichtig. Anhand einer optischen Methode durch Auszählung am Mikroskop wird sowohl die Anzahl der Organismen als auch die Zusammensetzung des Bodennahrungsnetzes untersucht.

Mit den Ergebnissen der Untersuchungen der Böden ist es möglich, die Fruchtbarkeit des Bodens und die Qualität der Bestände zu steigern. Mit steigender Bodenfruchtbarkeit steigen auch die Erträge und die Widerstandsfähigkeit der Böden gegenüber Dürren und Überschwemmungen. Mit den abgeleiteten Maßnahmen lässt sich die Nährstoffdichte erhöhen und Unkräuter, Schädlinge und Krankheiten reduzieren. Ebenso kann die Kohlenstoffbindung im Boden erhöht werden.

Probenahme

Die Entnahme der Bodenproben erfolgte im Frühjahr 2021 im Winterweizen. Sowohl das Frühjahr als auch der Herbst bieten sich für solch eine Untersuchung an, da sich die meisten Bodenorganismen in einer Ruhephase, wenn die Bodentemperatur unter 4°C liegt.

Auf dem Schlag Großer Plan wurde mittels einem Bodenstecher in einer Tiefe von 10 cm eine repräsentative Probe von jeder Parzelle entnommen. Diese wurde gut gemischt, in eine beschriftete Probentüte gegeben und mit der darin verbliebenen Luft verschlossen, da dies sonst den für die Biologie verfügbaren Sauerstoff einschränkt. Die Proben wurden umgehend und gekühlt in das Labor zur weiteren Untersuchung gesendet.

Untersuchungen

Untersucht werden nützliche Mikroorganismen wie Bakterien, Aktinobakterien und Pilze und deren Verhältnis zueinander. Weiterhin Protozoen wie Flagellaten und Amöben und Nematoden unterschieden zwischen Bakterien-fressenden, Pilz-fressenden und räuberischen Nematoden. Ebenfalls untersucht wurden schädliche Mikroorganismen wie schädliche Pilze (Oomyceten), Anaerobe Protozoen (Ciliaten) und Wurzel-fressende Nematoden.

Für jede der untersuchten Mikroorganismen wird ein Wertebereich entsprechend der Einheit, in der die Mikroorganismen gemessen wurden, sowie das Ergebnis der Probe angegeben. Das Verhältnis von Pilzen und Bakterien hängt von der angebauten Fruchtart ab und liegt bei Winterweizen bei 0,2:1 bis 0,4:1.

Ergebnisse der bodenbiologischen Untersuchungen

Die nachfolgenden Abbildung 41 zeigt die Analyseergebnisse der Bodenproben jeder Parzelle auf ihre biologische Zusammensetzung hinsichtlich Bakterien, Protozoen, Nematoden und Pilze auf dem Schlag Großer Plan im Winterweizen, 2021.

		Empfohlen	A1 Chemisch Glyphosat	B1 Mechanisch Scheibenegge	B2 Mechanisch Grubber	B3 Mechanisch Großfederzinkenegge	C1 Elektrophysikalisch Elektroherb	D1 Biologisch Untersaat	
Nützliche Mikroorganismen	Bakterien [µg/g]	135-270	1.023	1.114	1.315	1.077	986	1.059	
	Aktinobakterien [µg/g]	10-100	1,8	3,6	2,9	1,4	3,3	2,2	
	Pilze [µg/g]	32-90	261	202	501	217	240	368	
	Pilze : Bakterien	0,2:1 - 0,4:1	0,26	0,18	0,38	0,2	0,24	0,35	
	Protozoen [total]	>10.000	405.776	405.776	608.664	202.888	541.035	946.811	
	Flagellaten [#g]	>10.000	0	0	0	0	0	0	
	Amöben [#g]	>10.000	405.776	405.776	608.664	202.888	541.035	946.811	
	Nematoden								
	Bakterien-fressende [#g]	100	0	0	0	0	0	0	
	Pilz-fressende [#g]	0	0	0	0	0	0	0	
Räuberische [#g]	0	0	0	0	0	0	0		
Maximum Werte									
Schädliche Mikroorganismen	Schädliche Pilze								
	Oomyceten [µg/g]	0	0	18	0	15	0	0	
	Anaerobe Protozoen								
	Ciliaten [#g]	0	0	0	0	0	0	0	
Nemaoden									
Wurzel-fressende [#g]	0	0	0	0	0	280	0		

Abbildung 41: Mikroorganismen im Boden nach Varianten, Großer Plan 2021

Auswertung der angelegten Varianten

Chemische Variante A1

Ein gutes Verhältnis von Pilzen zu Bakterien bei Weizen liegt vor, wenn es zwischen 0,2:1 bis 0,4:1 liegt. In der Chemischen Variante entspricht das Verhältnis von Bakterien zu Pilzen dem empfohlenen Mindestwert (Abbildung 41) und zeigt somit, dass die Variante im dritten Anbaujahr auf einen gesunden, lebendigen Boden hinweist. Die Gesamtzahl der nützlichen Protozoen liegt über den Mindestanforderungen Dies ist gut zu bewerten, da Protozoen helfen die bakterielle Biomasse im Gleichgewicht zu halten. Zudem setzen sie Nährstoffe in pflanzenverfügbare Formen frei, indem sie Bakterien fressen.

Nematoden konnten in der Probe unter dem Mikroskop nicht festgestellt werden, auch keine Wurzel-fressenden, was sehr gut zu bewerten ist. Schädliche Mikroorganismen konnten ebenfalls nicht nachgewiesen werden.

Es wird empfohlen, die Populationen von nützlichen Nematoden und Protozoen zu erhöhen, um die hohe Anzahl von Bakterien auszugleichen

Mechanische Variante B1

Die bakterielle Biomasse ist in der Mechanischen Variante B1 deutlich größer als der empfohlene Höchstwert von 135-270 (Abbildung 41). Die aktinobakterielle Biomasse liegt unter dem Wertebereich. Generell ist dies kein Problem. In der Variante empfiehlt es sich die Anzahl an Aktinobakterien zu erhöhen. In der Beurteilung der Pilzbiomasse liegt diese über dem Wertebereich. Das Verhältnis von Bakterien zu Pilzen entspricht dem empfohlenen Mindestwert. Damit ist der Boden in der mechanischen Variante B1 als gesund zu beurteilen. Die Gesamtzahl der nützlichen Protozoen liegt über der Mindestanforderung. Protozoen helfen, die bakterielle Biomasse im Gleichgewicht zu halten und setzen Nährstoffe in pflanzenverfügbare Formen frei, indem sie die Bakterien fressen. Es wurden keine Bakterien-fressenden, Pilz-fressenden oder räuberische Nematoden gefunden. Ebenso keine Wurzel-fressenden, was sehr gut zu bewerten ist.

Unter den schädlichen Mikroorganismen wurden lediglich einige Oomyceten nachgewiesen. Die nützliche Pilzbiomasse ist jedoch ausreichend, um die krankmachenden Pilze zu verdrängen.

Es wird empfohlen die Bakterienpopulation, durch Vermehrung der Bakterienräuber (Nematoden und Protozoen), zu reduzieren

Mechanische Variante B2

Die bakterielle Biomasse ist in der mechanischen Variante B2 deutlich größer als der empfohlene Höchstwert (Abbildung 41). Die aktinobakterielle Biomasse liegt unter dem Wertebereich. Generell ist dies kein Problem. In der Variante empfiehlt es sich die Anzahl an Aktinobakterien zu erhöhen. In der Beurteilung der Pilzbiomasse liegt diese über dem Wertebereich. Das Verhältnis von Bakterien zu Pilzen entspricht dem empfohlenen Mindestwert. Damit ist der Boden in der mechanischen Variante B2 als gesund zu beurteilen. Die Gesamtzahl der nützlichen Protozoen liegt über der Mindestanforderung. Protozoen helfen, die bakterielle Biomasse im Gleichgewicht zu halten und setzen Nährstoffe in pflanzenverfügbare Formen frei, indem sie die Bakterien fressen. Es wurden keine Bakterien-fressenden, Pilz-fressenden oder räuberische Nematoden gefunden. Ebenso keine Wurzel-fressenden, was sehr gut zu bewerten ist.

Es wurden keine schädlichen Mikroorganismen nachgewiesen.

Für den angebauten Weizen sind gute Pilzzahlen besonders relevant für einen gesunden Boden. Weizen benötigt ein Verhältnis von Pilzen zu Bakterien von 0.2:1 – 0.4:1. Der nachfolgend angebaut Raps benötigt viel niedrigere Pilzzahlen. In der Probe liegt das Verhältnis bei 1:1, daher wird empfohlen, die Bakterienpopulation zu reduzieren, da sie für Raps und Weizen zu hoch sind.

Die bakterielle Biomasse ist in der mechanischen Variante B3 deutlich größer als der empfohlene Höchstwert. Die aktinobakterielle Biomasse liegt unter dem Wertebereich. Generell ist dies kein Problem. In der Variante empfiehlt es sich die Anzahl an Aktinobakterien zu erhöhen.

In der Beurteilung der Pilzbiomasse liegt diese über dem Wertebereich. Das Verhältnis von Bakterien zu Pilzen entspricht dem empfohlenen Mindestwert. Damit ist der Boden in der mechanischen Variante B3 als gesund zu beurteilen. Die Gesamtzahl der nützlichen Protozoen liegt über der Mindestanforderung. Protozoen helfen, die bakterielle Biomasse im Gleichgewicht zu halten und setzen Nährstoffe in pflanzenverfügbare Formen frei, indem sie die Bakterien fressen. Es wurden keine Bakterien-fressenden, Pilz-fressenden oder räuberische Nematoden gefunden. Ebenso keine Wurzel-fressenden, was sehr gut zu bewerten ist.

Unter den schädlichen Mikroorganismen wurden einige Oomyceten nachgewiesen (Abbildung 41), aber die nützliche Pilzbiomasse ist ausreichend, um die krankmachenden Pilze zu verdrängen. Anaerobe Protozoen wie Ciliaten wurden nicht nachgewiesen, was sehr positiv zu beurteilen ist.

Obwohl die Mindestanzahl von Protozoen erfüllt wurde, wird empfohlen, ihre Anzahl und die der Nematoden zu erhöhen, um die hohe Bakterienpopulation zu reduzieren. Es wurde eine hohe Anzahl von Protozoen-Zysten (ruhende Phasen) beobachtet, was möglicherweise bedeutet, dass zuvor gesunde Raubtierpopulationen vorhanden waren, die jedoch durch eine Veränderung der Bodenbedingungen veranlasst wurden, ihre Aktivität zu verringern

Elektrophysikalische Variante C1

Die bakterielle Biomasse ist in der elektrophysikalischen Variante C1 deutlich größer als der empfohlene Höchstwert (Abbildung 41). Die aktinobakterielle Biomasse liegt unter dem Wertebereich. Generell ist dies kein Problem. In der Variante empfiehlt es sich die Anzahl an Aktinobakterien zu erhöhen.

In der Beurteilung der Pilzbiomasse liegt diese über dem Wertebereich. Das Verhältnis von Bakterien zu Pilzen liegt bei 0,24:1 und entspricht dem empfohlenen Mindestwert. Damit ist der Boden in der elektrophysikalischen Variante C1 als gesund zu beurteilen. Die Gesamtzahl der nützlichen Protozoen liegt über der Mindestanforderung. Protozoen helfen, die bakterielle Biomasse im Gleichgewicht zu halten und setzen Nährstoffe in pflanzenverfügbare Formen frei, indem sie die Bakterien fressen. Es wurden keine Bakterien-fressenden, Pilz-fressenden oder räuberische Nematoden gefunden.

Unter den schädlichen Mikroorganismen wurden keine Oomyceten nachgewiesen, ebenso keine anaeroben Protozoen wie Ciliaten. In der elektrophysikalischen Variante wurden jedoch ein hohes Potenzial an wurzel-fressenden Nematoden bestimmt. Diese Arten von Nematoden greifen Wurzeln an und töten Pflanzen.

Es wird empfohlen die Bakterienpopulation zu reduzieren, indem die Anzahl der Bakterienfresser-Räuber (Protozoen und Nematoden) erhöht wird. Die Erhöhung der Populationen und der Vielfalt an nützlichen Nematoden könnte helfen, die schädlichen Art zu reduzieren.

Biologische Variante D1

Die bakterielle Biomasse ist in der biologischen Variante D1 deutlich größer als der empfohlene Höchstwert (Abbildung 41). Die aktinobakterielle Biomasse liegt unter dem Wertebereich. Generell ist dies kein Problem. In der Variante empfiehlt es sich die Anzahl an Aktinobakterien zu erhöhen.

In der Beurteilung der Pilzbiomasse liegt diese über dem Wertebereich. Das Verhältnis von Bakterien zu Pilzen liegt bei 0,35:1 und entspricht dem empfohlenen Mindestwert. Damit ist der Boden in der elektrophysikalischen Variante D1 als gesund zu beurteilen. Die Gesamtzahl der nützlichen Protozoen liegt über der Mindestanforderung. Protozoen helfen, die bakterielle Biomasse im Gleichgewicht zu halten und setzen Nährstoffe in pflanzenverfügbare Formen frei, indem sie die Bakterien fressen. Es wurden keine bakterien-fressenden, pilz-fressenden oder räuberische Nematoden gefunden. Unter den schädlichen Mikroorganismen wurden keine Oomyceten nachgewiesen, ebenso keine anaeroben Protozoen wie Ciliaten, auch keine wurzel-fressenden Nematoden.

In der biologischen Variante D1 ist die Anzahl von Protozoen als gut zu beurteilen. Die Bakterienpopulation ist hoch. Es wird empfohlen, die Anzahl der Räuber, einschließlich Nematoden zu erhöhen.

2.4.9 Einfluss mechanischer, biologischer oder elektrophysikalischer Verfahren der Unkrautregulierung auf die N-Mineralisierung des Bodens im Vergleich zur chemischen Alternative

Die Untersuchungen wurden im 3. Anlagejahr 2021 mit der Ernte des Winterweizens durchgeführt. Nach der Ernte der Sommergerste (05.08.2020) wurde auf den Versuchsflächen eine Zwischenfrucht ausgesät. Vor der Aussaat des Winterweizens (12.10.2020) wurden die Varianten angelegt. An fünf Terminen Tabelle 32 wurde aus jeder Variante aus den Bodentiefen 0-30 cm und 30-60 cm eine Bodenprobe entnommen und im Labor der Nmin-Gehalt bestimmt.

Tabelle 32: Termine zur Nmin Bodenprobenahme

Termin	Datum	Bemerkung
1	02.10.2020	vor Versuchsanlage
2	23.10.2020	nach Aussaat (Winterweizen)
3	14.11.2020	BBCH 12 – 13 des Winterweizens
4	19.12.2020	zu Vegetationsende
5	27.02.2021	zu Vegetationsbeginn

Ergebnisse der Bodenuntersuchungen

Abbildung 42 zeigt die Nmin-Werte am Standort Großer Plan zu den Beprobungsterminen. An Termin 1 (vor Versuchsanlage) lag in der Schichttiefe 0-30 cm der Nmin-Wert zwischen 15 und 26 kg/ha, in der Tiefe 30-60 cm lag der Nmin-Wert zwischen 10 und 14 kg/ha. Damit liegen die Nmin-Werte in den unterschiedlichen Varianten auf vergleichbarem Niveau.

Die zweite Beprobung wurde nach dem Aussattermin des Winterweizens durchgeführt. Damit waren die Varianten seit ca. 2 Wochen angelegt und in den mechanischen Variante B1-B3 und der Verfahrenskombination der Variante D1 (mechanische Bodenbearbeitung mit Einsaat einer Untersaat) Bodenbearbeitung in den obersten Bodenschichten erfolgt. Die Annahme war, dass durch die Bearbeitung des Bodens in den mechanischen Varianten eine starke Mineralisation stattgefunden haben könnte. Die Ergebnisse der Probenahme (Abbildung 42) zeigen Werte zwischen 20 und 25 kg/ha (0-30 cm) und 10 und 23 kg/ha (30-60 cm). Im Ergebnis zeigte sich, dass sich sowohl in den mechanischen Varianten als auch in den Varianten ohne Bodenbearbeitung die Nmin-Werte auf ähnlichem Niveau lagen und zu Termin 1 auch nicht gestiegen sind. Im Ergebnis zeigte sich, dass durch die flache Bodenbearbeitung der Boden nicht stark mineralisiert bzw. der mineralisierte Stickstoff von den Pflanzen aufgenommen wurde.

An den Beprobungsterminen bis zu Vegetationsende zeigten sich keine nennenswerten Änderungen in den Nmin-Werten (Abbildung 42).

Der Beprobungstermin 5 (zu Vegetationsbeginn) zeigt tendenziell etwas niedrigere Nmin-Werte in der Bodenschicht 0-30 cm und auch in 30-60 cm. Die Veränderungen sind jedoch so gering, dass nicht von einer Verlagerung von Nitrat in tiefere Bodenschichten ausgegangen werden kann.

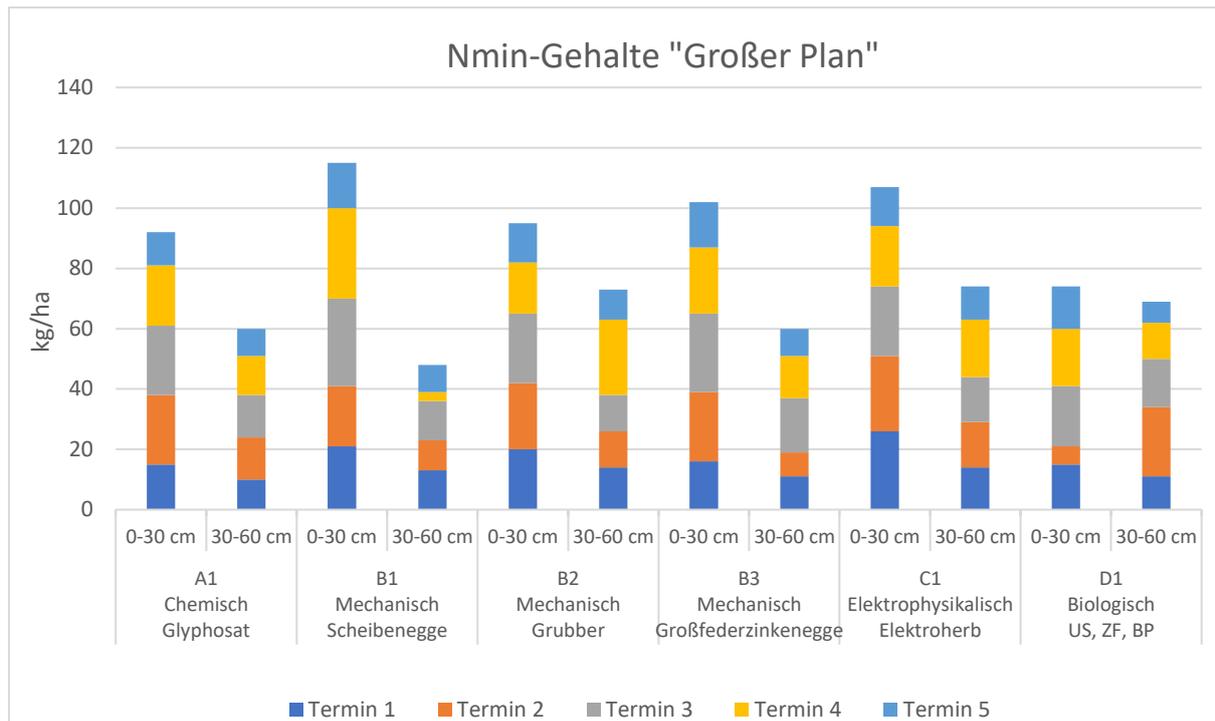


Abbildung 42: Nmin-Gehalte (Winterweizen) der Versuchsvarianten, Großer Plan

Fazit der Bodenuntersuchung

Die Ergebnisse zeigen, dass eine flache Bodenbearbeitung nicht zu starker Mineralisation von Stickstoff und somit zur Verlagerung von Nitrat in tiefere Bodenschichten über den Winter führte.

Ausführliche Ergebnisse sind in der Masterarbeit „Einfluss mechanischer, biologischer oder elektrophysikalischer Verfahren der Unkrautregulierung auf die N-Mineralisierung des Bodens im Vergleich zur chemischen Alternative“ von Robin Schöltzke (Hochschule für Technik und Wirtschaft, Dresden (HTW) nachzulesen, die er im Rahmen des EIP-Projektes angefertigt wurde. Die Masterarbeit ist auf der Homepage der GKB veröffentlicht.

2.4.10 Arbeitskraftstunden

Die angelegten Varianten wurden hinsichtlich der notwendigen Arbeitskraftstunden je Hektar, die für die Erledigung aller Maßnahmen notwendig waren, ausgewertet. Die Berechnungen erfolgten anhand der betriebseigenen Daten aus dem Versuch. Die Ergebnisse sind in Abbildung 43 dargestellt.

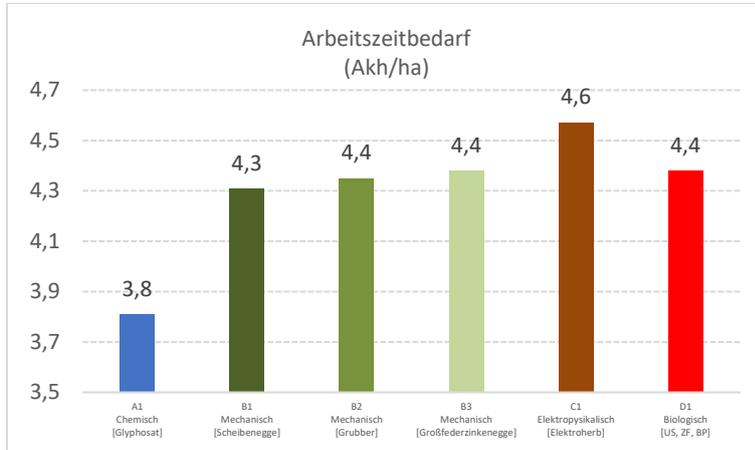


Abbildung 43: Vergleich der Arbeitskraftstunden je ha in Abhängigkeit der Versuchsvarianten

Die chemische Variante A1 wies den mit Abstand niedrigsten Arbeitszeitbedarf mit 3,8 Akh/ha auf. Die mechanischen Varianten lagen mit 4,4 Akh/ha auf gleichem Niveau. Die meisten Arbeitskraftstunden mussten in der elektrophysikalischen Variante mit 4,6 Akh/ha aufgewandt werden, was u.a. auf die geringe Flächenleistung des Elektroherb-Gerätes zurückzuführen ist.

2.4.11 Dieselbedarf und CO₂-Ausstoß

Dieserverbrauch

Im Rahmen der Versuchsanlage wurde für die einzelnen Arbeitsgänge der Dieselbedarf anhand von Werten aus der Literatur berechnet (Abbildung 44).

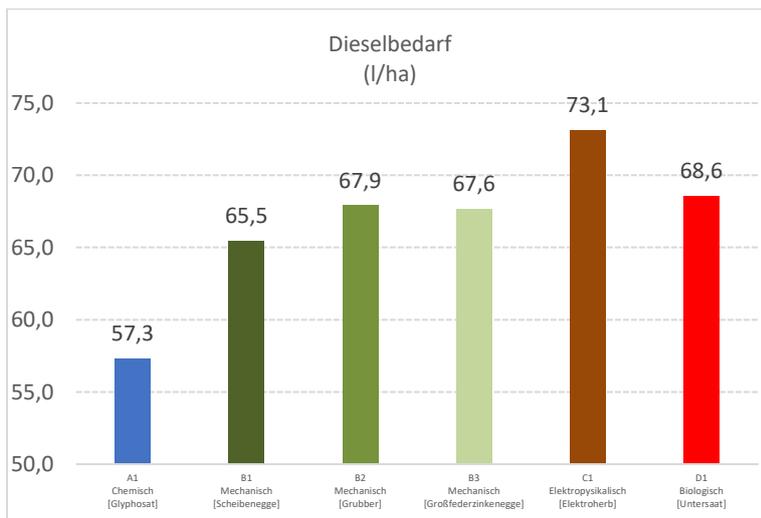


Abbildung 44: Dieserverbrauch der angelegten Varianten

Beim Dieserverbrauch zeigt sich ebenfalls die Vorzüglichkeit der chemischen Variante. Mit 57,3 l/ha hatte diese Variante den geringsten Dieserverbrauch, was in der geringen Anzahl an Überfahrten zu begründen ist.

Den höchsten Dieserverbrauch hat die elektrophysikalische Variante C1 mit 73,1 l/ha, was somit über 27 % höher ist als bei Variante A1. Der Grund hierfür ist die geringe Flächenleistung bei dem Verfahren und den Verbrauch pro Stunde bei dem Elektroherbizid, welcher mit 15-18 l/h Stunde angegeben ist. Die mechanischen Varianten B1, B2 und B3 sowie die biologische Variante D1 als Verfahrenskombination aus mechanisch und biologisch liegen jeweils zwischen 65,5 (B1) und 68,6 l/ha (D1) und dementsprechend 14 – 20 % höher als die Standardvariante A1.

Co₂-Ausstoß

Zur Berechnung des CO₂-Ausstoßes wird der Faktor 2,6 kg je Liter Dieselkraftstoff angelegt. Nicht berücksichtigt hierbei die eventuelle Freisetzung von CO₂ durch den Abbau von Humus in Folge Mineralisierung aus der organischen Bodensubstanz. Zur Beurteilung wurde der CO₂-Ausstoß je Hektar mit dem Ertrag ins Verhältnis gesetzt.

Der CO₂-Ausstoß je dt Ertrag wurde in Relativwerten in Abbildung 45 dargestellt.

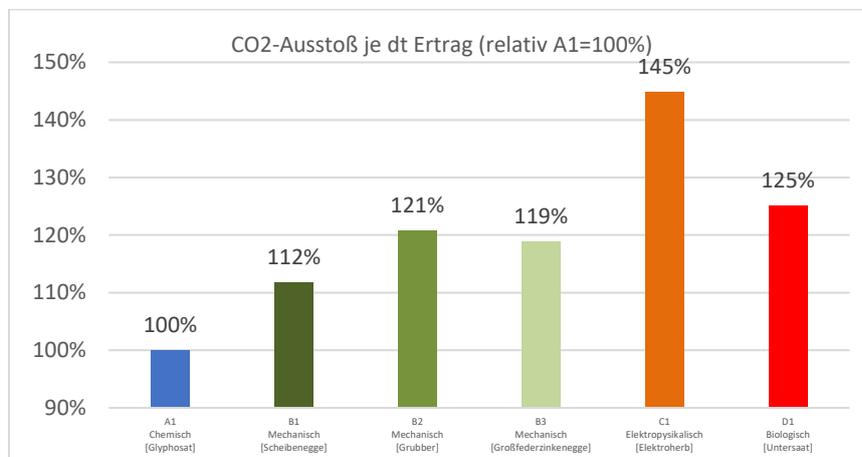


Abbildung 45: CO₂-Ausstoß im Verhältnis zum Ertrag (relativ A1=100 %)

Zur Standardvariante A1 lag die elektrophysikalische Variante C1 etwa um 45 % höher im CO₂-Ausstoß je erzeugter Dezitonne Ertrag. Nach der Standardvariante A1 weist die mechanische Variante B1 mit relativ 112 den nächstkleineren CO₂-Ausstoß je dt Ertrag auf. Die Varianten B2, B3 und D1 liegen hier zwischen 19 und 25 % höher als die Standardvariante A1.

2.4.12 Digitale Erfassungen

NDVI-Verlauf auf Drohnenbasis

NDVI ist ein Akronym und steht für „Normalized Difference Vegetation Index“ (normierter differenzierter Vegetationsindex) und ist der am häufigsten angewandte Vegetationsindex und wird auf der Basis von Drohnenmessungen oder Fernerkundungsdaten errechnet. Jede Art von Materie oder Oberfläche reflektiert Strahlung, wenn auch in unterschiedlicher Stärke: Böden, Gewässer oder eben auch Vegetation; dieser Umstand kann dazu dienen, zum einen vegetationsbedeckte von vegetationsfreien Flächen zu unterscheiden. In den Versuchen dienten als Messgrößen Pflanzenbedeckungsgrad (Biomasse) als auch der Vegetationsindex (NDVI).

In jeder angebauten Kultur wird die Versuchsfläche mittels Drohne mehrmals in der Vegetation überflogen. Eine Überfliegung erfolgte in jeder Kultur vor und nach Versuchsanlage. Eingesetzt wurde eine Drohne vom Typ „Bluegrass“ von Parrot. Diese verfügt über ein internes GPS, welches zur Positionsbestimmung verwendet wird.

Zusätzlich ist diese Drohne mit einer Multispektralkamera des Typen „Sequoia“ ausgerüstet. Um eine Wiederholbarkeit der Aufnahmen zu gewährleisten, wird die Drohne autonom geflogen. Dies bedeutet, dass die zu überfliegende Fläche zuvor mit der Software Pix4D-Capture eingemessen und ein Flugprofil erstellt wurde.

Die verwendete Software (Pix4D-Mapper) skaliert hierbei die erhobenen Messwerte auf zehn Kategorien mit gleichem Abstand (Index-Wert). Zur besseren Darstellung wurden die Einzelwerte „spektral“ eingefärbt. Hierbei wird ein hoher Indexwert (hohe Biomasse = Pflanze) blau eingefärbt und ein geringerer Indexwert (niedrige Biomasse = Boden oder tote Pflanze), rot eingefärbt (Abbildung 46). Die Farbskalierung bezieht sich immer auf die jeweilige, dargestellte, Einzelfläche. Die Werte, welche der jeweiligen Farbe hinterlegt sind, sind nur bedingt mit der Skalierung anderer Flächen vergleichbar.

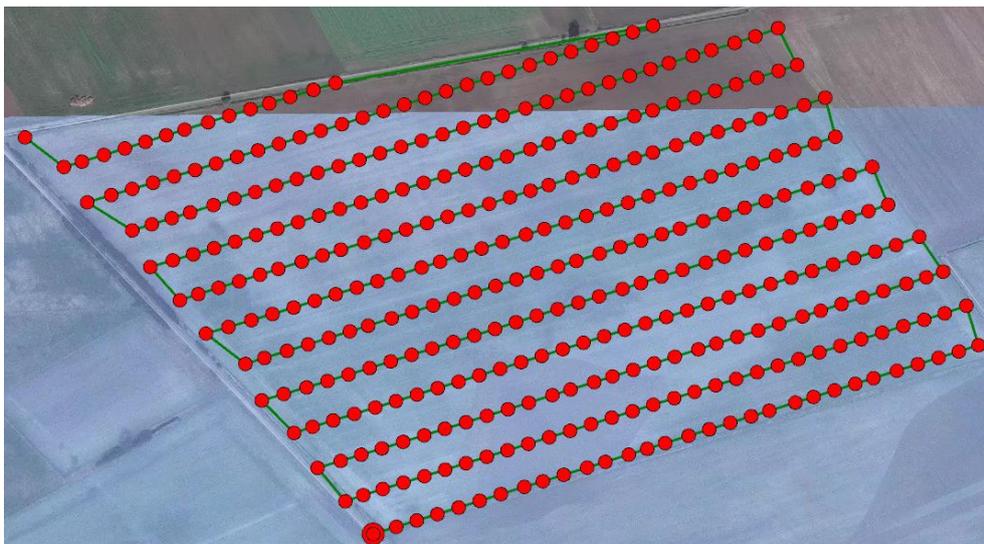
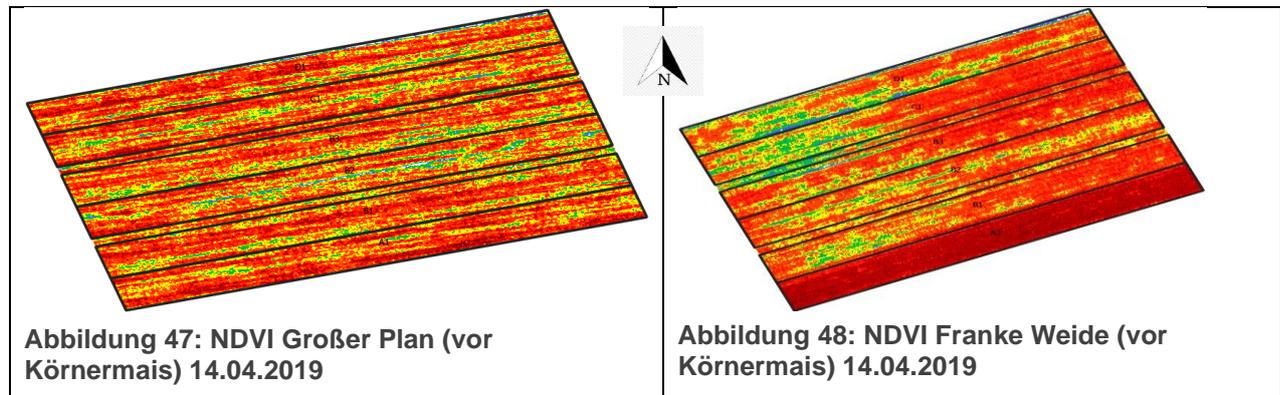


Abbildung 46: Flugroute auf den Versuchsflächen

Körnermais 2019

Zu Versuchsbeginn wurden vor der Aussaat von Körnermais beide Versuchsflächen überflogen, um die Bedeckung mit Pflanzenmaterial zu prüfen.



Der gemessene NDVI-Index vor der Anlage des Versuches liegt in allen Prüfgliedern auf ähnlichem Niveau am Standort Großer Plan (Abbildung 47). Das bedeutet, dass vor der Versuchsanlage die Bedeckung auf der Fläche sehr homogen war.

Auf der Versuchsfläche Franke Weide erfolgte die Glyphosatapplikation einige Tage vor der Versuchsanlage. Somit zeigt die Darstellung in Abbildung 48 in dem Prüfglied A1 eine starke Rotfärbung in der Multispektralkarte. Die Aktivität der Pflanzen ist noch soweit vorhanden, dass der Messwert im Vergleich zu den anderen Prüfgliedern nicht abweicht. In den anderen Varianten liegt der NDVI-Index auf ähnlichem Niveau. Wie auch auf der Versuchsanlage Franke Weide ist vor Anlage des Versuchs der Pflanzenbedeckungsgrad über die gesamte Versuchsfläche vergleichbar (Tabelle 33).

Tabelle 33: NDVI-Messung am 14.04.2019, Großer Plan und Franke Weide

Variante	<i>NDVI-Index Großer Plan</i>	<i>NDVI-Index Franke Weide</i>
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	0,35	0,22
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	0,37	0,37
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	0,39	0,39
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	0,39	0,37
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb²⁾</i>	0,37	0,39
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	0,39	0,45

Die zweite Überfliegung erfolgte nach Anlage der Prüfglieder am 18.04.2019. Die Wirksamkeit der Maßnahmen am Standort Großer Plan zeigt Abbildung 49. Hier zeigen sich bei der Befliegung deutliche Unterschiede im Biomasseaufwuchs. Durch die spätere Applikation von Glyphosat in Prüfglied A1, ist hier noch eine deutliche Photosyntheseleistung der Pflanzen zu erkennen (helle, bis zu blauer Färbung). Es wird jedoch davon ausgegangen, dass im späteren Verlauf des Versuchs die Pflanzenaktivität deutlich abnimmt (Wirkungszeitraum). In den beiden Bodenbearbeitungsvarianten B1 und B2, ist nahezu keine Bedeckung mehr festzustellen (Flächen nahezu durchgängig rot). Die mechanische Variante B3 weist trotz erfolgter Bodenbearbeitung, eine deutlich höhere Bedeckung auf (hellere Färbung). Dies ist vermutlich dem nicht flächigen Bearbeiten der eingesetzten Großfederzinkenegge zuzuschreiben.

Der langfristige Bekämpfungserfolg des vor dem Mais über Winter angebauten Futterroggens der elektrophysikalischen Variante C1 ist im Vergleich zu den anderen Varianten geringer. Eine Sichtbonitur nach der elektrophysikalischen Behandlung zeigte kurz nach dem Überfahren mit dem Elektroherb Gerät eine deutliche absterbende Wirkung des Futterroggens (Stroheffekt). Allerdings reichte aufgrund der Dichte des Bestandes die Bekämpfung nicht aus, da der Futterroggen teilweise wieder ausgetrieben ist.

In der Variante D1 ist ein ähnlicher Erfolg wie in den Varianten B1 und B2 zu erkennen. Genaue Betrachtungen zeigen jedoch, dass auch hier „Streifen“ zu erkennen sind, in welchem die eingesetzte Technik vermutlich „hohl“ gelaufen ist und einzelne Pflanzen nicht bekämpft wurden.

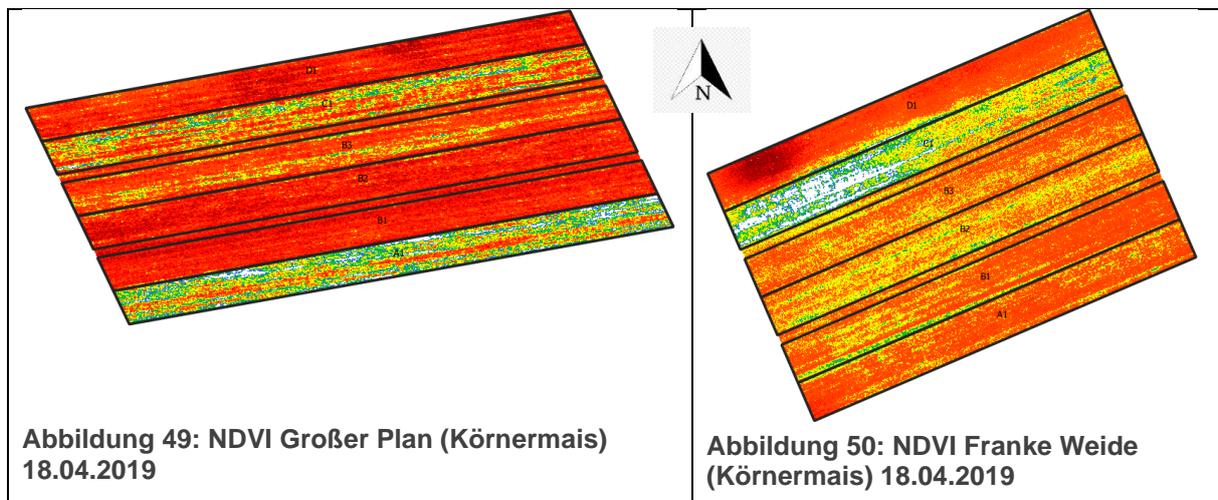


Abbildung 50 zeigt die multispektrale Aufnahme der Überfliegung wenige Tage nach Anlage der Prüfglieder am Standort Franke Weide. In der chemischen Variante A1 zeigte sich, dass der Futterroggen mit Wirkung des Herbizids abstirbt. Die Bodenbearbeitungsvarianten (B1-B3) und die biologische Variante D1 zeigen vergleichbare Werte im NDVI-Index (Tabelle 34).

In der mechanischen Variante B2 liegt der NDVI-Index im Vergleich höher. Dies könnte an den verwendeten Grubber-Werkzeugen liegen, welche die Pflanzen abgeschnitten und auf der Ackerkrume liegen gelassen haben. Die elektrophysikalische Variante (C1) zeigte ein Absterben des Futterroggens.

Tabelle 34: NDVI-Messung am 18.04.2019, Großer Plan und Franke Weide

Variante	NDVI-Index Großer Plan	NDVI-Index Franke Weide
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	0,37	0,20
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	0,20	0,21
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	0,20	0,24
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	0,27	0,21
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb²⁾</i>	0,29	0,34
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	0,20	0,16

Die nächste Befliegung erfolgte nach der Ansaat der Hauptkultur (Körnermais) am 09.05.2019. Am Standort Großer Plan ist in der Abbildung 51 deutlich zu erkennen, dass in der chemischen Variante A1 das Glyphosat seine Wirkung voll entfaltet hat (deutliche rote Färbung) und der Futterroggen voll abgestorben ist, was die Boniturwerte zu diesem Zeitpunkt bestätigen. In der Variante war ein 100 % iger Bekämpfungserfolg zu verzeichnen.

In den mechanischen Varianten B1 und B2 zeigen sich gelbliche Bereiche, was auf ein Auflaufen von Unkräutern hinweist. Die Bonitur zu diesem Zeitpunkt bestätigt dies. In den Varianten waren vermehrt Gräser aber auch zweikeimblättrige Unkräuter aufgelaufen. In der mechanischen Variante wurden die höchste Unkrautdichte ausgezählt, was sich durch die Befliegung bestätigte (Abbildung 51).

In der elektrophysikalischen Variante lies der Wirkerfolg nach, da ein Wiederaustrieb des Futterroggens zu verzeichnen war. Daneben sind auch viele zweikeimblättrige Unkräuter aufgelaufen. Die biologische Variante D1 (mit Bodenbearbeitung) zeigt ähnliche Reflektionen wie die Variante B2 am Standort Großer Plan. Daher wird davon ausgegangen, dass die ausgesäte Untersaat nur sehr punktuell (gelbe Bereiche) aufgelaufen ist, oder der Unkraut-/Ungrasdruck wieder zugenommen hat. Dies wurde durch die optische Bonitur bestätigt.

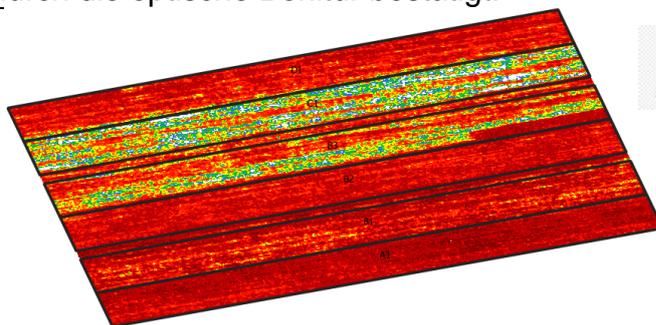


Abbildung 51; NDVI Großer Plan (Körnermais) 09.05.2019

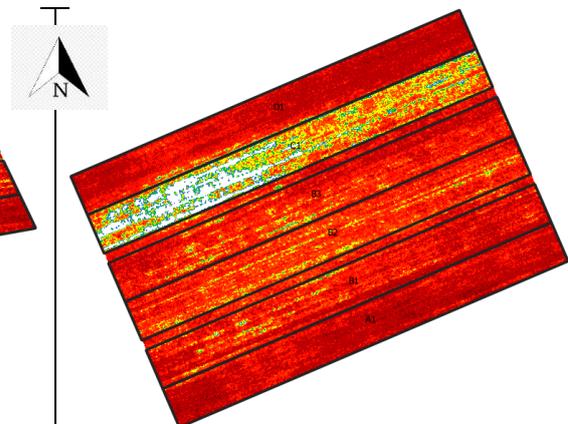


Abbildung 52: NDVI Franke Weide (Körnermais) 09.05.2019

Abbildung 52 zeigt die Ergebnisse der Überfliegung vom 09.05.2019 am Standort Franke Weide. Es zeigt sich in der optischen Bonitur wie in der Überfliegung ein sehr guter Wirkerfolg der chemischen Variante A1. Die mechanische Variante B1 mit der Scheibenegge war vergleichbar im Wirkungserfolg mit A1 und D1 (Einsatz der Scheibenegge vor der Aussaat des Körnermais)

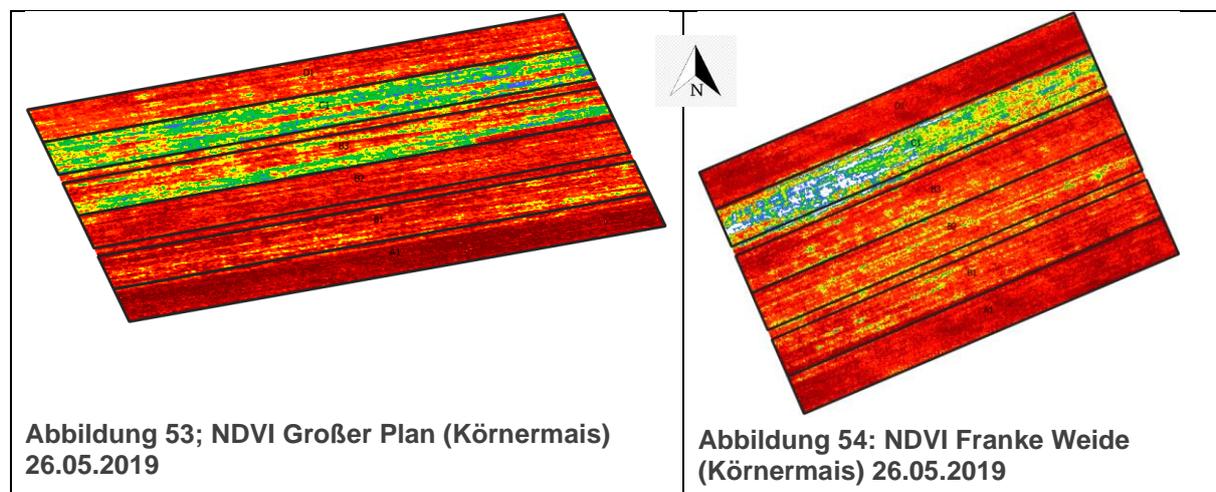
In den Bodenbearbeitungsvarianten sind gelbe Bereiche bzw. Streifen in der Aufnahme der Überfliegung erkennbar. Dies kann sowohl durch fehlende Überlappung als auch durch ein „Hohllaufen“ der Werkzeuge entstanden sein. Die vorhandenen Unkräuter und Ungräser wurden bei dem Arbeitsgang entsprechend verschüttet, ein Teil ist bei entsprechender Bodenfeuchte wieder angewachsen, was auch die Bonitur zeigte.

In der elektrophysikalischen Variante C1 zeigt sich eine ähnliche Reflektion wie bei der Überfliegung vom 18.04.2019. Dies deutet nach wie vor auf eine Schädigung, aber nicht auf eine komplette Bekämpfung der Unkräuter/Ungräser hin.

Tabelle 35: NDVI-Messung am 09.05.2019, Großer Plan und Franke Weide

Variante	<i>NDVI-Index Großer Plan</i>	<i>NDVI-Index Franke Weide</i>
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	0,14	0,17
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	0,16	0,16
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	0,16	0,22
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	0,26	0,20
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb²⁾</i>	0,36	0,35
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	0,18	0,18

Eine weitere Befliegung im Mais am 26.05.2019 zeigte vergleichbare Ergebnisse am Standort Großer Plan (Abbildung 53) und auch auf Franke Weide (Abbildung 54). Tendenziell hat die Reflektion zugenommen (hellere Rottöne). Dies ist der Blattmasse der Hauptkultur (Körnermais) zuzuordnen.



In der elektrophysikalischen Variante C1 liegt der NDVI-Index deutlich (Tabelle 36) höher. Neben der Hauptkultur wachsen in dieser Variante Unkräuter und vor allem Ungräser treiben von der Wurzel her massiv neu aus.

Tabelle 36: NDVI-Messung am 26.05.2019, Großer Plan und Franke Weide

Variante	NDVI-Index Großer Plan	NDVI-Index Franke Weide
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	0,17	0,21
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	0,26	0,27
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	0,25	0,32
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	0,43	0,29
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb²⁾</i>	0,57	0,51
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	0,30	0,22

Zusammenfassung NDVI Verläufe Körnermais 2019 und Rückschluss auf den Unkrautbekämpfungserfolg der Versuchsvarianten am Standort Großer Plan (Abbildung 55) und Franke Weide (Abbildung 7156).

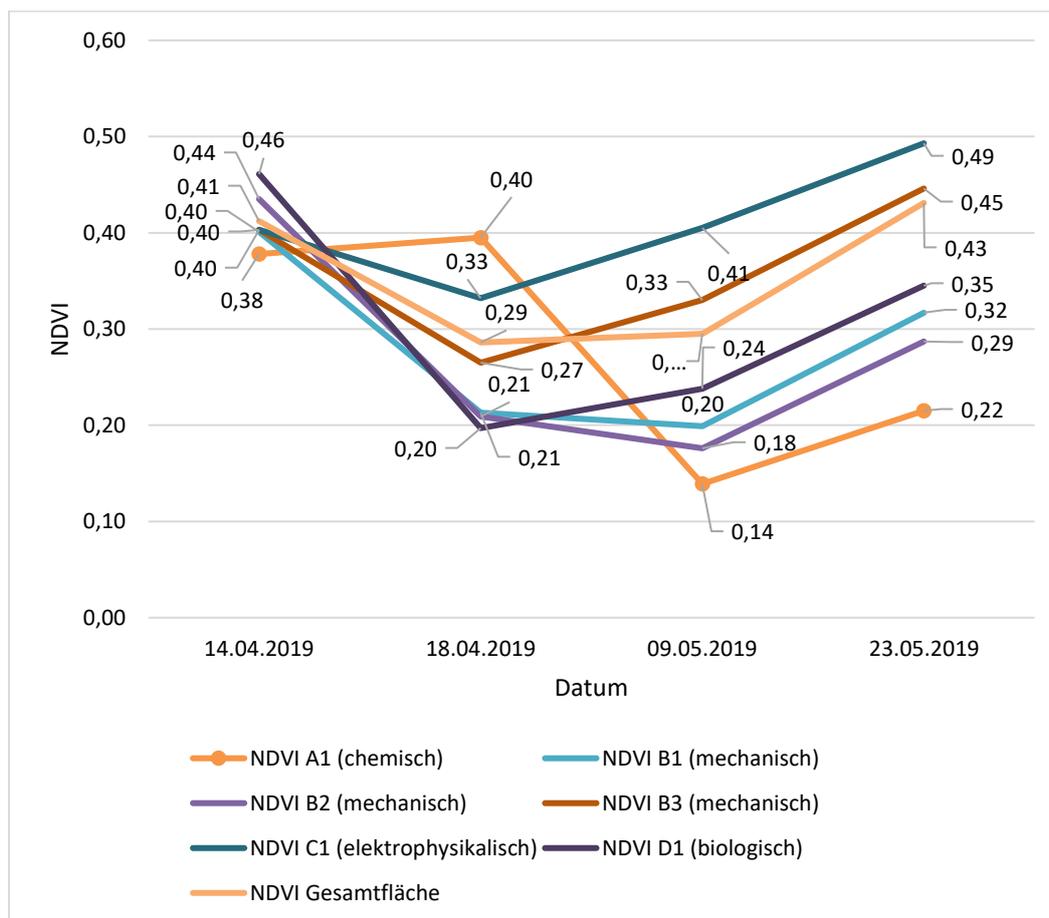


Abbildung 55: NDVI-Verlauf über alle Prüfglieder 2019, (Körnermais) Großer Plan

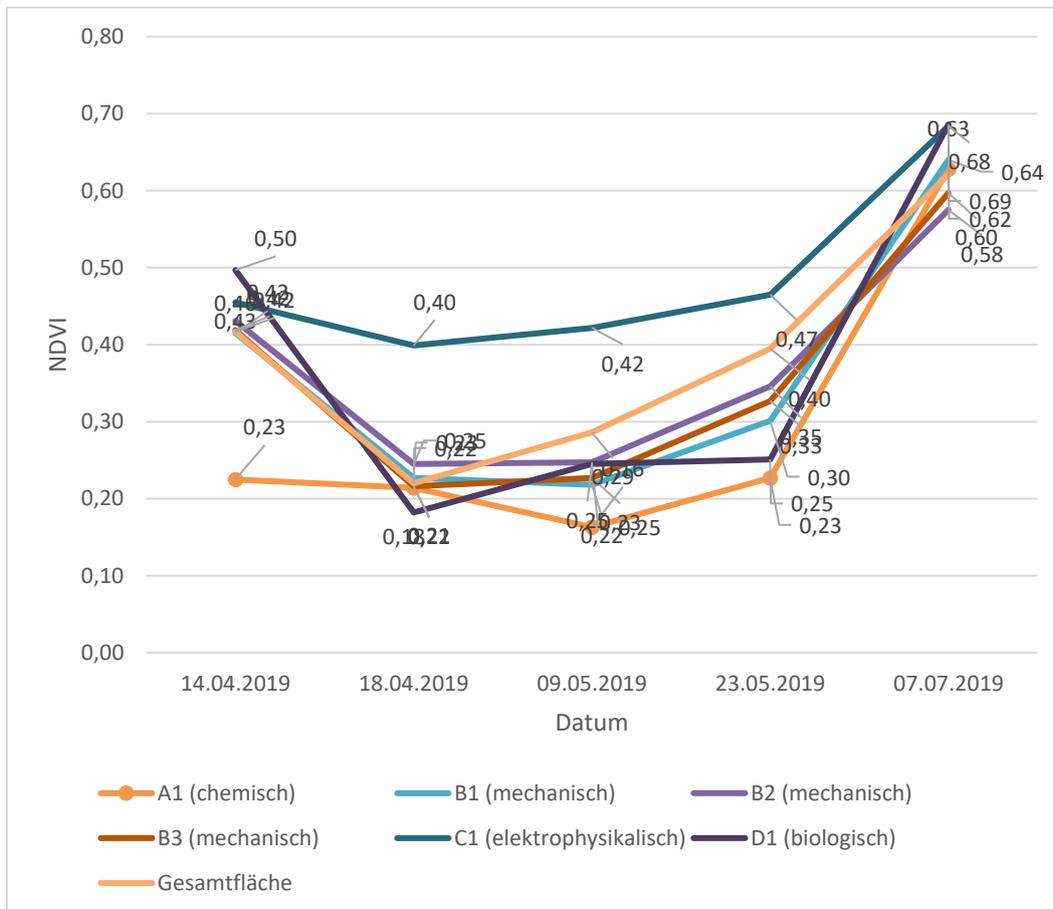


Abbildung 56: NDVI-Verlauf über alle Prüfglieder 2019, (Körnermais) Franke Weide

Sommergerste 2020

Im zweiten Versuchsjahr wurde auf den Versuchsfeldern Sommergerste angebaut. Vor der Aussaat wurden die Flächen am 18.03.2020 überflogen. Für den Standort Großer Plan ist in Abbildung 57 erkennbar, dass der Bewuchs mit Pflanzen über alle Prüfglieder einheitlich ist.

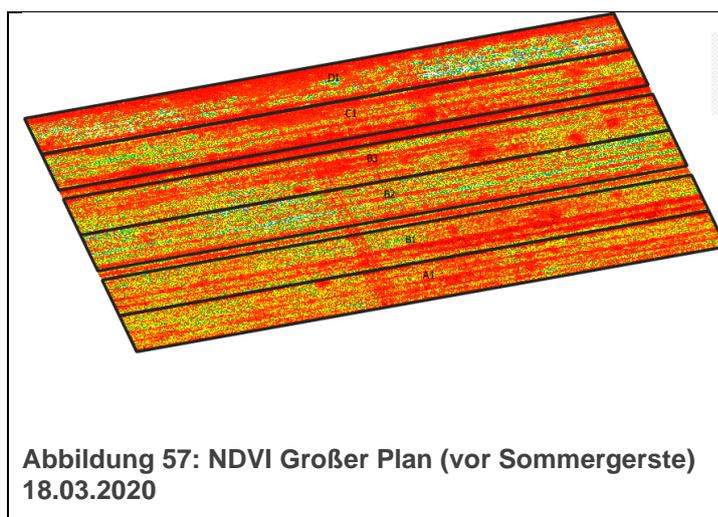


Abbildung 57: NDVI Großer Plan (vor Sommergerste) 18.03.2020

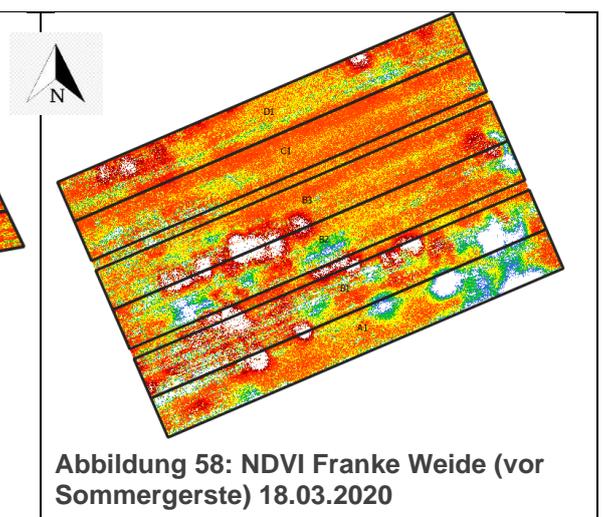


Abbildung 58: NDVI Franke Weide (vor Sommergerste) 18.03.2020

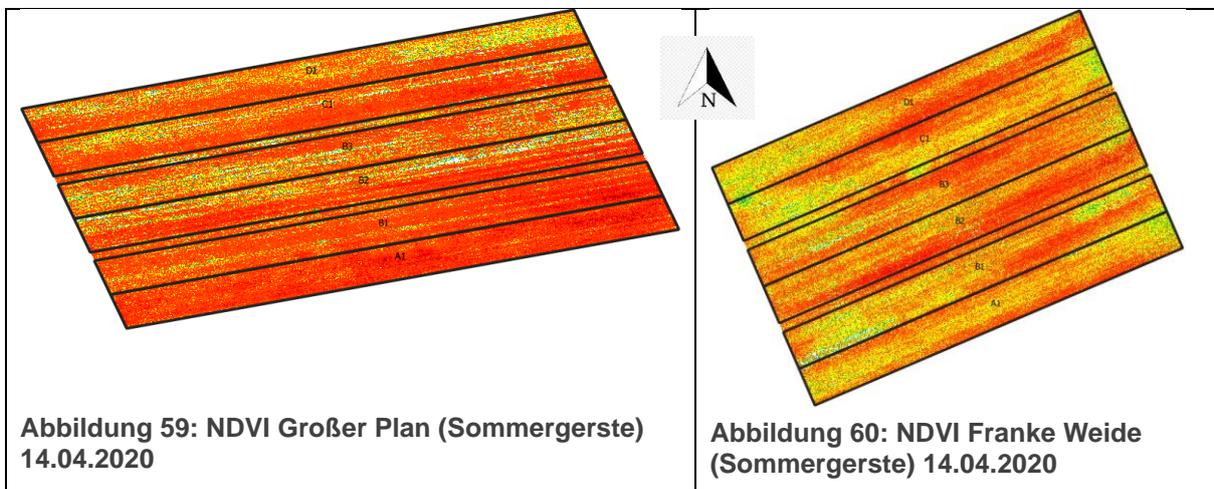
Am Standort Franke Weide zeigen die Aufnahmen im Bereich der infraroten Reflektion vergleichbare Werte. Die partiellen Aufhellungen innerhalb der Aufnahme zeigen dabei einzelne „Hot-Spots“, welche von Unkräutern/Ungräsern, als auch Bodenalgeln bzw. Moosen herrühren können und vereinzelt auch in den Luftaufnahmen zu sehen sind.

Das Auftreten dieser „Hot-Spots“ ist dabei in den Varianten A1 und B1 verstärkt anzutreffen, was auch für die etwas höheren Werte in Bezug auf den Durchschnitt spricht (Tabelle 37).

Tabelle 37: NDVI-Messung am 18.03.2020, Großer Plan und Franke Weide

Variante	NDVI-Index Großer Plan	NDVI-Index Franke Weide
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	0,23	0,22
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	0,23	0,19
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	0,28	0,18
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	0,24	0,16
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb²⁾</i>	0,21	0,18
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	0,23	0,18

Vor der Aussaat der Sommergerste wurden die Prüfglieder entsprechend dem Versuchsplan chemisch, mechanisch oder elektrophysikalisch mit entsprechender Technik angelegt. Im Anschluss wurden die Versuchsflächen am 14.04.2020 erneut überflogen. Am Standort Großer Plan zeigte sich im Wirkerfolg der Maßnahmen wenig Unterschiede (Abbildung 59). Nur die chemische Variante A1 zeigte einen Vorteil im Wirkerfolg der Bekämpfung von Unkräutern und Ungräsern.

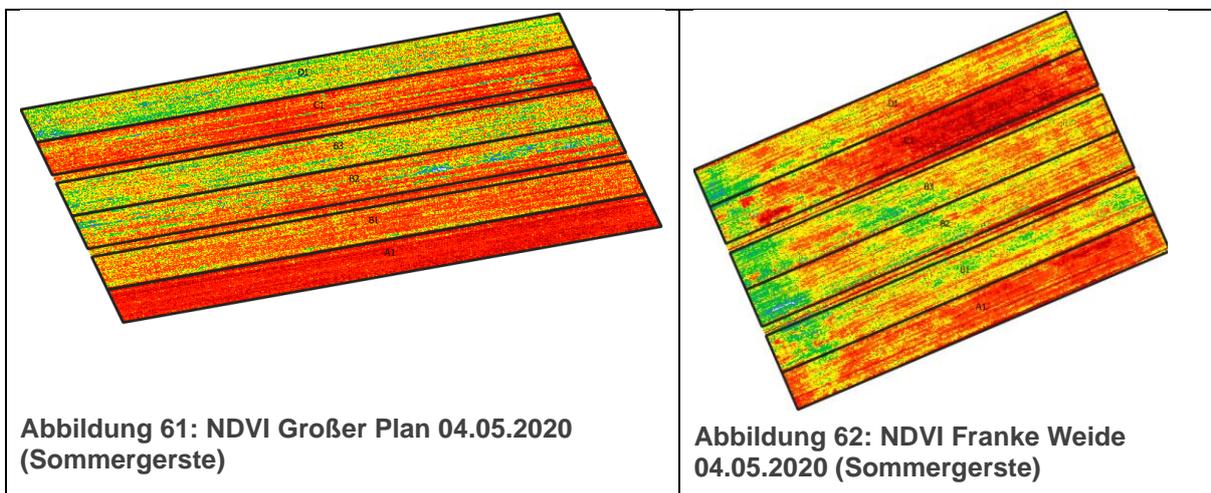


In Abbildung 60 dargestellt ist die Überfliegung des Versuchs auf Franke Weide. Auch hier zeigte sich über alle angelegten Varianten ein guter Wirkerfolg in der Unkrautbekämpfung.

Tabelle 38: NDVI-Messung am 14.04.2020, Großer Plan und Franke Weide

Variante	<i>NDVI-Index Großer Plan</i>	<i>NDVI-Index Franke Weide</i>
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	0,07	0,12
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	0,08	0,11
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	0,09	0,12
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	0,09	0,12
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb²⁾</i>	0,10	0,12
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	0,10	0,12

Anfang Mai (04.05.2020) wurden die Versuchsflächen erneut überflogen. Hier zeigten sich zwischen den angelegten Varianten deutliche Unterschiede zwischen den Varianten. Am Standort Großer Plan (Abbildung 61) zeigten sich in den Varianten A1 und C1 deutliche Unterschiede zu den weiteren Varianten. Die Aussaat erfolgte in diesen Varianten in Direktsaat. Witterungsbedingt kam durch mangelnde Bodenerwärmung die Entwicklung der Pflanzen nicht in Gang (rote Färbung). Während in den Bodenbearbeitungsvarianten schon deutlich Pflanzen der Hauptkultur zu erkennen waren, wurden in der Parzelle A1, nur einzelne Pflanzen erkannt (optische Bonitur). Dementsprechend ist die Multispektralanalyse zu diesem Zeitpunkt auch nur bedingt repräsentativ. Die höchste Reflektion wurde in der Variante D1 gemessen. Hier ist es jedoch unklar, ob dies durch die ausgesäte Sommergerste entsteht oder durch die Roggenuntersaat/Zwischenfrucht.

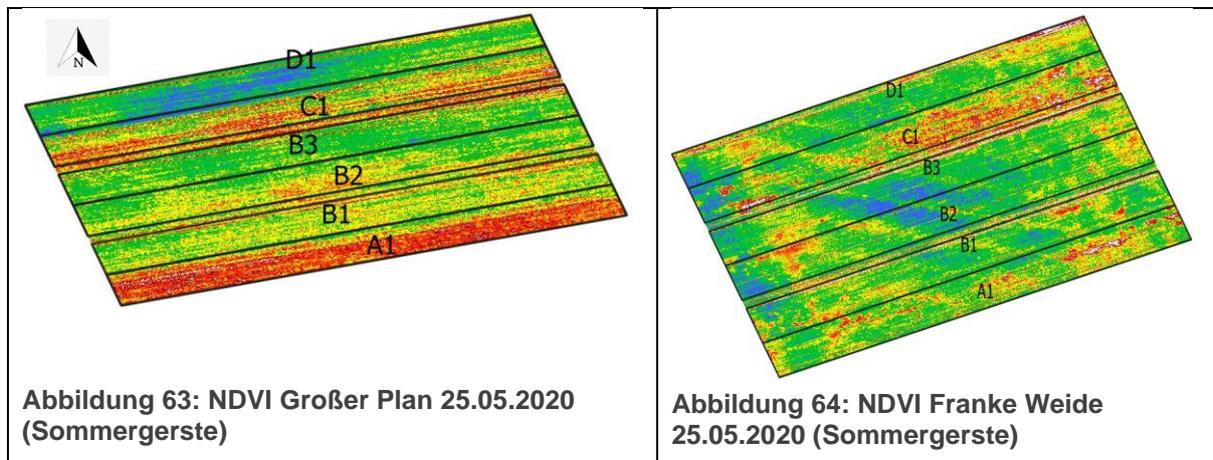


Auf dem Standort Franke Weide waren vergleichbare Ergebnisse, wie aus der Abbildung 62 und Tabelle 39) hervorgeht.

Tabelle 39: NDVI-Messung am 04.05.2020, Großer Plan und Franke Weide

Variante	<i>NDVI-Index Großer Plan</i>	<i>NDVI-Index Franke Weide</i>
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	0,24	0,41
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	0,36	0,50
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	0,40	0,49
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	0,44	0,50
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb²⁾</i>	0,32	0,38
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	0,48	0,47

Zu einem weiteren Termin der Überfliegung am 25.05.2020 zeigten sich vergleichbare Ergebnisse zur vorangegangenen Überfliegung sowohl auf dem Standort Großer Plan (Abbildung 63, Tabelle 40) und Franke Weide (Abbildung 64, Tabelle 40: NDVI-Messung am 25.05.2020, Großer Plan und Franke Weide).



In Abbildung 64 zeichneten deutliche gerade Streifen. Diese sind nach Rücksprache mit den Bewirtschaftern Drainagen. Im Bereich dieser Drainagen ist ein deutlicher Rückgang des Reflektionsgrades zu erkennen, was auf eine unzureichende Wasserversorgung der Pflanzen in diesem Bereich hindeutet.

Tabelle 40: NDVI-Messung am 25.05.2020, Großer Plan und Franke Weide

Variante	<i>NDVI-Index Großer Plan</i>	<i>NDVI-Index Franke Weide</i>
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	0,58	0,76
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	0,70	0,77
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	0,73	0,80
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	0,74	0,69
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb²⁾</i>	0,66	0,73
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	0,78	0,76

Zusammenfassung NDVI Verläufe Sommergerste 2020 und Rückschluss auf den Unkrautbekämpfungserfolg der Versuchsvarianten am Standort Großer Plan (Abbildung 65) und Franke Weide (Abbildung 66).

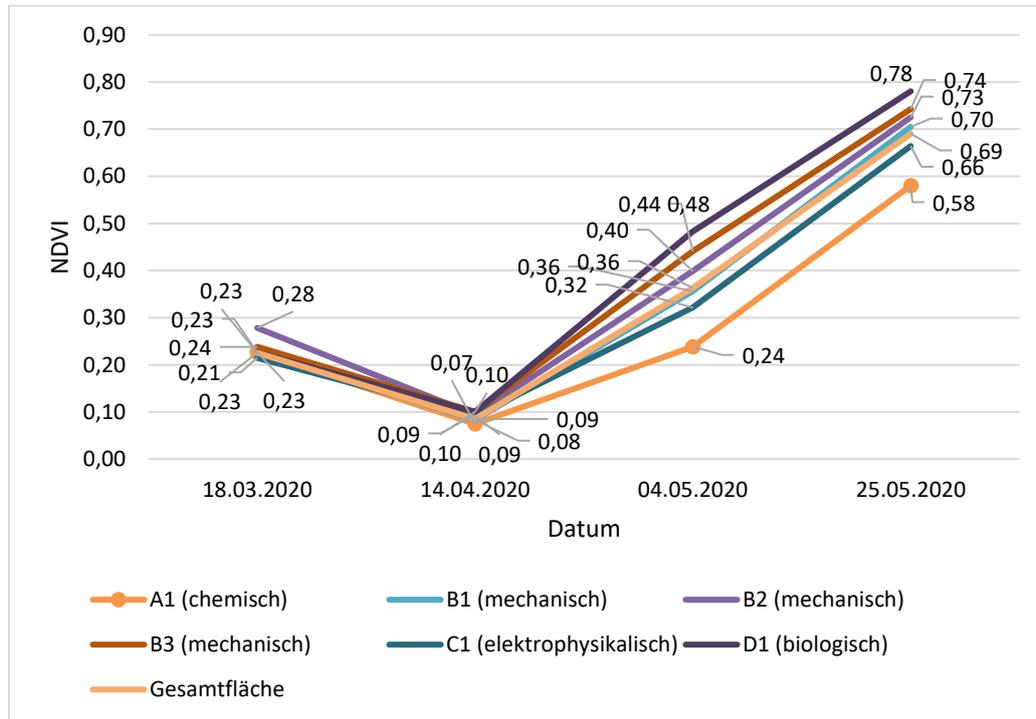


Abbildung 65: NDVI-Verlauf über alle Prüfglieder 2020, Großer Plan

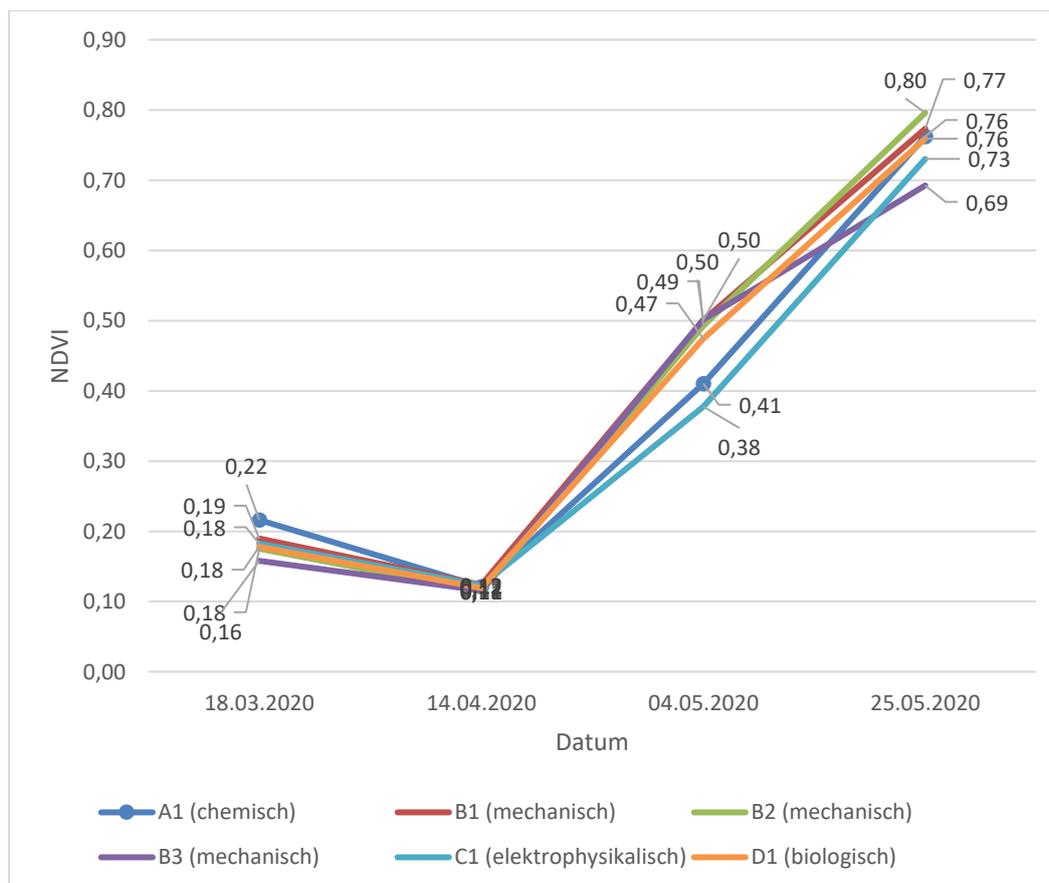


Abbildung 66: NDVI-Verlauf über alle Prüfglieder 2020, Franke Weide

Winterweizen 2020/2021

Zur Beschreibung und Differenzierung des Winterweizenbestands in den unterschiedlichen Prüfgliedern sind die Parameter Bodenbedeckungsgrad sowie die N-Aufnahme im Versuch zur Anwendung gekommen.

Der Bodenbedeckungsgrad eignet sich hervorragend zur Beschreibung bzw. Unterscheidung von nicht zugezogenen Winterweizenbeständen, in denen noch viel Boden sichtbar ist. Die N-Aufnahme hingegen funktioniert auch in dichten Beständen. Im November 2020 erfolgten versuchsweise Messungen auf mehreren Transekten durch die Prüfglieder. Die N-Aufnahme wurde mit einem YARA N-Sensor ALS 2 Kopf gemessen (Bild 6) der Bodenbedeckungsgrad mittels digitaler Bildverarbeitung aus Digitalfotos abgeleitet.

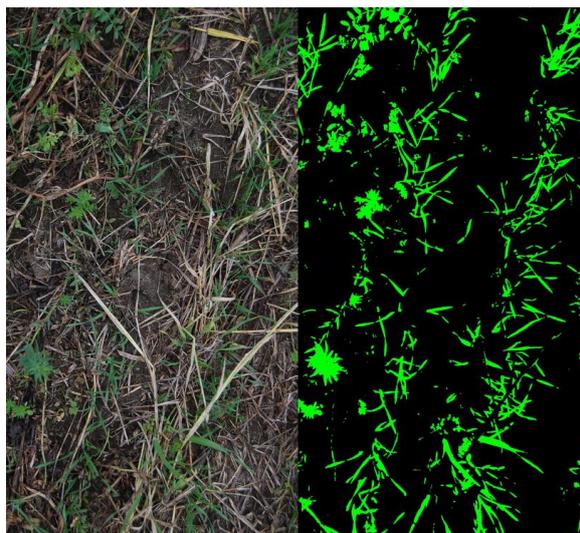


Bild 6: Messung der N-Aufnahme

Messung am 10.11.2020

Variante	Parameter			
	N-Aufnahme (kg N/ha)		Pflanzendeckungsgrad inkl. Unkraut in %	
	Großer Plan	Franke Weide	Großer Plan	Franke Weide
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	15,5	17,1	6,73	4,31
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	13,7	11	7,47	6,77
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	13,2	11,4	10,27	6,19
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	13	12,2	7,9	7,86
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	11,3	14,9	10,9	12,98
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	13,6	12,2	7,65	9,58

Die Pflanzendeckungsgrade korrespondieren nicht mit der N-Aufnahme, hohe Pflanzendeckungsgrade zeigen einen höheren Beikrautbestand, hohe N-Aufnahme kräftigere Winterweizen-Pflanzen.

Messung am 24.03.2021

Variante		Parameter			
		N-Aufnahme (kg N/ha)		Pflanzendeckungsgrad inkl. Unkraut in %	
		Großer Plan	Franke Weide	Großer Plan	Franke Weide
A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	22,04	16,51	46,05	36,18
B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	20,30	16,03	35,09	38,55
B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	21,44	16,57	40,88	43,52
B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	21,13	16,84	36,82	41,55
C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	22,70	16,69	54,66	37,48
D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	21,04	16,49	36,74	44,50

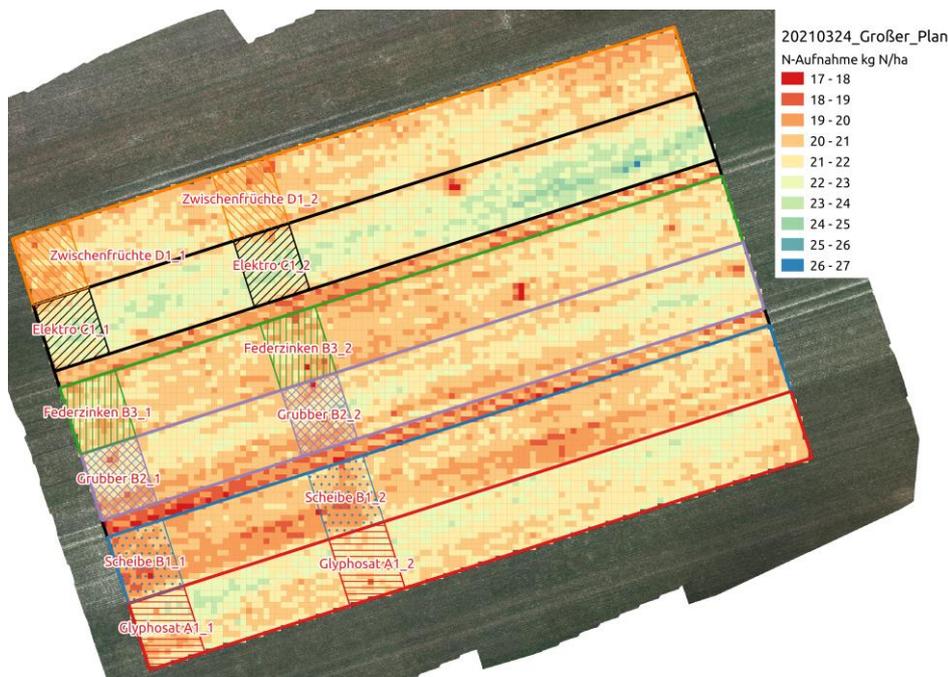


Abbildung 67: N-Aufnahme des Versuchsschlags Großer Plan, 24.03.2021

Die N-Aufnahmen vom 24.03.2021 gleichen sich an, der unterschiedliche Beikrautdruck hat in dieser Phase keinen großen Einfluss auf die Winterweizenpflanzen

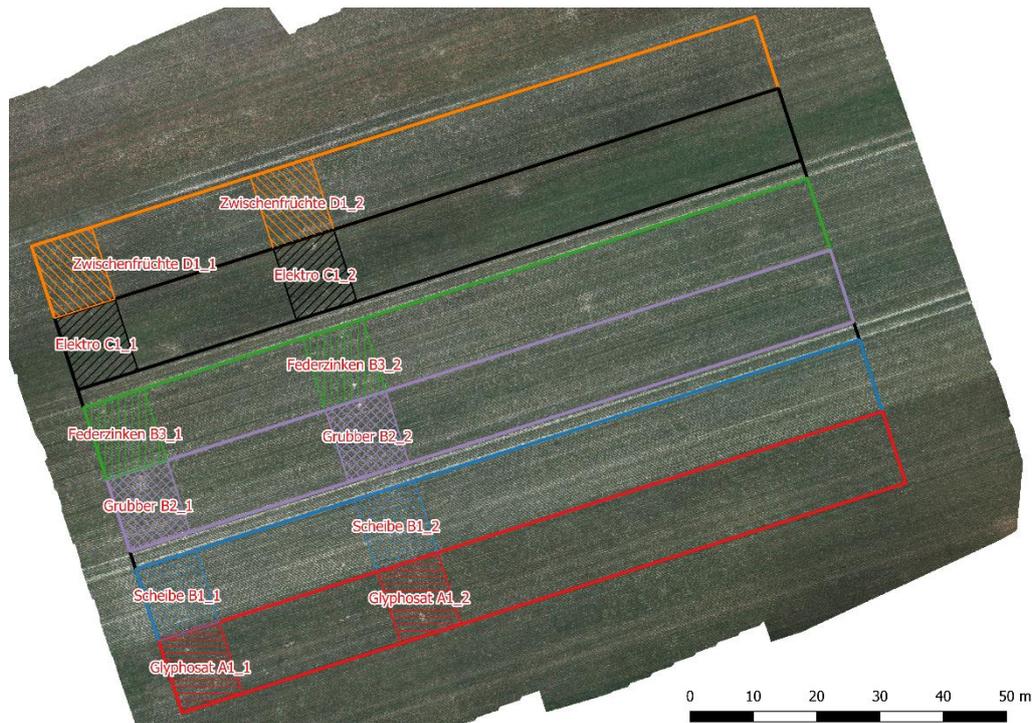


Abbildung 68: RGB Aufnahme Großer Plan, 24.03.2021

Messung am 10.05.2021

Variante		N-Aufnahme (kg N/ha)	
		Großer Plan	Franke Weide
A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	91,31	83,78
B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	89,97	81,56
B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	91,46	82,26
B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	85,76	76,84
C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	90,76	73,53
D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	87,45	74,92

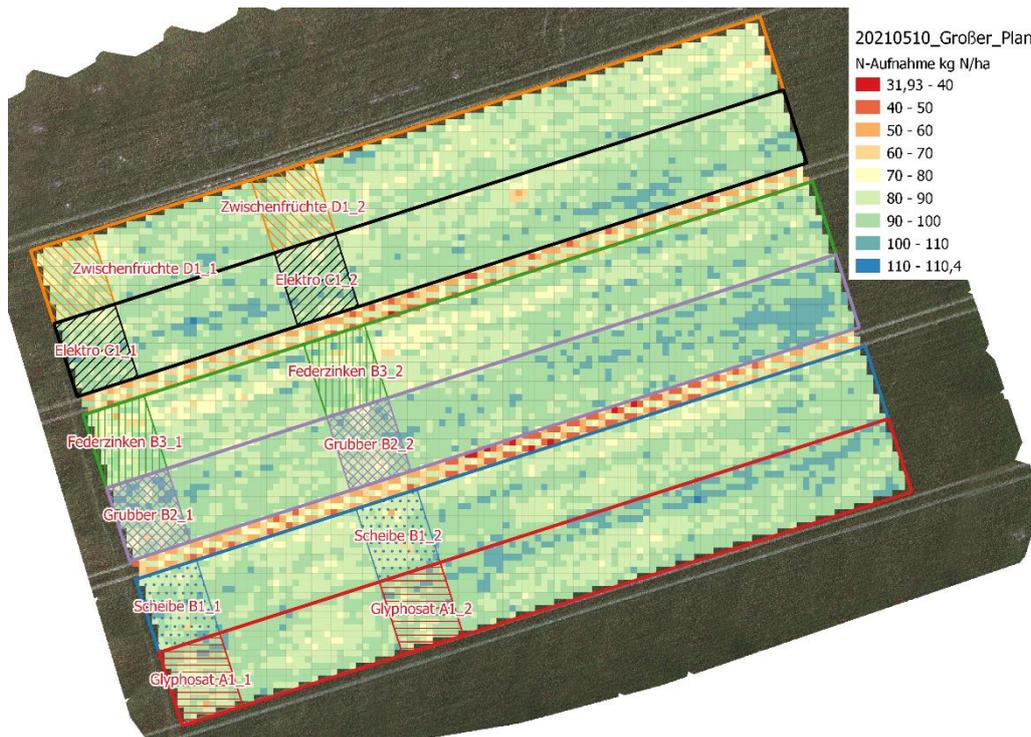


Abbildung 69: N-Aufnahme des Versuchsschlags Großer Plan, 10.05.2021

Bei der Auswertung der Luftbilder vom 10.05.2021 ist der Pflanzendeckungsgrad einheitlich bei fast 100% (daher nicht mehr aufgeführt), die N-Aufnahmewerte zeigen weiterhin keine großen Unterschiede in den Prüfgliedern.

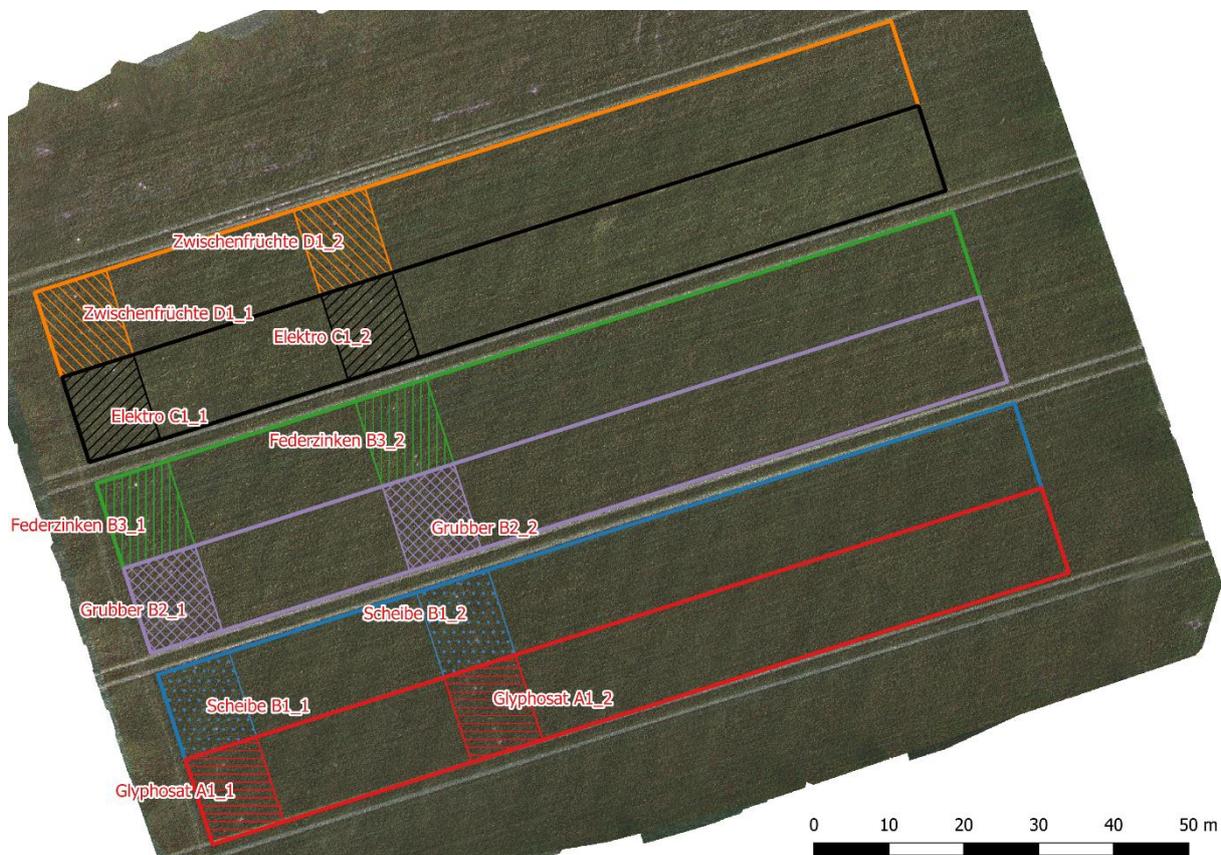


Abbildung 70: RGB Aufnahme Großer Plan, 10.05.2021

Messung am 14.09.2021

Variante		Parameter			
		N-Aufnahme (kg N/ha)		Pflanzendeckungsgrad inkl. Unkraut in %	
		Großer Plan	Franke Weide	Großer Plan	Franke Weide
A1	Chemisch <i>Glyphosat</i>	16,51	16,51	9,27	6,29
B1	Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	16,03	16,03	7,46	3,83
B2	Mechanisch <i>Grubber</i>	16,57	16,57	10,12	5,60
B3	Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	16,84	16,84	8,64	4,41
C1	Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	16,69	16,69	21,85	2,47
D1	Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	16,49	16,49	11,10	24,45

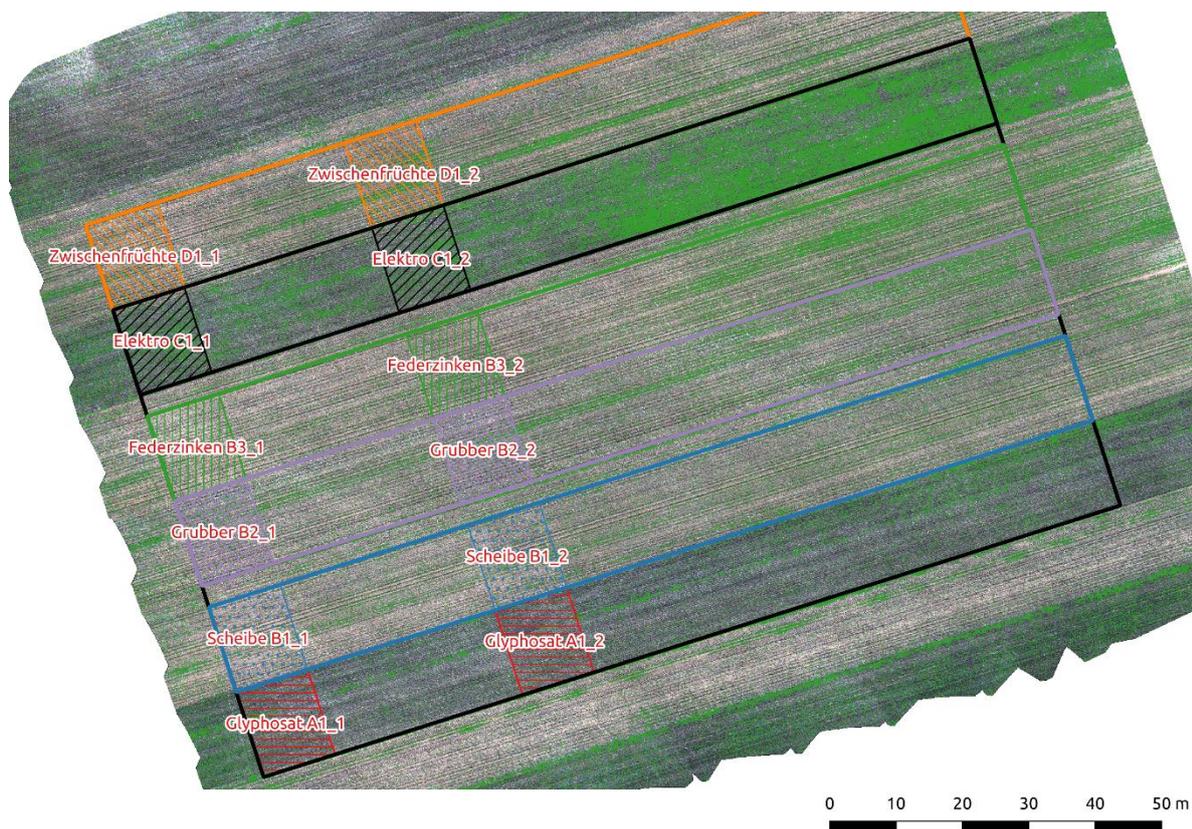


Abbildung 71: RGB Aufnahme Großer Plan, 14.09.2021

Messung am 13.04.2022

Variante	Parameter			
	N-Aufnahme (kg N/ha)		Pflanzendeckungsgrad inkl. Unkraut in %	
	Großer Plan	Franke Weide	Großer Plan	Franke Weide
A1 Chemisch <i>Glyphosat</i>	32,76	29,70	37,12	34,11
B1 Mechanisch <i>Scheibenegge</i>	31,52	26,93	36,34	17,59
B2 Mechanisch <i>Grubber</i>	31,75	26,91	34,69	19,66
B3 Mechanisch <i>Großfederzinkenegge</i>	31,87	27,54	35,46	24,33
C1 Elektrophysikalisch <i>Elektroherb</i>	32,35	27,69	44,46	20,46
D1 Biologisch <i>US, ZF, BP</i>	31,61	26,66	41,63	11,95

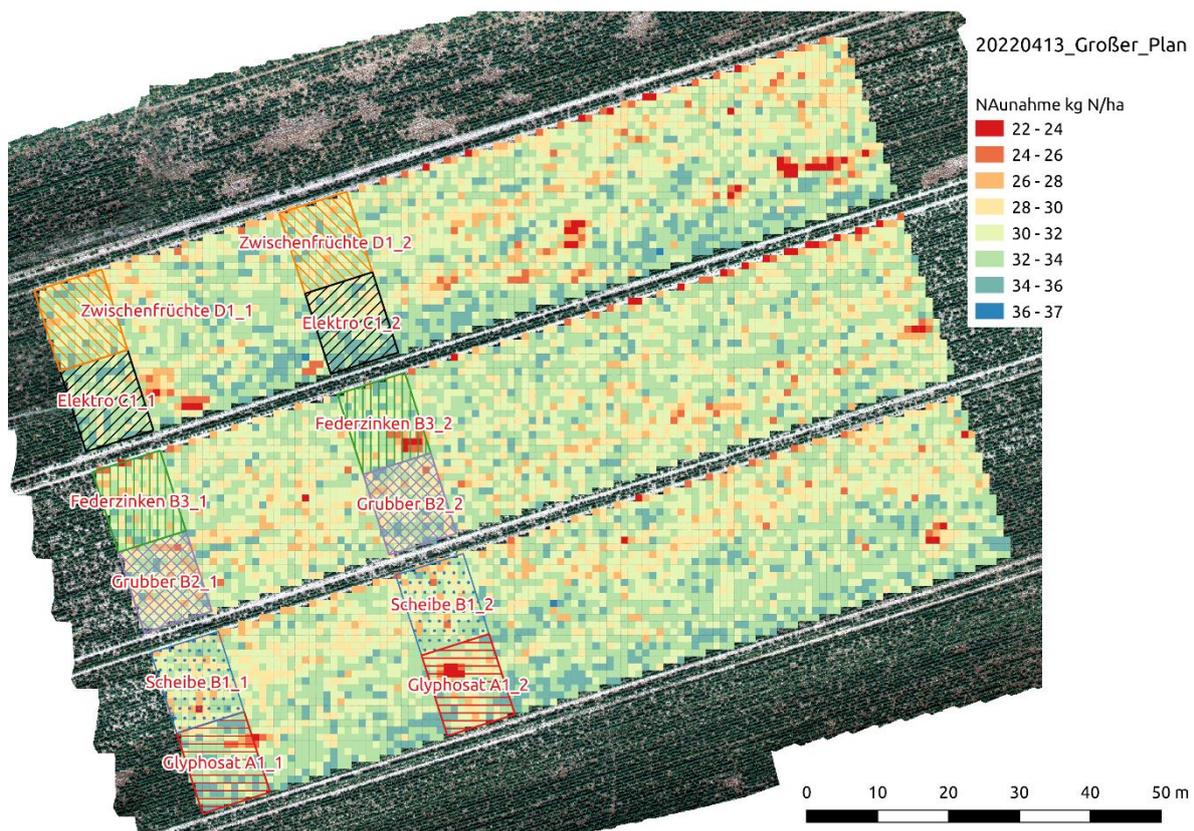


Abbildung 72: N-Aufnahme des Versuchsschlags Großer Plan, 13.04.2022

2.4.13 Ertragskartierung

Als Ertragskartierung wird ein Verfahren bezeichnet, bei dem während der Ernte eine Ertragsmessung stattfindet. Hierfür ist die Erntemaschine mit Sensoren zur Mengemessung, der Verarbeitungssoftware, einem GPS-Empfänger und den entsprechenden Speichermedien ausgestattet (Abbildung 73).



Abbildung 73: Aufbau Ertragskartierung

Die Sensoren für die Mengemessung werden vom Landwirt oder dem Fahrer der Maschine kalibriert. Dies geschieht, in dem man das Hektolitergewicht bestimmt und dieses in der Messsoftware der Erntemaschine eingibt. Des Weiteren wird bei der Kalibrierung festgelegt, wie hoch die Messintervalle sind. Dies bedeutet, in welchen Abständen die Erntemaschine den Ertrag misst. Mit der Breite des Schneidwerkes ergibt sich so eine bestimmte Messteilfläche auf einen Schlag. Die Größe einer solchen Fläche liegt zwischen 5 und 80 m². Ist nun ein Messwert für eine Teilfläche entstanden, so wird mit Hilfe des GPS-Empfängers, der Ort der Ertragsmessung festgehalten und auf einen Datenlogger gespeichert.

Bei Druschbeginn kann das System jedoch erst Ertragsdaten korrekt messen, wenn das dynamische Gleichgewicht (geschlossener Getreidegutfluss vom Druschwerk bis zum Messsystem) erreicht wird. Dies ist vor allem beim Wenden und beim erneuten Einfahren in den Bestand nicht der Fall. Hierdurch kann es zu Fehlmessungen kommen.

Damit der Drescher sich im optimalen Betriebspunkt befindet, wird die gesamte Ackerfläche abgeerntet und die erfassten Ertragsdaten, später, auf die eigentliche Versuchsfläche zugeschnitten. Somit kann gewährleistet werden, dass das Druschsystem gefüllt ist und der relative Fehler geringgehalten wird.

Erträge Körnermais, 2019

Vor Versuchsbeginn wurde am 15.07.2018 auf den Versuchsstandorten Großer Plan und Franke Weide eine Zwischenfruchtmischung gedrillt. Im Frühjahr 2019 wurden Körnermais angebaut.

Aufgrund des starken Bewuchses durch Futterrogen wurde auf beiden Schlägen im Frühjahr (24.03.2019) eine Bodenbearbeitung mit dem CrossCutter durchgeführt.

In der chemischen Variante A1 erfolgte am 14.04.2019 ein Herbizideinsatz mit Glyphosat in der Aufwandmenge 4 l/ha. Die mechanischen Varianten wurden mit entsprechender Maschinenteknik am 12.04.2019 bearbeitet. Zusätzlich erfolgte eine weitere Bodenbearbeitung mit dem CrossCutter auf dem Standort Franke Weide in der Biologischen Variante D1.

Der Körnermais wurde am 15.04.2019 mit 7,5 Pflanzen pro m² mit einem Reihenabstand von 45 cm gedrillt. In die Biologische Variante beider Standorte wurde im 4-Blattstadium vom Mais Weißklee als Untersaat eingestriegelt.

Feldaufgang

Am 15.06.2019 wurden die aufgelaufenen Pflanzen des Körnermais auf beiden Versuchsflächen bonitiert. Ausgezählt wurden zwischen 5,0 und 6,4 Körnermais-pflanzen pro m² im BBCH-Stadium zwischen 13 und 16 (Tabelle 41). Damit zeigten die unterschiedlichen Varianten der Unkrautbekämpfung vor der Aussaat keinen Einfluss auf den Auflauf der Pflanzen. Bis auf die elektrophysikalische Variante waren die Maispflanzen in einem relativ einheitlichen Entwicklungsstadium (BBCH 15-16). In der elektrophysikalisch angelegten Variante mit dem Elektroherb (XPower; Elektroherb) wurden auf beiden Standorten sehr unterschiedlich entwickelte Pflanzen bonitiert (BBCH 13-16).

Tabelle 41: Aufgang Körnermais, 2019

PG		Großer Plan	Franke Weide
		Aufgang Körnermais [Pfl/m ²]	
A1	Chemisch [Glyphosat]	6,4	6,0
B1	Mechanisch [Scheibenegge]	5,9	5,5
B2	Mechanisch [Grubber]	6,3	5,3
B3	Mechanisch [Großfederzinkenegge]	5,0	6,1
C1	Elektropysikalisch [Elektroherb]	5,3	5,7
D1	Biologisch [US, ZF, BP]	5,5	5,7

Ertragskartierung

Abbildung 74 zeigt von Großer Plan und Abbildung 75 von Franke Weide die Ertragsverteilung in den Versuchspartellen von Körnermais im Jahr 2019.

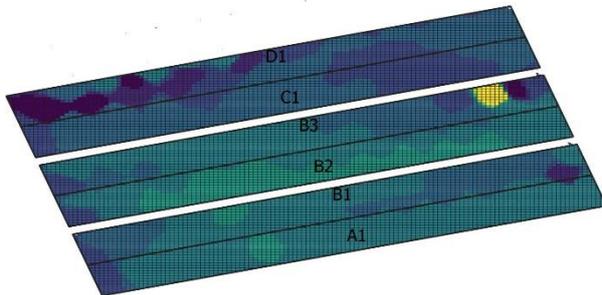


Abbildung 74: Ertragskarte Körnermais 2019, Großer Plan

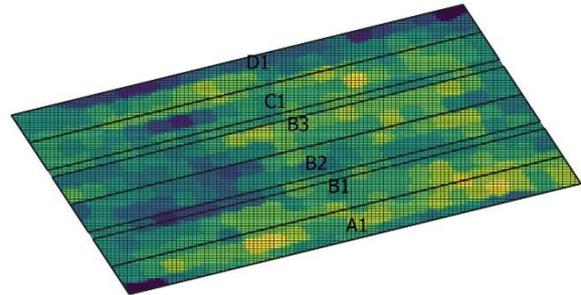
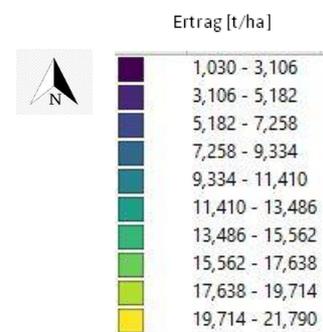
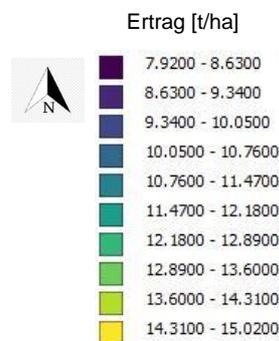


Abbildung 75: Ertragskarte Körnermais 2019, Franke Weide



In Tabelle 42 dargestellt sind die Erträge von Körnermais im Jahr 2019 für beide Versuchsfelder.

Tabelle 42: Erträge Körnermais 2019, bei 15% Lagerfeuchte

PG		Großer Plan	Franke Weide
		Ertrag [t/ha]	
A1	Chemisch [Glyphosat]	7,8	7,5
B1	Mechanisch [Scheibenegge]	7,7	7,0
B2	Mechanisch [Grubber]	6,6	7,2
B3	Mechanisch [Großfederzinkenegge]	6,0	7,4
C1	Elektropysikalisch [Elektroherb]	4,1	8,0
D1	Biologisch [US, ZF, BP]	6,0	5,2

Es gab keine signifikanten Ertragsunterschiede in den Versuchsvarianten. Ausnahme bildet die Elektrophysikalische Variante C1 am Standort Großer Plan, welche unter dem Ertragsdurchschnitt lag. Ebenso die Variante D1 aus Verfahrenskombination mechanischer Bodenbearbeitung mit Einsaat von Klee als Untersaat am Standort Franke Weide deutlich niedriger als in den anderen Varianten.

Die Ertragsunterschiede in der elektrophysikalischen Variante und biologischen Variante ist auf Wildschaden zurückzuführen.

Erträge Sommergerste, 2020

Im zweiten Anlagejahr wurde nach dem Körnermais mit anschließender Einsaat des Futterroggens (nur Großer Plan) auf den Versuchsflächen Sommergerste im Jahr 2020 angebaut.

Bekämpfung von Unkräutern und Ausfallgetreide vor der Aussaat erfolgte den Varianten entsprechend der Umsetzung der Maßnahmen. In der chemischen Variante A1 erfolgte am 26.03.2020 ein Herbizideinsatz mit Glyphosat in der Aufwandmenge 4 l/ha. Auf den Varianten B1, B2 und B3 (mechanische Varianten) wurde am 31.03.2020 eine Bodenbearbeitung durchgeführt.

Aufgrund des hohen Unkrautdrucks musste die Bodenbearbeitung in den Varianten B1 und B3 wiederholt (Großer Plan) werden. Auf dem Standort Franke Weide wurde die Bodenbearbeitung in B3 wiederholt werden. In Variante C1 kam der Elektroherb der Firma Elektroherb am 23.03.2020 zum Einsatz. Auf dem Großen Plan mussten mit deren Anwendung neben Unkräutern auch die vor dem Winter spärlich aufgelaufene Untersaat durch Strom abgetötet werden.

Auf der Franke Weide wurde nach dem Silomais keine Untersaat etabliert. Hier musste vor Anlage nur aufgelaufene Unkräuter bekämpft werden. In der biologischen Variante D1 erfolgte vor der Etablierung der Untersaat zu Sommergerste eine flache Bodenbearbeitung mit dem Cross Cutter auf einer Bearbeitungstiefe von 4-5 cm am 31.03.2020.

Auf der Versuchsfläche Großer Plan wurde die Sommergerste am 03.04.2020 der Bodenbearbeitungsvarianten (B1, B2, B3) und die biologische Variante D1 mit der Ultima gedreht. Die Varianten A1 und C1 – die Varianten ohne Bodenbearbeitung wurde mit der Direktsaatmaschine der Frankenhauser in einer Reihenweite von 17 cm gedreht.

Die Sommergerste wurde am 03.04.2020 mit 210 Körnern/m² auf der Franken Weide mit der Ultima von der Firma Köckerling mit einer Reihenweite von 17 cm gedreht.

Feldaufgang

Die Bonitur der aufgelaufenen Pflanzen auf der Versuchsfläche „Großer Plan“ und „Franke Weide“ wurde am 24.04.2020 durchgeführt (Tabelle 43). Auf der Versuchsfläche Großer Plan wurde vor der Aussaat der Sommergerste der im Herbst als Zwischenbegrünung ausgesäte Futterroggen je nach Versuchsvariante bekämpft. In der Auszählung lagen die aufgelaufenen Pflanzen zwischen 72 und 80 Pflanzen/m². In der elektrophysikalischen Variante C1 lag die Auflauftrate bei nur 60 Pflanzen/m² und damit deutlich niedriger als in den weiteren Anlagevarianten. Zu dem Zeitpunkt zeigten sich Unterschiede in der Entwicklung der Sommergerste, entsprechend der Maschinenteknik zur Aussaat. Die Varianten A1 und C1 wurden mit der Direktsaatmaschine gedreht. Ohne Bearbeitung des Bodens wärmte sich dieser weniger schnell auf. Dies zeigte sich in einer zögerlicheren Entwicklung mit BBCH 11. Die Varianten (B1, B2, B3, D1), die mit der Ultima gedreht wurden zeigten mit BBCH 12 einen kleinen Entwicklungsvorsprung. Auf der Versuchsfläche Franke Weide wurden zwischen 72 und 90 Pflanzen bonitiert (Tabelle 43).

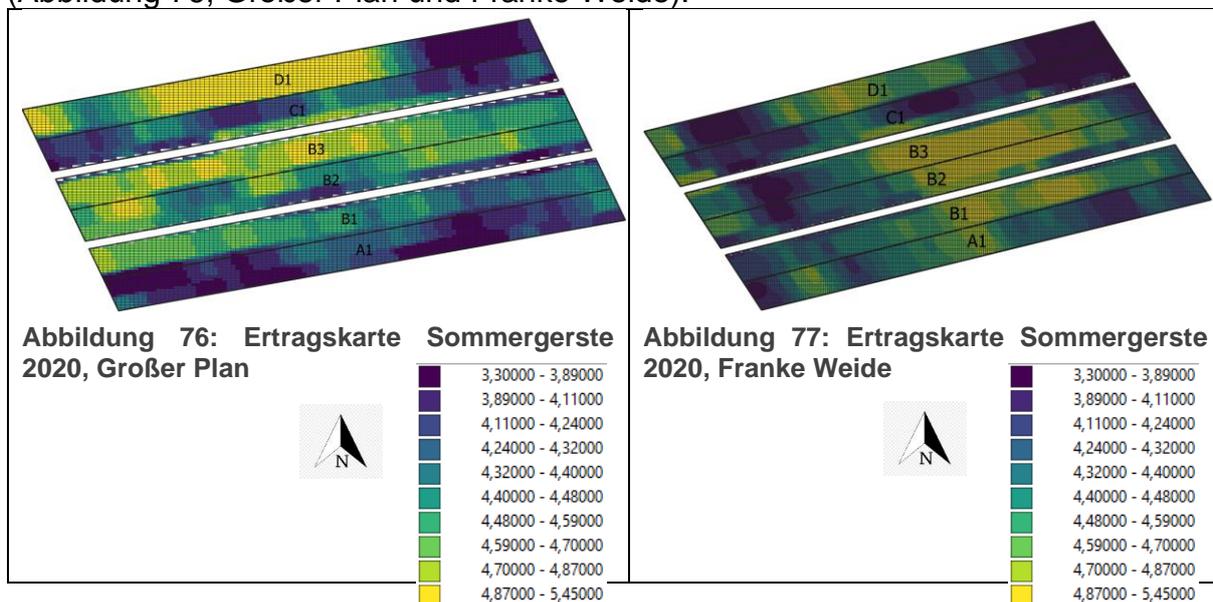
Auch auf diesem Standort sind deutlich weniger Pflanzen in der elektrophysikalischen Variante aufgelaufen. Zudem lagen hier die Pflanzen in der Entwicklung (BBCH 11) etwas hinter den weiteren Anlagevarianten (BBCH 12-13), die recht einheitlich im Aufwuchs waren.

Tabelle 43: Aufgang Sommergerste, 2020

PG		Großer Plan	Franke Weide
		Aufgang Sommergerste [Pfl/m ²]	
A1	Chemisch [Glyphosat]	74	72
B1	Mechanisch [Scheibenegge]	75	85
B2	Mechanisch [Grubber]	72	85
B3	Mechanisch [Großfederzinkenegge]	75	90
C1	Elektropysikalisch [Elektroherb]	60	65
D1	Biologisch [US, ZF, BP]	80	86

Ertragskartierung

Nachfolgende Abbildungen zeigen die Ertragskarten zur Ernte der Sommergerste (Abbildung 76, Großer Plan und Franke Weide).



In Tabelle 44 dargestellt wurden die Erträge der Sommergerste und zusätzlich die ährentragenden Halme, welche im Juni 2020 in vierfacher Wiederholung in jedem Prüfglied bonitiert wurden.

Tabelle 44: Ährentragende Halme und Erträge, Sommergerste 2020

PG		Ertrag	Ährentr. Halme	Ertrag	Ährentr. Halme
		[dt/ha]	[Halme/m ²]	[dt/ha]	[Halme/m ²]
		Großer Plan		Franke Weide	
A1	Chemisch [Glyphosat]	39,1	545	43,7	559
B1	Mechanisch [Scheibenegge]	44,0	624	44,4	610
B2	Mechanisch [Grubber]	44,6	580	46,8	640
B3	Mechanisch [Großfederzinkenegge]	47,4	566	45,6	542
C1	Elektropysikalisch [Elektroherb]	39,3	537	39,6	660
D1	Biologisch [US, ZF, BP]	47,8	620	43,0	712

Sehr deutlich zeigte sich auf beiden Versuchsstandorten, dass durch die nicht ausreichende Unkrautbekämpfung durch die elektrophysikalische Variante, dieses sich auch ertraglich in der Sommergerste widerspiegelt.

Nach der Ernte der Sommergerste wurde auf den Versuchsflächen eine Zwischenfrucht gedreht (DSV, TerraLife N-Fixx).

In Variante A1 (Großer Plan) ist der geringste Ertrag auf schlechtere bzw. verzögerte Entwicklung durch langsame Erwärmung des Bodens (keine Bodenbearbeitung) zu erklären. Am Standort Franke Weide und deren Standorteigenschaften (höhere Sandanteile) hat sich der Boden hier schneller erwärmt und die Pflanzen konnten sich hier besser entwickeln.

Erträge Winterweizen, 2021

Im dritten Anlagejahr (2020) wurde auf den Versuchsflächen Winterweizen angebaut. Bekämpfung von Unkräutern und Ausfallgetreide vor der Aussaat erfolgte den Varianten entsprechend der Umsetzung der Maßnahmen. In der chemischen Variante A1 erfolgte am 05.10.2020 ein Herbizideinsatz mit Glyphosat in der Aufwandmenge 3,4 l/ha. Auf den Varianten B1, B2 und B3 (mechanische Varianten) wurde am 07.10.2020 eine Bodenbearbeitung durchgeführt. Aufgrund des hohen Unkrautdrucks musste die Bodenbearbeitung in den Varianten B1 und B3 wiederholt (Großer Plan) werden.

Auf dem Standort Franke Weide wurde die Bodenbearbeitung in allen mechanischen Varianten wiederholt. In Variante C1 kam der Elektroherb am 07.10.2020 zum Einsatz. In der biologischen Variante D1 erfolgte vor der Etablierung der Untersaat zu Sommergerste eine zweifache flache Bodenbearbeitung mit dem CrossCutter auf einer Bearbeitungstiefe von 4-5 cm ebenfalls am 07.10.2020.

Auf beiden Versuchsflächen erfolgte die Aussaat des Winterweizens mit der Sorte Argument in einer Aussaatstärke von 179 kg/ha in einer Reihenweite von 17 cm in 2-3 cm Aussaattiefe. Gedreht wurde am 12.10.2020 mit der Direktsaatmaschine Boss Sly.

Nach der Bodenbearbeitung in der Biologischen Variante beider Standorte wurde am 13.04.2021 Weißklee als Untersaat eingesät.

Feldaufgang

Es wurden Bestandesdichten zwischen 291 Pflanzen pro m² und 381 Pflanzen pro m² bonitiert. Auffällig war, dass die Bestandesdichten der beiden Standorte in den Anlagevarianten vergleichbar waren.

In der elektrophysikalischen Variante C1 am Standort Großer Plan wurden viele Gräser bonitiert, daher begründet sich die hohen Bestandesdichten in einer Fehlbonitur von Winterweizen und Gräsern.

Tabelle 45: Bestandesdichte Winterweizen, 2021

PG		Großer Plan	Franke Weide
		Bestandesdichte [Pfl/m ²]	
A1	Chemisch [Glyphosat]	304	296
B1	Mechanisch [Scheibenegge]	366	365
B2	Mechanisch [Grubber]	337	327
B3	Mechanisch [Großfederzinkenegge]	381	363
C1	Elektropysikalisch [Elektroherb]	382	291
D1	Biologisch [US, ZF, BP]	375	326

Ertragskartierung

Der Winterweizen wurde Anfang August 2021 geerntet. Abbildung 78 und Abbildung 79 zeigen die Ertragskartierungen von Großer Plan bzw. Franke Weide. Die Erträge wurden statistisch mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) auf statistisch gesicherte Unterschiede zwischen den Prüfgliedern untersucht.

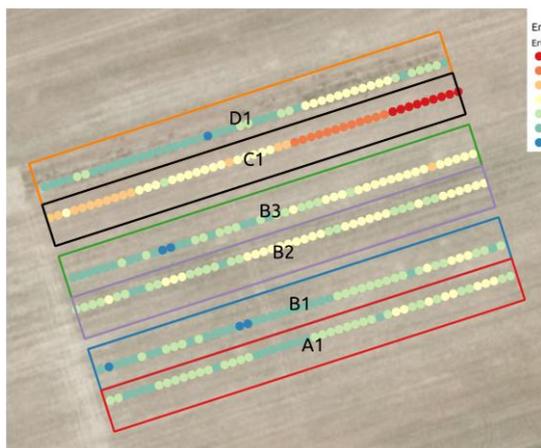


Abbildung 78: Ertragskarte Winterweizen 2021, Großer Plan

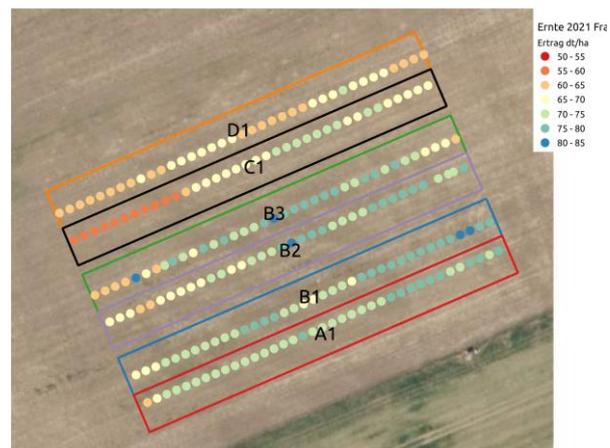


Abbildung 79: Ertragskarte Winterweizen 2021, Franke Weide

Die Erträge von Winterweizen aus dem Erntejahr 2021 sind in Tabelle 46 für die Standorte Großer Plan und Franke Weide nach Prüfgliedern dargestellt. In Abbildung 80 und Abbildung 81 sind die Erträge in Boxplots grafisch dargestellt.

Tabelle 46: Erträge Winterweizen 2021

PG		Großer Plan	Franke Weide
		Ertrag [dt/ha]	
A1	Chemisch [Glyphosat]	83,4	73,1
B1	Mechanisch [Scheibenegge]	85,2	74,4
B2	Mechanisch [Grubber]	79,8	73,3
B3	Mechanisch [Großfederzinkenegge]	82,9	74,5
C1	Elektrophysikalisch [Elektroherb]	73,5	68,3
D1	Biologisch [US, ZF, BP]	85,3	64,2

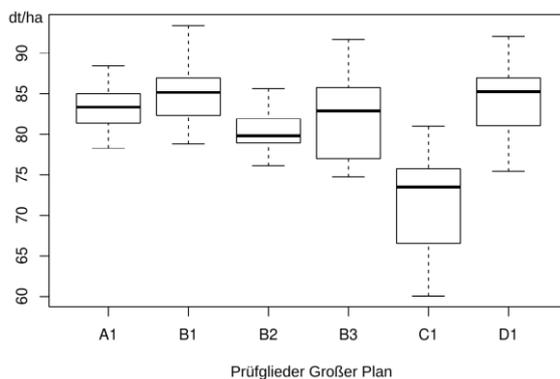


Abbildung 80: Boxplot Ertragsdaten Wintertraps 2021, Großer Plan

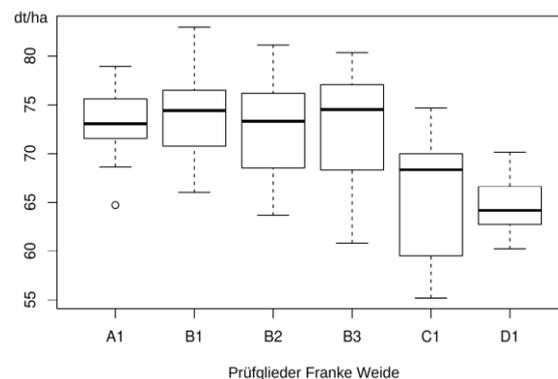


Abbildung 81: Boxplot Ertragsdaten Wintertraps 2021, Franke Weide

Wieder zeigte sich, wie in den Versuchsjahren davor, dass auf beiden Versuchsflächen die Variante C1 im Vergleich zu den anderen Varianten niedrigere Erträge aufwies. Die Gräserbekämpfung in der elektrophysikalischen Variante C1 war nicht ausreichend. Die Mindererträge sind aus der Konkurrenz Winterweizen – Gräser zu erklären.

Erträge Wintertraps, 2022

Auf den Versuchsstandorten war vor der Aussaat von Wintertraps nach der Ernte des Winterweizens ein geringer Unkrautbesatz bonitiert. In den mechanischen Varianten konnte mit nur einer Überfahrt ein guter Wirkerfolg erzielt werden. In Franke Weide musste der Einsatz des Elektroherb abgebrochen werden. Bei sehr trockenen Bedingungen hat sich beim Einsatz des Gerätes das Stroh auf der Fläche entzündet. Nachfolgende Regenwurm-Beprobungen konnten in dieser Variante auf dem Standort Franke Weide nicht durchgeführt werden.

Vor der Aussaat wurde der Striegel eingesetzt (10.08.2021 Großer Plan und 14.08.2021 Franke Weide).

Auf der Versuchsfläche Großer Plan erfolgte die Aussaat des Winterraps mit der Sorte Smarakt in einer Aussaatstärke von 32 Körnern pro m² in einer Reihenweite von 45 cm in 2-3 cm Aussaattiefe.

Gedrillt wurde am 25.08.2021 (Großer Plan) mit der Direktsaatmaschine Gherardi. Als Begleitpflanzen wurden Erbsen der Aussaat des Winterraps am Standort Großer Plan gleichzeitig ausgedrillt.

Am Standort Franke Weide wurde am 26.01.2021 mit der Köckerling Ultima mit 45 Körnern pro m² Winterraps gedrillt. In der biologischen Variante D1 wurde eine Beisaatmischung zum Winterraps gedrillt.

Feldaufgang

Am Standort Großer Plan wurde vierfach wiederholte der Aufgang des Winterraps in jeder Anlagevariante bonitiert. Am Standort Großer Plan wurden zwischen 7 und 9 Pflanzen pro m² gezählt (Tabelle 47). Mit nur sieben Pflanzen pro m² lag die elektrophysikalische Variante mit den schlechtesten Auflaufzeiten.

Am Standort Franke Weide überzeugte die chemische Variante mit 9 Pflanzen pro m², gefolgt von der mechanischen Variante B1 mit 6 Pflanzen pro m². In den weiteren mechanischen Varianten, der elektrophysikalischen Variante und der biologischen Variante konnten nur unbefriedigende Rapsbestände zwischen 3 und 5 Pflanzen pro m² festgestellt werden (Tabelle 47).

Tabelle 47: Aufgang Winterraps, 2021

PG		Großer Plan	Franke Weide
		Aufgang Winterraps [Pflanzen/m ²]	
A1	Chemisch [Glyphosat]	9,3	8,8
B1	Mechanisch [Scheibenegge]	9,5	6,3
B2	Mechanisch [Grubber]	8,3	4,8
B3	Mechanisch [Großfederzinkenegge]	8,0	4,5
C1	Elektropysikalisch [Elektroherb]	7,3	3,3
D1	Biologisch [US, ZF, BP]	7,8	4,5

Ertragskartierung

Die Ertragskarte zum Zeitpunkt der Ernte ist in Abbildung 82 für den Standort Großer Plan und in Abbildung 83 für den Standort Franke Weide dargestellt.

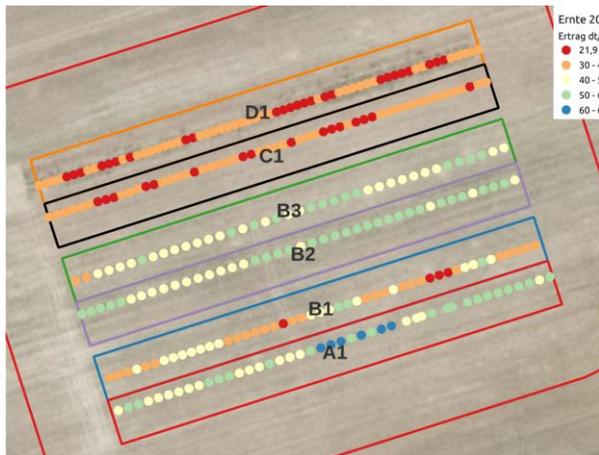


Abbildung 82: Ertragskarte Winterweizen 2022, Großer Plan

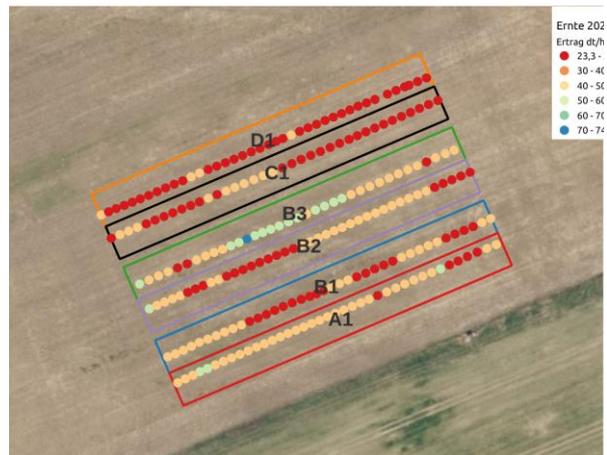
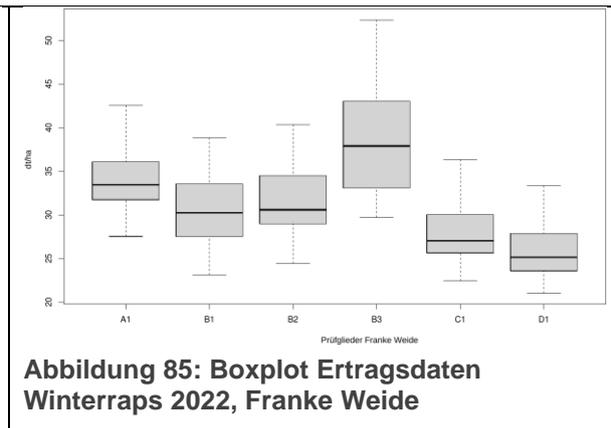
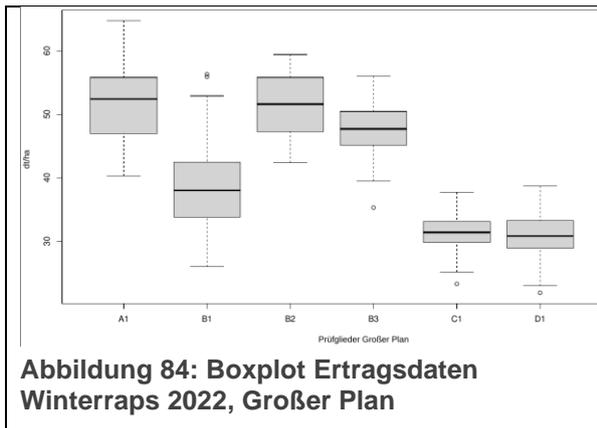


Abbildung 83: Ertragskarte Winterweizen 2022, Franke Weide

Die Versuchsflächen wurden am 20.07.2022 (Großer Plan) bzw. am 18.07.2022 (Franke Weide) beerntet. Die Erträge von Winterweizen aus dem Erntejahr 2022 sind in Tabelle 48 für die Standorte Großer Plan und Franke Weide nach Prüfgliedern dargestellt. In Abbildung 84 und Abbildung 85 sind die Erträge in Boxplots grafisch dargestellt.

Tabelle 48: Erträge Winterweizen, 2022

PG		Großer Plan	Franke Weide
		Ertrag [dt/ha]	
A1	Chemisch [Glyphosat]	52,1	34,0
B1	Mechanisch [Scheibenegge]	38,5	30,6
B2	Mechanisch [Grubber]	51,7	34,0
B3	Mechanisch [Großfederzinkenegge]	47,7	38,4
C1	Elektropysikalisch [Elektroherb]	31,3	28,0
D1	Biologisch [US, ZF, BP]	30,9	25,9



Erträge in Getreideeinheiten [GE]

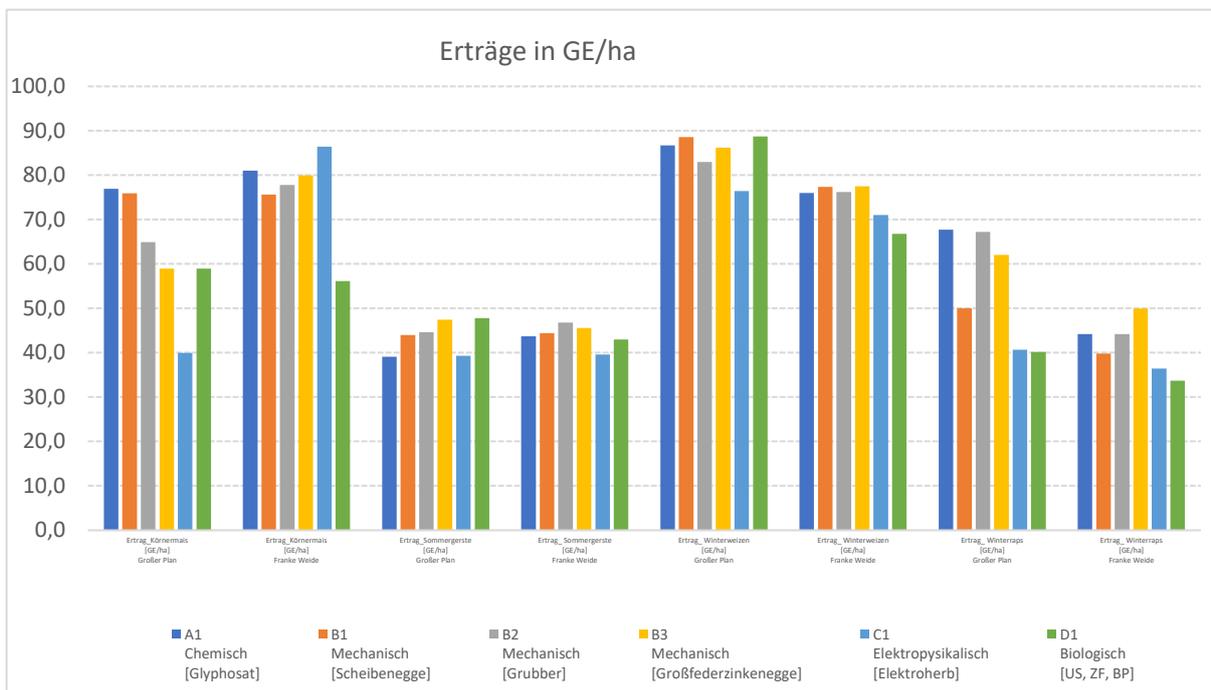


Abbildung 86: Erträge in Getreideeinheiten, Groß Plan und Franke Weide

Zur Vergleichbarkeit der Auswirkungen der verschiedenen Unkrautbekämpfungsmaßnahmen auf die ertragliche Entwicklung wurden die Erträge der einzelnen Jahre und Kulturen in Getreideeinheiten (GE) umgerechnet (Abbildung 86). Die Benutzung der Getreideeinheiten ermöglicht die Zusammenfassung einzelner Erzeugnisse zu einem Gesamtwert.

2.4.14 Ökonomische Bewertung

Neben den ökologischen Effekten der angelegten Varianten sind die ökonomischen Bewertungen der Anlagevarianten für den Landwirt entscheidend. Die ökonomische Bewertung der chemischen, mechanischen, elektrophysikalischen und biologischen Verfahren zur Unkrautregulierung erfolgt aus betrieblichen Daten aus dem Versuch. Im Vergleich erfolgte eine weitere Berechnung der Ökonomie der Deckungsbeiträge mit KTBL-Daten.

Die Ungras- bzw. Unkrautbehandlung vor der Etablierung der angebauten Feldfrüchte erfolgte mit den Varianten wie in Tabelle 49 dargestellt.

Tabelle 49: Bemerkungen zur ökonomischen Bewertung

PG	Bemerkung
A1	Chemisch [Glyphosat]
B1	Mechanisch [Scheibenegge]
B2	Mechanisch [Grubber]
B3	Mechanisch [Großfederzinkenegge]
C1	Elektropysikalisch [Elektroherb]
D1	Biologisch [US, ZF, BP]

Ökonomische Bewertung Körnermais, 2019

Abbildung 87 zeigt die Deckungsbeiträge vom Körnermais, der im ersten Versuchsjahr im Jahr 2019 angebaut wurde. Die Berechnung erfolgte aus betriebseigenen Daten, die im Versuch erhoben wurden. Die Ungras- bzw. Unkrautbehandlung erfolgte vor der Etablierung des Körnermais mit den beschriebenen Varianten (Abbildung 87).

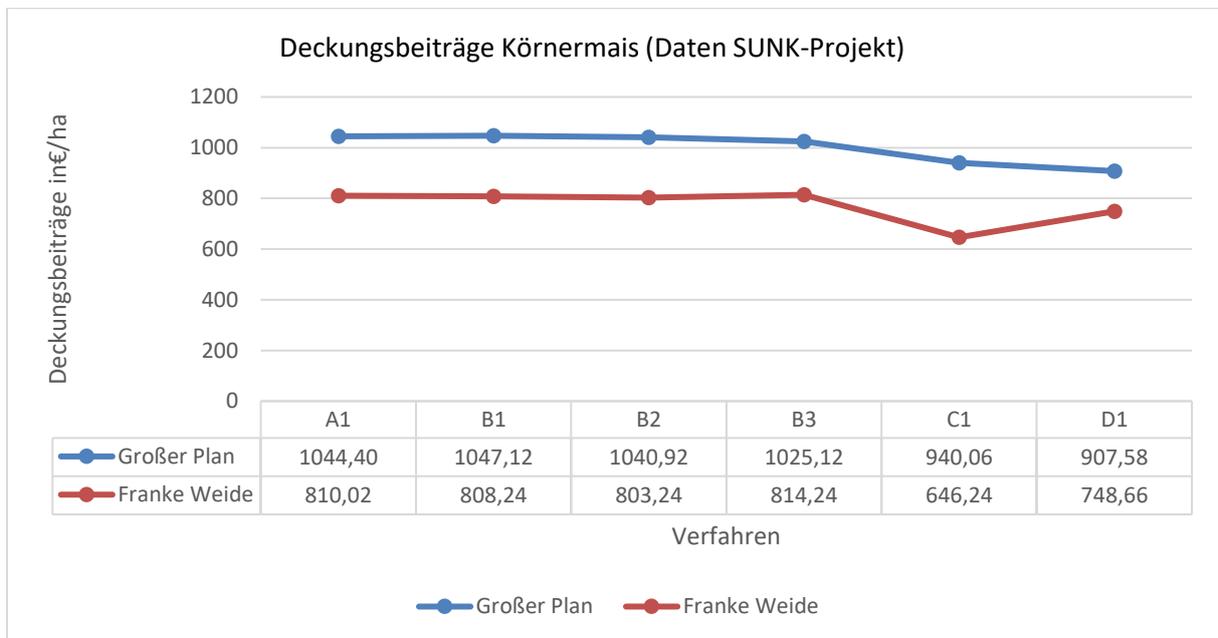


Abbildung 87: Deckungsbeiträge von Körnermais (2019), Daten SUNK-Projekt

Abbildung 88 zeigt den Deckungsbeitrag der angelegten Varianten des Körnermais anhand von KTBL-Daten gerechnet.

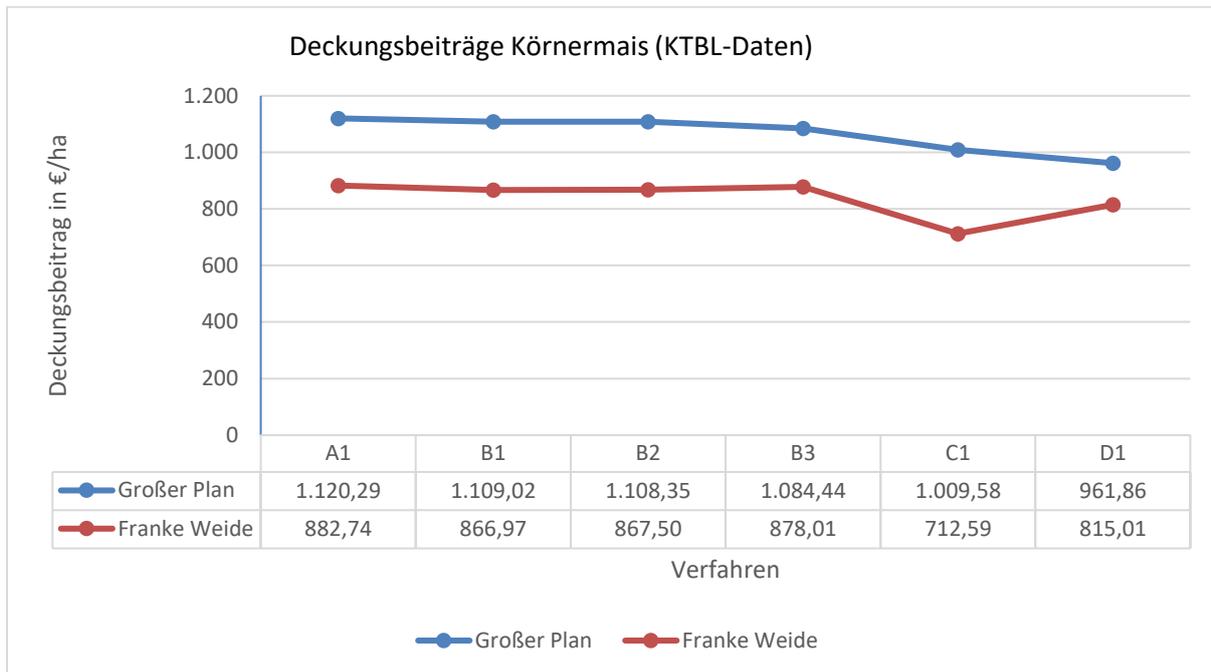


Abbildung 88: Deckungsbeiträge von Körnermais (2019), KTBL-Daten

Der angebaute Körnermais im Jahr 2019 zeigt in den angelegten Varianten chemisch (A1) und mechanisch (B1-B3) vergleichbare Deckungsbeiträge.

Die höchsten Körnermaiserträge erzielten mit 7,8 t/ha (Großer Plan) und 7,5 t/ha (Franke Weide) die chemische Variante A1 mit der Anwendung von Glyphosat. Die mechanischen Varianten lagen etwas niedriger, aber auf vergleichbarem Niveau.

Der Schlag Großer Plan weist in jeder angelegten Variante einen höheren Deckungsbeitrag auf. Nach SUNK-Daten gerechnet liegt der Deckungsbeitrag in diesen Varianten auf dem Schlag Großer Plan um die 1040 €/ha, nach KTBL-Daten gerechnet um 1110 €/ha. Auf dem Schlag Großer Plan bei 940 €/ha und damit um 32 €/ha über der biologischen Variante (D1) mit der Weißkleeuntersaat. Auf dem Schlag Franke Weide zeigt die biologische Variante mit 749 €/ha den schlechtesten Deckungsbeitrag. Die elektrophysikalische Variante lag hier um 103 €/ha höher.

Im Vergleich zeigen die KTBL-Daten ähnliche Tendenzen in den Deckungsbeiträgen wie die Daten aus dem SUNK-Projekt.

Ökonomische Bewertung der Sommergerste, 2020

Die Deckungsbeiträge der angelegten Varianten der Sommergerste aus dem Jahr 2020 sind in Abbildung 89, gerechnet aus betriebseigenen sunk-Daten dargestellt.

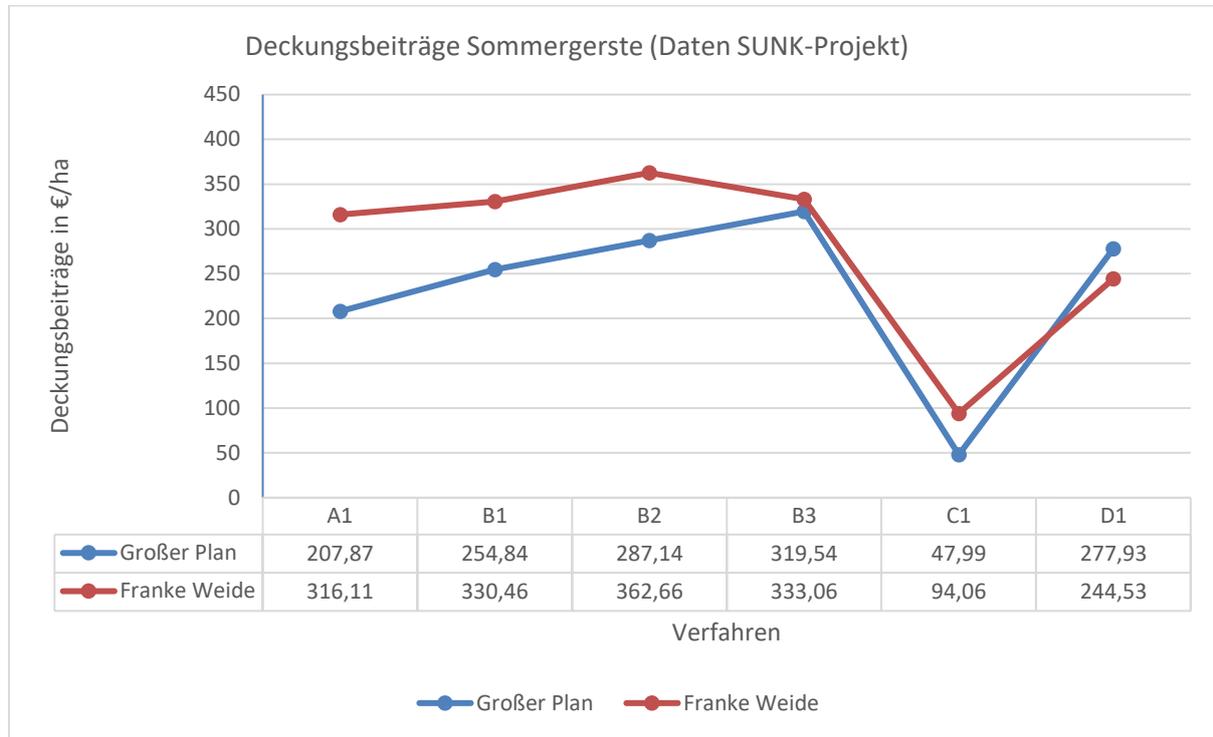


Abbildung 89: Deckungsbeiträge von Sommergerste (2020), Daten SUNK-Projekt

Abbildung 90 zeigt die aus KTBL-Daten errechneten Deckungsbeiträge der Sommergerste aus dem Jahr 2020.

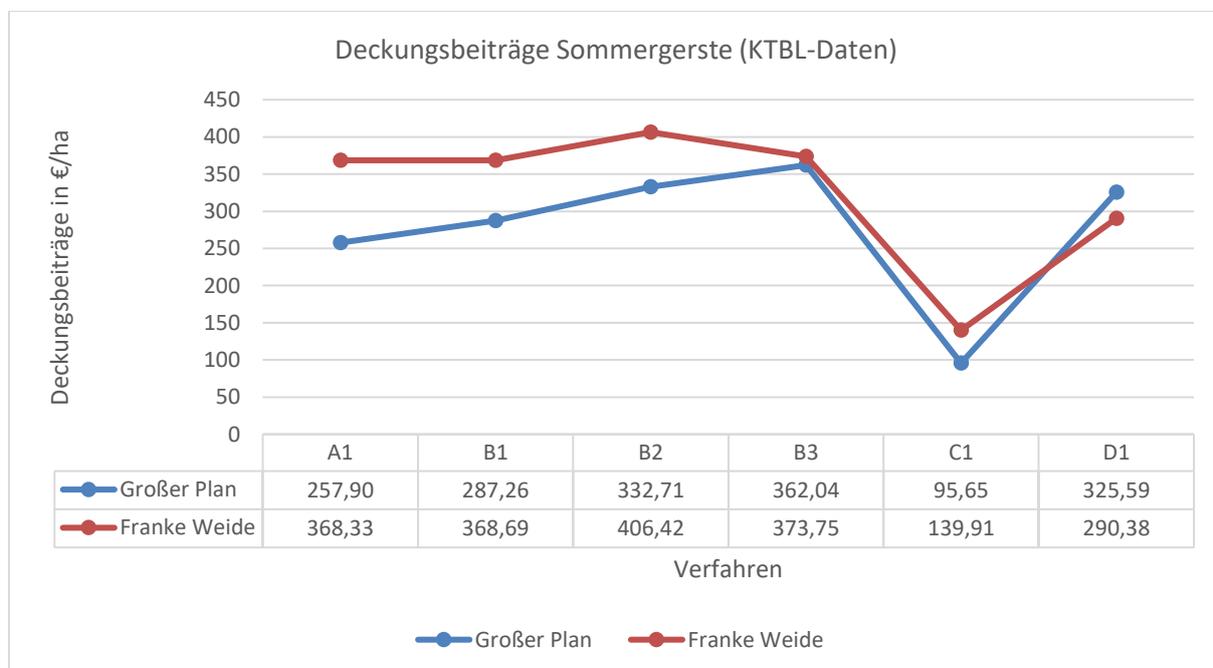


Abbildung 90: Deckungsbeiträge von Sommergerste (2020), KTBL-Daten

Die mechanischen Varianten (B1-B3) erzielten bei der Sommergerste, geerntet im Jahr 2020, auf beiden Schlägen die höchsten Deckungsbeiträge (Deckungsbeitrag 330-360 €/ha – Franke Weide; 250-320 €/ha – Großer Plan)

Auf dem Schlag Großer Plan weist die Variante B3 (Feingrubber) den höchsten Deckungsbeitrag mit 320 €/ha und auf Franke Weide B2 (Grubber) mit 363 €/ha auf. Die Variante D1 mit Weißkleeuntersaat erzielte auf dem Schlag Großer Plan den dritt höchsten Deckungsbeitrag mit 278 €/ha hat und somit einen um 70 €/ha höheren Deckungsbeitrag als die Glyphosatvariante A1.

Die elektrophysikalische Variante (C1) schnitt auf beiden Schlägen mit sehr unterdurchschnittlichen Deckungsbeiträgen ab. Auf dem Großen Plan liegt der Deckungsbeitrag bei 48 €/ha auf Großer Plan und 94 €/ha auf Franke Weide.

Wie schon beim Körnermais liegen die Deckungsbeiträge gerechnet mit Daten aus dem SUNK-Projekt und KTBL-Daten auf vergleichbarem Niveau.

Ökonomische Bewertung von Winterweizen, 2021

Die Deckungsbeiträge von Winterweizen, gerechnet aus den betriebseigenen SUNK-Daten, der angelegten Varianten aus dem Jahr 2021 sind in Abbildung 91 dargestellt.

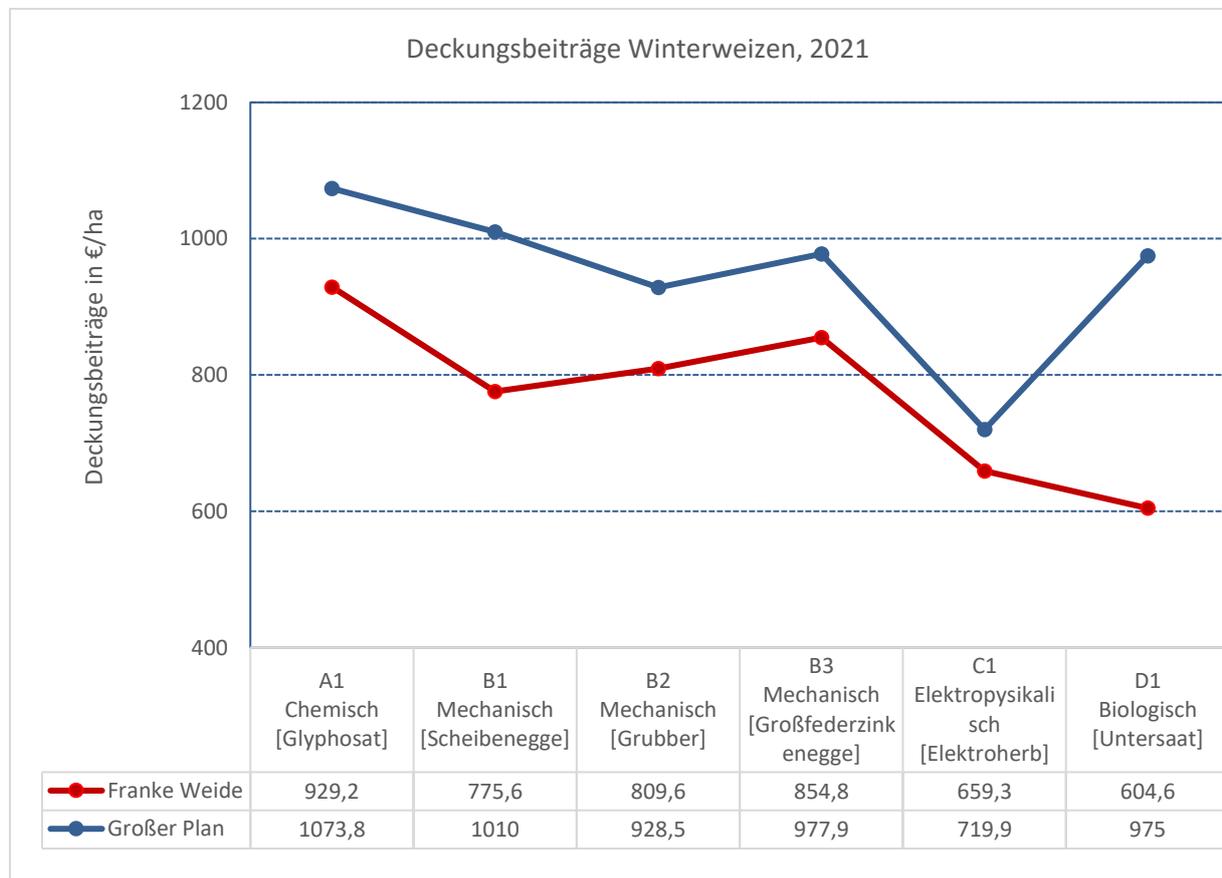


Abbildung 91: Deckungsbeiträge von Winterweizen (2021), Daten SUNK-Projekt

Die Deckungsbeiträge der Anlagevarianten von Winterweizen, gerechnet aus KTBL-Daten, aus dem Jahr 2021 sind Abbildung 92 dargestellt.

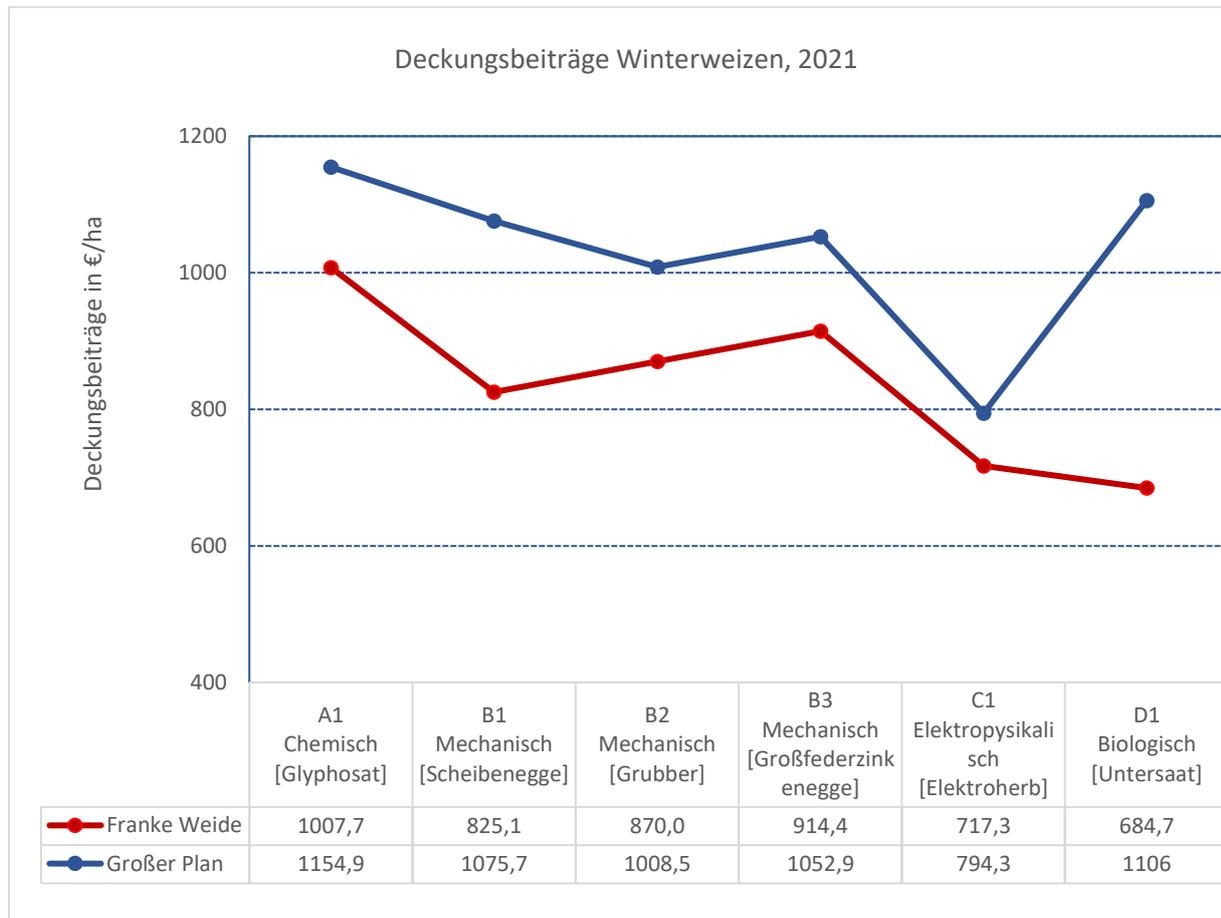


Abbildung 92: Deckungsbeiträge von Winterweizen (Jahr 2021), KTBL-Daten

Über beide Schläge lagen die Erträge in der chemischen Variante A1 und den mechanischen Variante B1-B3 mit um die 80 dt/ha auf vergleichbarem Niveau.

Die betriebsüblichen Kosten der einzelnen Verfahren liegen zwischen 495 €/ha und 713 €/ha. Die mit Abstand günstigste Variante auf beiden Schlägen ist das chemische Verfahren A1 mit der Anwendung von Glyphosat. Aufgrund der guten Erträge und den günstigen Verfahrenskosten schnitt die Variante A1 mit den besten Deckungsbeiträgen ab (929 €/ha – Franke Weide; 1074 €/ha – Großer Plan).

Die mechanische Variante B1, mit der Scheibenegge, kommt sehr teuer und hat auf dem Schlag Franke Weide die höchsten Kosten und auf dem Großer Plan die zweit höchsten. Der guten Erträge wegen liegen die Deckungsbeiträge auf gutem Niveau (776 €/ha – Franke Weide; 977 €/ha -1010 €/ha – Großer Plan).

Sehr hoch liegen die Verfahrenskosten in der elektrophysikalischen Variante. Hier liegen die Erträge im Vergleich zur chemischen Variante A1 um 10 dt/ha auf dem Schlag Großer Plan und 5 €/ha auf Franke Weide niedriger. Hohe Verfahrenskosten und niedrige Erträge bedingen hier die sehr niedrigen Deckungsbeiträge (660 €/ha - Franke Weide; 720 €/ha – Großer Plan).

In der biologischen Variante lagen die Erträge auf sehr unterschiedlichem Niveau zwischen den beiden Schlägen (85 €/ha – Großer Plan und 64 €/ha – Franke Weide). Daher liegen die Deckungsbeiträge auch sehr unterschiedlich.

Zusammenfassung der ökonomischen Berechnungen

Die Berechnungen der Deckungsbeiträge der einzelnen Varianten der angebauten Fruchtarten macht deutlich, dass aus ökonomischen Betrachtungen es durchaus alternativen zur Anwendung von Glyphosat gibt. Aus ökonomischer Sicht konnten die mechanischen Varianten überzeugen. Ihr Deckungsbeitrag lag meist auf vergleichbarem Niveau in der Analyse der Wirtschaftlichkeit. Die elektrophysikalische Alternative konnte in keiner Fruchtart im Deckungsbeitrag überzeugen. Sowohl von den Erträgen unterlagen sie den anderen Varianten und auch ist die Technik der Anwendung des Elektroherb- Gerätes sehr kostenintensiv und benötigt einen hohen Aufwand im Arbeitszeitbedarf.

Die biologische Variante aus Verfahrenskombination aus mechanischer Bodenbearbeitung und Immergrün in Form von Untersaaten mit Weißklee, Zwischenfrüchten und Begleitsaaten zeigte keinen eindeutigen Effekt.

Ökonomisch betrachtet könnte eine gut etablierte Untersaat sich positiv auf den Ertrag auswirken. Durch die extreme Trockenheit war eine dauerhafte Etablierung der Untersaat im Versuch nicht zufriedenstellend.

2.4.15 Arbeitszeitbedarf der Varianten

In jeder angebauten Kulturart wurde zusätzlich für die Varianten der Arbeitszeitbedarf berechnet. Abbildung 93 zeigt grafisch dargestellt den Arbeitszeitbedarf im Körnermais, der im Jahr 2019 angebaut wurde.

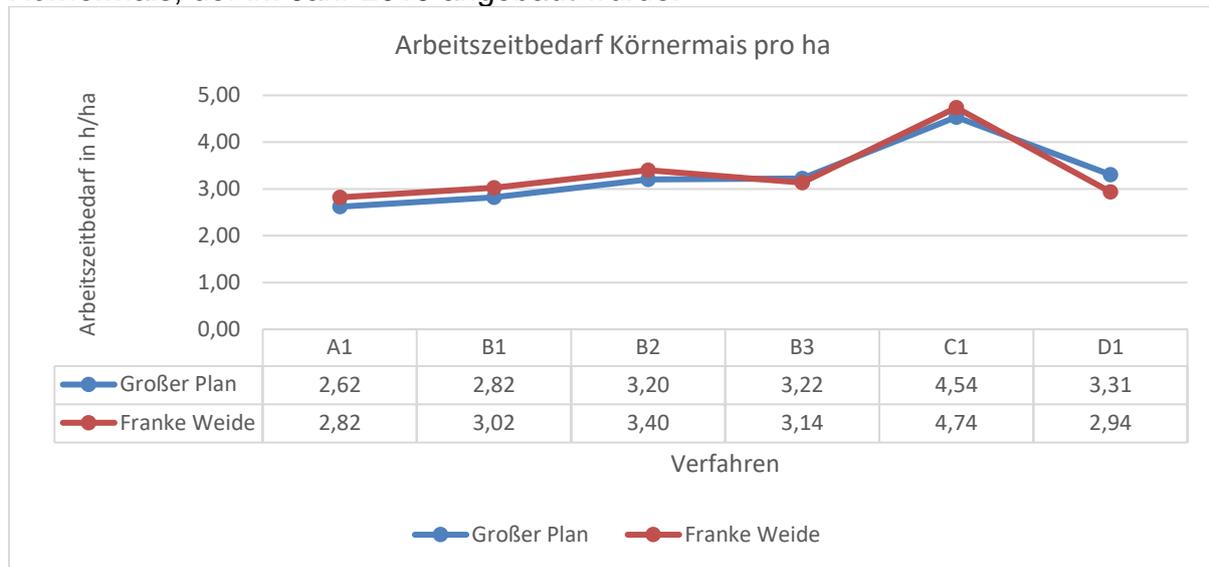


Abbildung 93: Arbeitszeitbedarf je Hektar, Körnermais 2019

Die grafische Darstellung in Abbildung 94 zeigt den berechneten Arbeitsaufwand je Hektar für den Winterweizen, der im Jahr 2021 geerntet wurde.

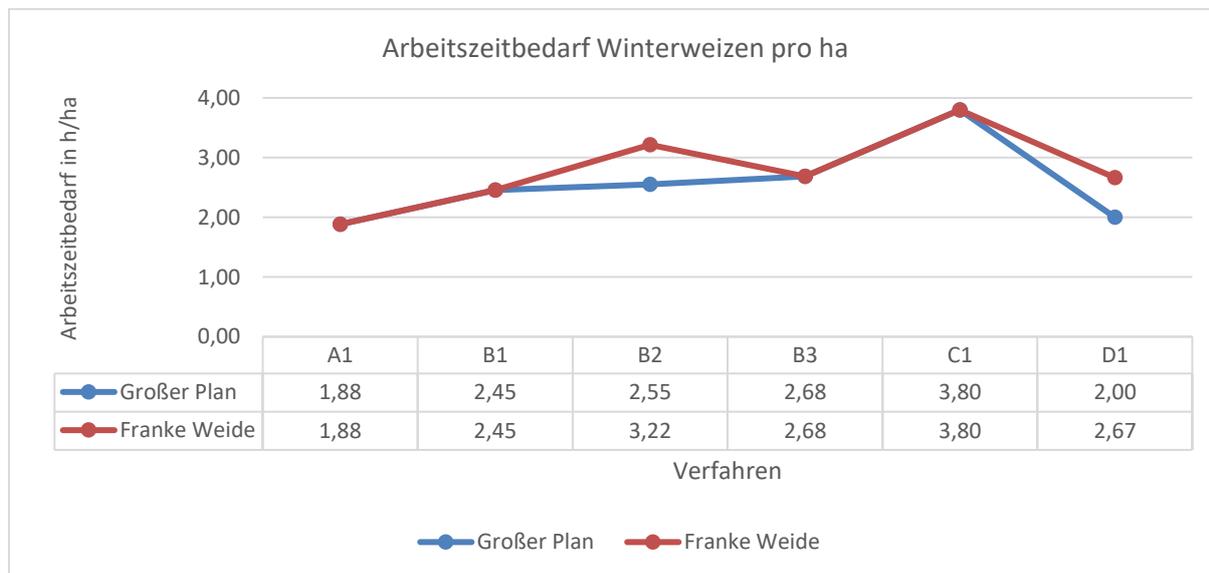


Abbildung 94: Arbeitszeitbedarf je Hektar, Winterweizen 2021

In der Variante A1 wurde jeweils vor der Aussaat der Feldfrucht die Parzelle chemisch mit Glyphosat behandelt. Im Vergleich der Varianten liegt die chemische Variante vom Arbeitszeitbedarf am niedrigsten. Die biologische Variante mit Untersaat, bei der im Vorfeld eine mechanische Bodenbearbeitung durchgeführt wurde, liegt im Arbeitszeitbedarf etwas höher als die chemische Variante. Der Arbeitszeitbedarf der mechanischen Varianten richtet sich in den Varianten sehr nach den Überfahrten in den Varianten, liegt jedoch höher als in der chemischen Variante.

Den deutlich höchsten Arbeitszeitbedarf weist die elektrophysikalische Variante (C1) mit Elektroherb auf.

2.4.16 Fazit

Ziel des Projektes war es, eine Strategie zu alternativen Anbausystemen bei Glyphosatverzicht zu entwickeln. In den vierjährigen Untersuchungen auf landwirtschaftlichen Praxisflächen wurden flach arbeitende Bodenbearbeitungsgeräte, eine Variante mit Strom zur Abtötung der Unkräuter und Ungräser sowie eine Immergrüne Variante mit Bodenbearbeitung im Vergleich zum Einsatz von Glyphosat als chemische Variante untersucht.

Bewertung der Untersuchungsvarianten

Chemische Variante A1

Die chemische Variante mit dem Einsatz von Glyphosat hatte den besten Bekämpfungserfolg gegen Unkräuter und Ungräser. Hinsichtlich bodenbiologischer Parameter wie Bodenpilzen, Bakterien und Regenwürmern gab es in dieser Variante die wenigsten Beeinflussungen, da das Bodenleben nicht gestört wurde und immer genügend Futter auf der Bodenoberfläche zur Verfügung stand. Auch in den Untersuchungen zur Mykorrhiza zeigte sich in der Variante kein negativer Einfluss auf die Besiedlungsrate. Aus ökonomischer Sicht ist die Variante zu bevorzugen, da sie im Ertrag, Deckungsbeitrag und Arbeitszeitbedarf am vorteilhaftesten abschnitt. Aus umwelttechnischer Sicht erreichte die chemische Variante hinsichtlich Dieserverbrauch und CO₂-Ausstoß die besten Ergebnisse.

Mechanische Varianten B1-B3

Um vergleichbare Bekämpfungserfolge wie in der chemischen Variante A1 zu erhalten, waren in den mechanischen Varianten zum Teil mehrfache Überfahrten in der Bodenbearbeitung notwendig. Es zeigte sich deutlich, je mehr Überfahrten notwendig waren, umso mehr veränderte sich die Mikrobiologie. Mit jedem weiteren Einsatz durch ein Bodenbearbeitungsgerät wurde die Bodenstruktur gestört und der Bodenbedeckungsgrad durch Pflanzen und organisches Material und damit das Futter für die Bodentiere nahm ab. Somit waren in den mechanischen Varianten weniger Bodenlebewesen wie Bodenpilze, Bakterien und Regenwürmer nachzuweisen, was auch an der fehlenden Nahrungsgrundlage lag.

Es ist festzustellen, dass der Ertrag bei den flachen Bodenbearbeitungsvarianten auf vergleichbarem Niveau, wie in der chemischen Variante A1 lag, jedoch bei höherem Arbeitszeitbedarf und CO₂-Ausstoß. Der Deckungsbeitrag in den mechanischen Varianten lag unter dem der chemischen Variante.

Elektrophysikalische Variante C1

In der elektrophysikalischen Variante war der Wirkerfolg der Gräser- und Ausfallgetreidebekämpfung unzureichend. Nach Einsatz des Elektroherb-Gerätes überlebte die Hälfte des Bestandes aus Gräsern und Ausfallgetreide. Ökonomisch war die Variante durch den hohen Energiebedarf und die geringe Flächenleistung negativ zu bewerten. Auch wurde in dieser Variante in allen Kulturen geringe Erträge erzielt. Die ungenügende Bekämpfung des Pflanzenbestandes vor der Aussaat der Hauptfrucht bedingte, dass auch in dieser Variante genügend Futter auf der Bodenoberfläche war. Wie in der chemischen Variante A1 erfolgte auch hier kein Eingriff in den Boden. Somit konnten auch hier keine Auswirkungen auf das Bodenleben festgestellt werden.

Nur bei technischer Weiterentwicklung ist die elektrophysikalische Unkrautbekämpfung eine Alternative zum Einsatz von Herbiziden und Bodenbearbeitung.

Biologische Variante D1 (Verfahrenskombination aus Bodenbearbeitung und Begrünung)

Die biologische Variante war eine Verfahrenskombination aus Bodenbearbeitung und Begrünung in Form einer Untersaat, Zwischenfrüchten und Begleitpflanzen, je nach angebauter Hauptfrucht. Hier sollten die Begrünungen die Unkräuter und Ungräser durch gezielte Konkurrenz unterdrücken. Auf Grund der Trockenheit in den Versuchsjahren war es jedoch nicht möglich eine dauerhafte Untersaat zu etablieren. Generell wird vor allem in der Untersaat zur Unkrautunterdrückung viel Potenzial gesehen. Mit einer gut etablierten Kleeuntersaat sind weitere Vorteile für die Hauptkultur und den Boden gegeben, vorausgesetzt, die Hauptkultur kann gut etabliert werden. Daher ist die Bestrebung auch über das Projekt hinaus weiter an dem Thema zu forschen.

Erkenntnisse aus dem SUNK-Projekt

Die Ergebnisse zeigen, dass mit einer flachen Bodenbearbeitung Unkräuter und Ungräser vor der Aussaat der Hauptkultur bekämpft werden können, jedoch nicht mit 100 % Wirkerfolg, wie in der chemischen Variante mit Glyphosat. Mit jeder Bodenbearbeitung nimmt die Bodenbedeckung ab und damit die Erosionsanfälligkeit der Böden zu. Mit jeder Bodenbearbeitung findet ein Eingriff in den Boden statt, der das Bodenleben stört. Die Untersuchungen zeigten nach den mechanischen Maßnahmen eine geringere Regenwurmpopulation als in der chemischen Variante. In den mechanischen Varianten lagen die Erträge auf vergleichbarem Niveau zur chemischen Variante, wobei diese hinsichtlich Deckungsbeitrag, Arbeitszeitbedarf sowie Dieserverbrauch und CO₂-Ausstoß deutlich ungünstiger abschnitten. Es zeigte sich in den Ergebnissen, dass es durch den Einsatz der flach arbeitenden Bodenbearbeitungsgeräte zu keiner verstärkten Mineralisation des Bodenstickstoff kam.

Die Landwirtschaft sucht seit einigen Jahren nach Möglichkeiten die Böden an den sich vollziehenden Klimawandel und damit an die extremen Trockenphasen in der Vegetationsperiode anzupassen. In dem Projekt zeigte sich die chemische Variante auch dahingehend sehr vorteilhaft. Die Einsaat der Hauptkulturen erfolgte in der chemischen Variante in Direktsaat – kann in der Praxis aber auch erfolgreich als konservierende Bodenbearbeitung mit unterschiedlicher Lockerung durchgeführt werden. Bei Direktsaat konnte das wenige Bodenwasser optimal in der oberen Bodenschicht gehalten werden. Beim Einsatz von Bodenbearbeitungsgeräten in den mechanischen Varianten wurde mit jedem Arbeitsgang unproduktiv Wasser verdunstet. Das Bodenwasser fehlt der angebauten Kultur in der trockenen Vegetation, um stabile Erträge und gute Qualitäten zu erzeugen.

Neben den positiven Wirkungen der Untersaaten und Zwischenfrüchte auf den Boden schützen Begrünungen bzw. abgestorbene organische Reststoffe den Boden auch vor Verdunstung.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Glyphosat im pfluglosen System durch flache Bodenbearbeitung ersetzt werden kann, jedoch mit allen bodenbiologischen, wirtschaftlichen und umweltrelevanten Nachteilen, die im Projekt festgestellt wurden. Im Direktsaatsystem dagegen kann eine chemische Regulierung der Beikräuter vor der Aussaat der Hauptfrucht nicht durch ackerbauliche Maßnahmen ersetzt werden. Die systemrelevanten ackerbaulichen Maßnahmen wie weite Fruchtfolge, intensiver Zwischenfruchtanbau oder Untersaaten sind in zukünftige Anbausysteme zu integrieren, um den Bodenaufbau und die Bodengesunderhaltung zu gewährleisten.

2.4.17 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen

Die Umsetzung des Innovationprojektes erfolgte im Hinblick auf mehr Transparenz der Möglichkeiten einer Unkrautkontrolle im konventionellen, pfluglosen Ackerbau. Die Ergebnisse zur möglichen Substitution des Herbizideinsatzes lassen sich auch auf den ökologischen Landbau übertragen. Hierzu werden verschiedene Strategien innerhalb einer vierjährigen Fruchtfolge mit dem vorrangigen Ziel erprobt, unerwünschte Beikräuter sicher zu unterdrücken. Dem Herbizideinsatz (Glyphosat) werden praxisgetriebene Neuentwicklungen wie die elektrophysikalische Unkrautbekämpfung (Elektroherb) und innovative Lösungsansätze verschiedener mechanischer, aber auch biologischer Verfahren gegenübergestellt. Im Fokus der Untersuchungen stehen dabei der Erhalt und die Verbesserung des Ökosystems Bodens sowie Ressourceneffizienz und Klimaschutz. Die Varianten werden sowohl nach ökonomischen als auch nach ökologischen Aspekten bewertet und unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit beurteilt.

Zur Erreichung der gestellten Projektziele wurden modernste Messverfahren wie georeferenzierte Probenahmen, Drohnentechnik, Multispektralkameras, Thermal-kameras, Bodenscanner sowie Satellitendaten genutzt.

Somit versteht sich das Innovationsprojekt als Smart Farming- Lösungsansatz, welcher Bodenfruchtbarkeitsaspekte mit innovativer digitaler Messtechnik kombiniert. Dies ermöglicht es, unterschiedliche Verfahrenskombinationen zu erproben.

Mit dem Innovationsprojekt wird ein Beitrag zur wettbewerbsfähigen, nachhaltigen und ressourcenschonenden Land- und Ernährungswirtschaft geleistet. Über den Wissenstransfer werden die Zusammenarbeit und auch das Verständnis zwischen Landwirten, Forschern, Beratern, Unternehmen des Agrar- und Nahrungsmittelsektors sowie der konsumierenden Bevölkerung sensibilisiert und gefördert.

2.4.18 Nebenergebnisse

Die rege Öffentlichkeitsarbeit der OG führte zu einer sehr guten Vernetzung und zum Erfahrungs- und Wissensaustausch zu nationalen und international agierenden EIP-Projekten.

Im Rahmen des Projektes wurde eine Masterarbeit zum Thema „Einfluss mechanischer, biologischer oder elektrophysikalischer Verfahren der Unkrautregulierung auf die N-Mineralisierung im Boden im Vergleich zur chemischen Alternative“ angefertigt. Des Weiteren wurden zwei Projektarbeiten von Studenten der Hochschule Weihenstephan Triesdorf der Fakultät Landwirtschaft mit dem Schwerpunkt Nachhaltige Verfahrenstechnik Pflanzenbau und Bodentechnik fertigten eine Projektarbeit im 6. Semester an. Thema war Pfluglose Landwirtschaft ohne den Einsatz von Glyphosat.

2.4.19 Arbeiten, die zu keiner Lösung/zu keinem Ergebnis geführt haben

Die Feldversuche wurden vollumfänglich angelegt und ausgewertet.

2.4.20 mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern

Es wurden im Projekt ein GPS-Vermessungskit angeschafft. Im geplanten EIP-Projekt soll das wieder eingesetzt werden, um Parzellen einzumessen und Beprobungspunkte zu setzen.

Weitere Investitionsgüter wurden im Projekt nicht angeschafft.

2.5 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis und verwertbare/nutzbare Empfehlungen, Produkte, Verfahren oder Technologien entstanden?

Zurzeit läuft in der EU ein Verfahren zur Wiedezulassung des Herbizids Glyphosat. Die aktuelle Zulassung sollte am 15. Dezember 2022 auslaufen. Eine Bewertung des Wirkstoffs zieht sich mittlerweile länger als geplant, so dass die zuständigen EU-Behörden bis dahin nicht in der Lage waren zu einer wissenschaftlichen Neubewertung zu kommen. Die EU-Kommission hat entschieden, die Zulassung für den Wirkstoff Glyphosat bis zum 15. Dezember 2023 zu verlängern.

Ob eine politische Entscheidung zum Verbot kommt oder ob Landwirte aus eigenen Interessen auf Glyphosat in ihrem Betrieb verzichten – es muss eine Alternative zur Substitution des Wirkstoffs gefunden werden.

Mit den Ergebnissen aus dem EIP Agri Projekt der Smarten Unkrautkontrolle stehen den Landwirten Lösungsmöglichkeiten zum Verzicht auf Glyphosat zur Verfügung. Im Hinblick auf die im Projekt erprobten Alternativen gibt es auch eine Abschätzung auf Bodenbiodiversität, Ertrag und Wirtschaftlichkeit.

Über die Projektlaufzeit hinaus werden die erlangten Ergebnisse durch die OG-Mitglieder an Landwirte, politische Entscheidungsträger, Fachschüler und Studenten im Rahmen von Vorträgen und durch die Fachpresse weitervermittelt.

2.6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

Die Ergebnisse des EIP-Projektes werden als Abschlussbericht auf der EIP-Vernetzungsstelle (EIP-Datenbank) der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt. Auf der Homepage der GKB finden sich projektbegleitend Ergebnisse, ebenso ist der Abschlussbericht hinterlegt.

Die Ergebnisse werden in die landwirtschaftliche Beratung einfließen. Besonders vor dem Hintergrund des Verbots des Einsatzes von Glyphosat wird von pfluglos wirtschaftenden Landwirten nach Möglichkeiten gesucht, Unkräuter und Ungräser ohne chemischen Einsatz zu minimieren. Die in dem EIP-Projekt gewonnenen Ergebnisse können wichtige Hilfestellungen und Beratungsgrundlage sein.

2.7 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit. Gibt es weitergehende (wissenschaftliche) Fragestellungen aus den Projektergebnissen, die zukünftig zu bearbeiten sind?

Das EIP-Projekt verfolgte keine wirtschaftliche Verwertbarkeit.

Aus wissenschaftlicher Sicht gilt es in Praxisuntersuchungen weitere Möglichkeiten zu erproben, mit denen im pfluglosen Ackerbau Glyphosat substituiert werden kann.

2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept

Mit der Umsetzung des Innovationsprojektes der OG Smarte Unkrautkontrolle wurden über die gesamte Projektlaufzeit die Ergebnisse zügig an die Fachöffentlichkeit weitergegeben. Jedes OG-Mitglied sieht sich auch über das Projektende hinaus als Multiplikator der Informationen.

Zur Verbreitung verfolgte die OG Smarte Unkrautkontrolle eine breite Disseminationsstrategie ab dem Zeitpunkt der Bewilligung des Projektes. Zur Information über Durchführung des Projektes und Bekanntgabe von Terminen wurde über den Facebook-Account und Instagram-Account der GKB informiert. Die Homepage der GKB wurde ebenfalls genutzt. Hier existiert ein eigens eingerichteter Reiter, auf dem alle Termine, Veröffentlichungen, Fachartikel und Informationen zum Projekt allen Interessierten zugänglich gemacht wurden.

Auf dem Youtube-Kanal der GKB wurden projektbegleitend acht Filme eingestellt, ebenso auf der Homepage der DVS. Auf zahlreichen Feldtagen und Feldrundgängen haben die OG-Mitglieder die Versuchsanlage, die Technik, Ergebnisse präsentiert und mit dem interessierten Fachpublikum Erfahrungen ausgetauscht. Diese Veranstaltungen zeigten ein reges Interesse weit über die Landesgrenze hinaus. Mit Posterbeiträgen machten die Mitglieder der OG auf Fachmessen und auch beim EIP-Workshop auf das Projekt aufmerksam. In der Fachpresse wurden zahlreiche Artikel über das Projekt publiziert. Eine Masterarbeit zum Thema „Einfluss mechanischer, biologischer oder elektrophysikalischer Verfahren der Unkrautregulierung auf die N-Mineralisierung im Boden im Vergleich zur chemischen Alternative“ wurde im Rahmen des EIP-Projektes angefertigt.

Abbildung 95 zeigt die geplante und umgesetzte Disseminationsstrategie des Projektes.

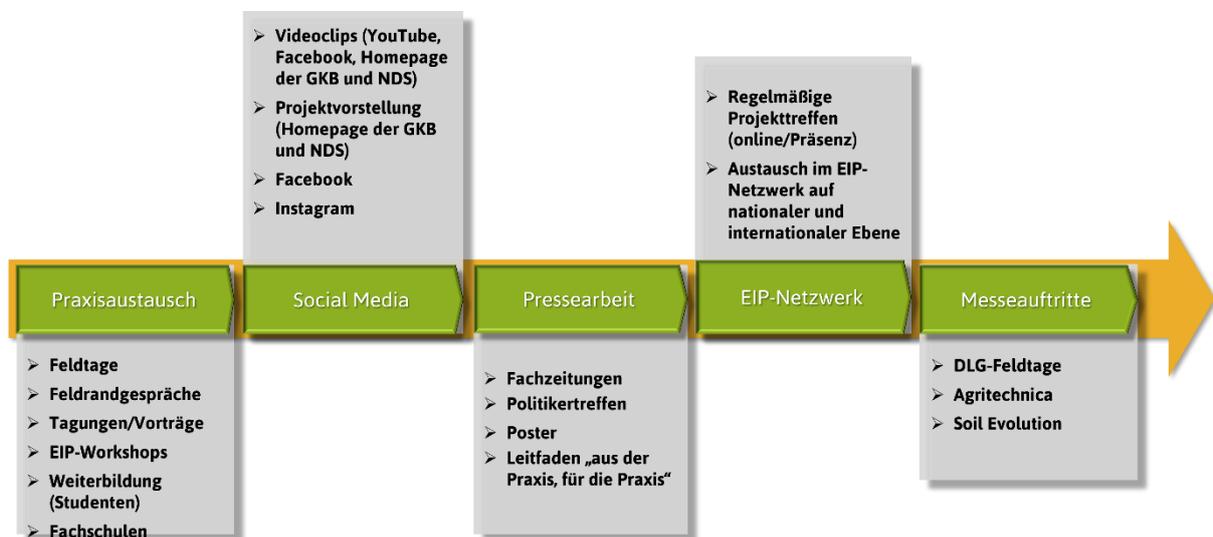


Abbildung 95: Disseminationsstrategie der Smarten Unkrautkontrolle

Studienarbeiten

Titel	Hochschule	Absolvent
Masterarbeit		
Einfluss mechanischer, biologischer oder elektrophysikalischer Verfahren der Unkrautregulierung auf die N-Mineralisierung des Bodens im Vergleich zur chemischen Alternative	Hochschule für Technik und Wirtschaft, Dresden (HTW)	Robin Schöltzke
Projektarbeit		
Pfluglose Landwirtschaft ohne den Einsatz von Glyphosat	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Landwirtschaft	Jannik Gundel Fabian Niebler Philipp Then Alexander Thorwart
Projektarbeit		
Ökonomische Bewertung von mechanischen, biologischen oder elektrophysikalischen Verfahren der effektiven Unkrautregulierung im Vergleich zur chemischen Alternative	Hochschule Weihenstephan-Triesdorf, Fakultät Landwirtschaft	Lars Janssen Julian Petz Josef Möhl Sebastian Krämer

Öffentlichkeitsarbeit

Veranstaltung	Termin	
Feldtage	17.10.2019	Landwirte, Berater, Presse
	14.04.2020	ausgefallen
	26.10.2020	Landwirte, Berater, Presse
	31.03.2022	Regionalpolitiker Königslutter/Braunschweig
	07.04.2022	Landwirte der GKB
	06.05.2022	Feldrundgang Studenten HSWT Triesdorf
	12.08.2022	Erntegespräch
Feldbegehungen	16.06.2019	Junge DLG
	17.06.2019	Landwirte
	24.05.2020	Landwirte
	03.06.2020	Landwirte, Berater
	19.10.2020	Studenten (Halle)
Workshop	14.-15.03.2019	3. Bundesweiter Workshop für OGs (online)
	12..08.2020	4. Bundesweiter Workshop für OGs (online)
	Juni 2023	Projektabschlussworkshop
Messe	10.-16.11.2019	Agritechnica
Netzwerktreffen Österreich	06.-07.12.2019	Projektvorstellung
	18.-19.06.2020	Projektvorstellung
Poster	21.-23.06.2021	8. World Congress on Conservation Agriculture Bern Switzerland

Vorträge	25.02.2019	Vorstellung des Projektes (Landwirte, Vorstand der GKB)
	04.09.2019	Vortrag (Landwirte und Berater in Österreich)
	29.11.2020	DSV
	12.02.2020	Arbeitskreise der GKB
	10.09.2021	Thüringer Ackerbauforum – Herbizidfreier Umbruch grüner Bestände
	16.-17.02.2022	Agronym e.V. EIP Agri Tage (online)
	18./19.10.2022	Innovationstage 2020 des BMEL, Bonn
	13.12.2022	Winterveranstaltung AK-Ackerbau ESW, LLH Hessen (online)
	02.02.2023	Schulung Landmaschinenschule, Landshut-Schönbrunn
	03.02.2023	Schulung Landmaschinenschule, Landshut-Schönbrunn
Tagungen	19.-20.03.2020	KTBL-Tage 2020 Posterbeitrag (entfallen)
	16.-17.03.2021	KTBL-Tage 2021: Boden gut machen - neue Ackerbausysteme
	22.06.2021	8. World Congress on CA Bern, Switzerland
	18./19.10.2022	Innovationstage 2022 des BLE, Bonn
	18.01.2023	Swiss No-Till Jahrestagung

Veröffentlichungen in der Fachpresse

Wo	Termin	Link
Agrarheute (online)	17.05.2019	Kann Mais ohne Pflug und ohne Glyphosat funktionieren? agrarheute.com
Agrarheute (online)	04.11.2020	https://www.agrarheute.com/pflanze/versuch-bodenleben-ohne-pflug-glyphosat-574649
Maschinenring Magazin	Februar 2021	Betriebsreportage und EIP SUNK
ExAgT Newsletter	31.03.2021	ISOBUS - Wutrede final / Aktuelles aus unserer Arbeit - EXAgT Nachrichten
ExAgT Newsletter	30.04.2021	„Komm lieber Mai und mache“ und N-Aufnahmekarten aus Drohnenbefliegungen (NDRE vs. NDVI) - EXAgT Nachrichten
ExAgT Newsletter	29.05.2021	Praktischer Drohneneinsatz im Versuchswesen und „Was macht der liebe Mai“ bzgl. der N-Düngung - EXAgT Nachrichten
ExAgT Newsletter	28.01.2022	Aktuelle Ergebnisse im EIP-Projekt „Smarte Unkrautkontrolle (Sunk)“
DLG-Mitteilungen	07/2021	“Pfluglos ohne Glyphosat”
LOP	03/2022	“Es wird schwieriger – Auf der Suche nach Alternativen : Was kommt nach Glyphosat?”

Projekttreffen der OG

	Termin	Wo
Kickoff Meeting	19.02.2019	Scheppau
Projekttreffen	12.09.2019	Scheppau
Projekttreffen	09.-10.01.2020	Scheppau
Zoom-Meeting	02.04.2020	
Zoom-Meeting	08.05.2020	
Projekttreffen	25.05.2020	Glentdorf
Zoom-Meeting	29.05.2020	
Zoom-Meeting	12.06.2020	
Projekttreffen	10.09.2020	Glentdorf
Zoom-Meeting	30.10.2020	
Zoom-Meeting	06.11.2020	
Zoom-Meeting	13.11.2020	
Zoom-Meeting	21.01.2021	
Projekttreffen	25.03.2021	Glentorf
Projekttreffen	14.01.2022	Glentorf
Zoom-Meeting	12.03.2022	
Zoom-Meeting	29.04.2022	
Zoom-Meeting		
Zoom-Meeting		
Zoom-Meeting		

Literaturverzeichnis

- BLAKEMORE, R. J. (2008) An updated list of valid, invalid and synonymous names of Criodriloida (Criodrilidae) and Lumbricoidea (Annelida: Oligochaeta: Sparganophilidae, Ailoscolecidae, Hormogastridae, Lumbricidae, and Lutodrilidae), 80 pp. Vgl. www.annelida.net/earthworm/Lumbricidae.pdf
- BRIONES, J. M. I. & O. SCHMIDT (2017): Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology* 23 (10), 4396–4419.
- BRUNDRETT, M., L. MELVILLE & L. PETERSON. 1994. PRAKTISCHE METHODEN DER MYKORRHIZA-FORSCHUNG. MYCOLOGUE PUBLICATIONS, ONTARIO, KANADA
- EASTON, E.G. (1983): A guide to the valid names of Lumbricidae (Oligochaeta). In: Satchell, J.E. (Ed.): *Earthworm Ecology - From Darwin to Vermiculture.* - Chapman and Hall, London and New York, 475-487.
- EDWARDS, C.A. (1980): Interactions between agricultural practice and earthworms. In: Dindal, D. L. (Ed.) *Soil Biology as Related to Land Use Practices. Proc. VIth Int. Coll. Soil Zool., E.P.A.* Washington DC, 3-12.
- EDWARDS, C.A. & J.R. LOFTY (1982): The effect of direct drilling and minimal cultivation on earthworm populations. *J. Appl. Ecol.* 19, 723-734.
- EDWARDS, C.A. & P.J. BOHLEN (1996): *Biology and Ecology of Earthworms.* Chapman and Hall, London, Third edition.
- GRAFF, O. (1953): *Die Regenwürmer Deutschlands.* Verlag Schaper Hannover.
- HERR, S. & BAUCHHENß, J. (1987): Einfacher Bestimmungsschlüssel für Regenwürmer SuBHeft 2/87, III/15-III/20.
- ISO 23611-1 (2018): *Soil quality - Sampling of soil invertebrates - Part 1: Hand-sorting and extraction of earthworms.*
- Kolmannsperger, F. (1955) Über Rhythmen bei Lumbriciden. *Decheniana* Bd. 108, Heft 1, 81-92.
- KRÜCK, S. (1999): Einfluß der Nutzung auf Bodenfruchtbarkeitsparameter, Humushaushalt und Regenwurmakktivität, und deren Beziehung zur Ertragsfähigkeit sandiger Böden in Brandenburg. *Berichte aus der Agrarwissenschaft, Shaker Verlag, Aachen.* 154 S.
- KRÜCK, S. (2018): *Bildatlas zur Regenwurmbestimmung – mit einem Kompendium der Regenwurmfaua des Nordostdeutschen Tieflands –.* Natur+Text, Rangsdorf. 196 S.
- Krück, S. (2020): *Untersuchung des Regenwurmorkommens bei unterschiedlichen Maßnahmen der Unkrautkontrolle im Projekt: „Entwicklung innovativer Strategien zum Glyphosatverzicht im pfluglosen Ackerbau - Smarte UNkraut Kontrolle“.* Ergebnisbericht der Untersuchungen 2019 vom 10. Januar 2020.
- Krück, S. (2021): *Untersuchung des Regenwurmorkommens bei unterschiedlichen Maßnahmen der Unkrautkontrolle im Projekt: „Entwicklung innovativer Strategien zum Glyphosatverzicht im*

pfluglosen Ackerbau - Smarte UNkraut Kontrolle“. Zweites Versuchsjahr 2020/2021, Ergebnisbericht vom 21. Juni 2021.

- KRÜCK, S., O. NITZSCHE, W. SCHMIDT & U. UHLIG (2001): Einfluss der Bodenbearbeitung auf Bodenleben und Bodenstruktur. Mitt. Dt. Bodenkdl. Ges., 96 (2), 747-748.
- KRÜCK, S., M. JOSCHKO, R. SCHULTZ-STERNBERG, B. KROSCHEWSKI & J. TESSMANN (2006): A classification scheme for earthworm populations (*Lumbricidae*) in cultivated agricultural soils in Brandenburg, Germany. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 169 (5), 651 - 660.
- LEE, K.E. (1985): Earthworms - Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use. Academic Press, Sydney, Orlando.
- LOFS-HOLMIN, A. (1983): Earthworm population dynamics in different agricultural rotations. In: Satchell, J.E. (Ed.) Earthworm Ecology - From Darwin to Vermiculture. - Chapman and Hall, London and New York, 151-160.
- SIMS, R. W. & GERARD, B. M. (1999): Earthworms. Notes for the identification of British species. Synopses of the British Fauna (New Series).
- TEIWES, K. (1994): Auswirkung von Extensivierungsmaßnahmen im Ackerbau auf Bodenleben und Bodengefüge. VDLUFA-Schriftenreihe, Kongreßband, 38, 597-600.
- TROUVELOT A, KOUGH, JL, GIANINAZZI-PEARSON V. 1986. MESURE DU TAUX DE MYCORHIZATION AYANT UNE SIGNIFICATION FONCTIONNELLE. IN : INRA, ED. ASPECTS PHYSIOLOGIQUES ET GÉNÉTIQUES DES MYCORHIZES. DIJON, FRANKREICH : 217-22
- THIELEMANN, U. (1986): Elektrischer Regenwurmfang mit der Oktett-Methode. Pedobiologia 29, 296-302.
- VIERHEILIG H, COUGHLAN AP, WYSS U, PICHÉ Y 1998. INK AND VINEGAR, A SIMPLE STAINING TECHNIQUE FOR ARBUSCULAR-MYCORRHIZAL FUNGI. APPL ENVIRON MICROBIOL. 64(12): 5004-5007
- ZABORSKI, E.R., (2003): Allyl isothiocyanate: an alternative chemical expellant for sampling earthworms. Appl. Soil Ecol. 22, 87 – 95.



OG „Smarte UNkraut Kontrolle“

**Operationelle Gruppe „Smarte UNkraut Kontrolle“
Dr. Jana Epperlein (Projektkoordination)
Zum Rieseberg 4
38154 Scheppau**

**Tel: +49 (0) 3342 / 422 130
E-Mail: Jana.Epperlein@GKB-eV.de
Internet: www.GKB-eV.de**