



Weiterentwicklung von Erosionsschutz- verfahren im Mais – glyphosatfrei im konventionellen sowie alternative Verfahren im ökologischen Landbau

Glyphosatfreier Erosionsschutz im Mais



Projektbericht

Projektförderung: StMELF

Finanzierung: StMELF

Förderkennzeichen: A/19/02

Geschäftszeichen:

Projektlaufzeit: Juli 2019 – April 2024

Projektleiter: Florian Ebertseder

Projektbearbeiter: Anita Oberneder, Lukas Wachter, Christoph Hofbauer

Herausgegeben im: April 2024

Erprobung verschiedener Herbizidstrategien für die Mulchsaat von Mais mit abfrierenden Zwischenfrüchten und Varianten der Gülleausbringung

Glyphosatfreier Erosionsschutz im Mais

Inhaltsverzeichnis

Seite

Zusammenfassung	13
1 Einleitung	15
2 Problemstellung	16
3 Material und Methoden	18
3.1.1 Herbizidmanagement (Faktor 1)	20
3.1.2 Bodenbearbeitung zur Gülleearbeitung (Faktor 2).....	21
3.1.3 Zwischenfrüchte (Faktor 3)	23
3.1.4 Bodenprobenahme	24
3.1.5 Bonituren	27
3.2 Versuchsstandorte, Boden- und klimatische Verhältnisse	27
3.3 Statistik.....	31
4 Ergebnisse	32
4.1 Vorversuch 2019	32
4.1.1 Pillham (Niederbayern)	33
4.2 Versuchsjahr 2020	40
4.2.1 Künham (Niederbayern).....	40
4.2.2 Schraudenbach (Unterfranken)	46
4.3 Versuchsjahr 2021	52
4.3.1 Schönbürg (Niederbayern)	52
4.3.2 Klingenhof (Unterfranken).....	56
4.4 Versuchsjahr 2022	62
4.4.1 Bad Höhenstadt (Niederbayern).....	62
4.4.2 Ettleben (Unterfranken).....	67
4.5 Versuchsjahr 2023	72
4.5.1 Berg (Niederbayern).....	72
4.5.2 Ettleben (Unterfranken).....	78

4.6	Zusammenfassung der Ergebnisse aller Versuchsjahre	85
5	Diskussion	90
6	Wirkung verschiedener Herbizidstrategien bei Direktsaat Mais auf die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer	94
6.1	Einleitung	94
6.2	Methode.....	95
6.3	Ergebnis.....	97
6.4	Diskussion	99
7	Fazit und Ausblick	101
8	Praxisnahe Veröffentlichungen und Wissenstransfer	103
8.1	Vorträge.....	103
8.2	Veröffentlichungen.....	105
8.3	Feldtage	105
	Literaturverzeichnis	106

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Versuchsschema und Randomisierung der Parzellen	19
Abbildung 2: Darstellung der Zusammensetzung der unterschiedlichen Varianten Gülleearbeitung, Herbizidmanagement und Zwischenfrüchte.....	20
Abbildung 3: Einarbeitung der oberflächlich ausgebrachten Gülle mit der Kreiselegge.....	22
Abbildung 4: Mulchsaat mit Saatbettbereitung	22
Abbildung 5: Direktsaat als Mulchsaat ohne Saatbettbereitung (Schleppschuh)....	22
Abbildung 6: Gülleausbringung und Einarbeitung in einem Schritt mit dem Strip Till Gerät	23
Abbildung 7: Arbeitsbild der streifenförmigen Bodenbearbeitung des Strip Till Gerätes.....	23
Abbildung 8: Aufwuchs der unterschiedlichen Zwischenfruchtmischungen im Versuch.....	24
Abbildung 9: Bodenprobenahme mit Stechzylindern	25
Abbildung 10: Einschlagen der Stechzylinder mit dem Hammer	25
Abbildung 11: Standorte der Versuche in Niederbayern	28
Abbildung 12: Niederschläge und Temperatur kurz vor und während der Wachstumsphase des Maises am Gunststandort Niederbayern	28
Abbildung 13: Standorte der Versuche in Unterfranken.....	29
Abbildung 14: Niederschlag und Temperatur im Monatsdurchschnitt am Standort Unterfranken von 2020 - 2023	29
Abbildung 15: Einteilung der Böden der Versuchsstandorte und Darstellung im Bodenartendreieck nach VDLUFA. (NB= Niederbayern; UF = Unterfranken) Quelle: BLE, 2021. https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/211018_Bodenartendreieck.html	30
Abbildung 16: Verschiedene Gülleausbringvarianten und Einarbeitung. Vorversuch 2019 in Pillham, Niederbayern.....	32
Abbildung 17: Durchschnittliche Erträge der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2019.....	34
Abbildung 18: Feldaufnahmen der unterschiedlichen Varianten ohne Glyphosateinsatz	36
Abbildung 19: Bodenfeuchte in % Mittelwert aus 3 Terminen	37

Abbildung 20: Gesamtunkrautdeckungsgrad in allen Varianten in %, Mittelwert aus zwei Terminen	38
Abbildung 21:Prozentuale Mulchbedeckungsgrade in Niederbayern 2019. Mittelwert aus zwei Terminen, nach Varianten aufgeschlüsselt.	39
Abbildung 22: Zwischenfruchtbestand am 13.09.2019 am Standort Künham	42
Abbildung 23: Abgefrorener Zwischenfruchtbestand am 05.03.2020 in Künham .	42
Abbildung 24: Durchschnittliche Erträge des Versuches am Standort Künham in Niederbayern im Jahr 2020	43
Abbildung 25: Bodenfeuchtwerte am Standort Künham in Niederbayern (Mittelwert aus drei Terminen)	45
Abbildung 26: Unkrautdeckungsgrad in Prozent in Künham, Niederbayern im Jahr 2020	45
Abbildung 27: Mulchbedeckungsgrad in Prozent (Mittelwert aus zwei Bonituren)	46
Abbildung 29: Schwach entwickelter Zwischenfruchtbestand im Dezember 2019 in Schraudenbach, Unterfranken (links) und nicht abgefrorene Zwischenfrucht im März 2020 (rechts)	48
Abbildung 30: Mittlerer Ertrag in dt/ha je Variante am Standort Schraudenbach in Unterfranken.....	48
Abbildung 31: Mittlere Bodenfeuchtwerte am Standort in Schraudenbach, Unterfranken 2020 (Mittelwert aus zwei Terminen).....	50
Abbildung 32: Prozentualer Unkrautdeckungsgrad in Schraudenbach, Unterfranken (Mittelwert aus zwei Terminen).	50
Abbildung 33: Prozentualer Mulchbedeckungsgrad in Prozent am Standort Schraudenbach, Unterfranken (Mittelwert aus zwei Terminen).	51
Abbildung 34: Mittlerer Ertrag in dt/ha für den Standort Schönbürg in Niederbayern	53
Abbildung 35: Mittlere Bodenfeuchte in Prozent in Schönbürg (Mittelwert aus zwei Terminen)	55
Abbildung 36: Durchschnittlicher prozentualer Unkrautdeckungsgrad am Standort Schönbürg in Niederbayern (Mittelwert aus zwei Terminen).....	55
Abbildung 37: Mittlere Mulchbedeckungsgrade am Standort in Schönbürg, Niederbayern (Mittelwert aus zwei Bonituren).....	56
Abbildung 38: Mittlere Erträge am Standort Klingenhof in Unterfranken je Variante in dt/ha	58
Abbildung 39: Mittlere Bodenfeuchte in Prozent am Standort Klingenhof (Mittelwert aus zwei Terminen).....	60

Abbildung 40: Prozentualer durchschnittlicher Unkrautdeckungsgrad je Variante am Standort Klingenhof (Mittelwert aus zwei Terminen)	60
Abbildung 41: Prozentuale mittlere Mulchbedeckungsgrade in Unterfranken 2021 (Mittelwert aus zwei Bonituren)	61
Abbildung 42: Am Standort Bad Höhenstadt (Niederbayern) konnte sich in diesem Jahr ein gleichmäßiger Maisbestand über fast alle Varianten etablieren.	62
Abbildung 43: Mittlere Erträge je Variante am Standort in Bad Höhenstadt, Niederbayern im Jahr 2022	64
Abbildung 44: Mittlere Bodenfeuchtwerte in Prozent in Bad Höhenstadt, Mittelwert aus drei Terminen	65
Abbildung 45: Unkrautdeckungsgrade in Prozent in Bad Höhenstadt, Niederbayern 2022 (Mittelwert aus zwei Terminen)	66
Abbildung 46: Mittlerer Mulchbedeckungsgrad je Variante in Prozent am Standort Bad Höhenstadt, Niederbayern 2022 (Mittelwert aus zwei Bonituren) ...	66
Abbildung 47: Mittlere Erträge in dt/ha am Standort Ettleben, Unterfranken, im Jahr 2022	68
Abbildung 48: Mittlere Bodenfeuchtwerte in Ettleben, Mittelwerte aus drei Terminen je Variante	70
Abbildung 49: Mittlere Unkrautdeckungsgrade am Standort Ettleben, Unterfranken (Mittelwert aus zwei Terminen)	70
Abbildung 50: Prozentuale mittlere Mulchbedeckungsgrade je Variante in Ettleben, Unterfranken (Mittelwert aus zwei Bonituren)	71
Abbildung 51: Weit geöffneter Säschlitz in der Strip Till Parzelle gab das Korn frei und führte zum Abreißen der noch sehr empfindlichen Wurzeln	73
Abbildung 52: Aufgerissene Säschlitze bis in 17 cm Tiefe erschwerten den Wuchs der jungen Maispflanzen in den Direktsaatparzellen	73
Abbildung 53: Mittlere Erträge je Variante in dt/ha am Standort Berg, Niederbayern, im Jahr 2023	74
Abbildung 54: Bodenfeuchtwerte am Standort Berg in Niederbayern im Jahr 2023, prozentualer Mittelwert aus drei Bonituren	76
Abbildung 55: Mittlere Unkrautdeckungsgrade je Variante in Prozent in Berg bei Pocking, Niederbayern (Mittelwert aus drei Bonituren)	77
Abbildung 56: Prozentuale mittlere Mulchbedeckungsgrade am Standort in Niederbayern 2023 (Mittelwert aus drei Bonituren)	78
Abbildung 57: Mittlere Erträge je Variante in dt/ha am Standort Ettleben in Unterfranken im Jahr 2023	80

Abbildung 58: Bodenfeuchtwerte je Variante in Ettleben, Unterfranken. Mittelwert aus drei Boniturterminen	82
Abbildung 59: Mittlere Unkrautdeckungsgrade je Variante in Ettleben (Mittelwert aus drei Bonituren)	82
Abbildung 60: Mulchbedeckungsgrade in Prozent je Variante in Unterfranken. Mittelwert aus drei Bonituren	83
Abbildung 61: Luftaufnahme des Körnermaises Ende Juni. Der Konkurrenzdruck des Unkrautes ist sehr deutlich sichtbar am geringen Entwicklungsstand des Maises.	84
Abbildung 62: Mittlere Erträge in Unterfranken und Niederbayern aus allen Versuchsjahren	85
Abbildung 63: Mittlere Bodenfeuchtwerte aus allen Versuchsjahren an den Standorten Unterfranken und Niederbayern.....	86
Abbildung 64: Prozentualer Unkrautdeckungsgrad für Unterfranken und Niederbayern je Variante	87
Abbildung 65: Prozentuale Mulchbedeckungsgrade auf beiden Standorten über alle Versuchsjahre hinweg	88
Abbildung 66: Prozentualer Mulchbedeckungsgrad in Abhängigkeit von Zwischenfruchtmischung und Bodenbearbeitungsmaßnahme	89
Abbildung 67: Verschiedene Gülleausbringvarianten und Einarbeitung.....	91
Abbildung 68: Unkrautdeckungsgrad je Bodenbearbeitungsvariante und Zwischenfrucht. Mittewert aus beiden Standorten und allen Versuchsjahren	92
Abbildung 69: Probenahme der Regenwürmer im Jahr 2021 am Standort Schönburg, Austreibungsmethode (links), Handauslese (Mitte), zerbröseltes Bodenmaterial (rechts)	96
Abbildung 70: Drei Regenwurmkokons (links), tiefgrabende Regenwurmart <i>Lumbricus terrestris</i> (rechts), im November 2021 am Standort Schönburg	96
Abbildung 71: Regenwurmabundanz in den vier Herbizid-Varianten auf den jährlich wechselnden Standorten im Raum Ruhstorf in der Direktsaatvariante mit Schleppschuh und der Zwischenfrucht Viterra Schnellgrün (Mittelwerte mit Standardabweichung)	97
Abbildung 72: Regenwurmbiomasse in den vier Herbizid-Varianten auf den jährlich wechselnden Standorten im Raum Ruhstorf in der Direktsaatvariante mit Schleppschuh und der Zwischenfrucht Viterra Schnellgrün (Mittelwerte mit Standardabweichung)	98
Abbildung 73: Biomasse der erfassten Regenwurmart in den vier Herbizidmanagement-Varianten auf den jährlich wechselnden Standorten	

im Raum Ruhstorf (Direktsaatvariante mit Schleppschuh, Zwischenfrucht Viterra Schnellgrün).....	99
Abbildung 74: Feldtag am 30.06.2023 in Ettleben	105

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Korngrößenverteilung am Standort Pillham 2019.....	33
Tabelle 2: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen	35
Tabelle 3: Korngrößenverteilung des Bodens am Standort Kühnham 2020	40
Tabelle 4: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Kühnham 2020 ...	41
Tabelle 5: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen	44
Tabelle 6: Bodenphysikalische Bestandteile am Standort Schraudenbach 2020	47
Tabelle 7: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Schraudenbach 2020	47
Tabelle 8: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und statistische Auswertung der Durchschnittserträge nach Varianten untergliedert in Schraudenbach	49
Tabelle 9: Korngrößenverteilung am Standort Schönbürg 2021	52
Tabelle 10: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Schönbürg 2021	53
Tabelle 11: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und Statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen in Schönbürg, Niederbayern.....	54
Tabelle 12: Bodenphysikalische Bestandteile am Standort Klingenhof 2021	57
Tabelle 13: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Klingenhof.....	57
Tabelle 14: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen in Klingenhof, Unterfranken	59
Tabelle 15: Bodenphysikalische Bestandteile am Standort Bad Höhenstadt 2022.	63
Tabelle 16: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Bad Höhenstadt	63
Tabelle 17: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und Statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen	64
Tabelle 18: Bodenphysikalische Bestandteile am Standort Ettleben 2022	67
Tabelle 19: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Ettleben 2022..	68
Tabelle 20: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und Statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen	69

Tabelle 21: Bodenphysikalische Bestandteile am Standort Berg 2023	72
Tabelle 22: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Berg 2023	73
Tabelle 23: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und Statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen	75
Tabelle 24: Korngrößenverteilung am Standort Ettleben 2023	79
Tabelle 25: Bodenphysikalische Bestandteile am Standort Ettleben 2023	79
Tabelle 26: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und Statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen	81

Zusammenfassung

Erosionsschutz ist mit dem Anbau von Reihenkulturen wie Mais oft schwierig zu vereinen. Dennoch gibt es einige gute Möglichkeiten, um den Bodenabtrag wirkungsvoll zu begrenzen. Ein wirksames Verfahren stellt die Mulchsaat dar, das effizienteste ist jedoch die Direktsaat. Diese geht jedoch oftmals einher mit einem hohen Einsatz von Herbiziden, um gute Erträge erwirtschaften zu können. Nachdem die Diskussion um die Verlängerung der Zulassung von Glyphosat in der EU entbrannt ist, soll nun in diesem Versuch erforscht werden, ob der glyphosatfreie Erosionsschutz im Mais funktionieren kann. Dazu wurden drei verschiedene Bodenbearbeitungsvarianten nach der Gülleausbringung (Kreiselegge, Strip Till und Direktsaat), vier verschiedene Herbizidstrategien (Glyphosat vor der Maissaat im Frühjahr und eine Nachauflaufbehandlung mit selektiven Herbiziden in Standardaufwandmenge, Nachauflauf mit Standardaufwandmenge ohne Glyphosat, Nachauflauf mit reduzierter Aufwandmenge ohne Glyphosat und eine unbehandelte Kontrolle ohne Herbizid-Behandlung) und drei verschiedene Zwischenfruchtmischungen (Viterra Schnellgrün, ZWH Vitalis Mulch, Aqua Pro ohne Buchweizen) miteinander verglichen. Wesentliche Parameter waren hier neben den Ertragsergebnissen auch die Bonitur der Mulchauflage nach der Maissaat, der Unkrautdeckungsgrad und die Messung der Bodenfeuchte. Der Versuch wurde an zwei Standorten in Bayern angelegt, um die Auswirkungen der verschiedenen Systeme in einer Gunstlage mit hohen Niederschlägen im Landkreis Passau, Niederbayern, und einer Trockenlage im Landkreis Schweinfurt, Unterfranken, miteinander vergleichen zu können. In den vier Versuchsjahren konnten trotz sehr unterschiedlicher Witterungen ähnliche Trends abgeleitet werden. Die Mulchbedeckungsgrade fielen am Gunststandort (Lkr. Passau) deutlich höher aus im Vergleich zum Trockenstandort (Lkr. Schweinfurt), da die Zwischenfrüchte aufgrund des höheren Wasserangebotes mehr Masse bilden konnten. Es wird deutlich, dass insbesondere die Varianten Schleppschuh (Direktsaat) und Strip Till imstande waren, den angestrebten Mulchbedeckungsgrad von 30 % zu erreichen. Mischungen mit höherem Senfanteil boten eine höhere Mulchabdeckung im Frühjahr, da der Senf vergleichsweise trockentolerant ist und auch unter suboptimalen Bedingungen noch viel Masse bildet. Für eine erosionsschutzwirksame Bodenbedeckung von 30 % ist demnach die Verwendung einer geeigneten Zwischenfrucht mit hohem Massebildungspotenzial notwendig. Außerdem ist der angestrebte Bodenbedeckungsgrad nicht allein durch die Wahl der Zwischenfruchtmischung zu erreichen, sondern auch durch die geeignete Bodenbearbeitung nach der Gülleausbringung und das optimale Saatverfahren. Nur durch eine integrative Herangehensweise kann somit eine ausreichende Bodenbedeckung erzielt werden.

Mit zunehmendem Herbizideinsatz sowie steigender mechanischer Bodenbearbeitung sinkt der Unkrautdeckungsgrad. Einzige Ausnahme bildet die Totalherbizidvariante, in der der reduzierende Effekt der mechanischen Bodenbearbeitung nicht deutlich wird, da das Unkraut bereits zuvor abgetötet wurde. In diesen Parzellen hatte der Mais keine Konkurrenz um Licht und Wasser, was ihm einen entscheidenden Wachstumsvorteil in der Jugendentwicklung einbringt und sich enorm auf den Ertrag auswirkt. Im Gegensatz dazu wurden die Jungpflanzen bei den sowohl mechanisch als auch herbizidreduzierten Verfahren deutlich stärker in der Entwicklung beeinträchtigt, da eine erste Unkrautbekämpfung ausblieb, indem auf Glyphosat als Vorsaatbehandlung verzichtet wurde. Die Nachauflaufherbizide reichten dann oft nicht mehr aus, um die bereits vorhandenen Altunkräuter sicher beseitigen zu

können. Mit der Kombination aus Breitverteilung und Kreiselegge (Mulchsaat mit Saatbettbereitung) konnten in allen Varianten außer der Glyphosatvariante die höchsten Erträge erzielt werden. Innerhalb der Totalherbizidvarianten wurde sie jedoch noch von der Strip Till Variante übertroffen. Der Mais in Unterfranken reagierte auf eine unzureichende Unkrautreduktion mit einem stärker ausgeprägten Ertragsabfall im Vergleich zum Standort Niederbayern aufgrund der erhöhten Konkurrenz um Wasser. In unserem Versuch hat sich gezeigt, dass die Vorsaatbehandlung mit Glyphosat den Ertrag abzusichern vermag. So konnten alle Varianten im Durchschnitt gleichmäßig hohe Erträge mit hohem Bodenbedeckungsgraden erzielen. Insbesondere die Direktsaatvariante ist stark vom Einsatz des Totalherbizides abhängig. Steht jedoch kein Glyphosat zur Behandlung der Altverunkrautung im Vorsaatverfahren bei der Direktsaat zur Verfügung, ist mit regelmäßig starken Ertragseinbußen zu rechnen. Dies verdeutlicht den Zielkonflikt, bei dem der maximale Erosionsschutz und hohe Erträge unter den gewählten Techniken und Rahmenbedingungen nicht mit der Herbizidreduktion oder einem Verzicht auf Glyphosat über alle Jahre und Witterungen vereinbar sind. Daher ersetzt immer mehr die mechanische Bodenbearbeitung den chemischen Pflanzenschutz zur Unkrautregulierung und minimiert somit die Bodenbedeckungsgrade zum Erosionsschutz. Kann ein geringeres Maß an Erosionsschutz geduldet werden, ist ein Verzicht auf die Anwendung von Glyphosat und eine geringere Herbizidaufwandmenge im Nachauflauf unter optimalen Voraussetzungen durchaus möglich. Dies zeigen die Varianten Strip Till und Mulchsaat mit Saatbettbereitung mit der teilweisen bzw. ganzflächigen Einarbeitung der Gülle durch die Kreiselegge. Beide Geräte reduzieren somit eine vorhandene Verunkrautung. Bei einer mit Wurzelunkräutern vorbelasteten Fläche ist davon jedoch abzuraten. In Trockenregionen erlangt das optimale Unkrautmanagement einen noch höheren Stellenwert als in der Gunstregion, da der Mais mit einem viel stärkeren Ertragsabfall reagiert. Auch die Schaffung einer hohen Mulchbedeckung stellt in trockeneren Regionen einen höheren Anspruch an die richtige Zwischenfruchtwahl mit einem entsprechend hohen Anteil an Trockenkeimern und guten Massebildnern zur Unkrautunterdrückung.

Ein reduzierter Herbizideinsatz kann auf längere Sicht zu einer Erhöhung des Unkrautdrucks führen. So können vor allem beim Verzicht auf Glyphosat Altverunkrautungen wieder zu einem Problem werden. Alternative nicht-selektive Herbizide sind in der Gruppe der ALS-Hemmer, die die Sulfonylharnstoffe umfassen, zu finden. Diese sind jedoch bei regelmäßigem Einsatz von der Gefahr einer Resistenzbildung betroffen.

Der Einfluss einer Glyphosatanwendung auf die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer wurde in der Direktsaatvariante im Vergleich zu keiner Herbizidapplikation oder alternativen Herbizidbehandlungen untersucht. Auf den vier jährlich wechselnden Standorten wurde keine einheitliche Wirkung einer Glyphosatanwendung bei Direktsaat im Maisanbau auf Regenwürmer festgestellt. Dies weist auf die Komplexität des Ökosystems Boden hin, welches stark durch Jahres- und Standorteffekte beeinflusst wird. Nur an einem von vier Standorten zeigte sich eine negative Wirkung einer Glyphosatanwendung auf Regenwürmer im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und eines alternativen Herbizides im Nachauflauf. Dies weist, auch unter Berücksichtigung anderer bekannter Studien, darauf hin, sehr behutsam mit der Anwendung von Glyphosat umzugehen und die Häufigkeit und Aufwandmengen von Glyphosat auf das Notwendigste zu reduzieren. Des Weiteren sind mögliche Pflanzenschutzmittelrückstände im Boden zu beachten und bodenschonende Bewirtschaftungsverfahren umzusetzen, um Regenwurmpopulationen zu stärken und keinen weiteren Stressoren auszusetzen.

1 Einleitung

Bodenerosion ist ein großes Problem der Landbewirtschaftung (Oldemann et al, 1991; Auerswald und Schmidt 1986). Sie stellt uns vor dem Hintergrund zunehmender Starkregeneignisse und längerer Trockenperioden vor immer größere Herausforderungen. Diesen muss vor dem Hintergrund, der von Politik und Gesellschaft gewünschten Herbizidreduktion mit praktischen Methoden begegnet werden. Auch ökonomische Gesichtspunkte sollten hierbei nicht außer Acht gelassen werden. Wer seine Flächen vorausschauend bewirtschaftet und seine Pflanzenbaumanagement an seinen Standort anpasst, kann den Verlust von Boden als wertvolles und begrenztes Gut auf ein erträgliches Maß reduzieren. Auch im Interesse zukünftiger Generationen pflegen Landwirte ihre Böden, um deren Fruchtbarkeit zu erhalten. Aufgrund von Erosion werden Nährstoffe und Humus davongetragen, wodurch Bäche und Seen belastet und Straßen sowie Siedlungen verschmutzt werden. Der Gewässerschutz und der Schutz von öffentlichem und privatem Eigentum erhöhen die Anforderungen an effektive Strategien zum Erosionsschutz. Jedoch stellt der Klimawandel und die damit einhergehenden Probleme die bisher etablierten Maßnahmen auf die Probe und erfordert eine Anpassung dieser Systeme. Dies hat zur Folge, dass einige der bisher umgesetzten Maßnahmen nicht mehr ausreichend wirkungsvoll sind und daher geändert oder ersetzt werden müssen (Gömann et al. 2017). Insbesondere beim Anbau von Mais und infolge verstärkt auftretender kleinräumiger Starkregeneignisse werden effektive Maßnahmen immer wichtiger. Auch aufgrund der zunehmenden Trockenperioden kommt der Weiterentwicklung von Erosionsschutzverfahren eine größere Bedeutung zu, um so viel wie möglich des Niederschlagswassers auf der Fläche zu infiltrieren und über einen längeren Zeitraum pflanzenverfügbar speichern zu können.

In den vergangenen Jahren nahmen die Diskussionen in der Öffentlichkeit um die Zulassungsverlängerung von Glyphosat sowie einer allgemeinen Pflanzenschutzmittelreduktion im Pflanzenbau immer weiter zu. Dies steht jedoch in Konflikt mit der Ertrags- und Qualitätssicherung der landwirtschaftlichen Produktion sowie dem Klima- und Bodenschutz, insbesondere in Verbindung mit reduzierter Bodenbearbeitung (Ackerbaustrategie 2035, BMEL, 2021). Hier ist zu beachten, dass der Wirkstoff Glyphosat in den Anbauverfahren Mulchsaat, Strip Till und Direktsaat derzeit noch eine Schlüsselrolle einnimmt (LFL, 2020; DLG, 10/2023). Der zunehmende Verlust verschiedener Wirkstoffe sowie die Reduktion der Anwendung von Pflanzenschutzmitteln bringt die Frage auf, wie ackerbaulich darauf reagiert werden kann. Neben dem Verzicht auf den Einsatz von Totalherbiziden und einer Reduktion des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln rückt die emissionsarme Ausbringung von Wirtschaftsdüngern in den Fokus. Dies geschieht vor dem Hintergrund immer strengerer Auflagen zur Düngerberechnung, -ausbringung und Bilanzierung von Nährstoffen. Hinzu kommen neue Vorgaben der Gemeinsamen Agrarpolitik der EU in Form der an die Agrarförderung gekoppelten Anforderungen an Umwelt-, Natur- und Klimaschutz.

Die Institute für Agrarökologie (IAB), Pflanzenschutz (IPS) sowie Tier und Technik (ILT) wurden mit einem Forschungsprojekt des Landwirtschaftsministeriums beauftragt, in dem die Mulchsaat von Mais unter Verzicht auf Glyphosat weiterentwickelt wird. Der Versuch hat das Ziel im konventionellen Landbau Verfahren zu erforschen und unter verschiedenen Standort- und Witterungsbedingungen zu prüfen, die den Boden ohne die Option „Glyphosat“ mit möglichst geringem Herbizideinsatz vor Erosion schützen und sichere Erträge

gewährleisten. Eine Grundvoraussetzung hierfür ist der Anbau einer Zwischenfrucht, die ein hohes Maß an oberirdischer Biomasse bildet, um ausreichend langlebigen Mulch auf der Bodenoberfläche zu hinterlassen. Zudem soll sie die Bodenstruktur verbessern, sodass die Infiltration von Regenwasser erhöht wird und im Anschluss Nährstoffe für den Mais zur Verfügung stellen. Das Zusammenspiel von Zwischenfrucht, verschiedene technische Lösungen zur Gülleausbringung bzw. –Einarbeitung, der Sätechnik und des Herbizidmanagements im Mais ist standortspezifisch auszuloten und anzupassen.

2 Problemstellung

Fruchtbarer Boden ist eine nicht erneuerbare Ressource. Er wird durch Erosion insbesondere in Form von Wasser, aber auch Wind und von klimatischen Veränderungen bedroht. Hinzu kommen die negativen Auswirkungen auf die Bodenstruktur bei nicht angepasster Bewirtschaftung durch zu nasses Befahren der Böden mit schweren Maschinen und Geräten. Derartig verdichtete Böden können im Vergleich zu jenen mit guter Struktur nicht so viel Wasser infiltrieren bei Starkregenereignissen und es kommt vermehrt zu Oberflächenabfluss. Ähnlich geschieht dies bei intensiv bearbeiteten Böden. Infolge des dadurch generierten hohen Anteils an Feinboden neigen diese Flächen oftmals zum Verschlämmen aufgrund der Verstopfung der Poren durch abgeschwemmte Bodenpartikel. Das Problem wird zusätzlich noch verschärft angesichts der steigenden Anzahl großer Schläge ohne wasserableitende Strukturen wie Raine oder Hecken. Eine Auswertung der Erosionswirkung der Regenfälle der letzten Jahre verglichen mit Werten aus den 1970er Jahren hat ergeben, dass sich die Regenerosivität verdoppelt hat. Zudem wird von einem weiteren Anstieg um 10 % in sechs Jahren ausgegangen (Fischer, F., Auerswald, K., Winterrath, T., Brandhuber, R., 2020). Auch eine Zunahme von erosiven Regen in den Wintermonaten zeichnet sich ab. Besonders Reihenkulturen sind hier in den Fokus geraten, da der Boden bei diesen aufgrund der geringen Bedeckung ungeschützt gegenüber Witterungseinflüssen ist. Die Direktsaat wäre im Hinblick auf diese Gesichtspunkte eine gute Möglichkeit, um diese Probleme zu vermeiden: Durch die ausbleibende Bodenbearbeitung erhöht sich die Aggregatstabilität, wodurch Erosion reduziert wird. Zudem bleibt das Porensystem im Boden erhalten und Wasser kann schnell versickern. Vor allem im Hinblick auf zunehmende Trockenperioden gewinnt dies in Zukunft eine immer wichtigere Bedeutung, um so viel Wasser wie möglich in den Boden zu infiltrieren und auf der Fläche zu halten. Diese Bewirtschaftungsweise kommt außerdem einem der wichtigsten Mitarbeiter im Boden zugute: dem Regenwurm. Langzeitversuche an der Lfl über 10 und 15 Jahre bestätigten, dass die tiefgrabende Art „*Lumbricus terrestris*“, auch Tauwurm genannt, von einer nicht wendenden Bodenbearbeitung profitiert (Walter, R., Burmeister, J., 2022). Dieser legt dauerhafte, senkrechte Röhren bis in eine Tiefe von einem Meter an und trägt zum Aufbau einer guten Struktur bei, wodurch der Boden im Fall eines Starkniederschlages viel Wasser in kurzer Zeit infiltrieren kann. Hinzu kommt, dass der Regenwurm ein wichtiger Mitstreiter wird, wenn es darum geht, die Fruchtbarkeit der Böden zu erhalten. Der Zwischenfruchtanbau ist eine weitere Maßnahme, um Böden in sensiblen Zeiten durch Bewuchs vor Erosion zu schützen und bietet gleichzeitig Regenwürmern Nahrung (Burmeister, J., Walter, R., 2019). Gemessen an der Fläche ist Mais mit über 500 000 ha die führende Ackerfrucht in Bayern. Dies entspricht fast 20 % der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Der überwiegende Anteil wird als Silomais (78 %) genutzt, der Anbauumfang von Körnermais hingegen beträgt 22 % (Quelle DMK, Statistisches Bundesamt Erhebung 2019). Im Ökolandbau hat der Mais derzeit noch eine

geringere Bedeutung, in der Tendenz ist diese jedoch zunehmend. Während der Jugendentwicklung reagiert der Mais auf Unkrautkonkurrenz sehr empfindlich. Eine wirksame Unkrautbekämpfung ist daher von elementarer Bedeutung. Die nach wie vor am häufigsten praktizierte Methode ist die Unkrautkontrolle mit einer standortangepassten Herbizidauswahl oder die Kombination von mehreren Präparaten. Bei Mulchsaat-Mais verursacht zudem eine nicht abgefrorene oder ausgesamte Zwischenfrucht und Ausfallgetreide der Vorkultur erhebliche Probleme. Diese konnten in der Vergangenheit mit einer Glyphosat-Vor-saatbehandlung schnell und kostengünstig beseitigt werden. Die vor Erosion schützende Mulchdecke blieb bei dieser Methode unberührt.

Vor dem Hintergrund des umstrittenen Einsatzes von Glyphosat und der Forderung nach Pflanzenschutzmittelreduktion, stellt sich die Frage wie ein effektiver Erosionsschutz im Mais in Zukunft gelingen kann. Dazu werden im Versuch verschiedene Herbizidstrategien für die Mulchsaat von Mais mit dem Ziel des Glyphosatverzichts erprobt und die nach der Saat angewandten Herbizide in reduzierter Aufwandmenge appliziert.

Für das Gelingen einer guten Mulchsaat ist die Auswahl einer geeigneten Zwischenfruchtmischung von elementarer Bedeutung. Diese erfüllt mehrere Funktionen: Eine der Anforderungen an die Zwischenfrucht ist einen entsprechenden Pflanzenmulch zu hinterlassen, der in den bezüglich Erosion kritischen Wochen den Abfluss bremst und Wasser in der Fläche hält. Nicht nur auf der Bodenoberfläche wirkt die schützende Mulchschicht, wichtig ist auch die Wirkung der einzelnen Mischungen auf das Bodengefüge, die Aggregatstabilität und die Humusneubildung. Die Zwischenfrüchte sollten im Idealfall auch Ausfallgetreide und Unkräuter wirksam unterdrücken, sowie unter unterschiedlichen klimatischen Bedingungen gut wachsen. (BLE, 2018)

Üppige Zwischenfruchtbestände gehören, mit Ausnahme der Trockenregionen Bayerns, in den Wintermonaten zum Landschaftsbild. Diese weisen ein sehr hohes Erosionsschutzniveau auf. Der technische Standard bei der Maisaussaat ist nach wie vor die Gülleausbringung vor der Saat mit ganzflächiger Einarbeitung des organischen Düngers. Dadurch wird der Boden stark gelockert, die Zwischenfrüchte zerkleinert und teilweise mit der obersten Bodenschicht vermischt, wodurch die vor Erosion schützende Pflanzenbedeckung stark reduziert wird. In den Trockenregionen Bayerns ist der Zwischenfruchtanbau nicht so weit verbreitet. Gründe dafür ist die schwierige Etablierung aufgrund des häufigen Wassermangels im Spätsommer und Herbst zur Aussaat sowie die häufige Annahme, dass die Zwischenfrüchte der Folgekultur im Frühjahr Wasser kosten. Allerdings wurde diese These längst widerlegt. Ein gutes Beispiel ist hier das CATCHY (1) Projekt (CATCHY 2018). Dieses beschäftigt sich mit dem Wert von Zwischenfruchtmischungen als Vorkultur von Mais in einem Langzeitversuch. Eine Dauerbeobachtung des Bodenwasservorrates in 0 - 90 cm Tiefe in den Trockenjahren 2018 und 2019 zeigte, dass Zwischenfrüchte im Herbst zwar Wasser verbrauchen, jedoch diese Verluste kompensiert werden durch eine Verringerung der unproduktiven Verdunstung aus dem Boden. Voraussetzung dafür ist jedoch das sichere Abfrieren der Zwischenfrüchte. Alle untersuchten Zwischenfrüchte wiesen einen höheren Bodenwasserhaushalt auf als die Brache. Somit stand dem Mais während der Wachstums- und Vegetationsphase mehr pflanzenverfügbares Wasser zur Verfügung (Gentsch, N., Guggenberger, G.).

Emissionsmindernde Ausbringtechnik ist in der Landwirtschaft längst gängige Praxis und spielt vor allem in Reihenkulturen wie Mais in Kombination mit der Bodenbearbeitung eine entscheidende Rolle für die Unkrautregulierung. Aus diesem Grund wurden

unterschiedliche Bodenbearbeitungssysteme zur bzw. nach der Gülleausbringung als weiterer Faktor getestet. Eine Variante stellte das aktuell vorherrschende Standardverfahren bei der Maismulchsaat dar: die Gülleausbringung mit dem Breitverteiler und die Einarbeitung mit der Kreiselegge. Dieses System wird jedoch in Zukunft vermutlich an Bedeutung verlieren, da ab 2025 politische Vorgaben in Kraft treten, die das Fenster zur Einarbeitung der Gülle auf maximal eine Stunde nach Ausbringung verkürzen. Im weiteren Verlauf wird dieses Verfahren als „Breitverteiler“ bezeichnet. Die zweite Variante war die Direktsaat, bei der die Gülleausbringung mit dem Schleppschuh erfolgte und ohne Saatbettbereitung gesät wurde, im Folgenden kurz „Schleppschuh“ genannt. Zusätzlich dazu wurde das Strip Till Gerät hinzugenommen. Dieses findet bisher in der Praxis noch keine breite Anwendung, gilt jedoch als Kompromiss der beiden vorhergehenden Systeme. Hier werden Gülleausbringung und -einarbeitung in einem Schritt vereint, wobei jedoch nur der Streifen, in dem die Gülle platziert ist, bearbeitet wird und die restliche Fläche unberührt bleibt.

3 Material und Methoden

3.1 Versuchsaufbau

Ziel des Versuches war ein Systemvergleich bei der Mulchsaat von Mais mit abfrierenden Zwischenfrüchten, verschiedenen Varianten der Bodenbearbeitung zur Gülleearbeitung und verschiedenen Herbizidstrategien vor dem Hintergrund des glyphosatfreien Erosionsschutzes. Als Bemessungsgrundlage für den Erfolg der Verfahren und Verfahrenskombinationen diene letztendlich der Ertrag. Im Folgenden soll die Hypothese „Ein erosionsmindernder Anbau von Mais ohne Glyphosat und reduziertem Herbizideinsatz ist in Bayern bei stabil hohen Erträgen möglich“ untersucht werden.

Der Versuch umfasste insgesamt 36 Varianten in vierfacher Wiederholung auf zwei Standorten. Die Varianten setzten sich aus den Methoden des Pflanzenschutzes, der Zwischenfrucht und der Bodenbearbeitung zusammen. Der nicht ortsfeste Versuch wurde jedes Jahr in einer Trockenregion und einer niederschlagsreichen Gunstregion durchgeführt, um die Varianten unter gänzlich unterschiedlichen Voraussetzungen testen zu können.

Der Versuch wurde als dreifaktorielles lateinisches Rechteck angelegt. Die drei m breiten Parzellen waren 50 m lang und in zwei große Blöcke aufgeteilt. Vor und hinter den Parzellen befand sich ein etwa 15 m breiter Streifen, der für alle Arbeiten als Vorgewende diente. Der Bereich zwischen den beiden Blöcken wurde während der Maissaat ebenfalls eingesät, die restliche Fläche im Umgriff daran wurde vom Landwirt mit Mais bestellt. Somit umfasste der insgesamt 265 m lange und 145 m breite Versuch eine Fläche von 3,8 ha, davon wurden 0,216 ha zur Ertragsermittlung (10m Kernparzelle) verwendet.

Die Entscheidung zum gewählten Versuchsdesign basierte auf bereits erfolgreich durchgeführten Versuchen des Instituts für Landtechnik und Tierhaltung (ILT 1a) an der LfL. Insbesondere konnte auf Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt „Auswahl, Evaluierung und Optimierung von Verfahren und Technik zur Applikation von Flüssigmist bzw. flüssigen Gärresten in Mais“ zurückgegriffen werden. (https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ilt/dateien/g%C3%BClleausbringung_in_stehenden_mais.pdf). In diesen Versuchen wurde nicht die in Feldversuchen übliche Parzellenversuchstechnik eingesetzt, sondern mit der in der Landwirtschaft üblichen auf drei Meter Mindestarbeitsbreite ausgelegten Technik gearbeitet. So ist die Parzellenbreite von drei Metern festgelegt. Die Parzellenlänge hängt in erster Linie von den Bodenbearbeitungsgeräten ab.

[illegible]

Varianten Nummer	Variante		
	1. Herbizidmanagement (H)	2. Gülleearbeitung (G)	3. Zwischenfrucht (Zf)
1	Kontrolle (unbehandelt)	Breitverteiler	Viterra Schnellgrün
2	Kontrolle (unbehandelt)	Breitverteiler	Aqua Pro ohne Buchweizen
3	Kontrolle (unbehandelt)	Breitverteiler	ZWH 4025 Vitalis Mulch
4	Kontrolle (unbehandelt)	Schleppschuh	Viterra Schnellgrün
5	Kontrolle (unbehandelt)	Schleppschuh	Aqua Pro ohne Buchweizen
6	Kontrolle (unbehandelt)	Schleppschuh	ZWH 4025 Vitalis Mulch
7	Kontrolle (unbehandelt)	Strip Tillage	Viterra Schnellgrün
8	Kontrolle (unbehandelt)	Strip Tillage	Aqua Pro ohne Buchweizen
9	Kontrolle (unbehandelt)	Strip Tillage	ZWH 4025 Vitalis Mulch
10	Glyphosat + Nachauflauf	Breitverteiler	Viterra Schnellgrün
11	Glyphosat + Nachauflauf	Breitverteiler	Aqua Pro ohne Buchweizen
12	Glyphosat + Nachauflauf	Breitverteiler	ZWH 4025 Vitalis Mulch
13	Glyphosat + Nachauflauf	Schleppschuh	Viterra Schnellgrün
14	Glyphosat + Nachauflauf	Schleppschuh	Aqua Pro ohne Buchweizen
15	Glyphosat + Nachauflauf	Schleppschuh	ZWH 4025 Vitalis Mulch
16	Glyphosat + Nachauflauf	Strip Tillage	Viterra Schnellgrün
17	Glyphosat + Nachauflauf	Strip Tillage	Aqua Pro ohne Buchweizen
18	Glyphosat + Nachauflauf	Strip Tillage	ZWH 4025 Vitalis Mulch
19	Nachauflauf ohne Glyphosat	Breitverteiler	Viterra Schnellgrün
20	Nachauflauf ohne Glyphosat	Breitverteiler	Aqua Pro ohne Buchweizen
21	Nachauflauf ohne Glyphosat	Breitverteiler	ZWH 4025 Vitalis Mulch
22	Nachauflauf ohne Glyphosat	Schleppschuh	Viterra Schnellgrün
23	Nachauflauf ohne Glyphosat	Schleppschuh	Aqua Pro ohne Buchweizen
24	Nachauflauf ohne Glyphosat	Schleppschuh	ZWH 4025 Vitalis Mulch
25	Nachauflauf ohne Glyphosat	Strip Tillage	Viterra Schnellgrün
26	Nachauflauf ohne Glyphosat	Strip Tillage	Aqua Pro ohne Buchweizen
27	Nachauflauf ohne Glyphosat	Strip Tillage	ZWH 4025 Vitalis Mulch
28	red. Nachauflauf ohne Glyphosat	Breitverteiler	Viterra Schnellgrün
29	red. Nachauflauf ohne Glyphosat	Breitverteiler	Aqua Pro ohne Buchweizen
30	red. Nachauflauf ohne Glyphosat	Breitverteiler	ZWH 4025 Vitalis Mulch
31	red. Nachauflauf ohne Glyphosat	Schleppschuh	Viterra Schnellgrün
32	red. Nachauflauf ohne Glyphosat	Schleppschuh	Aqua Pro ohne Buchweizen
33	red. Nachauflauf ohne Glyphosat	Schleppschuh	ZWH 4025 Vitalis Mulch
34	red. Nachauflauf ohne Glyphosat	Strip Tillage	Viterra Schnellgrün
35	red. Nachauflauf ohne Glyphosat	Strip Tillage	Aqua Pro ohne Buchweizen
36	red. Nachauflauf ohne Glyphosat	Strip Tillage	ZWH 4025 Vitalis Mulch

Abbildung 2: Darstellung der Zusammensetzung der unterschiedlichen Varianten Gülleearbeitung, Herbizidmanagement und Zwischenfrüchte

3.1.1 Herbizidmanagement (Faktor 1)

Der Versuch teilte sich in 4 verschiedene Pflanzenschutzstrategien auf. Hierbei sollte durch eine unbehandelte Kontrolle das allgemeine Unkrautauflkommen eruiert werden, um die Effektivität der anderen Herbizidmaßnahmen beurteilen zu können. Die Mittelauswahl erfolgte situativ nach Bonitur mit den Experten der Arbeitsgruppe Herbologie der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft. Die 4 Varianten setzten sich wie folgt zusammen:

- Glyphosat im Voraufbau und eine Nachauflaufbehandlung mit selektiven Mais-Herbiziden in Standardaufwandmenge (Gly + NA)

- Hierzu wurde ein Glyphosathaltiges Präparat (z.B. Kyleo je nach Jahr mit ca. 4 l/ha) nach dem Vegetationsbeginn im Frühjahr eingesetzt. Im Anschluss erfolgte im Mais eine Nachauflaufanwendung mit einer Mischung aus boden- und blattaktiven Herbiziden (z.B. Maister Power 1,5 l/ha + Aspect 1,5 l/ha)
- Nachauflauf mit voller Aufwandmenge (NA)
 - Im Nachauflauf erfolgte in dieser Variante eine dem Unkrautauflkommen angepasste Anwendung mit praxisüblichen Tankmischungen (z.B. Maister Power 1,5 l/ha + Aspect 1,5 l/ha)
- Nachauflauf mit reduzierter Aufwandmenge (redNA)
 - Hier wurde im Nachauflauf im Vergleich zu der vorhergehenden Variante situativ gezielt entweder die boden- oder blattaktive Tankmischungskomponente reduziert (Maister Power 1,0 l/ha).
- Unbehandelte Kontrolle (UK)
 - In diesen Parzellen erfolgte keinerlei Herbizid-Behandlung, um den natürlichen Unkrautbesatz in jeder Zwischenfrucht und nach den Bodenbearbeitungsvarianten einschätzen zu können.

3.1.2 Bodenbearbeitung zur Gülleeinarbeitung (Faktor 2)

Zur Düngung der 3 m breiten Parzellen wurde ein Güllefass mit Durchflussmengenregler verwendet. Die verwendete Ausbringtechnik war in der Strip Till-Variante ein vierreihiges Strip Till-Gerät von Orthman und Yetter (Abbildung 6). In den beiden anderen Varianten kam ein 3 m Bomech Schleppschuh zum Einsatz (Abbildung 5), der in den Varianten der Breitverteilung (Abbildung 3) zusätzlich mit kleinen Pralltellern ausgestattet wurde. Als organischer Dünger wurde Biogasgärrest mit 25 – 35 m³ verwendet. Dieser wurde vorher auf die enthaltenen Inhaltsstoffe beprobt und nach den Ergebnissen der Düngebedarfsermittlung und den Bodenprobeanalysen ausgebracht. Für alle Parzellen wurde mit einem hochgenauen RTK GPS gearbeitet, um besonders in der Strip Till-Variante den bearbeiteten Streifen genau zu treffen.

Die 3 Varianten der Gülleausbringung und Einarbeitung setzten sich wie folgt zusammen:

Mulchsaat mit Saatbettbereitung (Bezeichnet im Folgenden mit „Breitverteilung“):

Hier wurde die Gülle mit dem umgebauten Schleppschuhverteiler von Bomech mit kleinen Pralltellern ca. 40 cm über dem Boden breitflächig verteilt. Die Einarbeitung erfolgte mit einer Überfahrt mit der Kreiselegge. Anschließend wurde der Mais mit einem Mulchsaatgerät eingesät (, H., Six, J., Hendrix P. F., 2006: Interactive effects of functionally different earthworm species on aggregation and incorporation and decomposition of newly added residue carbon. - Geoderma).



Abbildung 3: Mulchsaat mit Saatbettbereitung



Abbildung 4: Einarbeitung der oberflächlich ausgebrachten Gülle mit der Kreiselegge

Direktsaat als Mulchsaat ohne Saatbettbereitung (im Folgenden „Schleppschuh“ bezeichnet):

Diese Variante stellt eine Direktsaat dar, da die Gülle nicht eingearbeitet wurde. Durch die ausgebliebene Bodenbearbeitung kann ein maximaler Erosionsschutz gewährleistet werden.



Abbildung 5: Direktsaat als Mulchsaat ohne Saatbettbereitung (Schleppschuh)

Streifenbodenbearbeitung (Bezeichnet im Folgenden mit „Strip Till“):

Mit diesem Gerät wurden die Gülleausbringung, -einarbeitung und Bodenbearbeitung in einem Arbeitsgang kombiniert. Dabei wurde nur ein Streifen von etwa 25 cm Breite und 17 cm Tiefe bearbeitet, der Boden zwischen den Streifen hingegen blieb unberührt.



Abbildung 6: Gülleausbringung und Einarbeitung in einem Schritt mit dem Strip Till Gerät



Abbildung 7: Arbeitsbild der streifenförmigen Bodenbearbeitung des Strip Till Gerätes

3.1.3 Zwischenfrüchte (Faktor 3)

Bei der Wahl der Zwischenfrüchte wurden abfrierende Mischungen gewählt, die sowohl für die Mulch- als auch für die Direktsaat geeignet sind. Um den Anforderungen an den Versuch gerecht zu werden, sollten die Zwischenfruchtmischungen einerseits einen guten Erosionsschutz leisten durch viel Biomassebildung und ebenso zuverlässig abfrieren. Andererseits sollten sie jedoch auch spätsaat- und trockentolerant sein. Die Wahl fiel zum ersten auf „Viterra Schnellgrün“ von Saatenunion. Diese Mischung stellt laut Hersteller dank wachstumsstarker Komponenten eine schnelle Begrünung und daher guten Erosionsschutz her. Außerdem soll diese ideal für Maisfruchtfolgen sein und sicher abfrieren aufgrund kälteempfindlicher Mischungspartner.

Zusammensetzung Viterra Schnellgrün:

- 43 % Gelbsenf ALBATROS
- 22 % Leindotter
- 22 % Michelis Klee
- 13 % Sareptasenf / Brauner Senf ENERGY

Die zweite Zwischenfruchtmischung war „Terra Life Aqua Pro“ ohne Buchweizen von DSV-Saaten. Diese zeichnet sich laut Herstellerangaben durch eine gute Trockentoleranz sowie Nährstoffspeicherung aus und wirkt sich dank frohwüchsiger Mischungspartner positiv auf den Erosionsschutz aus. Die darin enthaltenen Anteile der Kulturen variieren von Jahr zu Jahr, deshalb können keine exakten Daten dazu angegeben werden.

Zusammensetzung Terra Life Aqua Pro:

- Färberdistel
- Phacelia
- Ramtillkraut
- Rauhafer
- Sonnenblumen

- Sorghum
- Öllein

Die Wahl der dritten Zwischenfrucht fiel auf die „ZWH 4025 Vitalis Mulch“ von Planterra. Nach Aussage des Herstellers soll diese Mischung einen feinkrümeligen, schnell abtrocknenden Boden mit guter Mulchauflage im Frühjahr hinterlassen dank stehendem Abfrieren von Kresse und Senf.

Zusammensetzung ZWH 4025

- Alexandrinerklee 48%
- Kleinblättrige Kresse 27%
- Senf (nematodenresistent) 15%
- Phacelia 10%

Der Anbau der Zwischenfrüchte im Versuch erfolgte im Herbst nach der Weizenernte. Hierfür wurden die Mischungen nach dem Pflug- oder Grubbereinsatz mit einer Säkombination aus Kreiselegge und Sämaschine gesät. Im Gegensatz zu den Jahren 2020 bis 2023 wurde im Jahr 2019 die Zwischenfruchtmischung „Humus Pro“ von ANDREAE SAATEN verwendet. Diese wurde aber aufgrund des darin enthaltenen Buchweizens und dessen fehlende Bekämpfbarkeit in Zuckerrüben in den folgenden Jahren ersetzt durch „Terra Life Aqua Pro ohne Buchweizen“ von DSV SAATEN.



Abbildung 8: Aufwuchs der unterschiedlichen Zwischenfruchtmischungen im Versuch

3.1.4 Bodenprobenahme

Vor der Anlage des Versuches wurde an jedem Standort zunächst eine Beprobung des Bodens hinsichtlich seiner physikalischen Eigenschaften und Korngrößenverteilung veranlasst. Dazu wurden sowohl gestörte als auch ungestörte Bodenproben entnommen, um diese anschließend im eigenen bodenphysikalischen Labor der LfL in Freising zu analysieren. Für

die Untersuchungen werden zwei verschiedene Arten von Bodenproben entnommen: Zum einen Stechzylinder, in denen der Boden in ungestörter Lagerung vorliegt und zum anderen gestörte Bodenproben zur Bestimmung der Bodenart (Textur), des Totwassers (TW) und der Festsubstanzdichte (FSD).

Die Beprobung am Versuchsfeld erfolgte zunächst mit Stechzylindern aus Metall mit einem Volumen von 250 cm^3 . Auf einer Tiefe von 10 – 15 cm und 30 – 35 cm wurden je sechs Stechzylinder mit einem Hammer eingeschlagen und anschließend vorsichtig herausgehoben, um eine ungestörte Bodenprobe zu erhalten (Abbildung 9 & Abbildung 10). Dies ist wichtig, um das Gesamtporenvolumen (GPV) als Maß für die Summe aller Hohlräume im Bodengefüge zu beurteilen. Besonders die Einteilung der Poren in Grob-, Mittel- und Feinporen und deren prozentuale Verteilung ist für die Wasserhaltefähigkeit des Bodens und den Grad der Durchlüftung von Interesse. Anhand der Anteile der Grobporen wird die Luftkapazität (LK), der Mittelporen die nutzbare Feldkapazität (nFK) und der Feinporen der Totwassergehalt (TW) bestimmt. Dies ist insbesondere für die Charakterisierung der Standortverhältnisse und die Eignung als landwirtschaftlicher Produktionsstandort wichtig.



Abbildung 9: Bodenprobenahme mit Stechzylindern



Abbildung 10: Einschlagen der Stechzylinder mit dem Hammer

Zusätzlich zu den Stechzylindern wurden je Tiefe etwa 500 Gramm gestörtes Bodenmaterial mit dem Spaten entnommen. Dieses Material diente zur Feststellung der Korngrößenverteilung des Bodens und somit der Bestimmung der Bodenart. Diese wird anhand der Korngrößenanteile von Ton, Sand und Schluff ermittelt, die sich wiederum in feiner unterscheidbare Fraktionen einteilen lassen. Das Verfahren für die Bestimmung der Partikelgrößenverteilung in Mineralböden basiert auf der DIN ISO 11277 (2002) und beschreibt die Bestimmung der Bodenart von Mineralböden mit maximal 10 % organischer Substanz mittels Siebung und Sedimentation. Zur Analyse der Textur wurden die Bodenmischproben auf 2 mm gesiebt und luftgetrocknet. Mithilfe der Siebung konnten die Anteile der Fraktionen Fein-, Mittel- und Grobsand, durch Sedimentation die Anteile von Ton, Fein- Mittel- und

Grobschluff bestimmt werden. Die Definition der Bodenart erfolgte anhand der bodenkundlichen Kartieranleitung.

Für die Bestimmung der Trockenrohddichte (TRD) wurden die Stechzylinderproben bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Anhand einer Formel konnte nach der Wiegung des Zylinders die TRD ermittelt werden:

$$\text{TRD in g/cm}^3 = \frac{\text{Trockenmasse des Bodens in g}}{\text{Stechzylindervolumen * in cm}^3}$$

Die Festsubstanzdichte (FSD) wurde mithilfe des AccuPyc 1330 Gerätes ermittelt. Mit den Werten der TRD und der FSD konnte im weiteren Verlauf das Gesamtporenvolumen berechnet werden:

$$GPV = 1 - \frac{TRD}{FSD} * 100$$

GPV Gesamtporenvolumen

TRD Trockenrohddichte

FSD Substanzdichte

Zur Bestimmung des Wasseranteils bei Feldkapazität (FK) wurden die Stechzylinderproben mit Wasser gesättigt und im Unterdruckverfahren mittels Druckmembran-Extraktionsanlage bei pF Stufe 1,8 entwässert (DIN 11274). Um daraufhin den Totwassergehalt (TW) ermitteln zu können, wurden die Proben im Drucktopf bei pF Stufe 4,2 entwässert. Diese Stufe entspricht dem permanenten Welkepunkt, ab dem Pflanzenwurzeln nicht mehr in der Lage sind das in den sehr engen Poren durch Kapillarkräfte gehaltene Wasser herauszuziehen. Anschließend konnte anhand einer Formel der prozentuale Totwassergehalt ermittelt werden:

$$\text{Totwasser (\%)} = \frac{\text{Masse des Feuchtbodens} - \text{Masse Trocken}}{\text{Masse Trocken}} * 100$$

Aus diesen Parametern sind die nutzbare Feldkapazität (nFK) und die Luftkapazität (LK) zu berechnen. Die Luftkapazität stellt ein Maß für die Versorgung der Pflanzenwurzeln mit Sauerstoff dar, wobei die Größe der Poren ausschlaggebend für die Luft und/oder Wassersättigung ist. Dadurch stellt die Luftkapazität einen wichtigen Parameter dar, um für die Vegetation entscheidende Standorteigenschaften zu beurteilen.

$$nFK = FK - TW$$

nFK nutzbare Feldkapazität

FK Feldkapazität

TW Totwasser

$$LK = GPV - FK$$

LK Luftkapazität

GPV Gesamtporenvolumen

FK Feldkapazität

3.1.5 Bonituren

Im weiteren Projektverlauf wurden Bonituren durchgeführt, um die 36 verschiedenen Varianten bewerten zu können:

- Bonitur der Mulchbedeckung (Bodenbedeckungsgrad)
- Bonitur des Feldaufganges (Mais)
- Pflanzenzahl
- Unkrautdeckungsgrad
- Pflanzenhöhe
- Bodenfeuchte
- Kulturdeckungsgrad
- Krankheiten
- Ertrag

Alle Bonituren wurden nach den Richtlinien des Bundessortenamtes durchgeführt. Die erste Bonitur des Versuches erfolgte jeweils kurz nach der Maisaussaat zur Erhebung des Feldaufganges. Hierbei wurde die Zahl der gekeimten Maispflanzen in den mittleren zwei Reihen auf einer Länge von 1,50 Metern erfasst. Die Erfassung der Bodenfeuchte erfolgte mit einem „TDR Fieldscout“ Messgerät, das die Bodenfeuchte in einer Tiefe von 12 cm ermittelte. Mit diesem Gerät erfolgten jeweils drei Messungen pro Parzelle.

Auffälligkeiten hinsichtlich des Schädlingsbefalls wurden nicht bonitiert, jedoch vermerkt. So waren beispielsweise in den Direktsaatvarianten häufig Mäuselöcher zu finden, in den anderen Parzellen hingegen nicht.

3.2 Versuchsstandorte, Boden- und klimatische Verhältnisse

- Gunststandort Niederbayern, Landkreis Passau: Pillham, Kühnham, Schönbürg, Bad Höhenstadt, Berg (

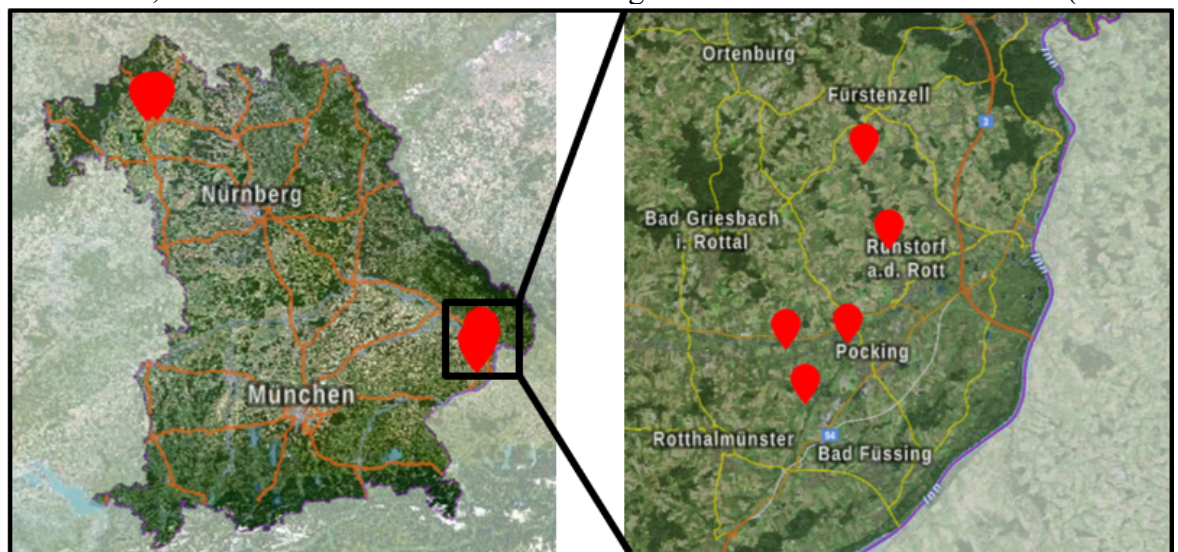


Abbildung 11)

- hohe Niederschläge (860 mm pro Jahr)
- Jahresdurchschnittstemperatur 9,0°C

- Trockenstandort Unterfranken, Landkreis Schweinfurt: Schraudenbach, Klingenhof, Ettleben (Abbildung 13)
 - Niederschläge vor allem in den Sommermonaten gering (680 mm pro Jahr)
 - Jahresdurchschnittstemperatur 8,9 °C Ergebnisse

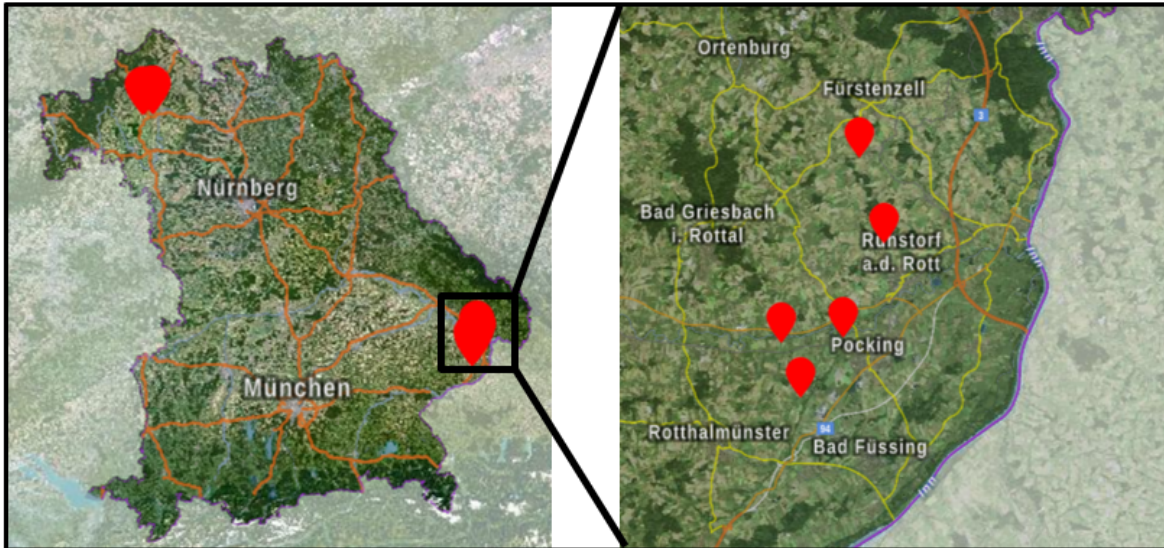


Abbildung 11: Standorte der Versuche in Niederbayern

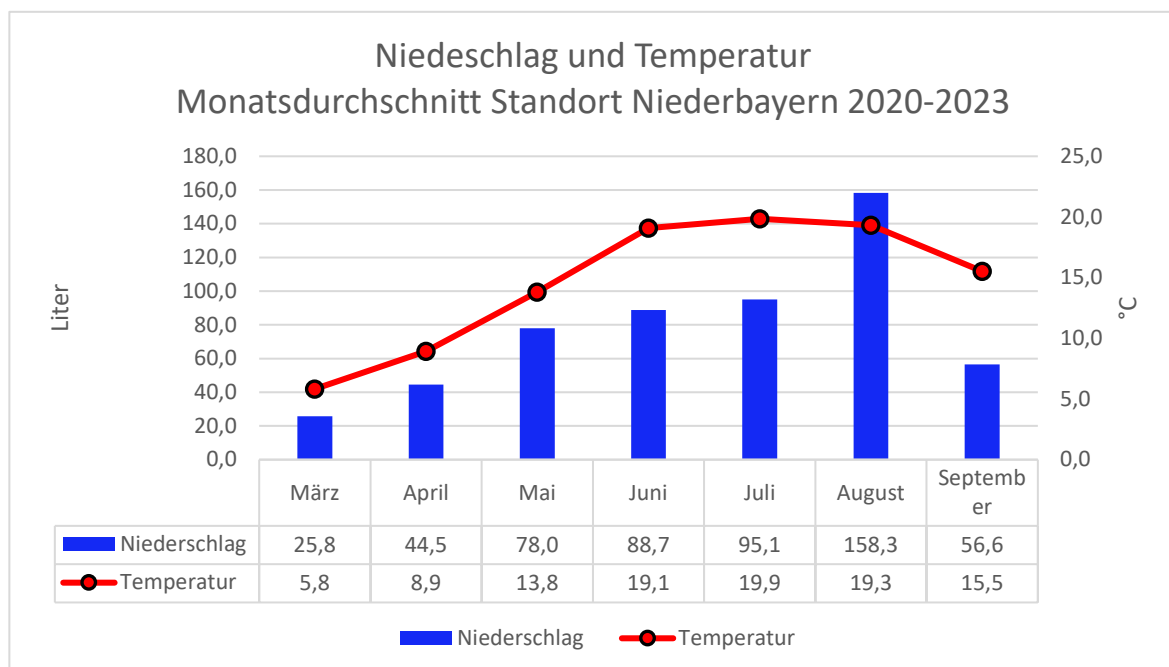


Abbildung 12: Niederschläge und Temperatur kurz vor und während der Wachstumsphase des Mais am Gunststandort Niederbayern

Im Jahresdurchschnitt sind 824,95 mm/m² Niederschlag in Niederbayern von 2020 – 2023 gefallen (Abbildung 12). Betrachtet man nur den für das Maiswachstum entscheidenden Zeitraum, so fielen von März bis September 547 mm. Im Mittel lag die Anzahl der Vegetationstage bei 257,5.



Abbildung 13: Standorte der Versuche in Unterfranken

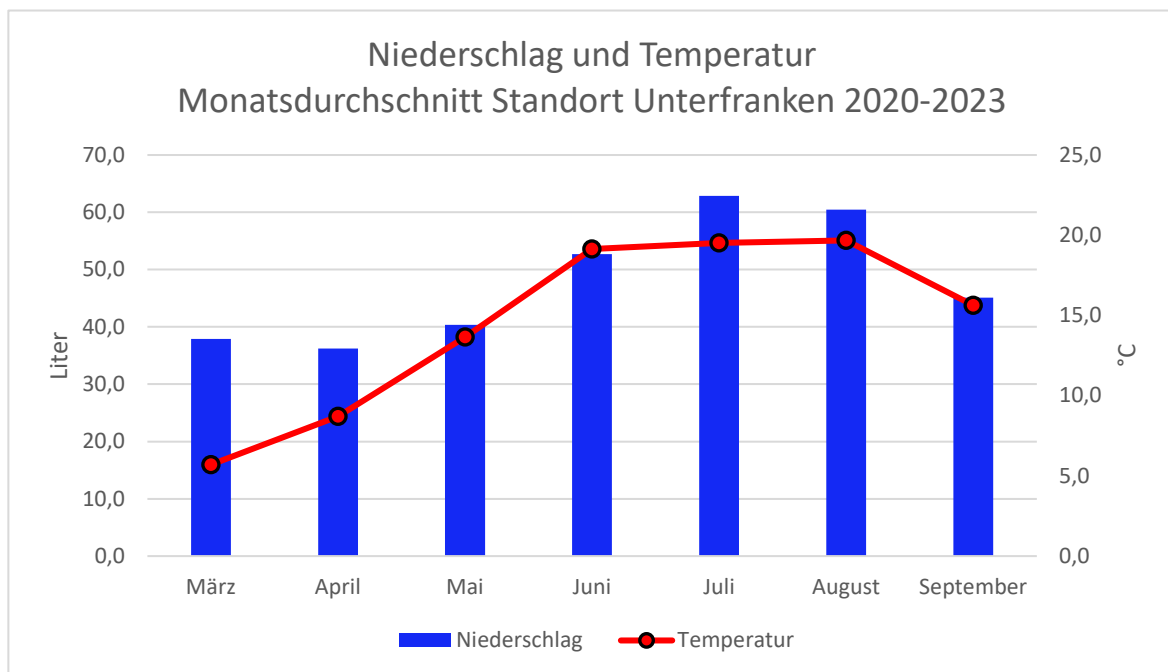


Abbildung 14: Niederschlag und Temperatur im Monatsdurchschnitt am Standort Unterfranken von 2020 - 2023

Im Vergleich dazu war der durchschnittliche Jahresniederschlag am Standort Unterfranken (Abbildung 14) bei 589,35 mm/m², wovon 335,65 mm auf den Zeitraum von März bis September entfielen. Dies entspricht 211,35 mm weniger Wasser, das für den Mais zur Verfügung stand bei gleicher mittlerer Jahresdurchschnittstemperatur, aber mehr Vegetationstagen in Höhe von 266. Hieraus wird deutlich, dass es an diesem Trockenstandort (Abbildung 13) essenziell ist, das Wasser, das dem Mais während der Wachstumsphase zur Verfügung

steht, bestmöglich zu nutzen und mit Hilfe von Mulchauflage und Herbizideinsatz den Entzug von Konkurrenzpflanzen sowie unproduktive Verdunstung zu minimieren.

Die Struktur eines Bodens hat einen erheblichen Einfluss auf die Bodenprozesse, wie den Wasser- und Lufthaushalt, die Pufferleistung gegenüber Verdichtung sowie Verschlammung als Ausgangsbasis für das Pflanzenwachstum. Je stabiler das Bodengefüge ist, desto höher ist die Tragfähigkeit des Bodens und umso geringer ist seine Anfälligkeit gegenüber Schäden wie Verdichtung und Erosion. Der Widerstand der Aggregate gegenüber zerstörenden Umwelteinflüssen wird als Aggregatstabilität bezeichnet. Das Aggregatgefüge zeichnet sich durch eine optimale Porenverteilung aus, die sich positiv auf die Bodenprozesse auswirkt und in Kombination mit anderen Parametern wie Hummus, Mikroorganismen und Bodentieren zur Bodenfruchtbarkeit beiträgt.

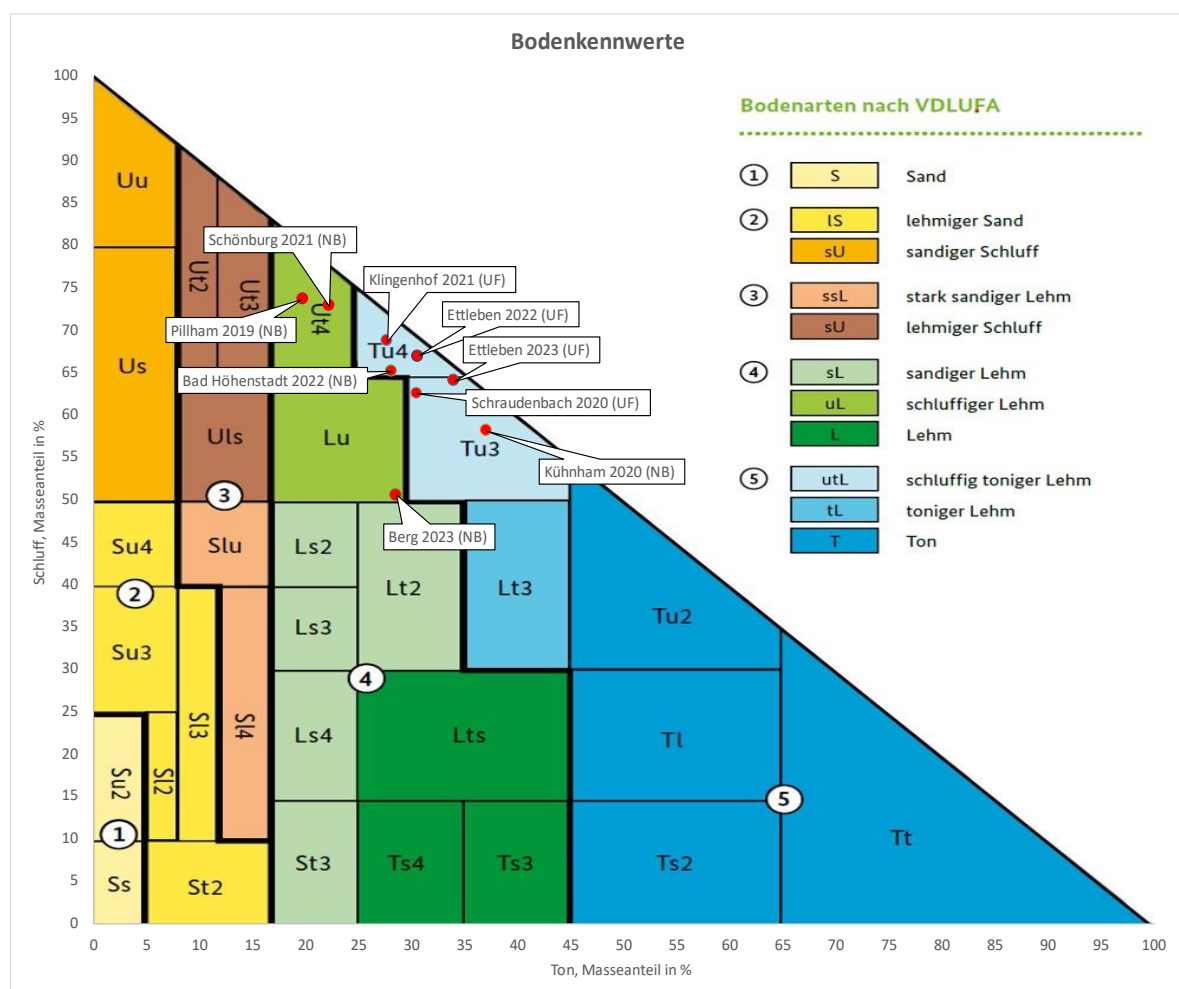


Abbildung 15: Einteilung der Böden der Versuchsstandorte und Darstellung im Bodenartendreieck nach VDLUFA. (NB= Niederbayern; UF = Unterfranken)

Quelle: BLE, 2021.

https://www.ble.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2021/211018_Bodenartendreieck.html

3.3 Statistik

Für die Versuchsauswertung erfolgte zunächst eine eingehende Prüfung der Daten hinsichtlich Vollständigkeit, Auffälligkeiten, Ausreißer sowie auf Plausibilität. Im Anschluss wird eine Varianzanalyse mit der „Proc Mixed“ von SAS durchgeführt. Dieser Varianzanalyse liegt das Modell für drei Faktoren, deren Wechselwirkungen und den Blockfaktoren der Versuchsanlage (Spaltanlage: $A|(B*C)$) zugrunde.

Über einen multiplen Mittelwertvergleich (SNK-Test) werden die Faktorstufen und auch Wechselwirkungen verglichen und signifikante Unterschiede anhand verschiedener Buchstaben dargestellt.

4 Ergebnisse

In diesem Abschnitt werden die individuellen Jahre, ihre Bedingungen und die resultierenden Ergebnisse eingehend beschrieben. Der Versuch wurde aufgrund einiger ungünstiger Witterungsereignisse um ein weiteres Jahr ausgeweitet, was die Gesamtdauer auf insgesamt vier Jahre erhöhte.

4.1 Vorversuch 2019

Das Jahr 2019 wurde für einen Vorversuch genutzt, um die festgelegte Strategie auf ihre Praktikabilität sowie die eingesetzte Technik testen zu können. So wurde der Versuch nicht auf beiden Standorten, sondern nur auf einem durchgeführt. Dazu wurde eine Fläche in Pillham bei Ruhstorf an der Rott im Landkreis Passau (Niederbayern) ausgewählt. Die Voraussetzungen für die Wahl des Feldes waren zum einen eine homogene Fläche und zum anderen möglichst nahe am Standort der LfL mit guter Anbindung.



Abbildung 16: Verschiedene Gülleausbringvarianten und Einarbeitung. Vorversuch 2019 in Pillham, Niederbayern

4.1.1 Pillham (Niederbayern)

Der Versuch wurde erstmals im Jahr 2019 am Standort Pillham in 94099 Ruhstorf an der Rott im Regierungsbezirk Niederbayern angelegt. Der Boden der Versuchsfläche wies folgende Zusammensetzung auf: 19,7 % Ton, 73,7 % Schluff und 6,6 % Sand, ist demnach einem stark tonigen Schluff (Ut4) zuzuordnen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Korngrößenverteilung am Standort Pillham 2019

Korngrößenverteilung nach DIN ISO 11277			
Abkürzung	Fraktion	Durchmesser (mm)	Wert
T	Ton	<0,002	19.7 %
fU	Feinschluff	0,002 bis < 0,0063	6.8 %
mU	Mittelschluff	0,0063 bis < 0,02	23.5 %
gU	Grobschluff	0,02 bis < 0,063	43.4 %
U	Gesamtschluff	0,002 bis < 0,063	73.7 %
fS	Feinsand	0,063 bis < 0,2	3.7 %
mS	Mittelsand	0,2 bis < 0,63	1.7 %
gS	Grobsand	0,63 bis < 2,0	1.2 %
S	Gesamtsand	2,0 bis < 0,063	6.6 %

An diesem Standort war der Sandgehalt relativ gering und gleichzeitig der Gehalt an Schluff sehr hoch. Dies bedeutet, dass der Boden sehr gut Wasser und Nährstoffe speichern kann und diese auch, sofern keine Verdichtungen vorliegen, sehr gut pflanzenverfügbar sind. Zugleich ist diese Bodenart jedoch auch sehr erosionsanfällig, was bei der Bearbeitung unbedingt beachtet werden sollte.

Erträge in Niederbayern in dt/ha in 2019

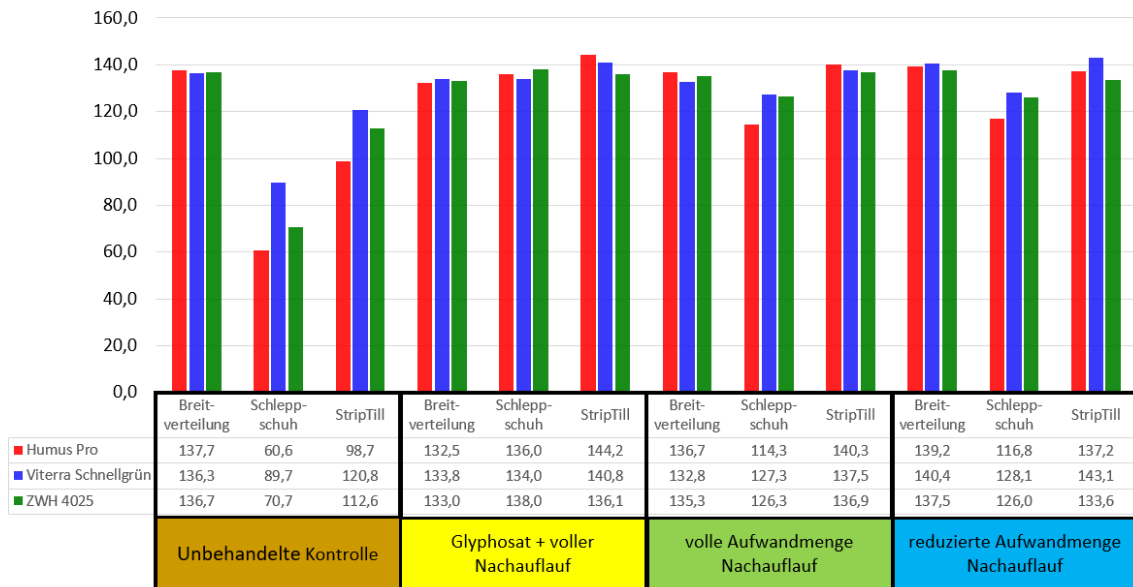


Abbildung 17: Durchschnittliche Erträge der Versuchsvarianten im Versuchsjahr 2019

Abbildung 17 zeigt die Erträge der 36 Varianten, gruppiert nach den Faktoren Herbizideinsatz und Bodenbearbeitung. Die Höchsterträge lieferten die Varianten mit Glyphosat, Nachauflauf – Strip Tillage – Humus Pro (144,2 dt/ha) und glyphosatfrei, reduzierter Nachauflauf – Strip Tillage- Viterro Schnellgrün (143 dt/ha). Den schlechtesten Ertrag brachte die Kombination aus Kontrolle (unbehandelt) – Schleppschuh – Humus Pro mit 60,6 dt/ha ein.

Hinsichtlich des Ertrages waren nur geringe Unterschiede zwischen den einzelnen Zwischenfruchtmischungen erkennbar. Auffallend war, dass die Mischung Humus Pro in allen Herbizidvarianten – mit Ausnahme der Glyphosatvariante in Verbindung mit Schleppschuh – im Ertrag abfiel. Ein deutlicher Hinweis darauf, dass diese Mischung durch die geringere Mulchbedeckung eine verminderte Unkrautunterdrückung leistete. Da die Wirkung des Unkrautdrucks in der Glyphosatvariante nicht zum Tragen kam, wies hier die Humus Pro Variante keinen schlechteren Ertrag auf.

Die Ergebnisse zwischen den Herbizidvarianten waren innerhalb der Mulchsaat (Breitverteilung) sehr homogen. Die Kreiselegge bekämpfte bereits effektiv das Beikraut und ist dementsprechend wie eine mechanische Unkrautbekämpfung einzustufen. Deutlich nachteilig an dieser Variante war jedoch der erheblich verminderte Erosionsschutz. Alle Breitverteilungsvarianten zeigten gute Ergebnisse, auch die unbehandelte Kontrolle überraschte mit hohen Erträgen. Ertraglich wiesen die Varianten, die mit Glyphosat und die im Nachauflauf behandelten Varianten leichte Einbußen auf. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass die volle Aufwandmenge im Nachauflauf mehr Stress auf die Pflanzen verursachte als sie Mehrertrag durch einen geringeren Unkrautbesatz absichern konnte.

Tabelle 2: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen

SNK Grouping		Mean bzw. Ø Ertrag in dt/ha	F1 Herbizidmanagement
A		136,48	Glyphosat Vorsaat, Nachauflauf
A		133,54	ohne Glyphosat, red. Nachauflauf
A		131,94	ohne Glyphosat, Nachauflauf
B		107,09	Kontrolle (unbehandelt)
			F2 Gülleearbeitung
A		135,99	Breitverteiler
B		131,82	Strip Tillage
C		113,98	Schleppschuh
			F3 Zwischenfrucht
	A	130,38	Viterra Schnellgrün
B	A	126,90	ZWH 4025 Vitalis Mulch
B		124,52	Humus Pro
		127,26	Mittelwert F1, F2, F3,

In der Tabelle 5 zeigt die Spalte Mean bzw. Ø Ertrag in dt/ha die gemittelten Erträge in den einzelnen Faktorstufen. Es wurde ein Durchschnittsertrag von 127,3 dt/ha erzielt. Den Höchstertrag mit 136,5 dt/ha lieferte die Kombination aus einer Glyphosat-Vorsaatbehandlung mit standort-spezifischer Nachauflaufbehandlung; hingegen brachte auch der Einsatz von Breitverteiler und Kreiselegge (Mulchsaat) mit 136 dt/ha Höchsterträge. Wie zu erwarten war, hat die unbehandelte Kontrolle den schlechtesten Ertrag (107 dt/ha) eingebracht, gefolgt von den Schleppschuhvarianten mit 114 dt/ha, die die Direktsaat darstellt. Die Student-Newman-Keuls Methode wird verwendet, um Stichprobenmittelwerte zu identifizieren, die sich erheblich voneinander unterscheiden. Tabelle 5 zeigt, ob signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppenmittelwerten (Grouping) vorliegen und diese werden daraufhin durch ungleiche Buchstaben dargestellt. Unterscheiden sich zwei Faktoren nicht signifikant voneinander, wird dies durch gleiche Buchstaben verdeutlicht. Für den Faktor F1 Herbizidmanagement gibt es ausgeprägte Abweichungen zwischen der unbehandelten Kontrolle und den Herbizidvarianten. Der Faktor Gülleearbeitung zeigt die deutlichsten Ertragsergebnisse; alle drei Varianten unterscheiden sich stark voneinander. Beim Faktor Zwischenfrucht weist die Mischung Viterra Schnellgrün und die Mischung Humus Pro einen signifikanten Unterschied auf. Die Mischungen Viterra Schnellgrün und Vitalis Mulch, sowie Vitalis Mulch und Humus Pro hingegen nicht.



Abbildung 18: Feldaufnahmen der unterschiedlichen Varianten ohne Glyphosateinsatz

Deutliche Ertragsunterschiede zeigten sich ebenfalls bei der Direktsaat-Schleppschuhvariante (Abbildung 18). Diese hatte im Vergleich zu den anderen den schlechtesten Ertrag, wobei bei der unbehandelten Kontrolle die stärksten Einbußen zu verzeichnen waren. Die Glyphosatvariante war hier im Ertrag deutlich überlegen, die Herbizidvarianten Nachauflauf und reduzierter Nachauflauf lagen gleichauf. Laut den Boniturergebnissen war in den Direktsaatparzellen die höchste Mulchauflage vorhanden, wodurch diese Variante auch aufgrund der unterlassenen Bodenbearbeitung als die Beste aus Erosionsschutzsicht einzustufen war. Diese Variante war jedoch nur unter konsequentem Unkrautmanagement mit Glyphosat aus ökonomischer Sicht konkurrenzfähig.

Bei den Strip Till-Kombinationen waren die Erträge der Varianten Glyphosat, Nachauflaufbehandlung und reduzierter Nachauflauf auf ähnlich gutem Niveau, nur die unbehandelte Kontrolle war deutlich schlechter im Ertrag. Der Erosionsschutz war als mittel einzustufen, Vorteile ergaben sich durch eine bessere Jugendentwicklung im Frühjahr. Begründet werden kann dies durch die anhand der streifenförmigen Berarbeitung gebildeten Dämme, welche durch ihr besseres Mikroklima die kälteempfindlichen Maisspflanzen schützten.

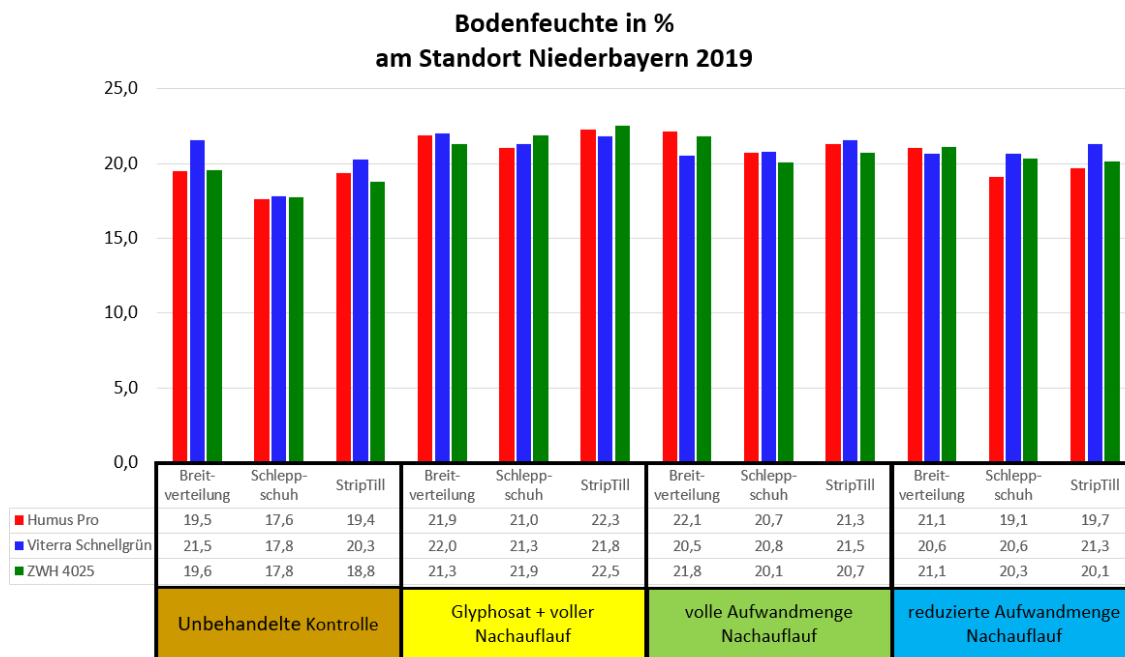


Abbildung 19: Bodenfeuchte in % Mittelwert aus 3 Terminen

Der Abbildung 19 können die gemittelten Bodenfeuchtwerte aus drei Terminen (29.04.19, 06.06.19 und 11.07.19) entnommen werden. Die unbehandelte Kontrolle wies in allen drei Varianten der Gülleeinarbeitung die geringste Bodenfeuchte auf. Möglicherweise ist dies auf die starke Verunkrautung zurückzuführen, welche dem Boden mehr Wasser entzogen hat. Dieser Effekt war bei der Variante Mulchsaat-Breitverteiler (20,20 %) am schwächsten ausgeprägt, da das intensive Einarbeiten der Gülle mit der Kreiselegge gleichzeitig auch eine mechanische Unkrautbekämpfung darstellte. Die Schleppschuhvariante hatte in der unbehandelten Kontrolle die niedrigsten Werte (17,72 %). Durch den minimalen Bodeneingriff mit Schleppschuh und Direktsaat konnte das Unkraut nicht dezimiert werden. Die Strip Till Variante lag mit 19,48 % im Mittelfeld. Erklären lässt sich dies durch die intensiv bearbeitete Saatfurche und den nicht bearbeiteten Rest. Der starke Unkrautdruck in einem Trockenjahr wie 2019 verdeutlicht, dass dem Boden dadurch messbar mehr Wasser entzogen wird. Dies zeigte sich deutlich in den Glyphosatvarianten, in denen die Messreihen über alle Güllevarianten hinweg die höchste Bodenfeuchte aufzeichneten. Diese Auswirkungen wurden durch eine Nachauflaufbehandlung ohne Glyphosat und durch eine reduzierte Nachauflaufbehandlung abgeschwächt, traten aber weiterhin auf.

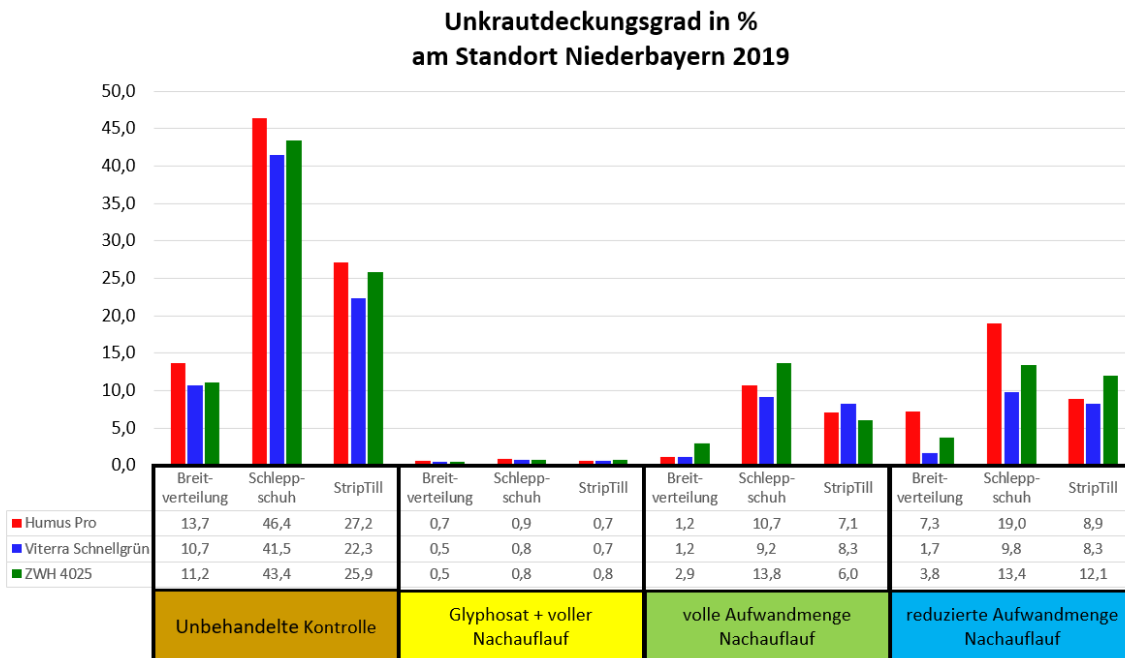


Abbildung 20: Gesamtunkrautdeckungsgrad in allen Varianten in %, Mittelwert aus zwei Terminen

Gemäß den Erwartungen war der prozentuale Gesamtunkrautdeckungsgrad in den Parzellen der unbehandelten Kontrolle am Höchsten (Abbildung 20). Bei der Betrachtung der Einarbeitungsmethoden der Gülle reduzierte die Kreiselegge in der Breitverteiler-Variante die Verunkrautung effektiv, wohingegen in der Schleppschuhvariante aufgrund der fehlenden Bodenbearbeitung der Bedeckungsgrad bei über 40 % lag. Ein deutlicher Reduzierungseffekt zeichnete sich auch in der Strip Till Variante ab. Mit Hinblick auf die Wirkung der Herbizidmaßnahmen war die Verunkrautung in den Glyphosatvarianten am geringsten. Je nach Einarbeitungstechnik der Gülle unterschieden sich die reduzierte und volle Aufwandmenge im Nachauflauf nur geringfügig. Die Kombination intensive mechanische Unkrautbekämpfung (Breitverteiler) und volle Herbizidaufwandmenge im Nachauflauf führte zu einem Unkrautdeckungsgrad von nur 1 %, in der reduzierten Variante zu 6,3 %. Bei fehlender mechanischer Unkrautdezinierung (Schleppschuh), konnte das Herbizid noch einen deutlichen Reduzierungseffekt erzielen. Im Vergleich zur Kontrolle ist die Verunkrautung um 64,6 % gesunken, bei reduzierter Aufwandmenge um 59,2 %.

Die Abbildung 20 veranschaulicht ebenso die Unkrautwirkung der verschiedenen Zwischenfrüchte. Die Viterra Schnellgrün Mischung hatte im Schnitt die beste Unkrautunterdrückung. Eine mögliche Ursache ist der hohe Senfanteil der Mischung, welcher auch bei Trockenheit einen üppigen Aufwuchs erzeugte und dadurch das Unkraut unterdrücken konnte. Die Mischung „Humus Pro“ hatet eine weniger stark reduzierende Wirkung auf das Unkraut. Möglicherweise unterdrücken die vielen Komponenten in der Mischung das Unkraut weniger effektiv als eine senfbetonte Alternative. Die ZWH Vitalis Mulch lag bezüglich der Effektivität der Unkrautunterdrückung zwischen den beiden genannten Mischungen.

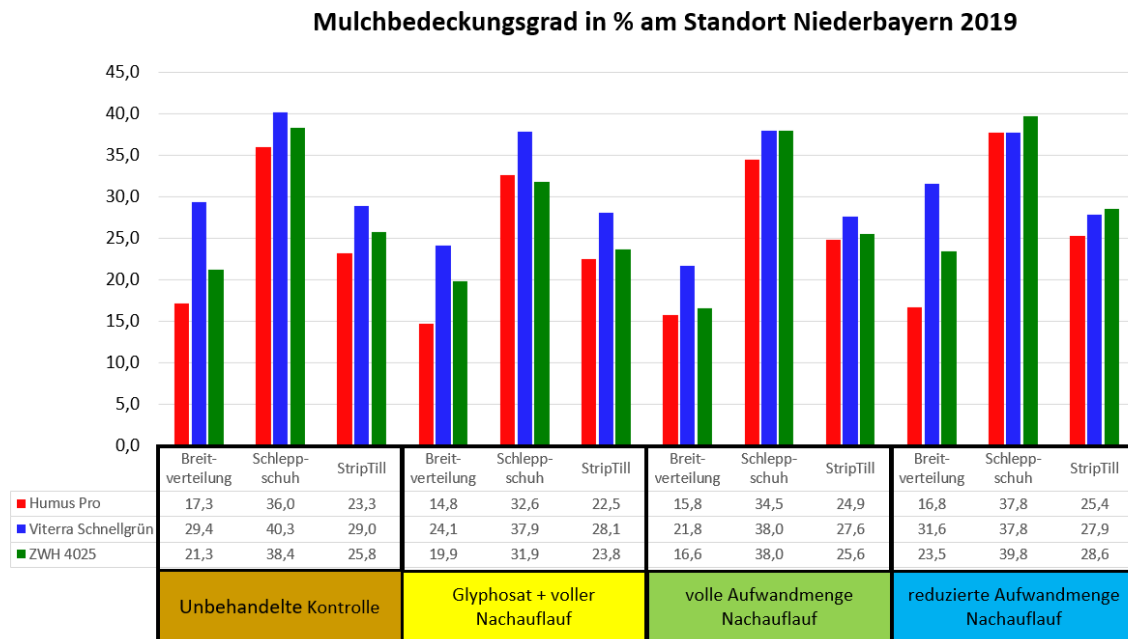


Abbildung 21: Prozentuale Mulchbedeckungsgrade in Niederbayern 2019. Mittelwert aus zwei Terminen, nach Varianten aufgeschlüsselt.

Bei den Mulchbedeckungsgraden als Indikator des Erosionsschutzes waren die Hauptunterschiede durch die vorgenommene Bodenbearbeitung und die Zwischenfrucht begründet, wohingegen der Einfluss der Unkrautbekämpfung in geringerem Ausmaß erkennbar war (Abbildung 21). So zeichnete sich klar ab, dass Zwischenfrüchte mit höherem Senfanteil einen Vorteil boten. Im Versuch konnten jedoch nur die Direktsaatvarianten den für den Erosionsschutz essenziellen Wert von mindestens 30 % Mulchbedeckung erzielen.

4.2 Versuchsjahr 2020

Das Jahr 2020 war somit das erste Hauptversuchsjahr an beiden Standorten Niederbayern und Unterfranken. Dieses Jahr war in Unterfranken sehr stark von Trockenheit geprägt. In den Varianten, in denen die Unkrautbekämpfung sowohl chemisch als auch durch Bodenbearbeitung am besten funktionierte, profitierten die Erträge, da keine Konkurrenz in Bezug auf Licht und Wasser vorhanden war. In Niederbayern hingegen konnten über alle Herbizid-Varianten hinweg Spitzenerträge erzielt werden aufgrund optimaler Witterungsverhältnisse.

4.2.1 Künham (Niederbayern)

Das Feld in Künham bot für den Versuch beste Voraussetzungen. Der Standort wies dank der nun vollständig analysierten Bodenphysik nach DIN ISO 11277 folgende Kennwerte auf: 37,0 % Ton, 58,2 % Schluff und 4,8 % Sand. Dementsprechend führt dies zu einer Einstufung in Tu3 – mittel schluffiger Ton (Tabelle 3).

Tabelle 3: Korngrößenverteilung des Bodens am Standort Künham 2020

Korngrößenverteilung nach DIN ISO 11277			
Abkürzung	Fraktion	Durchmesser (mm)	Wert
T	Ton	<0,002	37.0 %
fU	Feinschluff	0,002 bis < 0,0063	12.8 %
mU	Mittelschluff	0,0063 bis < 0,02	23.7 %
gU	Grobschluff	0,02 bis < 0,063	21.8 %
U	Gesamtschluff	0,002 bis < 0,063	58.2 %
fS	Feinsand	0,063 bis < 0,2	2.4 %
mS	Mittelsand	0,2 bis < 0,63	1.5 %
gS	Grobsand	0,63 bis < 2,0	0.9 %
S	Gesamtsand	2,0 bis < 0,063	4.8 %

Der Boden am Standort Künham ist mit dem sehr hohen Tongehalt in Höhe von 37 % ein guter Wasserspeicher, welches jedoch in den Feinporen zu stark gebunden ist, um für die Pflanzen zur Verfügung zu stehen. Daher ist der Totwassergehalt auch dementsprechend hoch (Tabelle 4). Zudem ist diese Bodenart sehr empfindlich gegenüber Verdichtungen, worauf bei der Bewirtschaftung Rücksicht genommen werden sollte. Der hohe Schluffanteil dient als guter Wasser- und Nährstoffspeicher, der in pflanzenverfügbarer Form vorliegt.

Tabelle 4: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Kühnam 2020

Bestimmung des Gesamtporenvolumens (DIN ISO 11274)		
Abkürzung	Bezeichnung	Werte
GPV	Gesamtporenvolumen	50.9 %
LK	Luftkapazität	10.4 %
FSD	Festsubstanzdichte	2.6 g/cm ³
TRD	Trockenraumdichte (Lagerungsdichte)	1.3 g/cm ³
TW	Totwasser	17.4 %
FK	Feldkapazität	40.5 %
nFK	nutzbare Feldkapazität	23.2 %

Der Totwassergehalt wies an diesem Standort einen der höchsten Werte auf, was jedoch auch auf den sehr hohen Tonanteil zurückzuführen ist (Tabelle 4). Im Verhältnis zum Tongehalt war das Gesamtporenvolumen in Höhe von 51 % sehr gut. Die Luftkapazität von 10 % ist im Verhältnis etwas zu niedrig, weshalb beim Befahren des Ackers besonders auf die Bodenfeuchte geachtet werden sollte.



Abbildung 22: Zwischenfruchtbestand am 13.09.2019 am Standort Künham

Beim Zwischenfruchtanbau kam es aufgrund eines Regenschauers zu einer Verzögerung, sodass dieser abgebrochen werden musste (Abbildung 22). Die Mischung „Aqua Pro“ konnte, nachdem die Bedingungen es zuließen, schließlich 6 Tage später am 18.08.2019 gesät werden.



Abbildung 23: Abgefrorener Zwischenfruchtbestand am 05.03.2020 in Künham

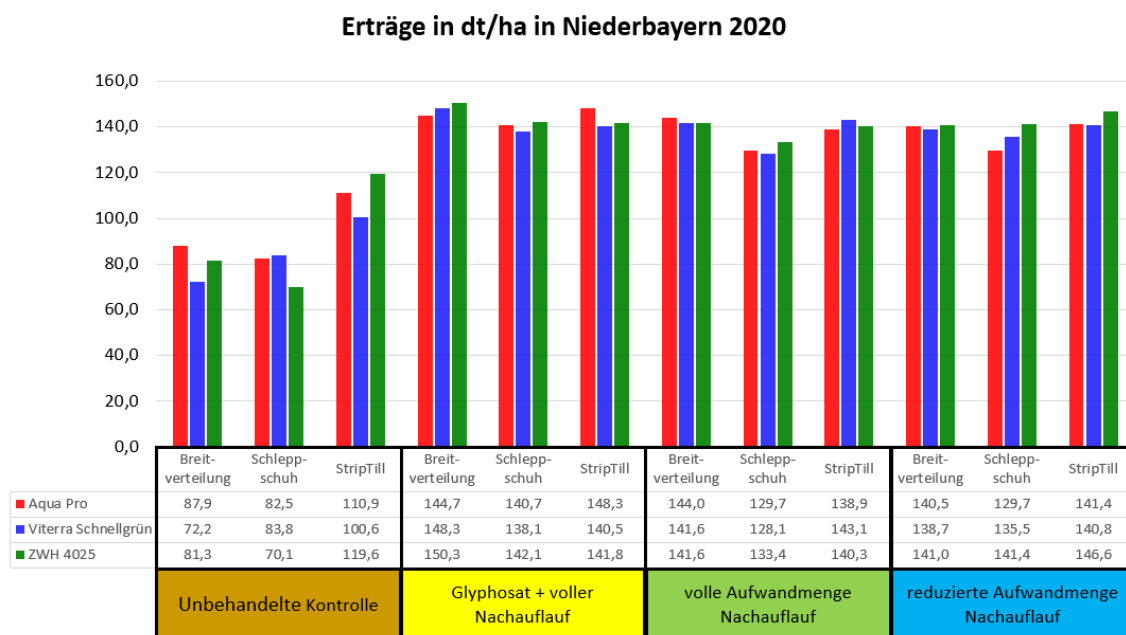


Abbildung 24: Durchschnittliche Erträge des Versuches am Standort Künham in Niederbayern im Jahr 2020

Allgemein bot das Jahr gute Voraussetzungen für hohe Maiserträge aufgrund der Niederschlagsverteilung. Das Ertragsniveau war daher im Schnitt über alle Varianten hinweg bei 127,77 dt/ha (Abbildung 24). Der Standort wies einen sehr niedrigen Besatz an Altverunkrautung auf. Hinzu kam, dass die Unkräuter in Pflanzenschutzvarianten ohne das Totalherbizid sehr gut bekämpft werden konnten. Trotzdem waren die Varianten mit Glyphosat im Voraufbau zwar im Vorteil, der Unterschied war jedoch je nach Bodenbearbeitungsvariante gering.

Tabelle 5: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen

SNK Grouping		Mean bzw. Ø Ertrag in dt/ha	F1 Herbizidmanagement
A		143,86	Glyphosat Vorsaats, Nachauflauf
A		139,51	ohne Glyphosat, red. Nachauflauf
A		137,85	ohne Glyphosat, Nachauflauf
B		89,89	Kontrolle (unbehandelt)
			F2 Gülleearbeitung
A		134,40	Strip Tillage
B		127,67	Breitverteiler
C		121,26	Schleppschuh
			F3 Zwischenfrucht
A	°	129,12	ZWH 4025 Vitalis Mulch
A	°	128,27	Aqua Pro
A		125,93	Viterra Schnellgrün
		127,77	Mittelwert F1, F2, F3,

Wie aus Tabelle 5 zu entnehmen, waren die Erträge auf diesem Standort sehr gut. So konnten alle Pflanzenschutzvarianten bis auf die unbehandelte Kontrolle keinen statistisch absicherbaren Ertragsunterschied erreichen. In der Kategorie F2 Gülleearbeitung konnte hingegen ein deutlicher statistischer Unterschied ermittelt werden.

Das liegt daran, dass die Varianten Strip Till und Schleppschuh meist schlecht in Kombinationen ohne Glyphosat abschnitten und so den Durchschnitt nach unten ziehen. Im Hinblick auf die Zwischenfrüchte zeichnete sich kein signifikanter Unterschied ab.

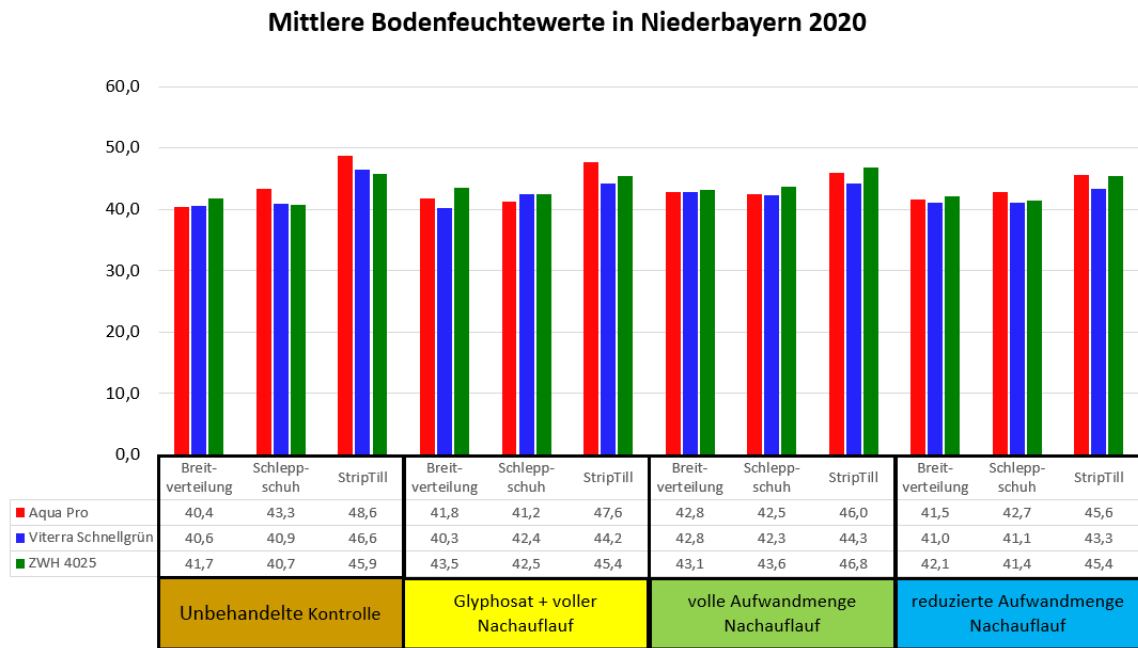


Abbildung 25: Bodenfeuchtwerte am Standort Künham in Niederbayern (Mittelwert aus drei Terminen)

Die Bodenfeuchte war in diesem Jahr und Standort überdurchschnittlich hoch (Abbildung 25). Darin dürften auch die sehr guten Erträge begründet liegen. Die Unterschiede waren gering, lediglich in den Strip Till Varianten waren die Werte ein wenig höher.

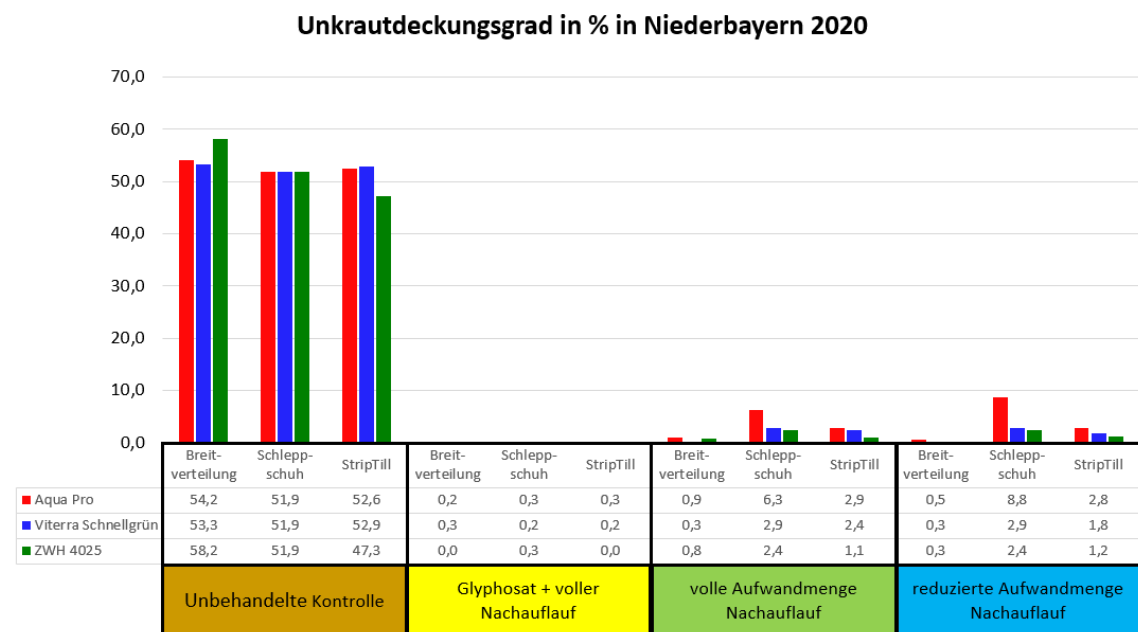


Abbildung 26: Unkrautdeckungsgrad in Prozent in Künham, Niederbayern im Jahr 2020

Wie die Erträge bereits vermuten ließen, waren die Unkrautdeckungsgrade innerhalb der Pflanzenschutzvarianten sehr gering (Abbildung 26). So ist sie in den Totalherbizidparzellen annähernd bei 0. In den Herbizidvarianten ohne Glyphosat konnte die Bearbeitung mit der Kreiselegge ähnlich gute Ergebnisse erzielen. Trotzdem noch verhältnismäßig geringe

Unkrautdeckungsgrade konnten in diesem Jahr auch mit den Nachauflaufvarianten erzielt werden, wobei zwischen der vollen und reduzierten Aufwandmenge nur sehr minimale Unterschiede erkennbar waren.

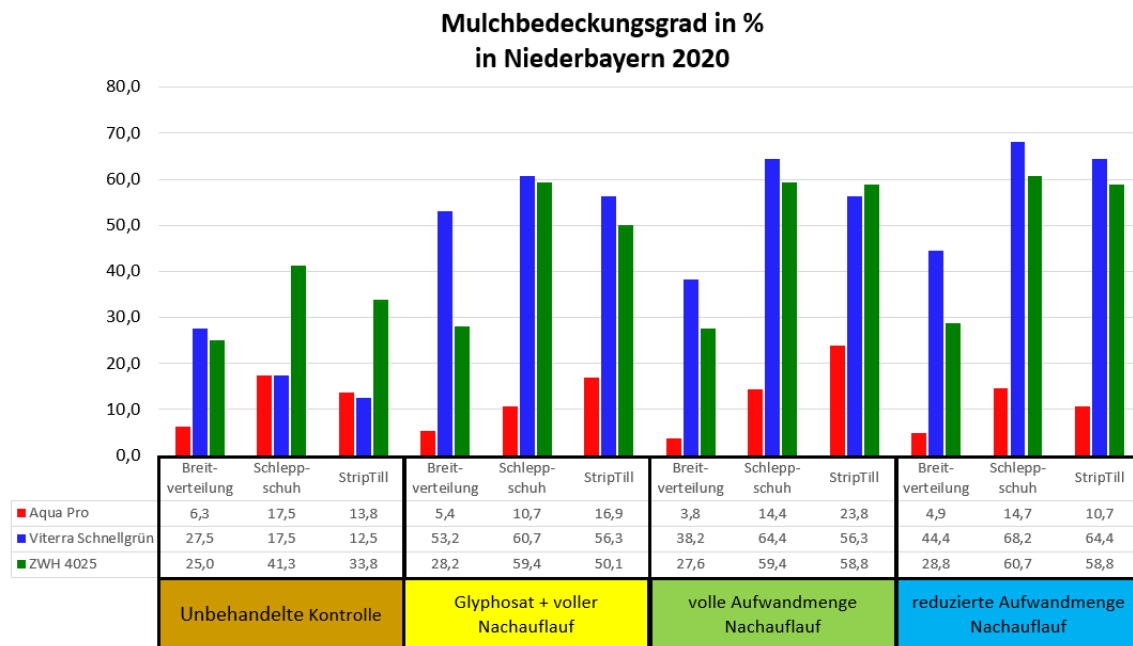


Abbildung 27: Mulchbedeckungsgrad in Prozent (Mittelwert aus zwei Bonituren)

In diesem Jahr stellte sich der Nachteil der Aqua Pro in Bezug auf Mulchbildung sehr deutlich heraus (Abbildung 27). Ein kleiner Teil des Effektes kann vermutlich auf die verspätete Aussaat zurückzuführen sein. Mit den beiden anderen Zwischenfrüchten konnten in der reduzierten Bodenbearbeitung sehr gute Deckungsgrade erreicht werden (Abbildung 22 & Abbildung 23). Auch die Gülleeinarbeitungs-Variante mit der Kreiselegge war in diesem Jahr gut. Doch trotzdem war die bei intensiverer Bodenbearbeitung auftretende Winderosion nicht zu unterschätzen.

4.2.2 Schraudenbach (Unterfranken)

Die Witterungsbedingungen an diesem Standort und Jahr waren extrem. Die Zwischenfrüchte etablierten sich durch mangelnde Niederschläge kaum und gingen schwach entwickelt in den Winter (Abbildung 28). Aufgrund dessen und der Tatsache, dass einige Samen erst im Frühjahr keimten, froren die Kulturen nicht ab, sondern wuchsen weiter und setzten Blüten an. Um das Aussamen zu verhindern, wurde nach Absprache mit dem Institut für Pflanzenschutz am 30.04.2021 mithilfe eines Mulchers der Blütenstand der Zwischenfrüchte entfernt. Infolgedessen mussten einige Parzellen verworfen werden, der Versuch blieb dennoch wertbar. Der Standort wies folgende Bodenkennwerte auf: 30,5 % Ton, 62,5 % Schluff und 7 % Sand was zu einer Einstufung in Tu3 – mittel schluffiger Ton führt (Tabelle 6).

Tabelle 6: Bodenphysikalische Bestandteile am Standort Schraudenbach 2020

Korngrößenverteilung nach DIN ISO 11277			
Abkürzung	Fraktion	Durchmesser (mm)	Wert
T	Ton	<0,002	30.5 %
fU	Feinschluff	0,002 bis < 0,0063	6.8 %
mU	Mittelschluff	0,0063 bis < 0,02	22.6 %
gU	Grobschluff	0,02 bis < 0,063	33.1 %
U	Gesamtschluff	0,002 bis < 0,063	62.5 %
fS	Feinsand	0,063 bis < 0,2	3.3 %
mS	Mittelsand	0,2 bis < 0,63	2.4 %
gS	Grobsand	0,63 bis < 2,0	1.3 %
S	Gesamtsand	2,0 bis < 0,063	7.0 %

Der Boden am Standort Schraudenbach verfügt über einen sehr hohen Tonanteil von 30,5 %. Das bedeutet, dass viel Wasserspeicherpotenzial vorhanden ist, dieses jedoch in den Feinporen des Tons zu fest gebunden ist, um pflanzenverfügbar zu sein. Der hohe Schluffanteil bei gleichzeitig relativ niedrigem Sandgehalt impliziert eine hohe Erosionsanfälligkeit.

Tabelle 7: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Schraudenbach 2020

Bestimmung des Gesamtporenvolumens (DIN ISO 11274)		
Abkürzung	Bezeichnung	Wert
GPV	Gesamtporenvolumen	46.5 %
LK	Luftkapazität	12.6 %
FSD	Festsubstanzdichte	2.7 g/cm ³
TRD	Trockenraumdichte (Lagerungsdichte)	1.4 g/cm ³
TW	Totwasser	15.3 %
FK	Feldkapazität	33.9 %
nFK	nutzbare Feldkapazität	18.7 %

Der Totwassergehalt lag an diesem Standort recht hoch bei ca. 15 %, was auf den hohen Tonanteil zurückzuführen ist (Tabelle 7). Die nutzbare Feldkapazität sowie die Luftkapazität fielen dementsprechend geringer aus, was auf eine Verdichtung schließen lässt.



Abbildung 28: Schwach entwickelter Zwischenfruchtbestand im Dezember 2019 in Schraudenbach, Unterfranken (links) und nicht abgefrorene Zwischenfrucht im März 2020 (rechts)

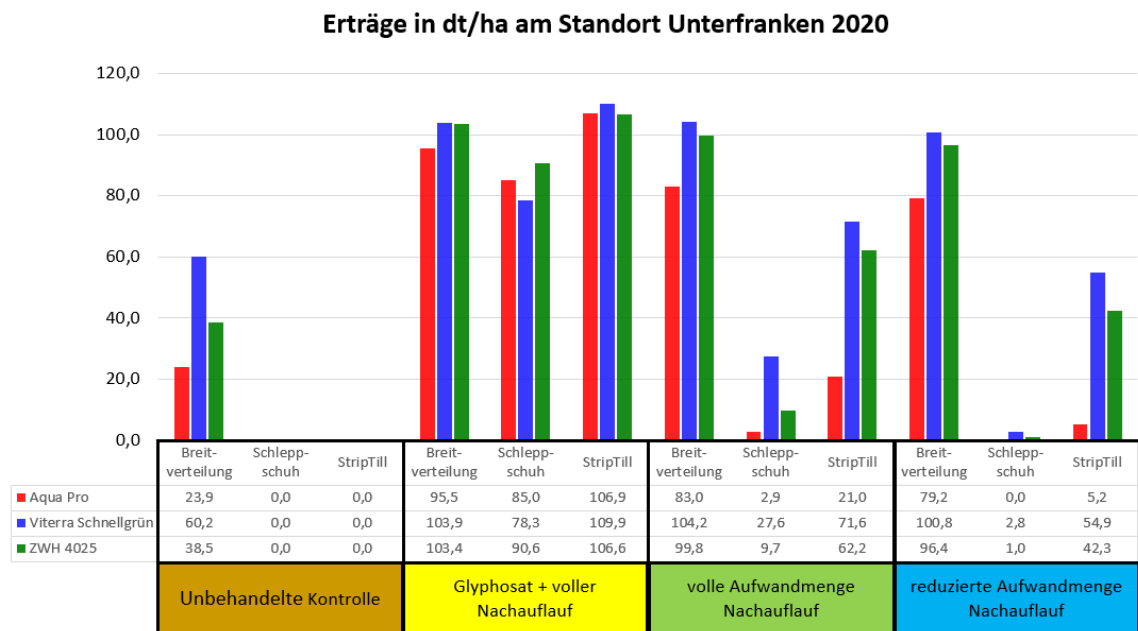


Abbildung 29: Mittlerer Ertrag in dt/ha je Variante am Standort Schraudenbach in Unterfranken

Die Erträge fielen wie bereits vermutet niedrig aus, wie Abbildung 29 entnommen werden kann. In der Glyphosatvariante ist auffällig, dass die Direktsaat stark zurückfällt. Auch bei den anderen wertbaren Herbizidvarianten führte die Kombination mit Schleppschuh bis hin zu Totalausfällen. Bei den glyphosatfreien Herbizidparzellen konnten sowohl in der vollen als auch reduzierten Aufwandmenge in Kombination mit der Breitverteiler-Technik noch ähnliche Erträge wie in den Totalherbizid-Varianten erzielt werden. Die reduzierten Bearbeitungsmethoden hingegen fielen weit zurück, hier war der Konkurrenzdruck für den Mais deutlich zu hoch.

Tabelle 8: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und statistische Auswertung der Durchschnittserträge nach Varianten untergliedert in Schraudenbach

SNK Grouping		Mean bzw. Ø Ertrag in dt/ha	F1 Herbizidmanagement
A		97,78	Glyphosat Vorsaats, Nachauflauf
B		53,56	ohne Glyphosat, Nachauflauf
B		50,87	ohne Glyphosat, red. Nachauflauf
B		(40,85)	Kontrolle (unbehandelt)
			F2 Gülleearbeitung
A		82,40	Breitverteiler
B		(66,70)	Strip Tillage
C		(38,32)	Schleppschuh
			F3 Zwischenfrucht
A	°	(73,62)	Viterra Schnellgrün
B	°	(67,13)	ZWH 4025 Vitalis Mulch
C		(54,76)	Aqua Pro
		51,09	Mittelwert F1, F2, F3

Bedingt durch diese schwierigen Bedingungen waren viele Parzellen und Versuchsgruppen nicht wertbar. Die in der Tabelle 8 in Klammern gesetzten Ergebnisse sind daher statistisch nicht abgesichert.

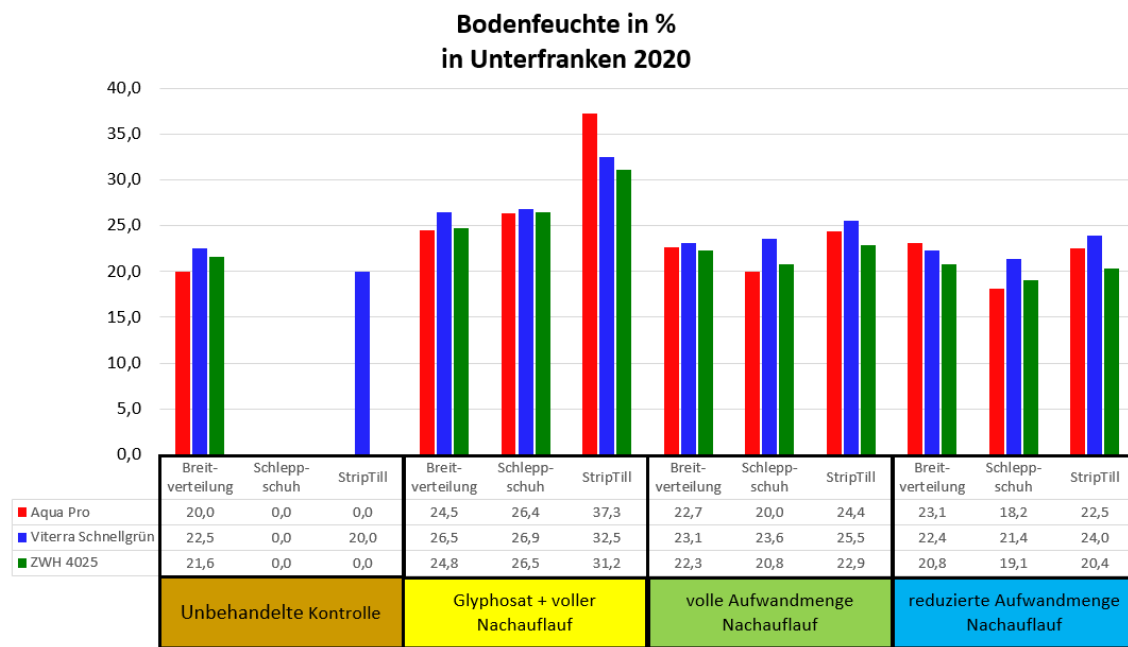


Abbildung 30: Mittlere Bodenfeuchtwerte am Standort in Schraudenbach, Unterfranken 2020 (Mittelwert aus zwei Terminen).

Auf die Bodenfeuchtegehalte hatten die Pflanzenschutzvarianten den größten Einfluss (Abbildung 30). Die mit einem Totalherbizid behandelten Parzellen hatten einen deutlichen Vorteil im direkten Vergleich. Grundsätzlich ist ersichtlich: Je weniger Pflanzenschutzmittel zum Einsatz kamen, desto höher war der Unkrautbesatz und daraus resultierend geringer war die Bodenfeuchte.

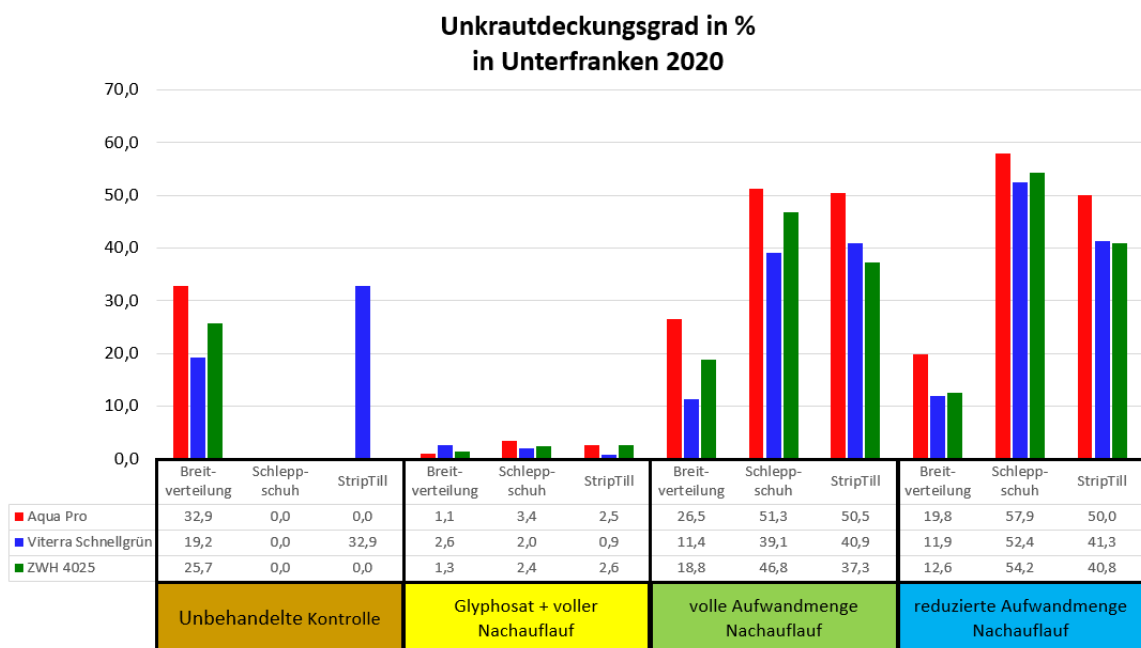


Abbildung 31: Prozentualer Unkrautdeckungsgrad in Schraudenbach, Unterfranken (Mittelwert aus zwei Terminen).

Der Unkrautdeckungsgrad in den mit einem glyphosathaltigen Präparat behandelten Parzellen war sehr niedrig und daher war auch der Effekt der Bodenbearbeitung mit der Kreiselegge weniger ausgeprägt (Abbildung 31). Der Beikrautbesatz in den glyphosatfreien Parzellen hingegen war aufgrund des großen Anteils an Ausfallgetreide sehr hoch und konnte auch durch mechanische Bodenbearbeitungsverfahren nicht zuverlässig abgetötet werden.

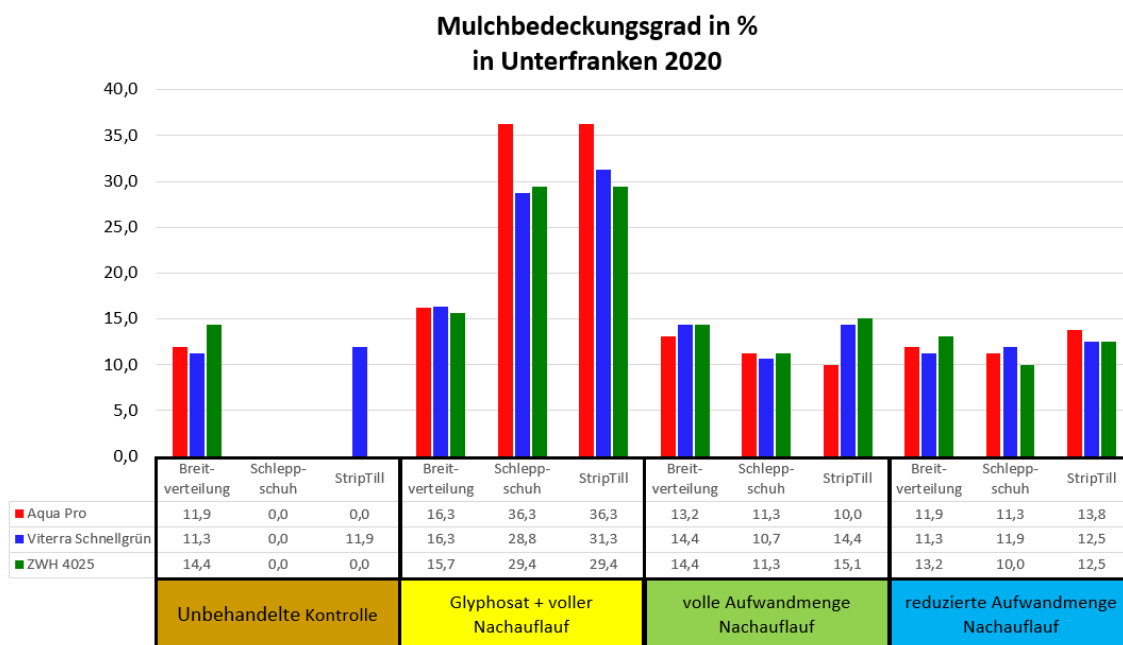


Abbildung 32: Prozentualer Mulchbedeckungsgrad in Prozent am Standort Schraudenbach, Unterfranken (Mittelwert aus zwei Terminen).

In diesem Jahr waren die Mulchbedeckungsgrade allgemein sehr niedrig aufgrund der schwach entwickelten Zwischenfrüchte aus dem trockenen Herbst des Vorjahres (Abbildung 32). Lediglich in den Glyphosatparzellen kombiniert mit reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren konnte die für den Erosionsschutz wichtige Marke von 30 % überschritten werden. Dies liegt jedoch auch am hohen Besatz an Ausfallgetreide, welches durch das Totalherbizid effektiv abgetötet werden konnte und so als bodendeckendes Mulchmaterial verblieb.

4.3 Versuchsjahr 2021

2021 war in Niederbayern ein durchschnittliches Jahr, am Standort in Unterfranken konnten vergleichsweise sehr gute Erträge erzielt werden. Beide Versuche verliefen ohne Probleme oder größere Vorkommnisse.

4.3.1 Schönbург (Niederbayern)

Die Bodenbearbeitung und Aussaat des Maises war im Frühjahr zu optimalen Bedingungen möglich. Nach der Aussaat jedoch schlug die Witterung zum Nachteil des Maises um und es wurde kalt und nass. Dies zeigte sich durch leicht gelbliche Pflanzen und eine langsame Jugendentwicklung. Aufgrund des Wetters konnte der Pflanzenschutz Einsatz erst am 26.05.21 erfolgen. Dieser späte Zeitpunkt hatte zur Folge, dass das Ausfallgetreide und der Klee, der nicht abgefroren war, weitergewachsen sind und zum Teil einen sehr starken Konkurrenzdruck erzeugten. Ein Hagelschauer setzte den Pflanzen zusätzlich zu; es stellte sich jedoch heraus, dass er nicht ertragsschmälernd war. Der Standort wies folgende Bodenkennwerte auf: 22,2 % Ton, 72,9 % Schluff und 4,9 % Sand was zu einer Einstufung als Ut4 – stark toniger Schluff führt (Tabelle 9).

Tabelle 9: Korngrößenverteilung am Standort Schönburg 2021

Korngrößenverteilung nach DIN ISO 11277			
Abkürzung	Fraktion	Durchmesser (mm)	Wert
T	Ton	<0,002	22.2
fU	Feinschluff	0,002 bis < 0,0063	6.3
mU	Mittelschluff	0,0063 bis < 0,02	20.7
gU	Grobschluff	0,02 bis < 0,063	45.9
U	Gesamtschluff	0,002 bis < 0,063	72.9
fS	Feinsand	0,063 bis < 0,2	3.7
mS	Mittelsand	0,2 bis < 0,63	0.7
gS	Grobsand	0,63 bis < 2,0	0.4
S	Gesamtsand	2,0 bis < 0,063	4.9

Der Tonanteil in Schönburg war im Vergleich zu den vorangegangenen Standorten niedriger, der Schluffanteil dafür deutlich höher. Dies bedeutet eine sehr hohe Wasser- und Nährstoffspeicherkapazität des Bodens bei gleichzeitig sehr guter Pflanzenverfügbarkeit. In Kombination mit dem geringen Sandgehalt des Bodens sollte auf Bereifung und Maschinengewichte geachtet sowie der Zeitpunkt der Bodenbearbeitung sorgsam gewählt werden, um Verdichtungen zu vermeiden.

Tabelle 10: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Schönbürg 2021

Bestimmung des Gesamtporenvolumens (DIN ISO 11274)		
Abkürzung	Bezeichnung	Werte
GPV	Gesamtporenvolumen	45.6 %
LK	Luftkapazität	11.0 %
FSD	Festschubstanzdichte	2.7 g/cm ³
TRD	Trockenraumdichte (Lagerungsdichte)	1.4 g/cm ³
TW	Totwasser	12.5 %
FK	Feldkapazität	34.6 %
nFK	nutzbare Feldkapazität	22.2 %

Der Totwasseranteil wies mit 12,5 % den niedrigsten Wert aller beprobten Standorte auf, was auch durch den im Vergleich geringeren Tongehalt zurückzuführen ist (Tabelle 10). Die nutzbare Feldkapazität lag auf einem recht hohen Niveau. Das Gesamtporenvolumen befand sich im Normbereich für diese Bodenverhältnisse.

Erträge in Niederbayern 2021 (dt/ha)

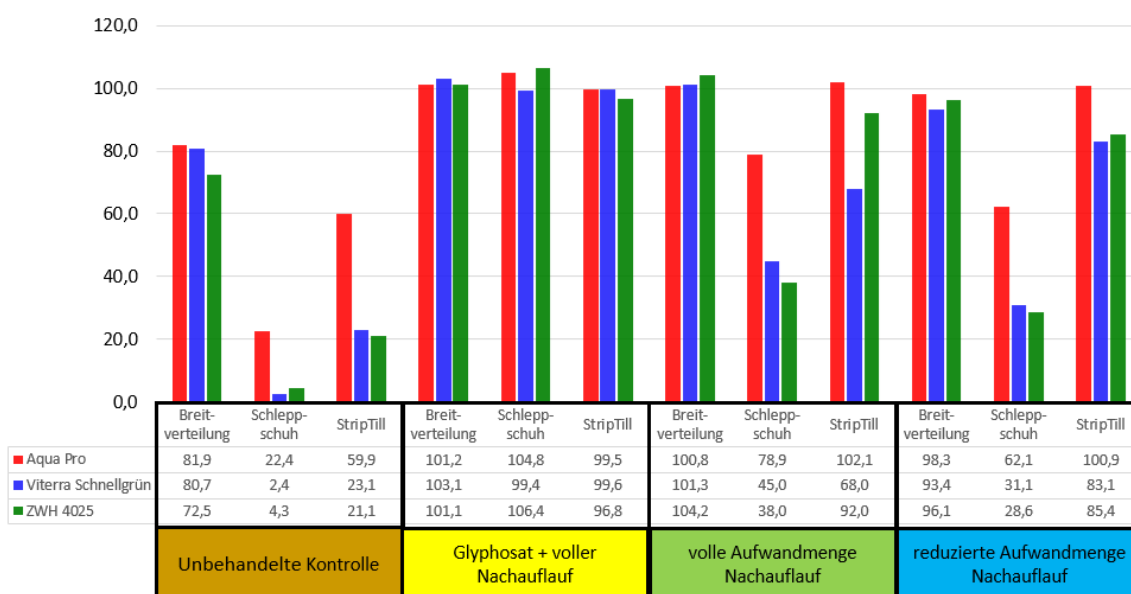


Abbildung 33: Mittlerer Ertrag in dt/ha für den Standort Schönbürg in Niederbayern

Die Erträge im Versuchsjahr 2021 waren innerhalb der Glyphosatvariante am höchsten und relativ homogen (Abbildung 33). Jedoch konnte auch die Kombination aus Gülleeinarbeitung mit der Kreiselegge sowie voller bzw. reduzierter Aufwandmenge im Nachauflauf überzeugen. Die Strip Till Variante in Kombination mit Aqua Pro war in diesem Jahr sehr ertragreich. Besonders auffällig ist in diesem Jahr der klare Vorteil der Zwischenfrucht Aqua Pro, welche die einzige der drei Mischungen ohne Klee ist. Dieser Mischungspartner machte in den anderen Zwischenfruchtvarianten Probleme, da er nicht abgefroren ist und

erst durch die spät erfolgte Unkrautbekämpfung dezimiert werden konnte. Dieser Konkurrenzdruck setzte den jungen Maispflanzen stark zu und begründet den deutlich niedrigeren Ertrag.

Tabelle 11: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und Statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen in Schönburg, Niederbayern

SNK Grouping		Mean bzw. Ø Ertrag in dt/ha	F1 Herbizidmanagement
A		101,33	Glyphosat Vorsaar, Nachauflauf
B		81,15	ohne Glyphosat, Nachauflauf
B		75,45	ohne Glyphosat, red. Nachauflauf
C		40,92	Kontrolle (unbehandelt)
			F2 Gülleearbeitung
A		94,55	Breitverteiler
B		77,63	Strip Tillage
C		51,96	Schleppschuh
			F3 Zwischenfrucht
A	°	84,41	Aqua Pro
B	°	70,55	ZWH 4025 Vitalis Mulch
B		69,18	Viterra Schnellgrün
		74,7	Mittelwert F1, F2, F3

Das SNK-Rating zeigt ähnliche und klare Ergebnisse (Tabelle 11). In der F1 Herbizidmanagement ist die Glyphosat -Variante wieder im Vorteil, mit klarem Abstand dahinter die Nachauflauf Variante im Vollaufwand, gefolgt von der reduzierten Variante. Auch bei der Gülleearbeitung ist die Kombination aus Breitverteilung mit Kreiselegge wie in den Jahren davor die ertragreichste, dahinter Strip Till und zuletzt Schleppschuh. Bei den Zwischenfrüchten stellte sich heraus, dass die Aqua Pro im Vergleich zu den anderen einen Mehrertrag brachte.

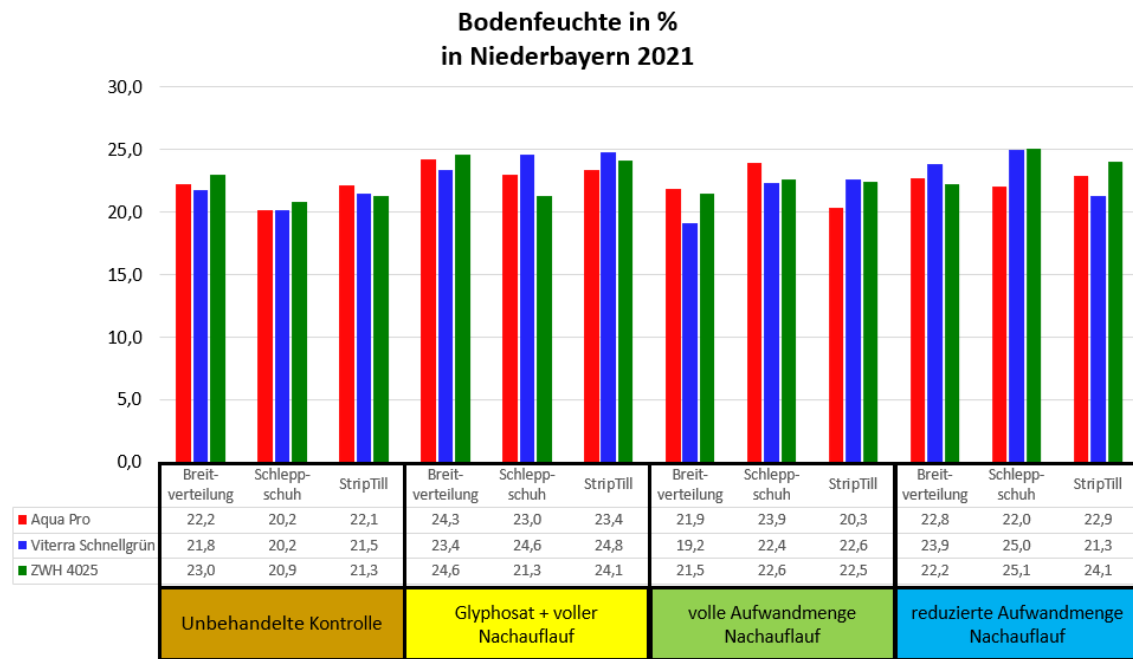


Abbildung 34: Mittlere Bodenfeuchte in Prozent in Schönbürg (Mittelwert aus zwei Terminen)

Bei der Betrachtung der Bodenfeuchtwerte fällt die recht homogene Verteilung auf (Abbildung 34). Es sind nur geringe Schwankungen verzeichnet, einzig die unbehandelte Kontrolle fiel aufgrund des hohen Unkrautbesatzes etwas zurück.

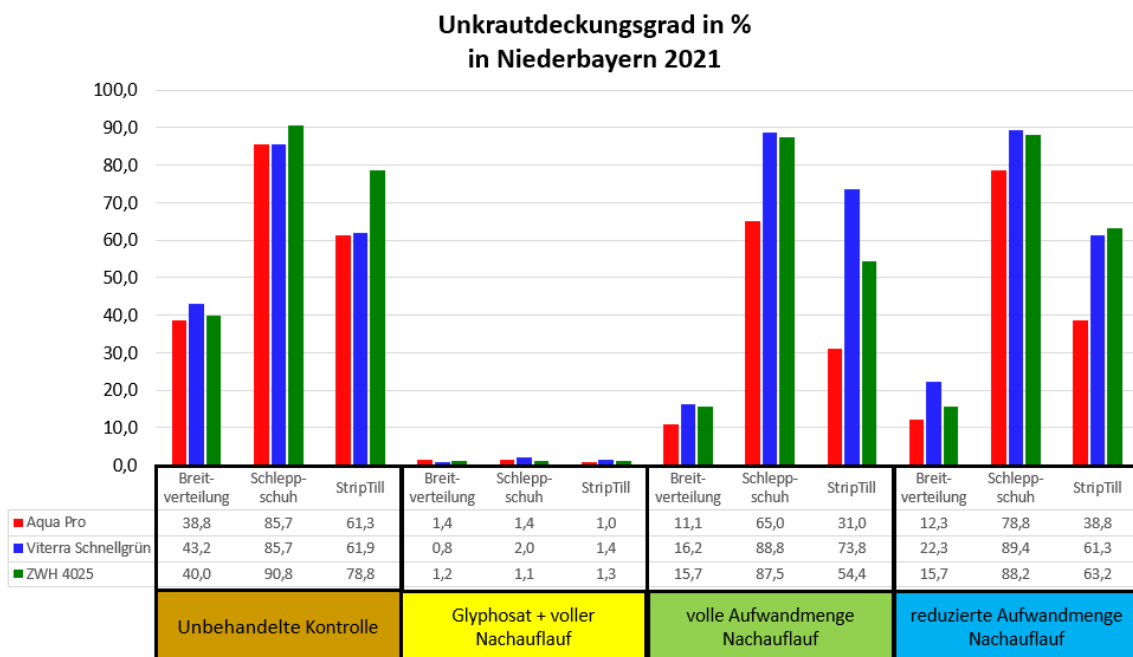


Abbildung 35: Durchschnittlicher prozentualer Unkrautdeckungsgrad am Standort Schönbürg in Niederbayern (Mittelwert aus zwei Terminen).

Der Breikrautdruck war teilweise sehr hoch, wie in der unbehandelten Kontrolle gut abzulesen ist (Abbildung 35). Sehr auffällig war in diesem Jahr, dass nur die mit einem

Totalherbizid behandelten Parzellen einen niedrigen Deckungsgrad aufwiesen und die im Nachauflauf behandelten Parzellen hingegen sehr hohe Werte erreichten. Einzig die mechanische Unkrautbehandlung mit der Kreiselegge konnte Werte unter 20 % erzielen. Das Strip Till Gerät leistete auch effektive Arbeit und dezimierte immerhin um etwa ein Drittel, was dem bearbeiteten Streifen entspricht und in einem Unkrautdeckungsgrad von 30 – 73 % resultiert. Auffallend ist auch, dass praktisch kein bzw. nur ein sehr geringer Unterschied von reduzierter und voller Aufwandmenge im Nachauflauf festzustellen ist.

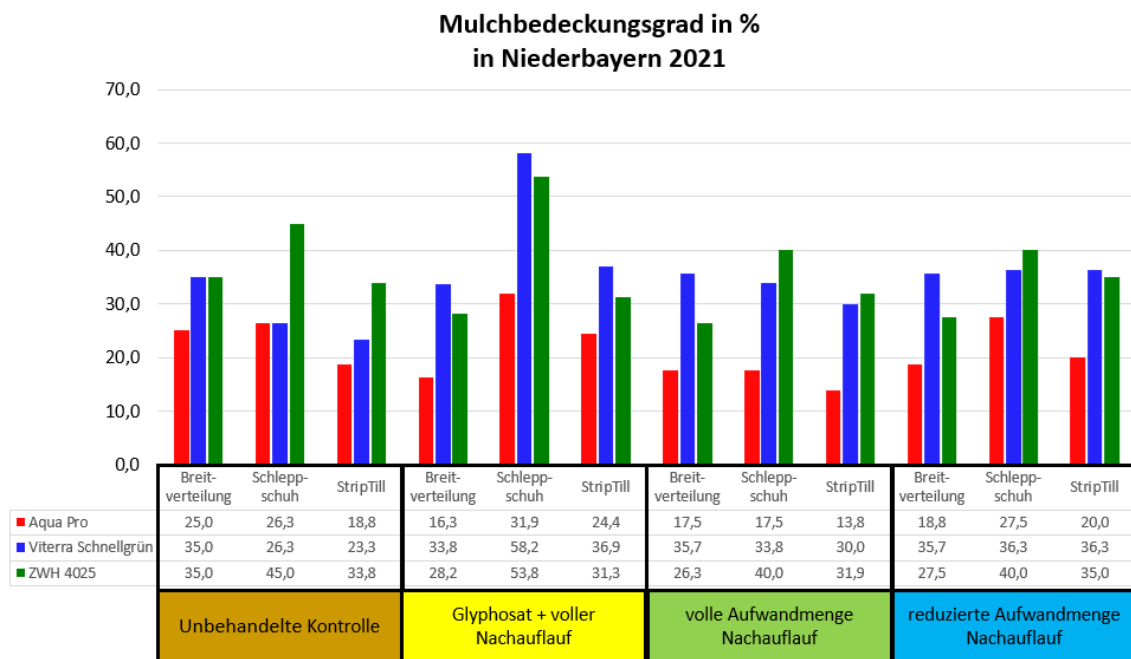


Abbildung 36: Mittlere Mulchbedeckungsgrade am Standort in Schönburg, Niederbayern (Mittelwert aus zwei Bonituren).

Die Mulchbedeckungsgrade waren bis auf wenige Ausnahmen zwischen 19 und 35 % (Abbildung 36). Bemerkenswert sind die zahlreichen Werte über 30 %, die teilweise sogar in Breitverteiler Varianten noch vorhanden waren. Allerdings gilt dies nur für die senfhal-tigen Zwischenfruchtmischungen.

4.3.2 Klingenhof (Unterfranken)

Die Zwischenfruchtmischungen sind aufgrund der guten Feuchtigkeitsversorgung zu Beginn gut aufgelaufen, jedoch wurde das Wasser im weiteren Entwicklungsverlauf trotzdem knapp. Auch im Jahr 2021 froren aufgrund des milden Winters einige Zwischenfruchtkomponenten nicht ab. Der Standort wies folgende Bodenkennwerte auf: 27,7% Ton, 68,8% Schluff und 3,5% Sand was zu einer Einstufung als Tu4 – stark schluffiger Ton führt (Tabelle 12).

Tabelle 12: Bodenphysikalische Bestandteile am Standort Klingenhof 2021

Korngrößenverteilung nach DIN ISO 11277			
Abkürzung	Fraktion	Durchmesser (mm)	Wert
T	Ton	<0,002	27.7 %
fU	Feinschluff	0,002 bis < 0,0063	7.5 %
mU	Mittelschluff	0,0063 bis < 0,02	25.5 %
gU	Grobschluff	0,02 bis < 0,063	35.8 %
U	Gesamtschluff	0,002 bis < 0,063	68.8 %
fS	Feinsand	0,063 bis < 0,2	2.1 %
mS	Mittelsand	0,2 bis < 0,63	0.6 %
gS	Grobsand	0,63 bis < 2,0	0.8 %
S	Gesamtsand	2,0 bis < 0,063	3.5 %

Am Standort Klingenhof wurden die dritthöchsten Schluffgehalte aller Versuchsflächen ermittelt. Der Sandgehalt war sehr gering, weshalb der Grobporenanteil recht gering ausfallen dürfte.

Tabelle 13: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Klingenhof

Bestimmung des Gesamtporenvolumens (DIN ISO 11274)		
Abkürzung	Bezeichnung	Wert
GPV	Gesamtporenvolumen	44.8 %
LK	Luftkapazität	10.4 %
FSD	Festsubstanzdichte	2.6 g/cm ³
TRD	Trockenraumdichte (Lagerungsdichte)	1.4 g/cm ³
TW	Totwasser	16.3 %
FK	Feldkapazität	34.3 %
nFK	nutzbare Feldkapazität	18.0 %

Der Totwassergehalt von 16,3 % ist bedingt durch den Tonanteil hoch, in Verbindung mit der geringen Luftkapazität jedoch lässt er auf eine leichte Verdichtung schließen (Tabelle 13).

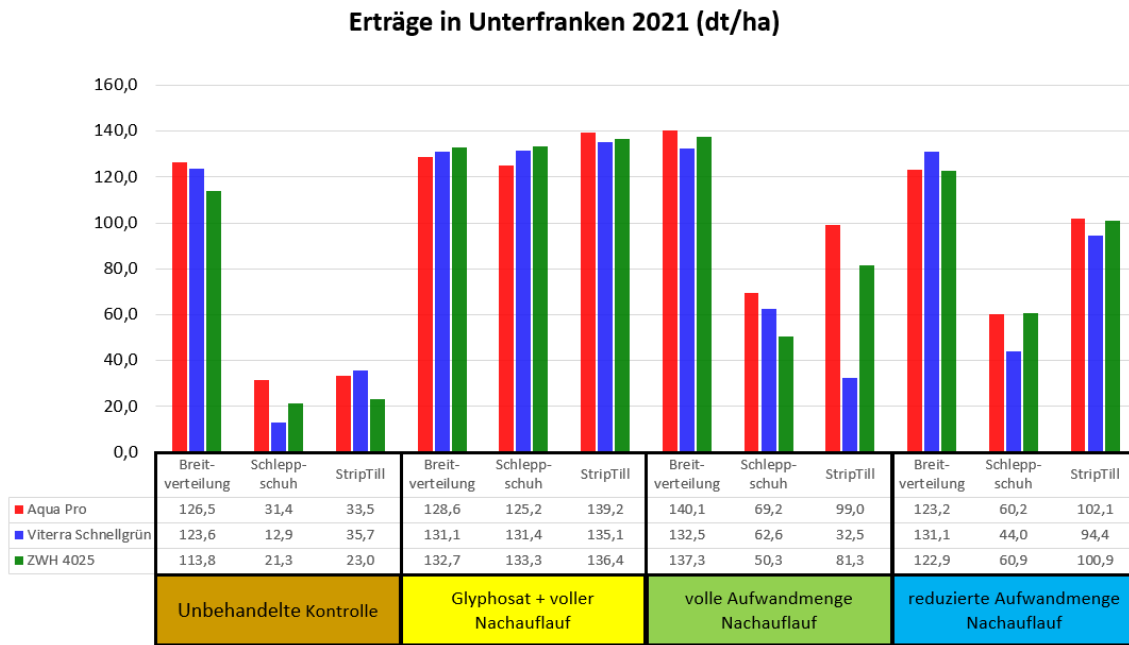


Abbildung 37: Mittlere Erträge am Standort Klingenhof in Unterfranken je Variante in dt/ha

Die sehr hohen Erträge von knapp unter 140 dt/ha verdeutlichen, dass dies ein optimales Jahr für den Mais war (Abbildung 37). Wie in den Jahren zuvor, zeigt sich auch in diesem Jahr dasselbe Bild: die höchsten Erträge wurden in den mit Glyphosat behandelten Varianten erzielt. Auch die Kombination aus Kreiselegge und voller Aufwandmenge im Nachauflauf konnte mit diesen Erträgen mithalten. Ungewöhnlich war hingegen der hohe Ertrag in der unbehandelten Kontrolle in Verbindung mit der Breitverteilung. Die Kreiselegge konnte das erste aufkommende Beikraut sehr effektiv dezimieren, wodurch der Mais schnell die Reihen schließen und so weiteres Unkraut unterdrücken konnte. Ein ähnlicher Effekt konnte auch in der Kombination von reduzierter Aufwandmenge im Nachauflauf mit der Kreiselegge beobachtet werden: die Erträge in diesen Parzellen konnten in diesem Jahr durchaus mit der Glyphosatvariante mithalten. In allen anderen Varianten konnte das Unkraut nicht effektiv genug bekämpft werden, wodurch der Mais zu viel Konkurrenz hatte. Dies hat sich letztlich auf den Ertrag niedergeschlagen.

Tabelle 14: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen in Klingenhof, Unterfranken

SNK Grouping		Mean Ø Ertrag in dt/ha	F1 Herbizidmanagement
A		132,56	Glyphosat Vorsaats, Nachauflauf
B		96,11	ohne Glyphosat, Nachauflauf
B		93,28	ohne Glyphosat, red. Nachauflauf
C		57,95	Kontrolle (unbehandelt)
SNK Grouping		Mean	F2 Gülleearbeitung
A		128,57	Breitverteiler
B		89,43	Strip Tillage
C		66,92	Schleppschuh
SNK Grouping		Mean	F3 Zwischenfrucht
A	°	98,18	Aqua Pro
A	°	93,88	Viterra Schnellgrün
A		92,87	ZWH 4025 Vitalis Mulch
		93,3	Mittelwert F1, F2, F3

Das Ertragsniveau war in diesem Jahr in Unterfranken höher als in Niederbayern (Tabelle 14). Gründe dafür waren zum einen die gute Niederschlagsverteilung im Hochsommer sowie zum anderen die vorteilhafte Witterung während der Jugendentwicklung. Die Verhältnisse innerhalb des Herbizidmanagements bewegten sich in ähnlichen Bereichen wie in den vorangegangenen Jahren. Auch in der F2 Gülleearbeitung gab es keine Überraschungen. Die Unterschiede innerhalb der Zwischenfrüchte waren so gering, dass sie als statistisch nicht signifikant eingestuft wurden.

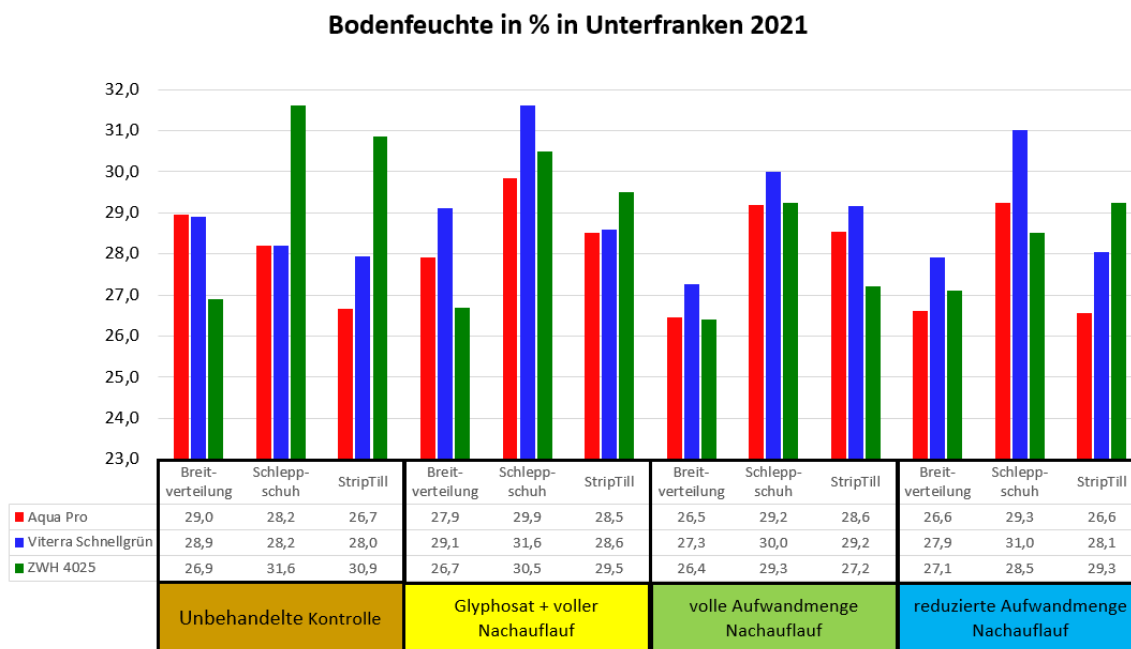


Abbildung 38: Mittlere Bodenfeuchte in Prozent am Standort Klingenhof (Mittelwert aus zwei Terminen)

In diesem Jahr waren vergleichsweise große Unterschiede in der Bodenfeuchte feststellbar (Abbildung 38). Es zeichnet sich jedoch ein leichter Vorteil der reduzierten Bodenbearbeitungsverfahren ab. Die Zwischenfrüchte hatten in diesem Jahr einen größeren Einfluss wie in den Vorjahren, in denen sich kein eindeutiger Trend ableiten ließ. Die Grafik zeigt einen leichten Vorteil der Viterra Schnellgrün-Mischung hinsichtlich den Bodenfeuchte-Werten.

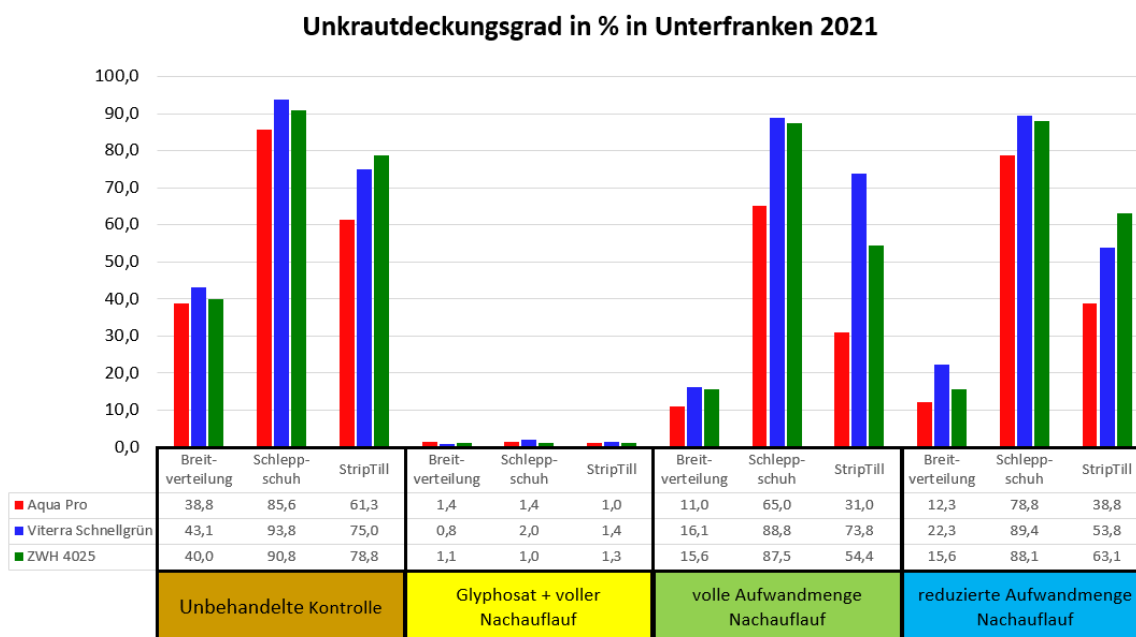


Abbildung 39: Prozentualer durchschnittlicher Unkrautdeckungsgrad je Variante am Standort Klingenhof (Mittelwert aus zwei Terminen)

Die Unkrautdeckungsgrade waren sehr ähnlich mit den vorangegangenen Jahren und schlugen sich auch in den Erträgen nieder (Abbildung 39). In den Glyphosatvarianten bewegte sich der Besatz im Bereich um 3 %, wohingegen in den Direktsaatparzellen in Kombination mit reduzierten Herbizidvarianten Werte in Höhe von fast 90 % erreicht wurden. Die Zwischenfruchtmischung Aqua Pro wies in diesem Jahr wieder einen Vorteil auf, da der in den anderen Mischungen enthaltene Klee nicht abgefroren war und im Frühjahr dem Mais Konkurrenz um Licht und Wasser machte. Erneut ist auch klar erkennbar, dass in glyphosatfreien Parzellen nur die zusätzliche mechanische Beikrautkontrolle in der Lage ist, einen deutlichen Minderungseffekt zu erzielen.

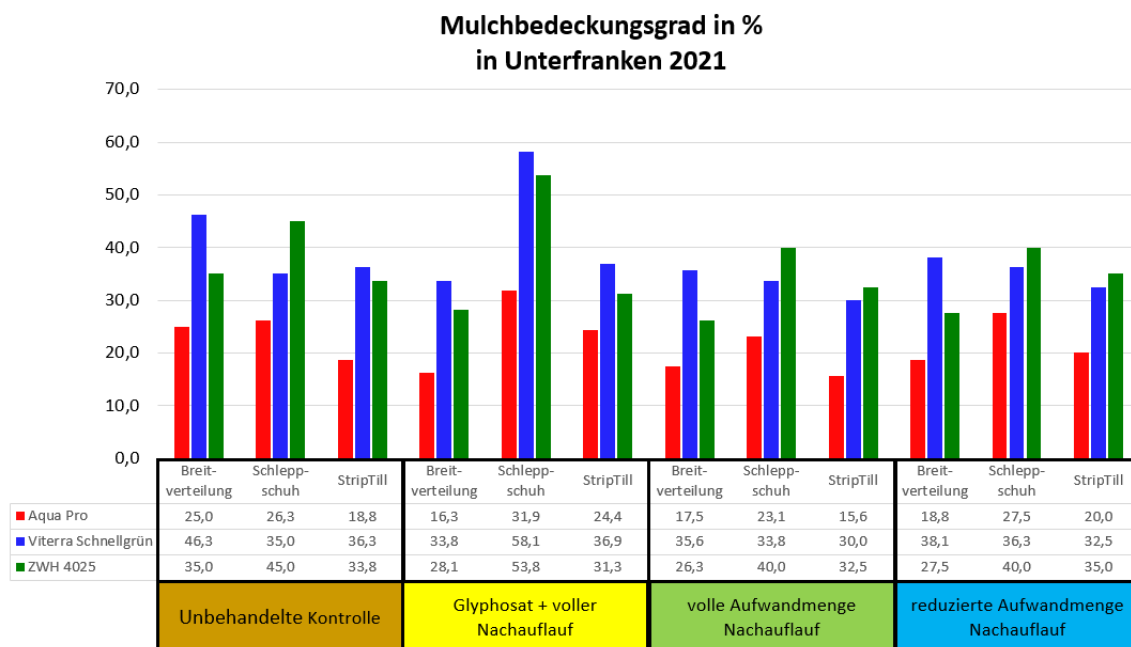


Abbildung 40: Prozentuale mittlere Mulchbedeckungsgrade in Unterfranken 2021 (Mittelwert aus zwei Bonituren)

In den Parzellen, die mit einer senfhaltigen Zwischenfruchtmischung bestellt waren, konnten sehr gute Mulchbedeckungsgrade von über 30 % erreicht werden (Abbildung 40). Erstaunlicherweise kamen in diesem Jahr die Auswirkungen des Kreiseleggeneinsatzes nicht so stark zum Tragen wie in den Vorjahren. Auch der Effekt der Direktsaat auf die Mulchbedeckung war nicht so ausgeprägt wie zuvor.

4.4 Versuchsjahr 2022

Im Jahr 2022 herrschte in Unterfranken wieder eine historische Trockenheit. In Niederbayern lief das Jahr, abgesehen von den schlecht entwickelten Zwischenfrüchten, gut (Abbildung 41).



Abbildung 41: Am Standort Bad Höhenstadt (Niederbayern) konnte sich in diesem Jahr ein gleichmäßiger Maisbestand über fast alle Varianten etablieren.

4.4.1 Bad Höhenstadt (Niederbayern)

Die uns zur Verfügung stehende Fläche wurde 2021 von einem starken Hagelschauer getroffen. Aus diesem Grund keimte das Ausfallgetreide und etablierte sich daraufhin in den im Herbst gesäten Zwischenfruchtmischungen. Diese wiederum fanden im Herbst keine optimalen Bedingungen vor durch ein grobes und recht nasses Saatbeet und daran anschließender Trockenheit. Somit konnten sie sich nicht gut entwickeln und wurden teilweise nur 20 – 30 cm hoch. Wenig verwunderlich wuchs das Ausfallgetreide im Gegensatz zu den abgefrorenen Zwischenfrüchten im Frühjahr sowohl in den mechanisch als auch chemisch reduzierten Varianten weiter. Trotz diesen Widrigkeiten konnte der Mais noch gute Erträge liefern. Der Standort wies folgende Bodenkennwerte auf: 28,1% Ton, 65,1% Schluff und 6,8% Sand was zu einer Einstufung als Tu4 – stark schluffiger Ton führt (Tabelle 15).

Tabelle 15: Bodenphysikalische Bestandteile am Standort Bad Höhenstadt 2022

Korngrößenverteilung nach DIN ISO 11277			
Abkürzung	Fraktion	Durchmesser (mm)	Wert
T	Ton	<0,002	28.1 %
fU	Feinschluff	0,002 bis < 0,0063	9.3 %
mU	Mittelschluff	0,0063 bis < 0,02	25.6 %
gU	Grobschluff	0,02 bis < 0,063	30.2 %
U	Gesamtschluff	0,002 bis < 0,063	65.1 %
fS	Feinsand	0,063 bis < 0,2	3.8 %
mS	Mittelsand	0,2 bis < 0,63	1.8 %
gS	Grobsand	0,63 bis < 2,0	1.3 %
S	Gesamtsand	2,0 bis < 0,063	6.8 %

Die Gehalte an Sand, Ton und Schluff waren am Standort Bad Höhenstadt etwa im Mittelfeld aller beprobten Flächen anzusiedeln. Durch den hohen Schluffanteil gilt auch für diese Fläche eine hohe Anfälligkeit für Erosion, weshalb die Bodenbearbeitung unbedingt an die Verhältnisse angepasst erfolgen sollte, um Strukturschäden zu vermeiden und Erosion auf ein erträgliches Maß zu begrenzen.

Tabelle 16: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Bad Höhenstadt

Bestimmung des Gesamtporenvolumens (DIN ISO 11274)		
Abkürzung	Bezeichnung	Wert
GPV	Gesamtporenvolumen	45.6 %
LK	Luftkapazität	8.3 %
FSD	Festsubstanzdichte	2.7 g/cm ³
TRD	Trockenraumdichte (Lagerungsdichte)	1.4 g/cm ³
TW	Totwasser	16.0 %
FK	Feldkapazität	37.3 %
nFK	nutzbare Feldkapazität	21.3 %

Die Luftkapazität wies den niedrigsten Wert aller beprobten Versuchsflächen auf bei gleichzeitig hohem Totwassergehalt (Tabelle 16). Diese Kennzahlen weisen auf eine leichte Bodenverdichtung hin. Daher sollte an diesem Standort darauf geachtet werden, dass der Boden vor dem Befahren gut abgetrocknet ist, um weitere Verdichtung zu vermeiden.

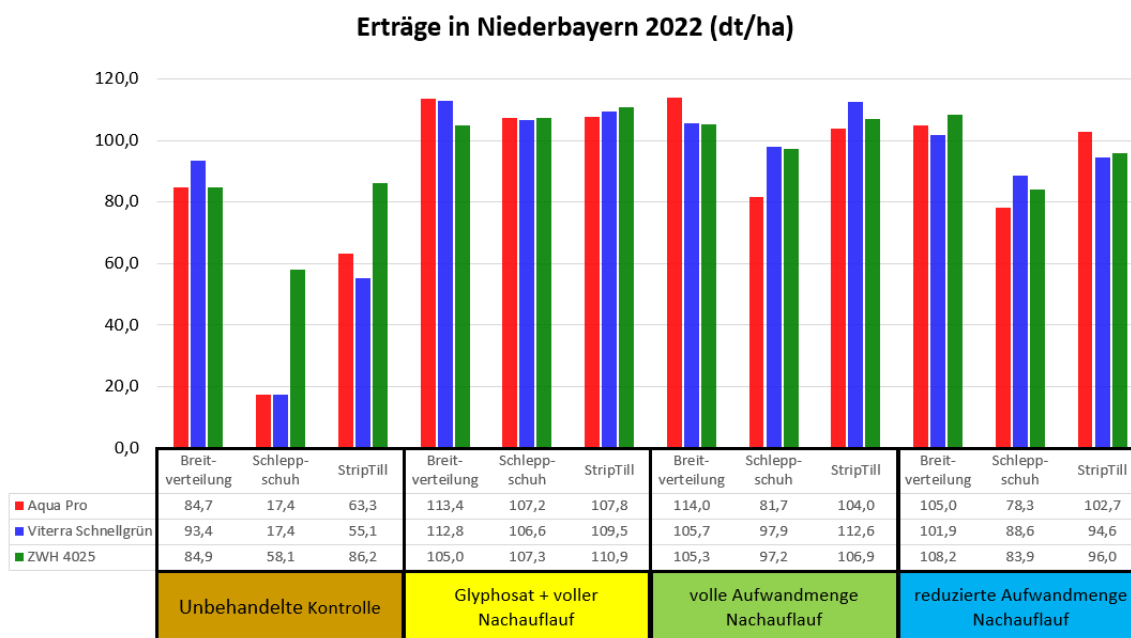


Abbildung 42: Mittlere Erträge je Variante am Standort in Bad Höhenstadt, Niederbayern im Jahr 2022

In dem Diagramm (Abbildung 42) ist gut zu sehen, dass die ausgebrachten Pflanzenschutzmittel in den glyphosatfreien Varianten in diesem Jahr gut wirken konnten. Dies äußerte sich in dem kaum bzw. nur leicht vorhandenen Ertragsabfall bei den Breitverteiler- und Strip Till Varianten. Die Direktsaatvariante schnitt hingegen deutlich schlechter ab. Der Unterschied zwischen voller und reduzierter Aufwandmenge im Nachauflauf war vor allem in den reduzierten Bodenbearbeitungsvarianten erkennbar.

Tabelle 17: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und Statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen

SNK Grouping		Mean bzw. Ø Ertrag in dt/ha	F1 Herbizidmanagement
A		101,33	Glyphosat Vorsaat, Nachauflauf
B		81,15	ohne Glyphosat, Nachauflauf
B		75,45	ohne Glyphosat, red. Nachauflauf
C		40,92	Kontrolle (unbehandelt)
			F2 Gülleearbeitung
A		95,55	Breitverteiler
B		77,63	Strip Tillage
C		51,96	Schleppschuh
			F3 Zwischenfrucht
A	°	84,41	Aqua Pro
B	°	70,55	ZWH 4025 Vitalis Mulch
B		69,18	Viterra Schnellgrün
		93,8	Mittelwert F1, F2, F3

Auch 2022 ähnelten die Ergebnisse jenen aus den Vorjahren (Tabelle 17). In der Gruppe F 1 Herbizidmanagement war die Glyphosat-Variante an erster Stelle, gefolgt von voller Nachauflaufmenge, reduzierter Nachauflaufmenge und das Schlusslicht bildete die unbehandelte Kontrolle. Auch bei der Gülleeinarbeitung war, wie in den Jahren zuvor, die Breitverteiler-Variante führend. Hinsichtlich der Zwischenfruchtmischungen und deren ertraglichen Auswirkungen ist kein statistischer Unterschied erkennbar.

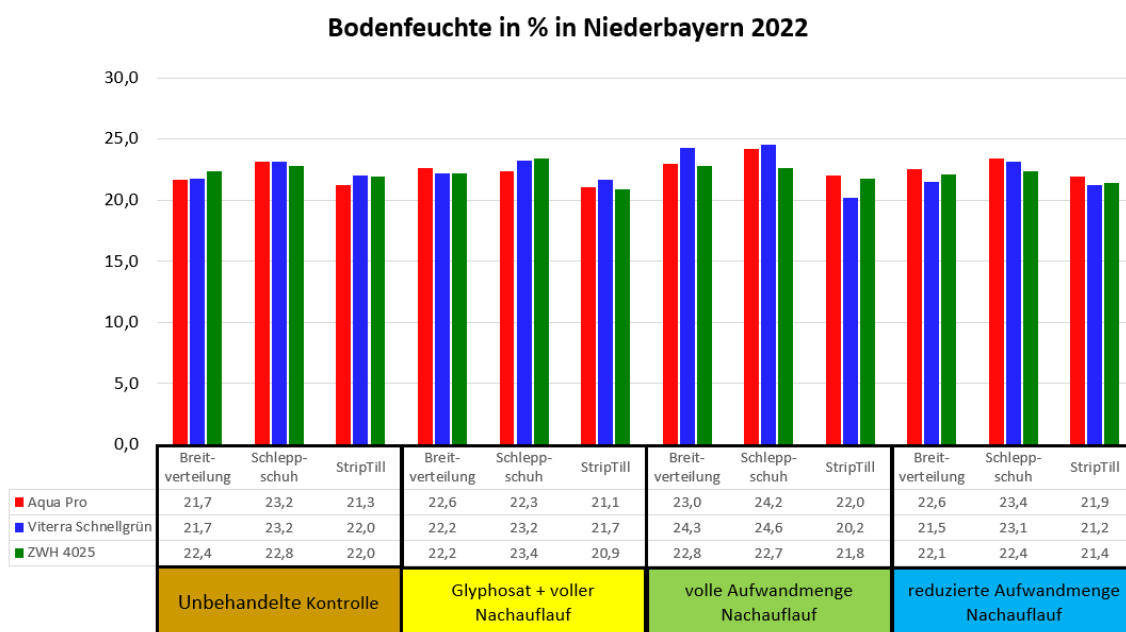


Abbildung 43: Mittlere Bodenfeuchtwerte in Prozent in Bad Höhenstadt, Mittelwert aus drei Terminen

Bei der Bodenfeuchte waren die Schwankungen in diesem Jahr sehr gering, sodass keine eindeutigen Aussagen getroffen werden können. Es ist lediglich ein minimaler Vorteil bei der Schleppschuhvariante zu erkennen (Abbildung 43).

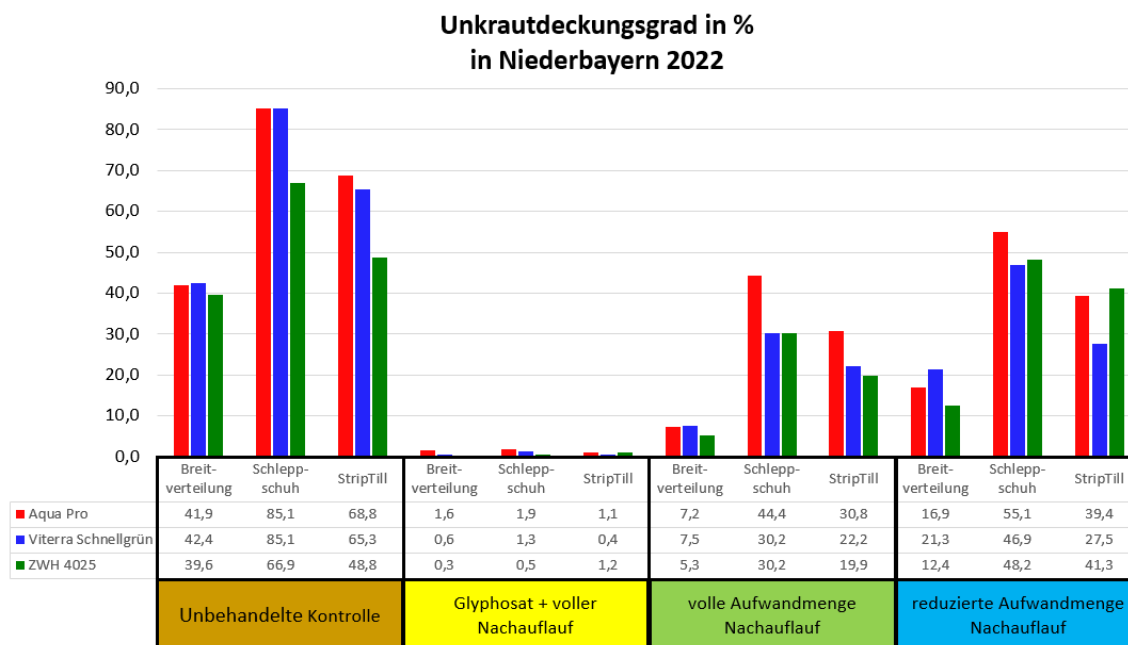


Abbildung 44: Unkrautdeckungsgrade in Prozent in Bad Höhenstadt, Niederbayern 2022 (Mittelwert aus zwei Terminen)

Wie bereits der Ertrag vermuten ließ, waren die Unkrautdeckungsgrade nicht sehr hoch. Das Beikrautpektrum setzte sich überwiegend aus Ausfallgetreide zusammen, welches in der Glyphosat-Variante gut bekämpft werden konnte (Abbildung 44). Auch hier zeigte sich: Je höher die mechanische Bearbeitung, desto geringer war der Besatz an Unkraut, wenn keine Vorsaatbehandlung erfolgte.

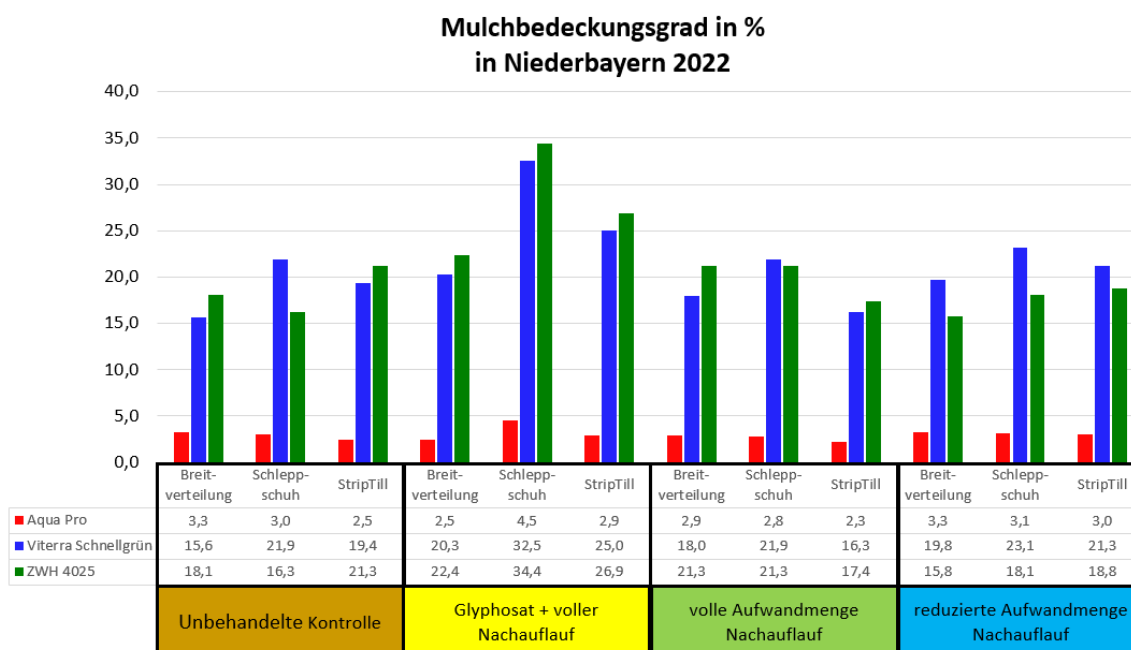


Abbildung 45: Mittlerer Mulchbedeckungsgrad je Variante in Prozent am Standort Bad Höhenstadt, Niederbayern 2022 (Mittelwert aus zwei Bonituren)

Der schlecht entwickelten Zwischenfrüchte waren auch die niedrigen Bedeckungsgrade geschuldet (Abbildung 45). Besonders auffällig waren die Werte der Aqua Pro Mischung, denn diese konnte in keiner Variante 5 % Mulchbedeckung erreichen. So konnte nur Schleppschuh in Kombination mit Glyphosat und vollem Nachauflauf die wichtige Schwelle von 30 % erzielen.

4.4.2 Ettleben (Unterfranken)

In Unterfranken konnten sich die Zwischenfrüchte im Gegensatz zum Standort Niederbayern gut entwickeln. Im Frühjahr jedoch trat nach der Gülleausbringung und der Maisaussaat eine langanhaltende Trockenheit ein. Dies hatte zur Folge, dass sich der Schlitz des Direktsaat-Gerätes durch die Trockenheit wieder öffnete und damit das Saatkorn den Bodenschluss verlor.

Bodenkennwerte: Tu4 stark schluffiger Ton, bestehend aus 30,6 % Ton, 66,9 % Schluff, 2,5 % Sand (Tabelle 18).

Tabelle 18: Bodenphysikalische Bestandteile am Standort Ettleben 2022

Korngrößenverteilung nach DIN ISO 11277			
Abkürzung	Fraktion	Durchmesser (mm)	Wert
T	Ton	<0,002	30.6 %
fU	Feinschluff	0,002 bis < 0,0063	7.5 %
mU	Mittelschluff	0,0063 bis < 0,02	25.0 %
gU	Grobschluff	0,02 bis < 0,063	34.5 %
U	Gesamtschluff	0,002 bis < 0,063	66.9 %
fS	Feinsand	0,063 bis < 0,2	1.6 %
mS	Mittelsand	0,2 bis < 0,63	0.5 %
gS	Grobsand	0,63 bis < 2,0	0.4 %
S	Gesamtsand	2,0 bis < 0,063	2.5 %

Am Standort Ettleben war der Tonanteil relativ hoch bei sehr niedrigem Sandgehalt. Dies bedingt, dass der Boden dadurch sehr verdichtungsanfällig ist. Durch den hohen Ton- und Schluffanteil verfügt der Standort über eine gute Wasserspeicherkapazität.

Tabelle 19: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Ettleben 2022

Bestimmung des Gesamtporenvolumens (DIN ISO 11274)		
Abkürzung	Bezeichnung	Wert
GPV	Gesamtporenvolumen	47.0 %
LK	Luftkapazität	13.3 %
FSD	Festsubstanzdichte	2.6 g/cm ³
TRD	Trockenraumdichte (Lagerungsdichte)	1.4 g/cm ³
TW	Totwasser	14.6 %
FK	Feldkapazität	33.7 %
nFK	nutzbare Feldkapazität	19.0 %

Die Luftkapazität wies an diesem Standort den höchsten ermittelten Wert von allen beprobten Flächen auf (Tabelle 19). Der Anteil des Totwassers entsprach dem Tongehalt des Bodens.

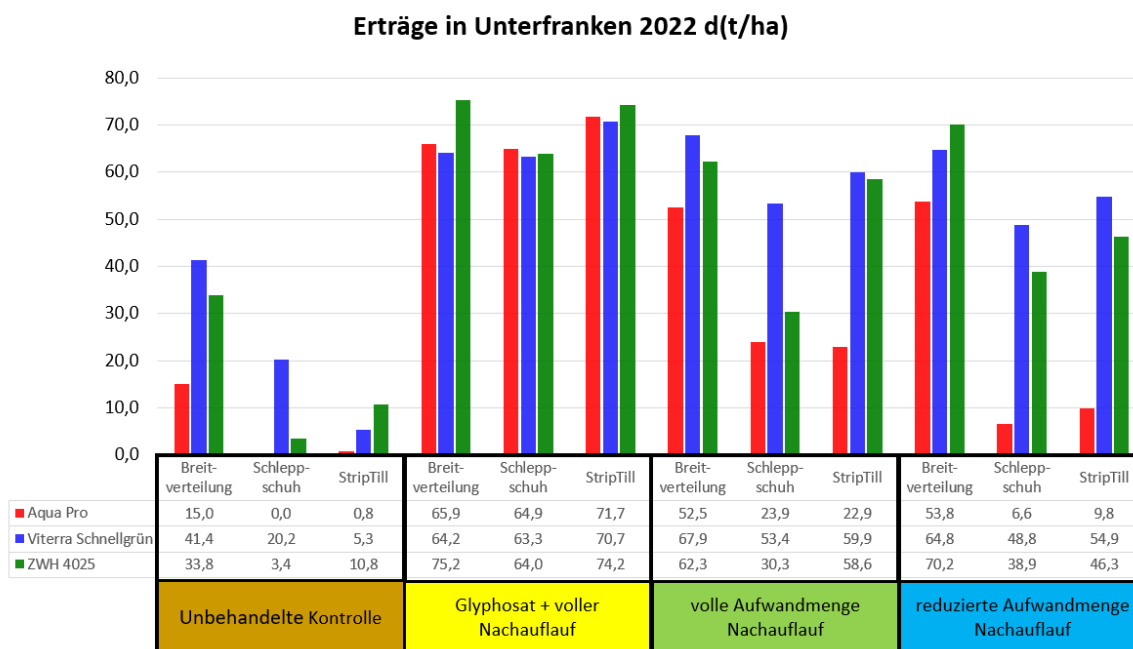


Abbildung 46: Mittlere Erträge in dt/ha am Standort Ettleben, Unterfranken, im Jahr 2022

Die Abbildung 46 veranschaulicht die durchwachsenen Ertragsergebnisse des Jahres 2022 am Trockenstandort. Die Variabilität war groß: von weniger als 10 dt/ha bis über 70 dt/ha waren die Erträge sehr inhomogen. Die höchsten Erträge konnten in der Glyphosat-Variante eingefahren werden, am schlechtesten schnitten neben der unbehandelten Variante die Kombinationen aus Aqua Pro in Verbindung mit reduzierter Gülleearbeitungstechnik ab. Dies war in der hohen Verunkrautung in diesen Parzellen begründet, wodurch der Mais einen entscheidenden Wachstumsnachteil hatte.

Tabelle 20: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und Statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen

SNK Grouping		Mean bzw. Ø Ertrag in dt/ha	F1 Herbizidmanagement
A		68,23	Glyphosat Vorsaats, Nachauflauf
B		47,96	ohne Glyphosat, Nachauflauf
B		43,77	ohne Glyphosat, red. Nachauflauf
C		15,06	Kontrolle (unbehandelt)
			F2 Gülleeinbearbeitung
A		55,59	Breitverteiler
B		40,89	Strip Tillage
C		34,79	Schleppschuh
			F3 Zwischenfrucht
A	°	51,63	Viterra Schnellgrün
B	°	47,34	ZWH 4025 Vitalis Mulch
C		32,3	Aqua Pro
		43,6	Mittelwert F1, F2, F3

Das SNK Grouping (Tabelle 20) hielt für Ettleben am Trockenstandort Unterfranken für das Jahr 2022 keine Überraschungen bereit. Einzig der Faktor Zwischenfrucht unterschied sich in diesem Jahr signifikant, was in den Vorjahren nicht der Fall war. Die Aqua Pro Zwischenfruchtmischung verzeichnete einen deutlichen Ertragsabfall.

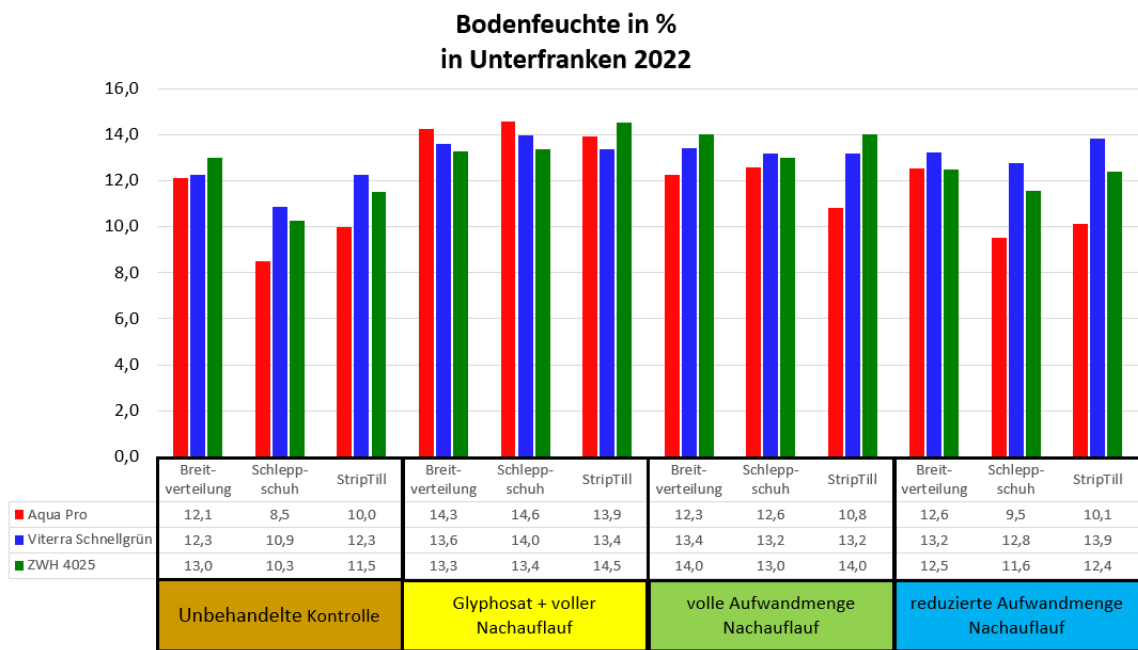


Abbildung 47: Mittlere Bodenfeuchtwerte in Ettleben, Mittelwerte aus drei Terminen je Variante

Die Bodenfeuchte war in diesem Jahr extrem niedrig im Vergleich zu den Vorjahren, dies verdeutlicht wie ausgeprägt die Trockenheit war (Abbildung 47). Die Unterschiede waren grundsätzlich eher gering, aber am höchsten waren die Werte in den mit Glyphosat behandelten Parzellen aufgrund des geringeren Wasserentzugs durch das dezimierte Beikraut.

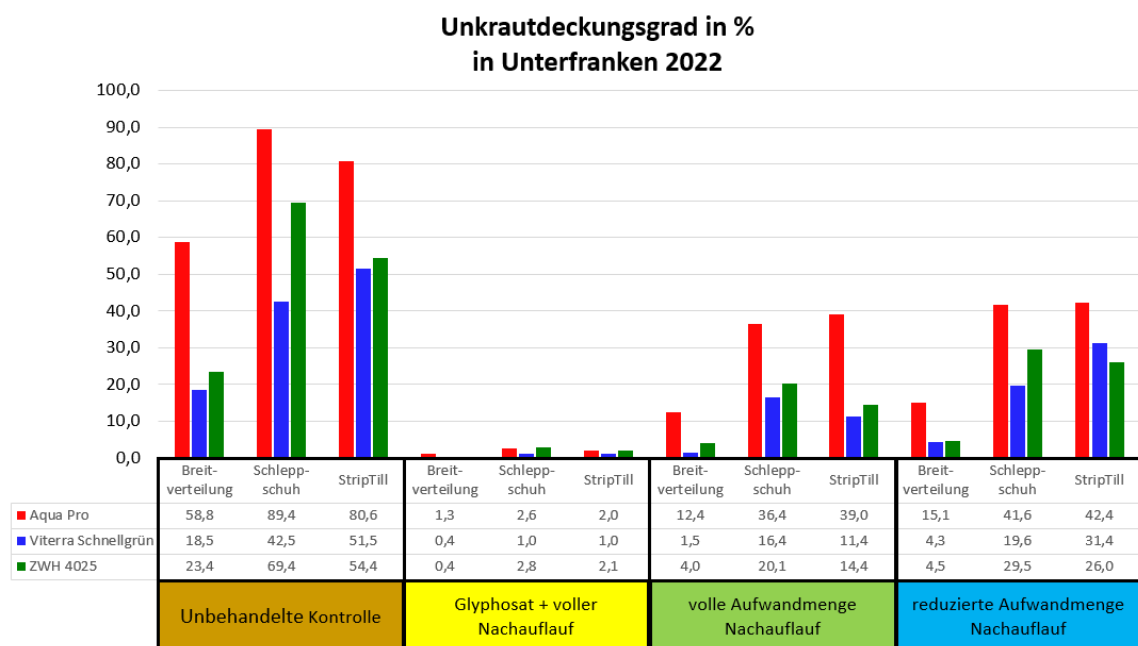


Abbildung 48: Mittlere Unkrautdeckungsgrade am Standort Ettleben, Unterfranken (Mittelwert aus zwei Terminen)

Die mit Glyphosat behandelten Parzellen wiesen gemäß den Erwartungen die niedrigsten Unkrautdeckungsgrade auf, jedoch konnten auch in den Breitverteiler-Varianten recht niedrige Werte erreicht werden (Abbildung 48). Auffallend war, dass die Zwischenfruchtmischung Aqua Pro in diesem Jahr das Unkraut schlecht unterdrücken konnte und somit in diesen Parzellen ein erhöhtes Beikrautaufkommen zu verzeichnen war. Dieser Effekt war in der unbehandelten Kontrolle sehr stark ausgeprägt und auch in den herbizidreduzierten Varianten zeichnete er sich deutlich ab.

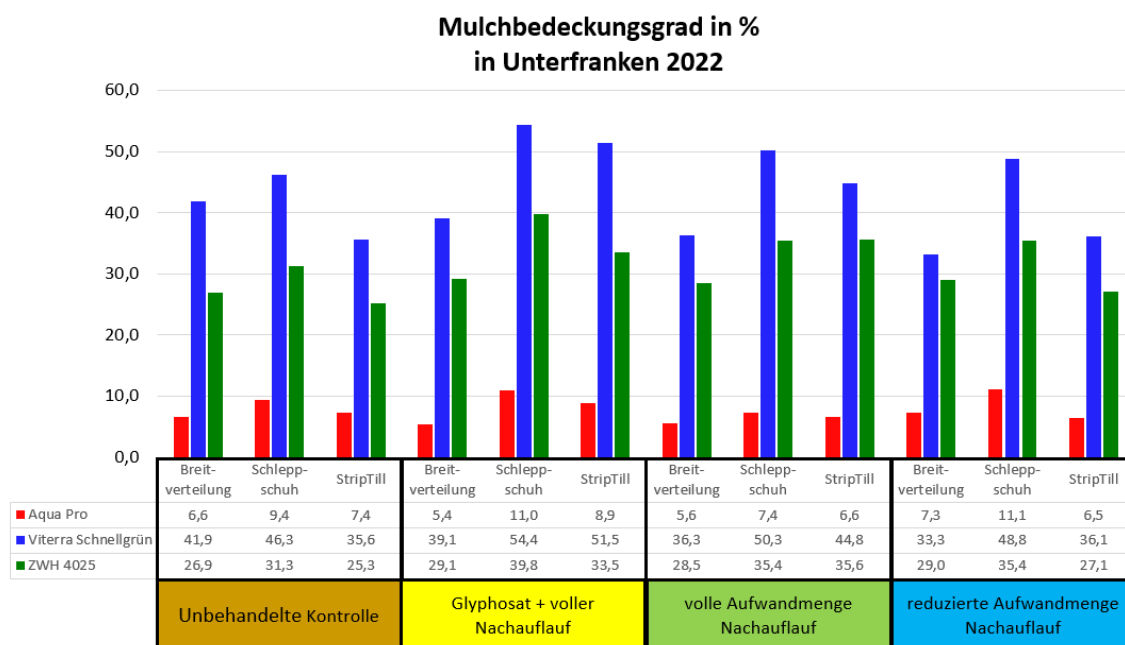


Abbildung 49: Prozentuale mittlere Mulchbedeckungsgrade je Variante in Ettleben, Unterfranken (Mittelwert aus zwei Bonituren)

Die Mulchbedeckungsgrade waren in den Parzellen, die mit senfhaltigen Zwischenfruchtmischungen bestellt waren, sehr hoch (Abbildung 49). Daher konnten sogar in den mit der Kreiselegge bearbeiteten Varianten in Kombination mit Viterra Schnellgrün deutlich über 30 % Bedeckungsgrad erreicht werden. Auch in den mit ZWH 4025 bestellten Parzellen konnten noch gute Mulchdeckungen erzielt werden, jedoch erreichten diese in Kombination mit Bodenbearbeitungsverfahren die für den Erosionsschutz wichtige Hürde nicht mehr. Die Aqua Pro hinterließ in diesem Jahr deutlich weniger Mulchmaterial, wodurch nur Werte zwischen 4 und 11 % ermittelt werden konnten.

4.5 Versuchsjahr 2023

Das Versuchsjahr 2023 gestaltete sich durchwegs herausfordernd aufgrund schwieriger Witterungsverhältnisse. Zunächst verzögerte sich die Aussaat des Maises aufgrund eines sehr niederschlagsreichen Aprils und andauernder feuchter Bedingungen bis Anfang Mai. Daher konnte die Aussaat erst am 8. Mai in Berg bei Pocking und am 2. Mai in Ettleben stattfinden. Eine im weiteren Wachstumsverlauf auftretende starke Trockenheit Anfang Juni bis Ende Juli erschwerte den Aufgang und die Entwicklung des Maises. Die Niederschläge verteilten sich über das Jahr teilweise sehr ungleichmäßig mit längeren Trockenperioden im Frühsommer und großen Regenmengen im August.

4.5.1 Berg (Niederbayern)

Der Standort in Niederbayern im Versuchsjahr 2023 war in Berg in direkter Nähe zu Pocking. Der Boden in dieser Region bietet beste Voraussetzungen für den Maisanbau und besteht aus 28,5 % Ton, 50,5 % Schluff und 21 % Sand (Lu = schluffiger Lehm, Tabelle 21).

Tabelle 21: Bodenphysikalische Bestandteile am Standort Berg 2023

Korngrößenverteilung nach DIN ISO 11277			
Abkürzung	Fraktion	Durchmesser (mm)	Wert
T	Ton	<0,002	28.5 %
fU	Feinschluff	0,002 bis < 0,0063	8.6 %
mU	Mittelschluff	0,0063 bis < 0,02	17.4 %
gU	Grobschluff	0,02 bis < 0,063	24.5 %
U	Gesamtschluff	0,002 bis < 0,063	50.5 %
fS	Feinsand	0,063 bis < 0,2	14.1 %
mS	Mittelsand	0,2 bis < 0,63	6.0 %
gS	Grobsand	0,63 bis < 2,0	0.8 %
S	Gesamtsand	2,0 bis < 0,063	20.9 %

Am Standort Berg lag der Tongehalt mit 28,5 % im mittleren Bereich aller beprobten Standorte. Der Sandgehalt allerdings war hier mit Abstand am höchsten mit 21 %, wohingegen der Schluffanteil den niedrigsten Wert aller Versuchsflächen aufwies.

Tabelle 22: Bestimmung des Gesamtporenvolumens am Standort Berg 2023

Bestimmung des Gesamtporenvolumens (DIN ISO 11274)		
Abkürzung	Bezeichnung	Wert
GPV	Gesamtporenvolumen	48.1 %
LK	Luftkapazität	10.2 %
FSD	Festsubstanzdichte	2.6 g/cm ³
TRD	Trockenraumdichte (Lagerungsdichte)	1.4 g/cm ³
TW	Totwasser	15.1 %
FK	Feldkapazität	37.8 %
nFK	nutzbare Feldkapazität	22.7 %



Abbildung 50: Weit geöffneter Säschlitz in der Strip Till Parzelle gab das Korn frei und führte zum Abreißen der noch sehr empfindlichen Wurzeln



Abbildung 51: Aufgerissene Säschlitz bis in 17 cm Tiefe erschwerten den Wuchs der jungen Maispflanzen in den Direktsaatparzellen

Die Luftkapazität war mit 10 % den gemessenen Werten an den übrigen Standorten recht ähnlich, wohingegen der Totwasseranteil im Vergleich hoch lag (Tabelle 22). Trotzdem erreichte die nutzbare Feldkapazität den zweithöchsten Wert aller Versuchsflächen. Eine eingehendere Analyse von Werten aus Ober- und Unterboden zeigte eine leichte Verdichtung des Unterbodens.

Infolge der feuchten Witterung konnte mit der Gülleausbringung erst am 7.5.23 gestartet werden. Die Bedingungen hierfür waren aufgrund der vorangegangenen Nässe und damit hoher Bodenfeuchtigkeit nicht gut. Die Maßnahme musste jedoch aufgrund der Planung des Lohnunternehmers mit der Gülleanlieferung zu diesem Zeitpunkt durchgeführt werden. Die Einarbeitung der Gülle hinterließ ein grobes Saatbeet und die Fahrspuren wurden durch das hohe Gewicht teilweise verdichtet. Dies beeinträchtigte die Randreihen zum Teil sehr stark. Auch die Ausgangslage zur Aussaat war nicht ideal. So lagen Maiskörner in der Schleppschuhvariante aufgrund der nicht zufriedenstellenden Aussaattechnik obenauf. Das Auflaufverhalten des Bestands insgesamt war aufgrund des starken Regens nach der Aussaat und der darauffolgenden Trockenheit sehr schlecht, da sich stellenweise dicke Krusten bildeten. Um diese aufzubrechen, wurde der Versuch Anfang Juni aufgrund guter Erfahrungen in der

Region mit einer Rollhacke überfahren. Diese Maßnahme brachte jedoch nur in den Breitverteiltervarianten Vorteile mit sich. In der Strip Till Variante öffneten sich darüber hinaus die Schlitzte in der Saatreihe bis in eine Tiefe von über 17 cm begründet durch die Trockenheit, wodurch die Wurzeln der Maispflanzen abgerissen wurden (Abbildung 50). In der Direktsaat-Variante konnte dasselbe Phänomen, jedoch in abgeschwächter Form, beobachtet werden (Abbildung 51).

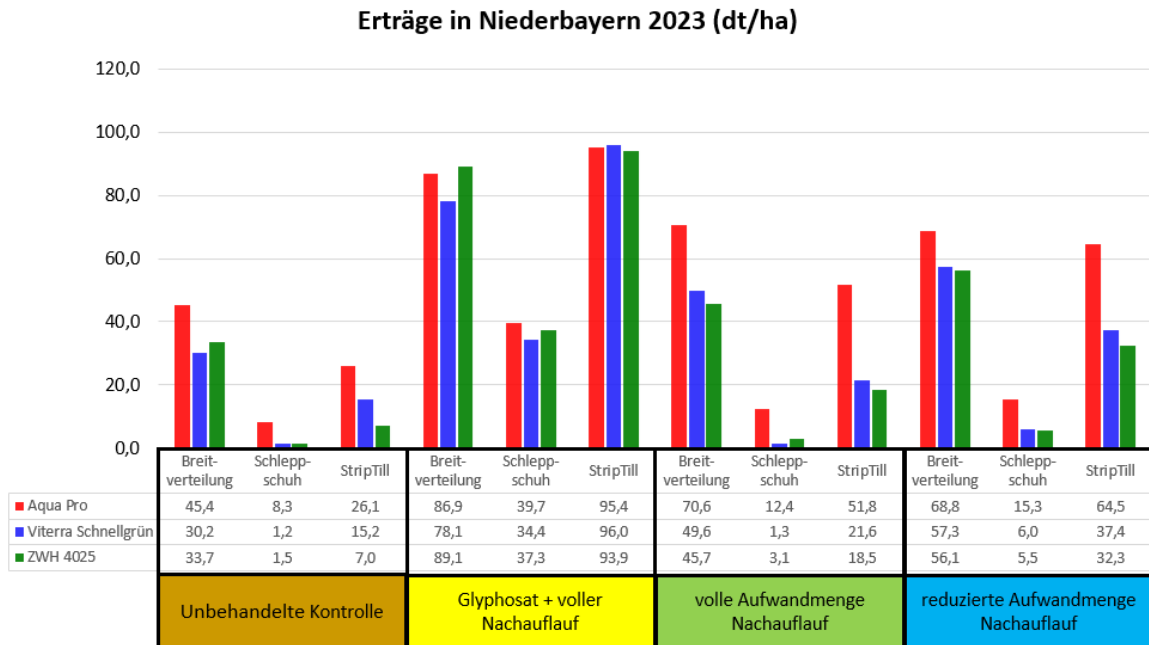


Abbildung 52: Mittlere Erträge je Variante in dt/ha am Standort Berg, Niederbayern, im Jahr 2023

Die Erträge in diesem Jahr waren im Vergleich zu den letzten Jahren sehr niedrig (Abbildung 52). So war die Kombination von Glyphosat mit vollem Nachauflauf und Strip Till die Einzige, die praxisübliche Erträge annähernd erreichen konnte. Dieses Ergebnis zeichnete jene der vorangegangenen Versuchsjahre nach, in denen die genannte Variante ebenfalls zu den ertragreichsten gehörte. In den herbizidreduzierten Varianten war die Kombination mit Bodenbearbeitung die erfolgversprechendste in Bezug auf den Ertrag. Dennoch lag das Ertragsniveau dieser Parzellen mit verringertem Pflanzenschutzmitteleinsatz weit hinter jenen mit voller Aufwandmenge und Totalherbizid zurück.

Tabelle 23: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und Statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen

SNK Grouping		Mean bzw. Ø Ertrag in dt/ha	F1 Herbizidmanagement
A		66,056	Glyphosat Vorsaat, Nachauflauf
B		52,944	ohne Glyphosat, red. Nachauflauf
C	B	47,056	ohne Glyphosat, Nachauflauf
C		42,139	Kontrolle (unbehandelt)
			F2 Gülleeinarbeitung
A		69,375	Breitverteiler
B		57,667	Strip Tillage
C		29,104	Schleppschuh
			F3 Zwischenfrucht
A	°	58,729	Aqua Pro
B	°	48,938	ZWH 4025 Vitalis Mulch
B		48,479	Viterra Schnellgrün
		39,9	Mittelwert F1, F2, F3

Aus Tabelle 23 ist zu entnehmen, dass die Erträge im Jahr 2023 am niederbayerischen Standort Berg bei Pocking sehr niedrig ausfielen. Vor allem die Schleppschuh-Variante fiel im Vergleich deutlich zurück durch den sehr schlechten Feldaufgang. Die Unterschiede der Zwischenfruchtmischungen waren wie bereits in den Vorjahren auch in diesem Jahr statistisch nicht signifikant. Der leichte Vorteil der Aqua Pro Mischung könnte dem Hinterlassen einer besseren Bodenstruktur geschuldet sein.

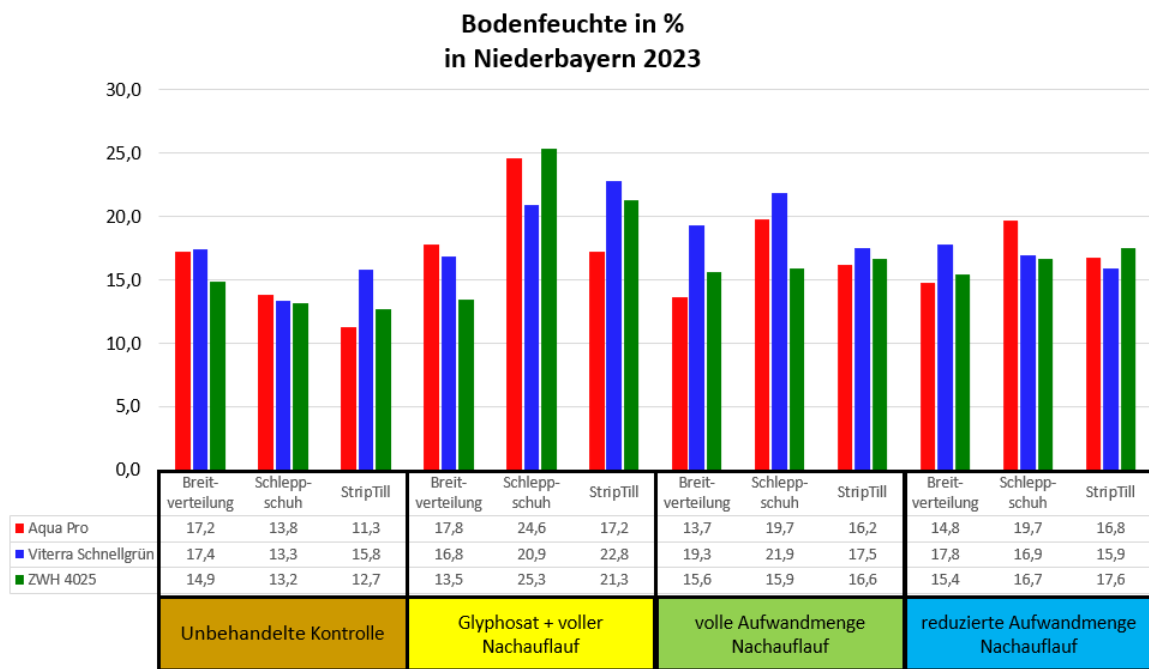


Abbildung 53: Bodenfeuchtwerte am Standort Berg in Niederbayern im Jahr 2023, prozentualer Mittelwert aus drei Bonituren

Bei der Bodenfeuchte war kein eindeutiger Trend zu erkennen (Abbildung 53). Die unbehandelte Kontrolle fiel etwas zurück, was durch den hohen Besatz an Unkräutern und dem dadurch gesteigerten Wasserverbrauch zu erklären ist. Es zeigte sich ein leichter Vorteil bei den Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung in Verbindung mit Glyphosat und voller Nachauflaufbehandlung. Die Durchführung der Beprobung der Bodenfeuchte mit dem Messgerät stellte eine Herausforderung dar angesichts des zum Teil extrem ausgetrockneten, harten Bodens.

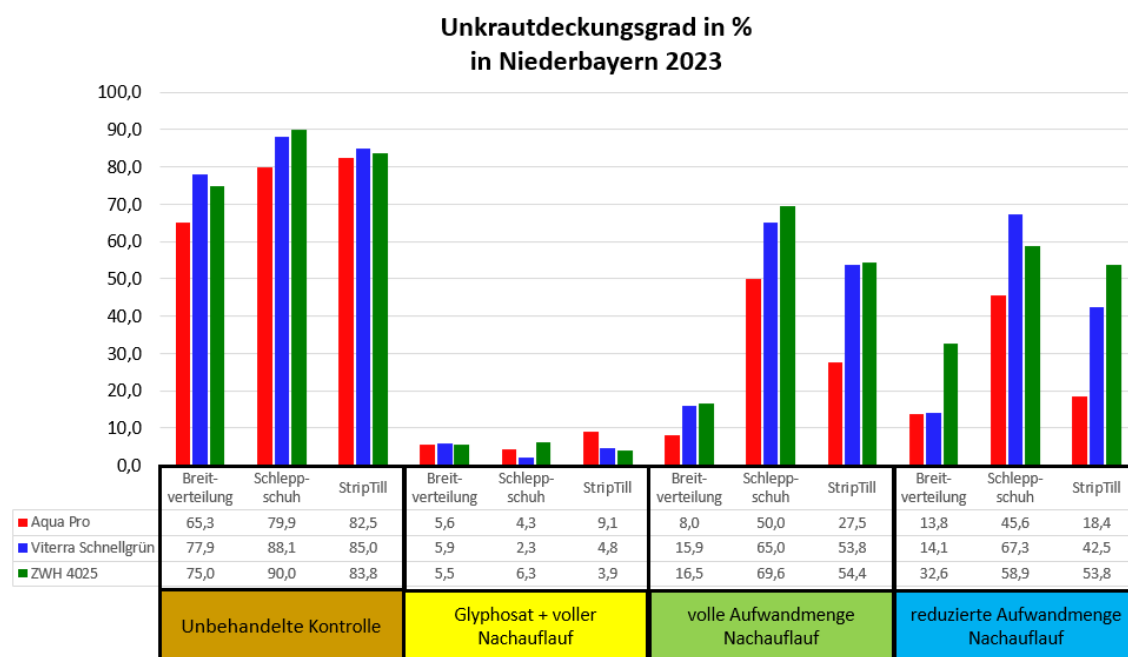


Abbildung 54: Mittlere Unkrautdeckungsgrade je Variante in Prozent in Berg bei Pocking, Niederbayern (Mittelwert aus drei Bonituren)

Der Unkrautdeckungsgrad zeigt sich ähnlich wie in den Vorjahren (Abbildung 54). Der Rollhacke, die im Frühjahr zum Einsatz kam, um die Verkrustungen aufzubrechen, ist keine Wirkung auf den Unkrautdruck zuzurechnen. Der Beikrautbesatz in der unbehandelten Kontrolle war in diesem Jahr sehr hoch und korrelierte mit der niedrigen Bodenfeuchte und dem geringen Ertrag. In der Variante Glyphosat mit vollem Nachauflauf war der Druck ebenfalls relativ hoch im Vergleich zu den Vorjahren. So wuchsen Ackerschachtelhalm und Wurzelunkräuter wie die Ackerwinde zu einem späteren Zeitpunkt wieder deutlich durch. Begründet werden könnte dies durch den schwachen Wuchs des Maises aufgrund der Trockenheit, wodurch er die Reihen erst spät schließen konnte. Der Besatz an Beikräutern in den Varianten der vollen und reduzierten Nachauflaufbehandlung waren sich sehr ähnlich. Dies dürfte im Wesentlichen ebenso auf die Trockenheit und die dadurch herabgesetzte Wirksamkeit des Bodenherbizids zurückzuführen sein.

Die verschiedenen Varianten des Pflanzenschutzes konnten einen klaren Vorteil bei den intensiveren Verfahren herausstellen. Die Parzellen mit Glyphosat im Voraufbau waren die Einzigen, die sich gut entwickeln konnten aufgrund der verminderten Beikrautkonkurrenz. Durch die späte Aussaat und dem dadurch ebenfalls spät im Jahr erfolgten Pflanzenschutzmitteleinsatz schob der Ausfallweizen des Vorjahres bereits die Ähren. Erschwerend hinzu kam, dass die Fläche mit Wurzelunkräutern vorbelastet war. So verunkrautete die Fläche bis zur Ernte teilweise massiv und verhinderte zusammen mit dem schlechten Feldaufgang die Ertragsbildung. Die Ernte am 18. Oktober verlief ohne Probleme. Einige der stark verunkrauteten Parzellen hatten zu einem sehr späten Zeitpunkt noch Kolben angesetzt, welche zum Erntezeitpunkt erst in der Milchreife angekommen waren. Trotz der widrigen Bedingungen waren dieselben Trends wie in den Vorjahren erkennbar.

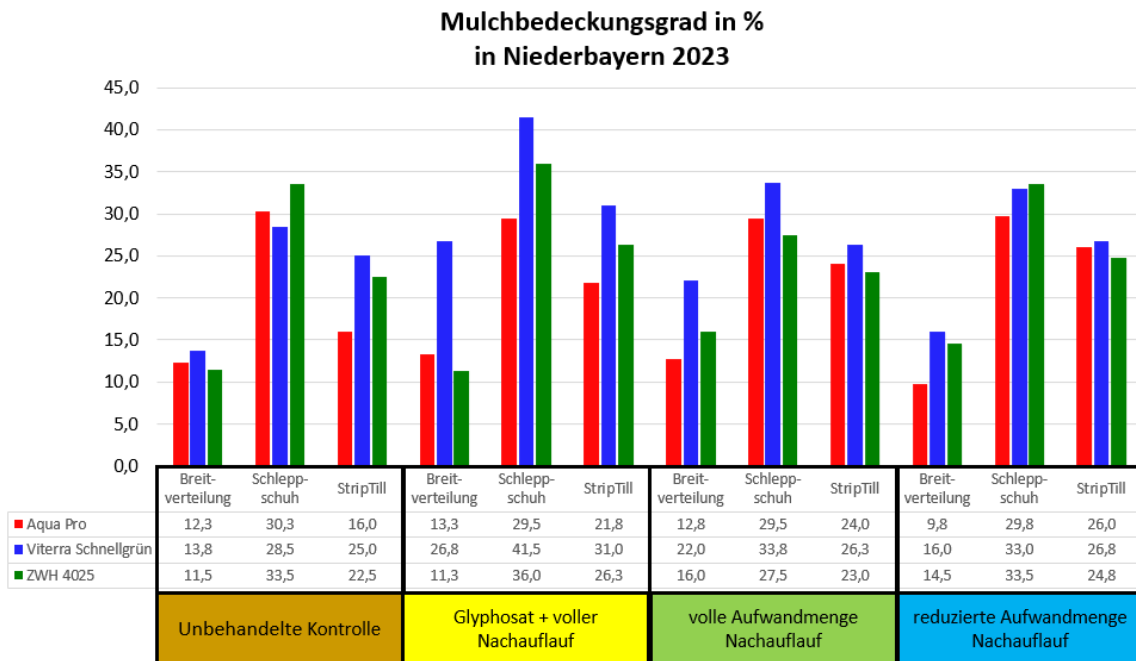


Abbildung 55: Prozentuale mittlere Mulchbedeckungsgrade am Standort in Niederbayern 2023 (Mittelwert aus drei Bonituren)

Die Zwischenfrüchte wurden vergleichsweise spät am 25.8.23 gesät. Demzufolge war der Aufwuchs nicht sehr üppig, was in niedrigen Mulchbedeckungsgraden resultierte (Abbildung 55). So konnte in diesem Jahr nur die Schleppschuhvariante den aus Erosionsschutz-Sicht essenziellen Wert von 30 % Mulchbedeckung erreichen. In den Parzellen der unbehandelten Kontrolle war zum letzten Boniturtermin die Aufnahme des Mulchbedeckungsgrades aufgrund des hohen Unkrautbesatzes nicht mehr möglich.

4.5.2 Ettleben (Unterfranken)

Das Wetter war hier für das Wachstum des Maises im Vergleich zum Standort in Berg günstiger. Die Zusammensetzung des Bodens bestand aus 34% Ton, 64% Schluff und 2% Sand, womit eine Einstufung in TU3 – mittel schluffiger Ton erfolgt (Tabelle 24).

Tabelle 24: Korngrößenverteilung am Standort Ettleben 2023

Korngrößenverteilung nach DIN ISO 11277		
Fraktion	Durchmesser (mm)	Wert
Ton	<0,002	34.0 %
Feinschluff	0,002 bis < 0,0063	6.7 %
Mittelschluff	0,0063 bis < 0,02	24.7 %
Grobschluff	0,02 bis < 0,063	32.5 %
Gesamtschluff	0,002 bis < 0,063	64.0 %
Feinsand	0,063 bis < 0,2	1.4 %
Mittelsand	0,2 bis < 0,63	0.4 %
Grobsand	0,63 bis < 2,0	0.3 %
Gesamtsand	2,0 bis < 0,063	2.0 %

Der Standort in Ettleben zeichnete sich durch einen sehr geringen Anteil an Sand und dafür einen sehr hohen Tonanteil aus. Dies impliziert, dass der Boden sehr Verdichtungsgefährdet ist. Daher sollte nach Möglichkeit beim Befahren des Ackers der Fokus auf die Tragfähigkeit des Bodens, geringe Maschinengewichte und Anpassung des Reifendrucks gelegt werden.

Tabelle 25: Bodenphysikalische Bestandteile am Standort Ettleben 2023

Bestimmung des Gesamtporenvolumens (DIN ISO 11274)		
Abkürzung	Bezeichnung	Werte
GPV	Gesamtporenvolumen	44.7 %
LK	Luftkapazität	9.9 %
FSD	Festsubstanzdichte	2.6 g/cm ³
TRD	Trockenraumdichte (Lagerungsdichte)	1.4 g/cm ³
TW	Totwasser	17.6 %
FK	Feldkapazität	34.8 %
nFK	nutzbare Feldkapazität	17.2 %

Der Totwassergehalt lag bei einem sehr hohen Wert von 17,6 % (Tabelle 25). Dies entspricht dem ebenfalls hohen Tonanteil. Die Luftkapazität war bei nur ca. 10 %, einer der niedrigsten Werte aller beprobten Standorte. Die vergleichsweise geringe Feldkapazität und die niedrige Luftkapazität weisen auf Verdichtungen hin.

In Ettleben konnten die Gülleausbringung und die Aussaat ebenfalls erst zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt werden. Die Bedingungen zur organischen Düngung Anfang April waren dann jedoch passend. Es entstanden kaum Fahrspuren und das Wetter war leicht

bewölkt. Der Unterboden war zu dem Zeitpunkt noch leicht feucht, das Strip Till Gerät konnte jedoch trotzdem einen guten Saatbett-Streifen erzeugen. Auch die Bodenbearbeitung mit der Kreiselegge ließ ein feinkrümeliges Saatbett zurück. Die Aussaat fand am 02.05.23 zu optimalen Bedingungen statt. Der Feldaufgang war in den Glyphosatvarianten sehr gut. In allen anderen Varianten bis auf die Direktsaat war der Aufgang auch gut. Nach der Aussaat kam für eine längere Zeit kein Regen mehr und aufgrund der Austrocknung des Bodens öffneten sich in den Parzellen mit reduzierter Bodenbearbeitung ohne Glyphosat die Säschritze wieder. Dies führte dazu, dass die Jungpflanzen entweder nicht mehr weiterwuchsen oder sogar abstarben. In jenen Varianten mit dem Totalherbizid trat dieser Effekt nicht auf, denn zum Zeitpunkt des Pflanzenschutzeinsatzes schob der Ausfallweizen bereits die Ähren, konnte aber sicher dezimiert werden. Über die Vegetationsphase hinweg konnten nur die Kombinationen mit Glyphosat im Voraufbau ein ansprechendes Bild zeigen. Ab dem Moment des Reihenschlusses wies der Mais beispielsweise in Kombination mit Strip Till eine eindeutig dunklere Grünfärbung auf, was auf eine bessere Verfügbarkeit von Nährstoffen hindeutet. Diese Vermutung bestätigte sich bei der Ernte.

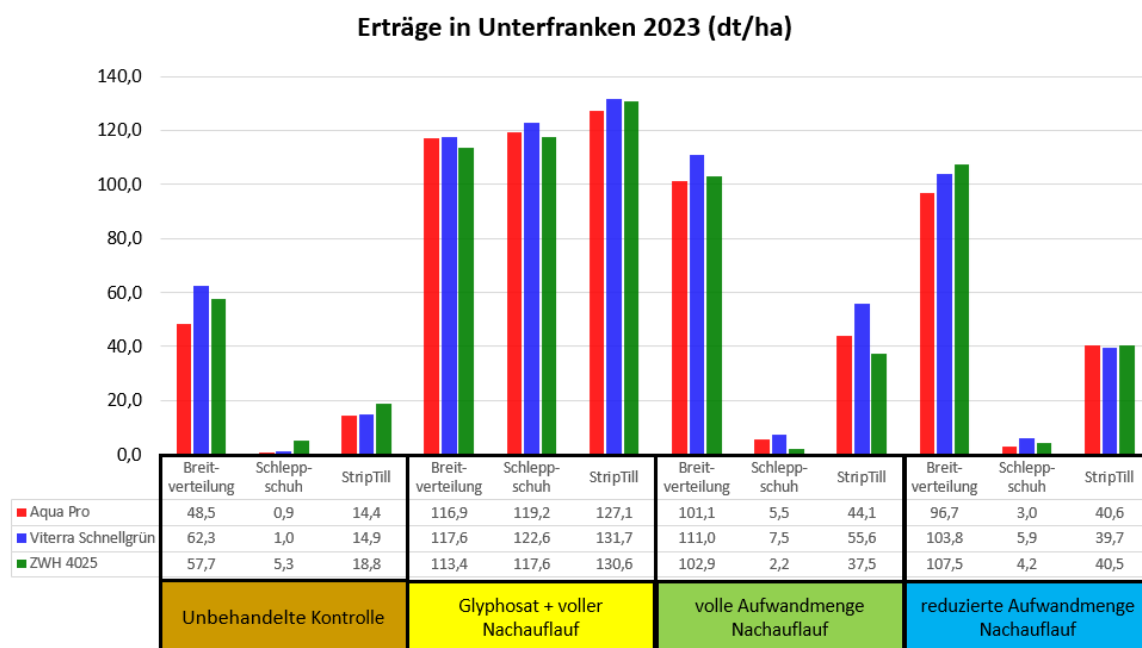


Abbildung 56: Mittlere Erträge je Variante in dt/ha am Standort Ettleben in Unterfranken im Jahr 2023

Das Jahr 2023 zeigte in Ettleben in der Tendenz dieselben Ergebnisse wie in den Vorjahren, nur in einer extremeren Ausprägung als bisher (Abbildung 56). So hatten die Varianten mit einer Glyphosatbehandlung im Voraufbau sowie die Breitverteiler-Parzellen einen eindeutigen Ertragsvorteil. Die Schleppschuhvariante war in diesem Jahr sehr schlecht und führte zum Teil zu Totalausfällen. Die einzige Ausnahme bildeten die Kombinationen Direktsaat bzw. Strip Till mit Totalherbizid und voller Aufwandmenge. Im Vergleich zur Breitverteilung erbrachten diese beiden Varianten Ertragssteigerungen. Der Konkurrenzdruck konnte durch den Einsatz des Glyphosates effektiv herabgesetzt werden und aufgrund der reduzierten Bodenbearbeitung wurde gleichzeitig Wasser eingespart, wodurch sich der Vorteil in einem Trockenjahr wie 2023 deutlich abzeichnet.

Tabelle 26: Eingruppierung nach dem Student-Newman-Keuls Test und Statistische Auswertung der Durchschnittserträge in den einzelnen Faktorstufen

SNK Grouping		Mean bzw. Ø Ertrag in dt/ha	F1 Herbizidmanagement
A		121,849	Glyphosat Vorsaats, Nachauflauf
B		51,935	ohne Glyphosat, Nachauflauf
B		49,808	ohne Glyphosat, red. Nachauflauf
C		24,869	Kontrolle (unbehandelt)
			F2 Gülleeinarbeitung
A		94,947	Breitverteiler
B		58,480	Strip Tillage
C		32,919	Schleppschuh
			F3 Zwischenfrucht
A	°	64,995	Viterra Schnellgrün
B	A	61,513	ZWH 4025 Vitalis Mulch
B		59,838	Aqua Pro
		61,9	Mittelwert F1, F2, F3

Auch in Unterfranken konnten bei den Herbizidvarianten nur die mit dem Totalherbizid im Voraufbau behandelten Varianten überzeugen (Tabelle 26). Dies ist zum einen auf den zum Teil sehr starken Besatz mit Ausfallgetreide und zum anderen auf die schlecht entwickelten Zwischenfrüchte zurückzuführen, welche nicht in der Lage waren, den Beikrautbesatz wirksam zu unterdrücken. Beim Faktor Gülleeinarbeitung gab es keine Veränderungen zu den Vorjahren. Der Ertragsabfall in den Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung war stark ausgeprägt und demonstrierte erneut, dass die Breitverteiler-Variante in der Lage ist, einen deutlichen Ertragsvorsprung zu erzielen. Die Auswirkungen der verschiedenen Zwischenfruchtmischungen waren gering, was sich mit den Erfahrungen aus der Vergangenheit deckt.

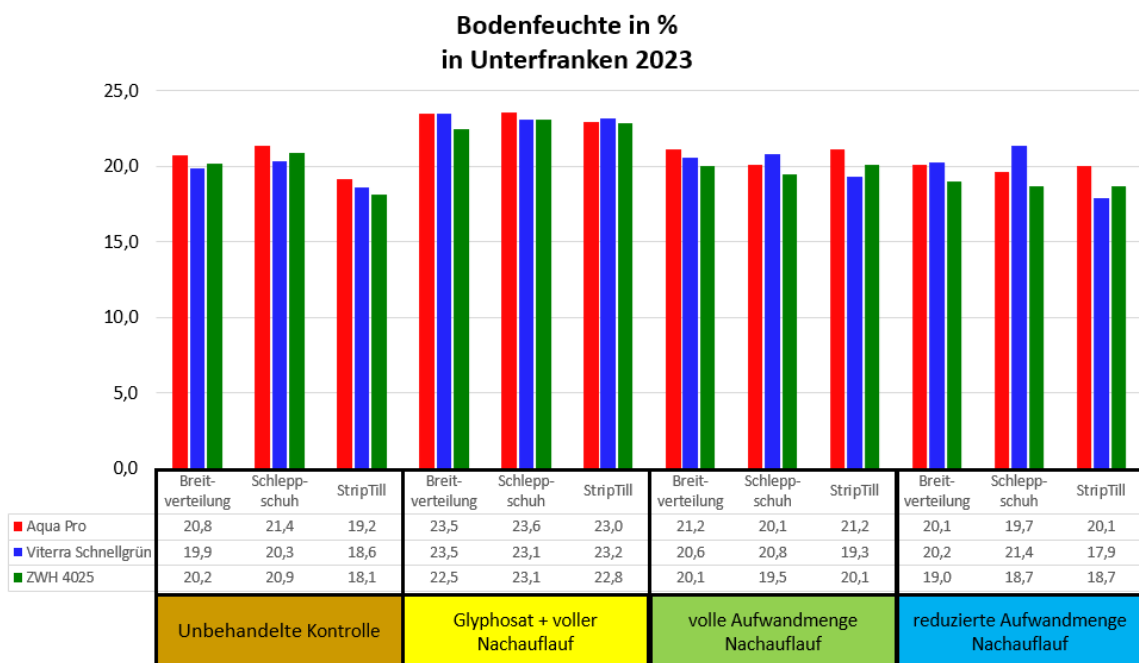


Abbildung 57: Bodenfeuchtwerte je Variante in Ettleben, Unterfranken. Mittelwert aus drei Boniturterminen

Die Grafik der Bodenfeuchte am Standort Ettleben veranschaulicht sehr geringe Unterschiede innerhalb der Varianten (Abbildung 57). Einzig die Herbizidkombination mit Glyphosat und vollem Nachauflauf wies in diesem Jahr Vorteile auf, da der Unkrautbesatz und somit auch die Konkurrenz um Wasser wirkungsvoll reduziert wurde. Ansonsten waren keine eindeutigen Auswirkungen von Bodenbearbeitungsverfahren oder Zwischenfruchtmaßnahmen erkennbar.

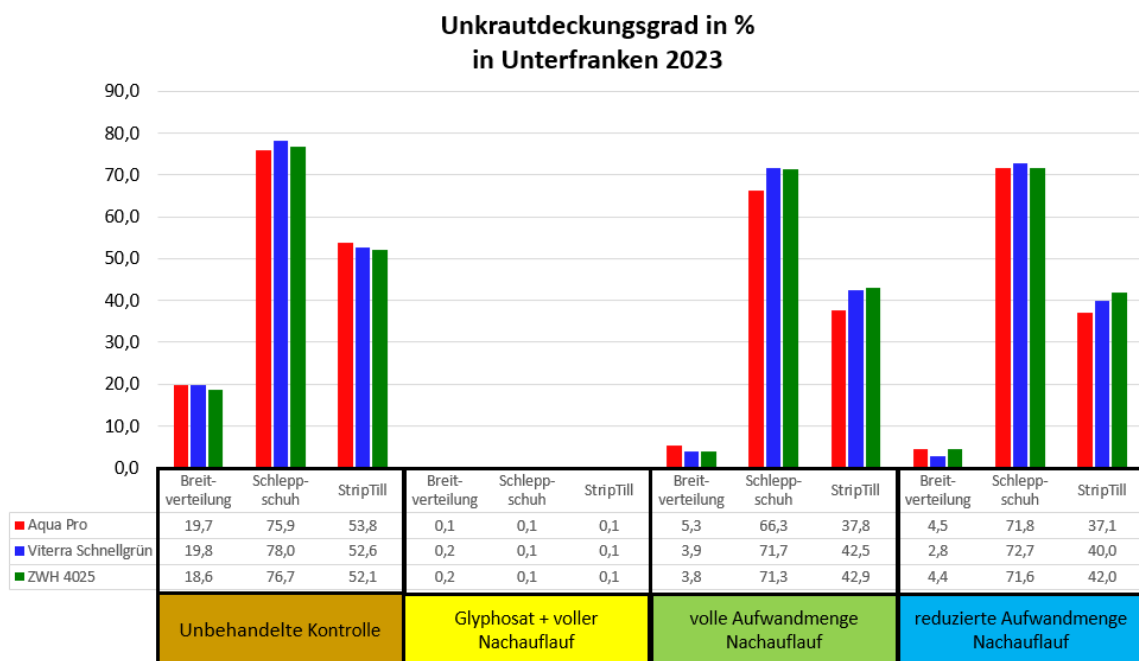


Abbildung 58: Mittlere Unkrautdeckungsgrade je Variante in Ettleben (Mittelwert aus drei Bonituren)

Das Balkendiagramm zeichnet ein ähnliches Bild wie in den vorangegangenen Jahren nach (Abbildung 58). In den Varianten mit reduzierter Herbizidanwendung konnten nur in Kombination mit einer Bodenbearbeitungsmaßnahme niedrige Beikrautdeckungsgrade erzielt werden, in allen reduzierten Varianten hingegen wurden Werte bis zu 70 % erreicht. In diesen Parzellen wurde die Entwicklung des Maises enorm beeinträchtigt, was sich entsprechend im Ertrag niederschlug (Abbildung 56 & Abbildung 60). Zwischen der vollen und reduzierten Aufwandmenge im Nachauflauf waren in diesem Jahr praktisch keine Unterschiede auszumachen. Dies ist der Trockenheit geschuldet, weshalb das Bodenmittel keine Wirkung entfalten konnte. So konnten diese Parzellen je nach Ausbringverfahren nur etwa 10 – 15 % besser abschneiden als die unbehandelte Kontrolle.

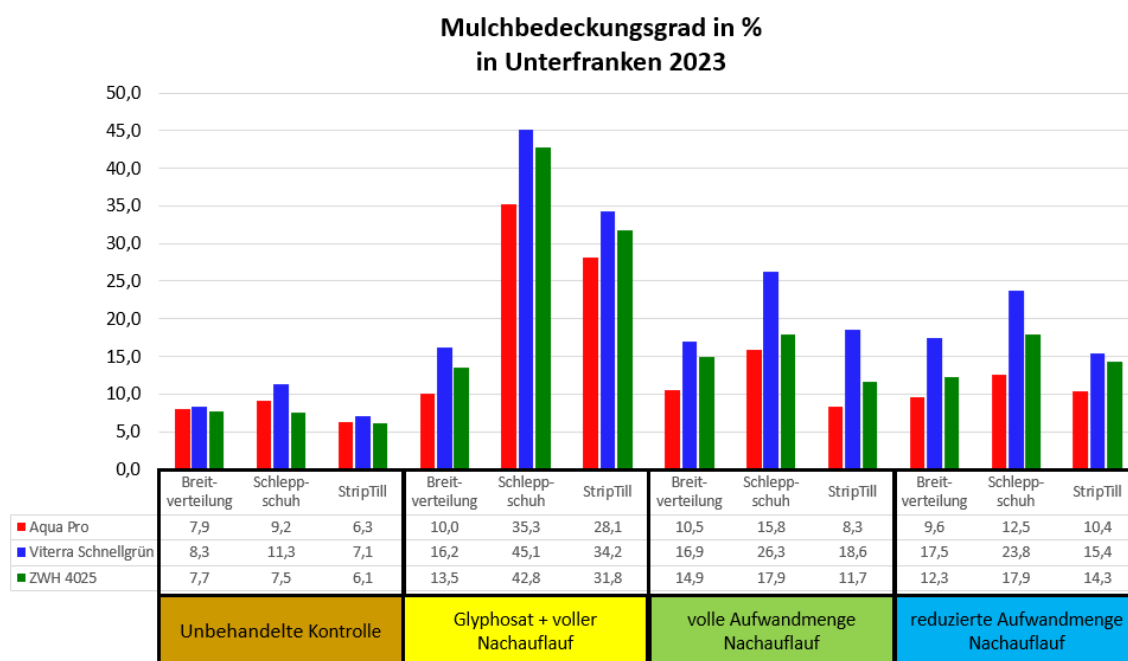


Abbildung 59: Mulchbedeckungsgrade in Prozent je Variante in Unterfranken. Mittelwert aus drei Bonituren

In der Grafik der Mulchbedeckungsgrade fällt auf, dass die Glyphosatvariante deutlich höhere Werte erreichte im Vergleich zu den anderen Herbizidvarianten (Abbildung 59). Dies ist auf den hohen Anteil an Ausfallweizen zurückzuführen, der durch das Totalherbizid effektiv abgetötet wurde und somit als Mulchauflage eingestuft werden konnte. In den übrigen Parzellen hingegen wurde er zum Unkrautdeckungsgrad hinzugerechnet. Grundsätzlich war in diesem Jahr auch die Trockenheit und die damit einhergegangene schlechte Entwicklung der Zwischenfrüchte ein Grund für die niedrigen Werte. Daher konnten nur in den Schleppschuh- und Strip Till Varianten in Verbindung mit Glyphosat die 30 % Mulchauflage erreichen.



Abbildung 60: Luftaufnahme des Körnermaises Ende Juni. Der Konkurrenzdruck des Unkrautes ist sehr deutlich sichtbar am geringen Entwicklungsstand des Maises.

4.6 Zusammenfassung der Ergebnisse aller Versuchsjahre

In diesem Abschnitt werden die aggregierten Durchschnittswerte aus den neun Standorten in den Regionen Niederbayern und Unterfranken präsentiert. Die Ertragsergebnisse zeigen deutlich, dass optimale Erträge nur in Beständen mit geringer Unkrautkonkurrenz erzielt werden können. Eine detaillierte Analyse und Diskussion der weiteren auffälligen Ergebnisse wird im folgenden Abschnitt (5. Diskussion) durchgeführt. Dieser Teil widmet sich der eingehenden Betrachtung und wissenschaftlichen Diskussion der identifizierten Beobachtungen.

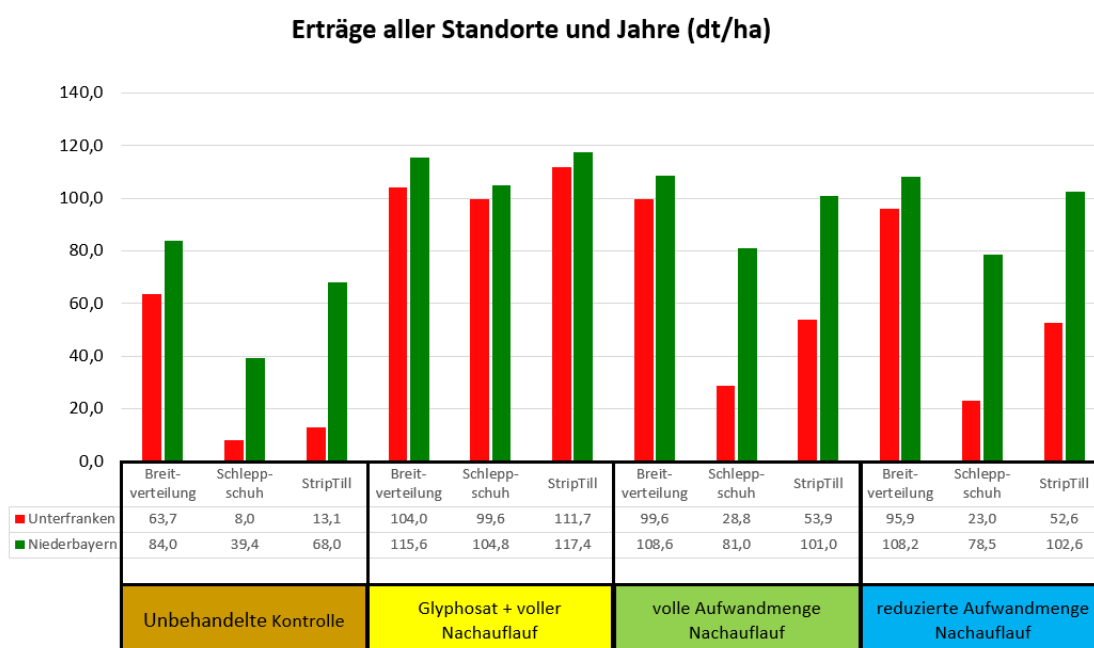


Abbildung 61: Mittlere Erträge in Unterfranken und Niederbayern aus allen Versuchsjahren

Mit der Kombination aus Breitverteilung und Kreiselegge konnten in allen Varianten, mit Ausnahme der Glyphosat-Variante, die höchsten Erträge erzielt werden (Abbildung 61). Innerhalb der Kombination mit Glyphosat wurde sie jedoch noch von der Strip Till Variante übertroffen. Eine mögliche Erklärung wäre dafür, dass der Effekt der Unkrautunterdrückung hier nur zweitrangig war durch den Einsatz des Totalherbizides. Möglicherweise ist die Lockerung des Bodens in Kombination mit der Schaffung eines Mikroklimas für das Maiswachstum von Vorteil sowie Aspekte der Wassereinsparung und kann somit die höheren Erträge erklären.

In Fällen, in denen kein Totalherbizid eingesetzt wurde, reagieren die reduzierten Varianten stark darauf, dass der Mais bis zur Nachauflaufanwendung einem intensiven Konkurrenzdruck ausgesetzt ist. Eine bemerkenswerte Beobachtung ist, dass der Trockenstandort in Unterfranken in der Glyphosat-Variante ertraglich nah am günstigen Standort in Niederbayern liegt. Es fällt jedoch auf, dass die Varianten Schleppschuh/Direktsaat und Strip Till in den Pflanzenschutzvarianten ohne Glyphosat in Unterfranken wesentlich größere

Mindererträge aufweisen als am Standort in Niederbayern. Diese Beobachtung lässt sich schlüssig erklären: Der Standort in Unterfranken war trockener, und durch die bereits vor der Aussaat etablierten Beikräuter entstand eine Konkurrenzsituation mit dem Mais, insbesondere bei dem ohnehin knappen Wasserangebot. Hinzu kommt, dass sich in Niederbayern aufgrund des höheren Niederschlags die Zwischenfrüchte zumeist besser entwickelten und so mehr der aufkeimenden Beikräuter unterdrücken konnten. Außerdem zeigt sich, dass oftmals kein oder nur ein sehr geringer Unterschied zwischen der vollen und reduzierten Nachauflaufbehandlung auszumachen war.

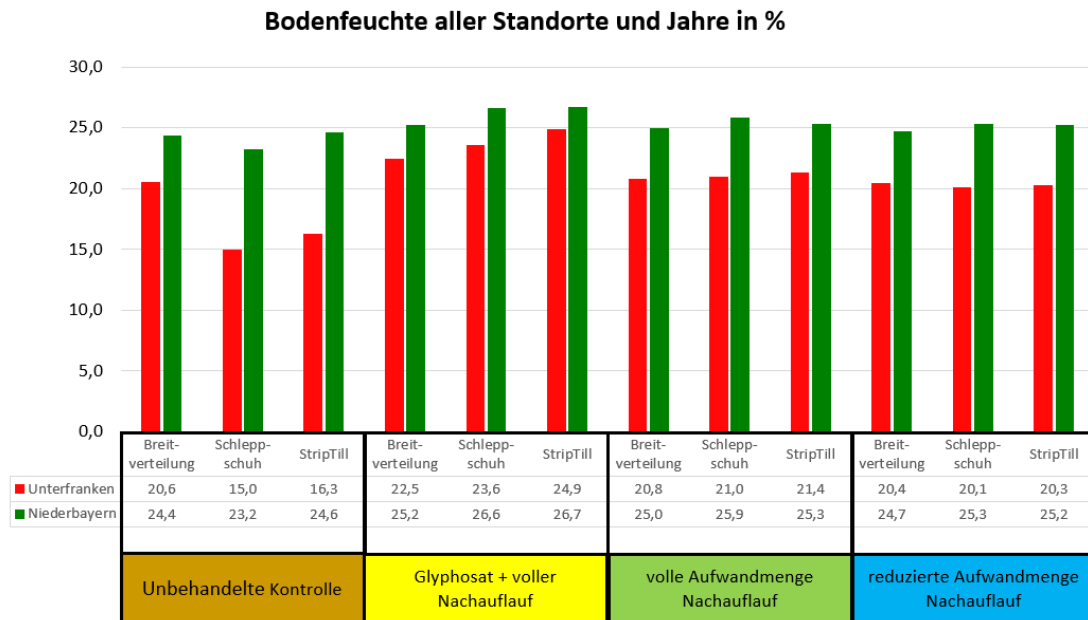


Abbildung 62: Mittlere Bodenfeuchtwerte aus allen Versuchsjahren an den Standorten Unterfranken und Niederbayern

Die Bodenfeuchte wies im Durchschnitt der Versuchsjahre eine sehr geringe Varianz auf (Abbildung 62). Lediglich eine geringfügige Auffälligkeit besteht darin, dass die unbehandelte Kontrollvariante schlechter abschneidet. Dies ist auf eine geringere Bestandsbeschatung und einen hohen Unkrautbesatz zurückzuführen. Zudem zeigt sich ein marginaler Vorteil der Glyphosat-Variante, insbesondere in den reduzierten Bodenbearbeitungsvarianten. Es hat sich gezeigt, dass vor allem am Trockenstandort die Bodenfeuchte deutlich geringer in den herbizidreduzierten Varianten ist. Am Gunststandort hingegen ist dieser Unterschied nicht so stark ausgeprägt.

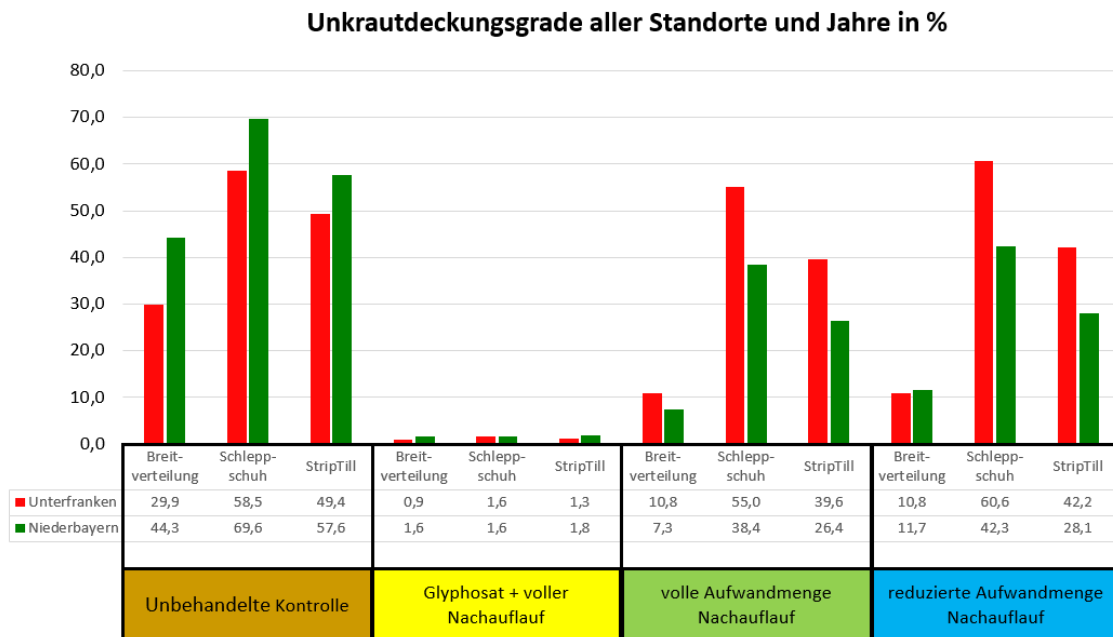


Abbildung 63: Prozentualer Unkrautdeckungsgrad für Unterfranken und Niederbayern je Variante

Abbildung 63 veranschaulicht eindrücklich den Unkrautdeckungsgrad in den einzelnen Versuchsvarianten. Der Faktor Zwischenfrucht wird hier aufgrund der geringen Abweichungen nicht berücksichtigt. Die Grafik veranschaulicht sehr gut das, was sich über die vier Versuchsjahre hinweg deutlich herauskristallisiert hat: Mit zunehmender Herbizidintensität sinkt der Unkrautdeckungsgrad und bei intensiver mechanischer Bodenbearbeitung verringert sich der Unkrautbesatz – sofern es sich um eine Fläche handelt, die nicht mit Wurzelunkräutern vorbelastet ist. Einzige Ausnahme bildet die Totalherbizidvariante, in der der reduzierende Effekt der Kreiselegge nicht sichtbar wird, da das Unkraut bereits durch die Wirkung des Mittels vernichtet wird. In diesen Parzellen konnte der Mais ungehindert keimen und hatte keine Konkurrenz um Licht und Wasser. Dagegen wurden die Jungpflanzen bei den sowohl mechanisch als auch herbizidreduzierten Verfahren deutlich stärker in der Entwicklung beeinträchtigt, da eine erste Unkrautbekämpfung ausblieb, indem auf Glyphosat als Vorsaatbehandlung verzichtet wurde. Das Beikraut konnte somit zeitgleich mit den Maispflanzen keimen und wurde erst durch eine Nachauflaufbehandlung dezimiert.

Wie sich über die vier Versuchsjahre gezeigt hat, nimmt der Beikrautbesatz mit steigendem mechanischem Eingriff ab. Ebenso zeigte sich eine Korrelation zwischen einem geringeren Einsatz von chemischen Pflanzenschutzmitteln und einem höheren Unkrautdeckungsgrad. Je intensiver die Bodenbearbeitung, desto geringer war dieser Effekt. In der Glyphosatvariante kam dieser Effekt nicht zum Tragen. Durch den Einsatz des Totalherbizids wurde der Ausgangsbesatz mit Altverunkrautung und nicht abgefrorenen Zwischenfrüchten beseitigt und der Mais startete mit einem sauberen Saatbeet. Dies brachte ihm einen entscheidenden Wachstumsvorteil in der Jugendentwicklung und wirkte sich enorm auf den Ertrag aus. Neu auflaufende Unkräuter wurden in einem frühen Entwicklungsstadium von der Herbizid-Nachauflaufbehandlung sehr effektiv beseitigt. In Varianten ohne Voraufaufbehandlung oder flächendeckende Bodenbearbeitung reichten die Nachauflaufherbizide oft nicht mehr aus, um die bereits vorhandenen Altunkräuter sicher beseitigen zu können. Eine spätere

Nachverunkrautung trat nur auf, wenn der Mais den Bestand nicht schließen konnte und kein Bodenherbizid mit Residualwirkung eingesetzt wurde oder durch trockene Witterung nicht ausreichend wirken konnte. Dies beeinträchtigte erneut die Varianten, die bereits eine Altverunkrautung aufwiesen oder den Mais in Konkurrenzdruck gesetzt hatten.

In Bezug auf das Unkrautmanagement zeigte sich, dass dieses an den beiden Standorten nicht dieselben Auswirkungen auf den Ertrag hatte. Der Mais am Trockenstandort reagierte auf eine unzureichende Unkrautreduktion mit einem stärker ausgeprägten Ertragsabfall im Vergleich zum Standort Niederbayern aufgrund der erhöhten Wasserkonkurrenz durch die vorhandene Verunkrautung.

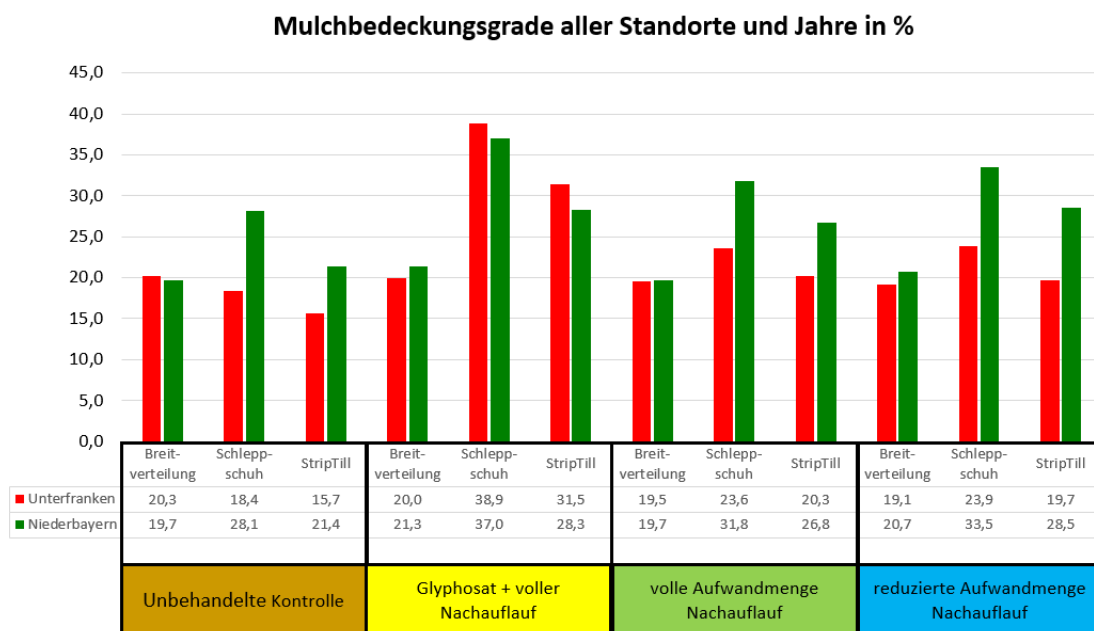


Abbildung 64: Prozentuale Mulchbedeckungsgrade auf beiden Standorten über alle Versuchsjahre hinweg

Nur wenige Anbauvarianten waren im Stande den hinsichtlich Erosion bedeutenden Wert von 30 % Mulchbedeckung zu erreichen. Hierbei sticht die Direktsaat (Schleppschuh) hervor, in einigen Fällen auch Strip Till (Abbildung 64). Mit abnehmendem mechanischem Einsatz steigt bekanntlich der Grad der Mulchbedeckung und dies traf auch im Versuch zu. Die Mulchbedeckungsgrade fielen am Gunststandort deutlich höher aus im Vergleich zum Trockenstandort. Dies war den höheren Niederschlägen und damit einhergehender Entwicklung und Massebildung der Zwischenfrüchte geschuldet. Lediglich in der Glyphosatvariante war der Mulchbedeckungsgrad am Trockenstandort höher. An diesem Standort konnte sich das Ausfallgetreide besser etablieren durch weniger Zwischenfruchtdeckung und dominierte dementsprechend. Durch den Einsatz von Glyphosat wurde das Ausfallgetreide abgetötet und konnte zur Mulchbedeckung genutzt werden. Eine eingehendere Analyse verdeutlicht, dass insbesondere die Varianten Schleppschuh (Direktsaat) und Strip Till effektiv waren, um den angestrebten Mulchbedeckungsgrad zu erreichen. Diese Anbaumethoden setzen auf einen reduzierten mechanischen Einsatz, was sich positiv auf die Mulchbedeckung auswirkt. Der Zusammenhang zwischen Standortbedingungen und Mulchbedeckungsgrad unterstreicht die Notwendigkeit, lokale Gegebenheiten bei der Wahl der Anbauvariante zu berücksichtigen.

Zusammenfassend verdeutlicht die Analyse, dass die Wahl der Anbauvariante sowie die Berücksichtigung der örtlichen Bedingungen entscheidende Faktoren für die Erreichung einer optimalen Mulchbedeckung sind. Insbesondere die Reduzierung des mechanischen Einsatzes und der gezielte Einsatz von Glyphosat können dabei eine wesentliche Rolle spielen.

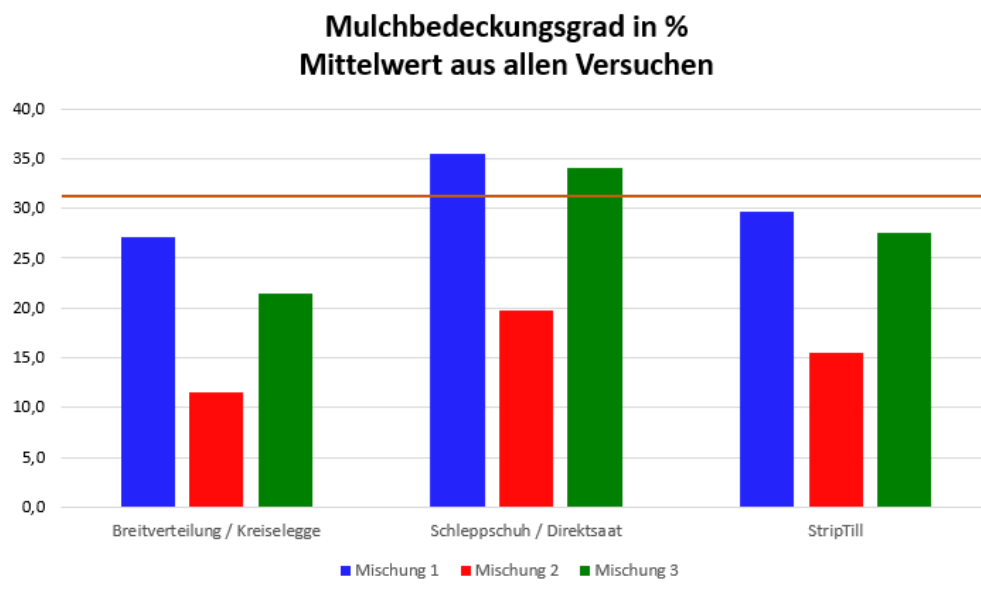


Abbildung 65: Prozentualer Mulchbedeckungsgrad in Abhängigkeit von Zwischenfruchtmischung und Bodenbearbeitungsmaßnahme

Bei der Betrachtung der Mulchbedeckungsgrade über alle Versuchsjahre und Standorte hinweg befindet sich die Mischung AquaPro ohne Buchweizen (im Jahr 2019 Humus Pro) deutlich im Nachteil im Vergleich zu den beiden anderen Zwischenfrüchten (Abbildung 65). Ein erkennbarer Vorteil zeigt sich bei der Verwendung von Viterra Schnellgrün, was auf den erhöhten Senfanteil von in Summe 56 % im Vergleich zu den anderen Mischungen zurückzuführen ist. Der Senf ist vergleichsweise trockentolerant und bildet auch unter sub-optimalen Bedingungen noch viel Masse. Folglich wird hier deutlich, dass für eine Bodenbedeckung von 30 % die Verwendung einer geeigneten Zwischenfrucht mit hohem Massebildungspotenzial notwendig ist. Es wird weiterhin klar, dass der angestrebte Bodenbedeckungsgrad nicht allein durch die Wahl der Zwischenfruchtmischung erreicht werden kann. Vielmehr spielen auch die richtige Gülleausbringung und das optimale Saatverfahren eine entscheidende Rolle. Nur durch eine integrative Herangehensweise kann eine ausreichende Bodenbedeckung erzielt werden, was sich wiederum positiv auf die gesamte landwirtschaftliche Produktion auswirkt.

5 Diskussion

Bodenerosion ist eine Problematik, die sich in den letzten Jahren durch verschiedene Wetterereignisse, von Dürre bis Starkregen, verschärft hat. Insbesondere der Mais, als Reihenkultur mit geringer Bestandsdichte, stellt hier eine Herausforderung dar. Speziell dem Mais geht als verdichtungsempfindliche Pflanze oft eine intensive Bodenbearbeitung voraus, um ausreichende Lockerung, ein unkrautfreies Saatbeet und ausreichende Bodenerwärmung zu gewährleisten. Der dadurch erosionsanfälliger Boden wird zudem von der Kultur gegenüber Winterungen erst sehr spät vollständig bedeckt. In der Folge sind in den letzten Jahren häufig Probleme in Reihenkulturen aufgetaucht, wenn extreme Wetterereignisse wie Starkregen oder Hagel auftraten.

Die Auswahl der Zwischenfrucht hat bereits einen erheblichen Einfluss auf die Boden- und Mulchbedeckung im Mais. Ein wichtiger Indikator ist dabei, 30 % Bodenbedeckung zu erreichen. Unsere drei Zwischenfrüchte zeigten hier unterschiedliche Ergebnisse. Die beiden senfhaltigen Zwischenfrüchte, Viterra Schnellgrün und ZWH 4025, ähnelten sich. Die Aqua Pro ohne Buchweizen konnte hingegen nur etwa 10 % niedrigere Deckungsgrade erreichen. Doch nicht jede Zwischenfrucht verfolgt das gleiche Ziel. Senflastige Zwischenfrüchte eignen sich vorrangig für eine oberirdische und langanhaltende Mulchbedeckung, wofür ein weites C:N-Verhältnis nötig ist. Die Aqua Pro hingegen hat eine andere Spezialisierung. Ihr Ziel ist es, möglichst viel Stickstoff im Herbst zu konservieren und ihn im Frühjahr dem Mais zur Verfügung zu stellen. Hierfür ist ein enges C:N-Verhältnis nötig. Dies lässt sich in der Praxis so veranschaulichen: Wird eine Mischung mit einem engen Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis (C:N-Verhältnis) gewählt, zum Beispiel Alexandrinerklee mit 11:1, wird sie durch die Witterung und die Verarbeitung durch das Bodenleben im Winter und Frühjahr schneller vom Boden abgebaut, da weniger Stickstoff für den Abbau benötigt wird als bei Arten mit einem weiten C:N-Verhältnis, zum Beispiel Senf mit 22:1. Es gibt auch Unterschiede im C:N-Verhältnis zwischen oberirdischem Spross und Wurzeln, aber bei der Bewertung der Mulchbedeckung ist nur der Spross ausschlaggebend. Das C:N-Verhältnis beschreibt das Verhältnis von Kohlenstoff (C) zu Stickstoff (N) in den Pflanzenteilen. Zum Beispiel bedeutet ein C:N-Verhältnis von 11 für Alexandrinerklee, dass es 11 Teile Kohlenstoff auf 1 Teil Stickstoff gibt.

Warum ist eine hohe Mulchbedeckung so wichtig? Zum einen wird durch die organische Auflage die Aufprallenergie von Regentropfen vermindert, sodass der Boden vor Erosion besser geschützt ist. Zum anderen bilden verbliebene Halme und Mulchreste kleine „Dämme“ und bremsen somit die Abflussgeschwindigkeit des Wassers sowie das Abschwemmen kleiner Bodenteilchen. Hinzu kommt die strukturverbessernde Wirkung der Zwischenfrüchte, die sie mit ihren Wurzeln schaffen sowie die Erhöhung der Aktivität von Bodentieren und Mikroorganismen. Die so gebildeten Grobporen im Boden erhöhen die Infiltration von Wasser und begünstigen den Gasaustausch, wodurch der Oberflächenabfluss vermindert wird. Dies wird vor allem im Hinblick auf die Zunahme von Starkregenereignissen und längeren Trockenperioden in Zukunft von großer Bedeutung, da Böden mit guter Struktur das Niederschlagswasser besser aufnehmen und über einen längeren Zeitraum speichern können.

In der praktischen Anwendung müssen die getesteten Varianten unterschiedlich bewertet werden im Hinblick auf die Erosionsanfälligkeit. Ein unbearbeiteter Boden mit intaktem Bodengefüge wie bei der Variante Schleppschuh + Direktsaat ist weniger anfällig für

Erosion als ein bearbeiteter Boden in der Variante Breitverteiler + Kreiselegge. Die Einarbeitung mit dem Strip Till Gerät stellt hier einen Mittelweg dar.



Abbildung 66: Verschiedene Gülleausbringvarianten und Einarbeitung

Die verschiedenen Zwischenfruchtarten hatten deutliche Auswirkungen auf die Mulchbedeckung im Frühjahr vor der Maissaat. Insbesondere in den Mischungen mit Senf war eine deutlich höhere Abdeckung festzustellen. Ein weiterer wichtiger Faktor war die Art und Weise der Bearbeitung der Zwischenfrucht im Frühjahr. Mit zunehmender Intensität der Bodenbearbeitung nahm der Grad der Mulchbedeckung nach der Maissaat ab: Schleppschuh + Direktsaat (siehe Abbildung 5) > Strip Till (siehe Abbildung 6) > Breitverteiler + Kreiselegge (siehe , H., Six, J., Hendrix P. F., 2006: Interactive effects of functionally different earthworm species on aggregation and incorporation and decomposition of newly added residue carbon. - Geoderma). Im Durchschnitt konnten nur die Varianten mit reduzierter Bodenbearbeitung den wichtigen Schwellenwert von 30 % Bodenbedeckung für einen effektiven Erosionsschutz erreichen (Abbildung 66).

Die in diesem Versuch verwendeten Zwischenfruchtmischungen hatten oftmals nur geringe Auswirkungen auf den nachfolgenden Unkrautbesatz innerhalb des Faktors Pflanzenschutz (siehe Abbildung 67). Der Einfluss von Zwischenfrüchten auf den Unkrautbesatz wird derzeit von der Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen in einem Exaktversuch zur „Unterdrückungskraft von Zwischenfrüchten“ untersucht. Erste Zwischenergebnisse können bereits abgerufen werden unter <https://www.praxis-agrar.de/pflanze/ackerbau/pflanzenschutz/unterdrueckungskraft-von-zwischenfruechten> .

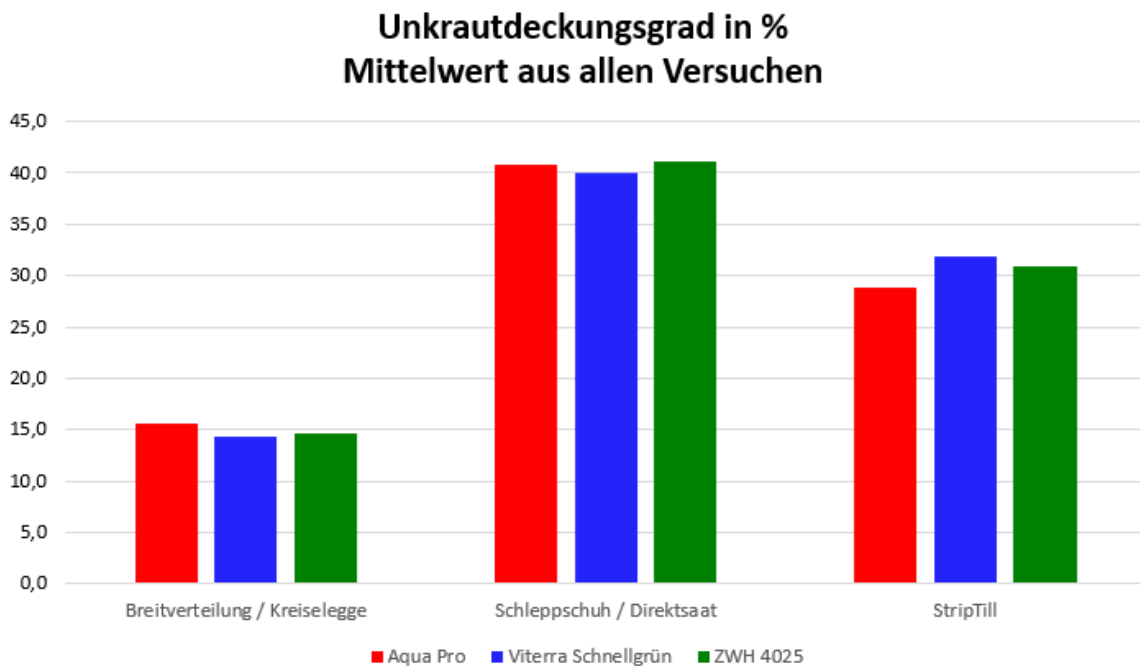


Abbildung 67: Unkrautdeckungsgrad je Bodenbearbeitungsvariante und Zwischenfrucht. Mittelwert aus beiden Standorten und allen Versuchsjahren

So wurde in diesem Versuch meist mit dem Grubber eine tiefe Bodenbearbeitung durchgeführt und anschließend mit einer Saatbettkombination die Aussaat getätigt. In der Praxis finden bereits verschiedene Systeme Anwendung, von einer Pflug- oder Grubbersaat mit einem Frontstreuer über die Bestellung mit der Sämaschine bis hin zur Direktsaat hinter dem Mähdrescher ist alles möglich. Die Art der Saat spielt bei der Entwicklung der Zwischenfrüchte eine nicht unerhebliche Rolle.

Oftmals wird die Zwischenfrucht schon auf das nachfolgende Verfahren der Gülleausbringung angepasst. So steht in Varianten mit flächiger Bodenbearbeitung der Erhalt der Mulchmasse mehr im Vordergrund als die Strukturbildung, da durch die Bodenbearbeitung ein ausreichendes Saatbett geschaffen werden kann und dies nicht die Zwischenfrucht hinterlassen muss. Das Verfahren der Gülleausbringung mit der Breitverteilung und anschließender Einarbeitung mit der Kreiselegge stellten in diesem Versuch die praxisübliche Variante dar. Seit der Anlage des Versuches haben sich in der Zwischenzeit viele Änderungen sowohl in der landwirtschaftlichen Förderung als auch in der GAP/Politik ergeben, sodass dieses Verfahren nicht mehr als Standard angesehen werden kann. In der Praxis wurde die technische Ausstattung des Güllefasses größtenteils um das Schleppschuhgestänge ergänzt. Hier bewirkte die Förderung dieser über Agrarumwelt und Klimamaßnahmen einen gewissen Investitionsanreiz. Diese Verfahren stellten sich durch die mechanische Unkrautbekämpfung des Bodenbearbeitungsgerätes, die optimale Saatbettbereitung und der am besten verfügbaren Technik als eines der Praktikabelsten heraus. Um die aus Erosionsschutzsicht vielversprechendste Möglichkeit des Maisanbaues darzustellen, wurde ein Direktsaatverfahren hinzugenommen. Hierzu wurde die Gülle mittels Schleppschuh ausgebracht und nicht eingearbeitet. Die Erschwernis ist hier, dass Nährstoffverluste zu erwarten sind. Deshalb sollten diese Verfahren, wenn möglich, nur durchgeführt werden, wenn die äußeren Umstände passen. Hierzu kann man sich an den optimalen Bedingungen für den Pflanzenschutz orientieren, wie wenig bis keine Sonnenstrahlung (also nachts oder bei Bewölkung), hohe

Luftfeuchtigkeit, wenig bis kein Wind und zusätzlich noch eine hohe Mulchbedeckung, aufnahmefähige Böden, möglichst flüssige Gülle, niedrige Temperaturen und am besten vor einem leichten Regenschauer. Außerdem sollte der Bestand zur Aussaat möglichst frei von Unkrautbesatz sein. So hat sich gezeigt, dass in unserem Versuchsaufbau die Direktsaat nur wirtschaftlich konkurrenzfähige Erträge erbringen konnte, wenn eine Voraufaufbehandlung mit einem Totalherbizid durchgeführt wurde. Des Weiteren sollte bei dem Befahren der Fläche auf optimale Bedingungen und bestmögliche Bodenschonung geachtet werden. Im Versuch wurden nur die inneren Kernparzellen beerntet, sodass die Effekte der Fahrspuren nicht zum Tragen kamen. Jedoch reagierte der Mais sehr empfindlich und gut sichtbar auf Verdichtungen, die bei der Gülleausbringung verursacht wurden. Dies war in den Beiden Randreihen der Parzellen immer gut sichtbar.

Zur Umsetzung des Verfahrens ist nur bedingt Spezialtechnik nötig. Güllefässer mit Schleppschuhverteiler sind aktuell bereits der Stand der Dinge. Bei der Maisaussaat ist es abhängig davon, welche Technik vorhanden ist und welche Bedingungen vorherrschen. So reicht bei guten Bedingungen und guter Bodenstruktur oft eine Standard-Mulchsaatsmaschine mit Scheiben. Sind die Bedingungen schwieriger, der Boden fester und die Mulchauflage größer, werden Sternräumer, scharfe Scheiben, hoher Schardruck, Zwischenandruckrolle und teils gezackte Andruckrollen notwendig. Sollte diese Technik am eigenen Betrieb nicht vorhanden sein besteht hier die Möglichkeit einen Lohnunternehmer oder andere Landwirte zu beauftragen, da sich die letzten Jahre durchaus moderne Einzelkorn-technik in der Praxis etablieren konnte. Wie hier schon zu erahnen ist, kann dieses Verfahren große Herausforderungen mit sich bringen, belohnt dies aber durch hohen Erosionsschutz und ordentliche Erträge unter der Voraussetzung des Glyphosateinsatzes.

Einen Kompromiss kann hier das Verfahren der Streifenbearbeitung bzw. Strip Till darstellen. Hierzu wird ca. $\frac{1}{4}$ der Arbeitsbreite bearbeitet, die Fläche dazwischen bleibt unberührt. Ein Lockerungsschar lockert den Boden auf und über ein Ablaufrohr wird die Gülle sofort im Anschluss in einem Depot unter Fuß der künftigen Maisreihe abgelegt. Anschließend formen zwei Häufelscheiben einen kleinen Damm, wodurch ein Mikroklima geschaffen wird, welches die Bodenerwärmung begünstigt. Dies und die tiefe Lockerung sind möglicherweise die Erklärung für die recht guten Erträge dieses Verfahrens. Die tiefgründige Lockerung bringt aber auch einige zusätzliche Probleme mit sich. So muss stärker auf die Beschaffenheit des Unterbodens bei der Gülleausbringung geachtet werden, um eventuelles Verschmieren zu verhindern. Des Weiteren ist hier die Hürde der technischen Umsetzbarkeit am höchsten. So ist ein Fass oder eine Verschlauchungsanlage nötig, die mit einem Strip Till Gerät umgehen kann. Oft stellt sich die Problematik, dass diese teure Spezialtechnik weder von Lohnunternehmern noch von anderen Landwirten in der Umgebung angeboten wird. So muss genau abgewogen werden, ob eine Investition rentabel ist. Zur schweren Technik wird ausreichend Zugkraft benötigt, auch GPS mit RTK ist Grundvoraussetzung, was ebenfalls einen Kostenfaktor darstellen kann, falls dies noch nicht am Betrieb vorhanden ist. Da die Arbeitsbreiten dieser Geräte meist nur von 4-12 Reihen reichen, ist die Anzahl der benötigten Überfahrten hoch, sodass auch hier wieder auf optimale Bedingungen und bodenschonende Bereifung zu achten ist. Der Anteil der verbleibenden Mulchmasse im bearbeiteten Streifen war im Versuch meist sehr gering. In der Praxis kann dies die Rinnenbildung bei einer Bearbeitung in Hangrichtung begünstigen. Somit sollte wenn möglich darauf geachtet werden, die Streifen quer zum Hang anzulegen. Ist die Gülleausbringung mit RTK erfolgt, kann eine Standard-Mulchsaatsmaschine folgen. Bei leichtem Unkrautdruck mit wenig konkurrenzstarken Unkräutern und einer starken

Mulchbedeckung kann dieses Verfahren dem Mais einen ausreichenden Vorsprung bis zur Nachauflaufbehandlung verschaffen und auf Glyphosat verzichtet werden. Sind hingegen konkurrenzstarke Unkräuter, Ausfallgetreide und schlecht entwickelte Zwischenfrüchte die Ausgangssituation, wie in der Direktsaat/Schleppschuh-Variante, ist der Einsatz von Glyphosat als obligatorisch zu betrachten, um wirtschaftliche Erträge zu erzielen.

Beim Herbizidmanagement zeigen sich deutlich unterschiedliche Verfahren, die andere Strategien erfordern. Hierbei ist es jedoch wichtig zu betonen, dass eine langjährige Betrachtung des Unkrautspektrums und dessen Entwicklung in verschiedenen Varianten in diesem Versuch nicht möglich war. Unter der Voraussetzung, dass kein hoher Besatz an Ausfallgetreide und Altverunkrautung vorhanden ist, können die Varianten Breitverteiler und Strip Till ohne den Einsatz von Glyphosat im Voraufbau sichere Erträge erreichen. Ist hingegen hoher Beikrautdruck vorhanden, ist die Breitverteilung das einzige Verfahren, das noch sichere Erträge ohne den Einsatz eines Totalherbizids erreichen kann. Die Direktsaat kann nur in Ausnahmefällen einen rentablen Ertrag bei Verzicht auf eine Glyphosat-Anwendung erreichen. Daher ist diese stets fest einzuplanen. Sollte dieser Wirkstoff tatsächlich verboten werden und kein vergleichbarer auf den Markt kommen, so wird dieses Anbausystem aufgrund der hohen ökonomischen Verluste kaum mehr umsetzbar sein.

In manchen Versuchsjahren zeigte sich vor allem beim Einsatz der Kreiselegge zur Gülleearbeitung, dass die Herbizidaufwandmenge ohne starke Auswirkungen reduziert werden kann. Diese Aussage ist jedoch nicht pauschal gültig. Voraussetzung ist eine Fläche, die als nicht vorbelastet eingestuft werden kann. Vor allem im Hinblick auf Wurzelunkräuter ist dies sorgfältig abzuwägen. Diese können sich über mehrere Jahre unbemerkt im Maisbestand ausbreiten. Zusätzlich ist bei einer wendenden Bodenbearbeitung zu beachten, dass manche Wurzelunkräuter wie Distel oder Ampfer oftmals erst sichtbar werden, wenn eine Bekämpfung nicht mehr möglich ist. In den Folgejahren kann dies zu einer höheren Konkurrenz und somit zu Ertragsausfällen sowie höheren Kosten für Pflanzenschutzmittel führen.

6 Wirkung verschiedener Herbizidstrategien bei Direktsaat Mais auf die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer

Von Roswitha Walter und Sebastian Wolfrum

6.1 Einleitung

Bodentiere, insbesondere Regenwürmer sind wichtige Nützlinge im Boden, die durch ihre vielseitigen Leistungen die Bodenfruchtbarkeit verbessern (Bertrand et al. 2015, Bieri et al. 1989, Blouin et al. 2013, Dunger 2008, Ehrmann 2015, Lemtiri et al. 2014). Beispielsweise leisten sie einen wichtigen Beitrag zum Nährstoffrecycling. Sie zerkleinern und mischen organische Substanz wie Erntereste, Gülle, Mist oder Mulch in den Boden ein und beschleunigen somit dessen Abbau und damit das Nährstoffrecycling (Lemtiri et al. 2014, Manono 2016). Auch die Bildung stabiler Bodenaggregate können sie positiv beeinflussen sowie die Widerstandsfähigkeit des Bodenkohlenstoffs erhöhen (Bossuyt et al. 2006, Angst et al. 2019). Ihre wasserführenden Röhren tragen zur besseren Wasserversickerung in den Boden bei und dienen dem Erosionsschutz (Blouin et al. 2013, Ehrmann 2016, Krück et al. 2001, Joschko et al. 1992, Shuster et al. 2002). Regenwürmer unterstützen also viele wichtige

Funktionen des Bodens, wie eine intakte Bodenstruktur, die Wasserversickerung und den Nährstoffkreislauf. Sie reagieren empfindlich sowohl auf Bewirtschaftungseinflüsse als auch auf Klimaveränderungen. Regenwürmer dienen deshalb als aggregierende, praxisnahe Indikatoren in Agrarökosystemen (Fründ et al. 2011, Lemtiri et al. 2014, Paoletti et al. 1998).

Der Einsatz von Glyphosat wird zunehmend auch im Hinblick auf das Bodenleben kritisch diskutiert (Gaupp-Berghausen et al 2015, Maggi et al. 2021, Pelosi et al. 2021, Zaller et al. 2021). Abhängig insbesondere von der Herbizidkonzentration, der Expositionsdauer und den Bodeneigenschaften können dabei unterschiedliche Reaktionen auftreten (de Lima et al. 2023, Gaupp-Berghausen et al 2015, Zaller et al. 2021). Viele Studien finden häufig im Labor oder in Mesokosmen statt (Gaupp-Berghausen et al 2015, Santadino et al. 2014), während es an praxisorientierten Feldstudien häufig mangelt.

Ziel dieser Untersuchung war es, den Einfluss von Glyphosatanwendung bei Direktsaat im Maisanbau im Vergleich zu keiner Herbizidapplikation oder alternativen Herbizidbehandlungen auf die Abundanz, Biomasse und Artenzusammensetzung der Regenwürmer aufzeigen. In dem Feldversuch wurde das bodenschonende Direktsaatverfahren beprobt, da es in der Regel den besten Erosionsschutz bietet und die Anwendung von Glyphosat dort eine wichtige Bedeutung hat.

6.2 Methode

An vier jährlich wechselnden Versuchsstandorten in Niederbayern im Raum Ruhstorf wurde der Regenwurmbestand von vier Herbizid-Managementvarianten erhoben:

- unbehandelte Kontrolle (UK, V4)
- Glyphosat im Frühjahr nach dem Vegetationsbeginn und eine Nachauflaufanwendung (Gly +NA, V13)
- Im Nachauflaufanwendung eines alternativen blattaktiven Wirkstoffs und eines Bodenwirkstoffs in voller Aufwandmenge, (NA, V22),
- Im Nachauflauf wurde entweder die boden- oder blattaktive Komponente um ca. 30 % reduziert (redNA, V31)

Beprobte wurde die Direktsaatvariante in Kombination mit Viterra Schnellgrün. Die Beprobung erfolgte an vier niederbayerischen Standorten (2019: Pillham; 2020: Kühnham; 2021: Schönburg; 2022: Bad Höhenstadt) jeweils im Herbst (Oktober bis Anfang November) kurz nach der Ernte in den Maisstoppeln mittels einer Methodenkombination aus Austreibung und Handauslese. Je Untersuchungspartelle wurden zwei Stichproben bei guten Bodenfeuchtebedingungen und einer Bodentemperatur über 5 °C genommen. Zuerst wurde je Stichprobe (Größe 0,5 m²) die Austreibungslösung, eine 0,2 %ige Formaldehydlösung, verteilt in zwei Gaben (2 x 10 l) im Abstand von 15 Minuten appliziert (Abbildung 68). Unter sehr feuchten Bodenbedingungen wurde eine 0,4 %ige statt einer 0,2 %igen Formaldehydlösung in halber Wassermenge aufgegossen. Die innerhalb von 30 Minuten an der Bodenoberfläche auftretenden Tiere wurden aufgesammelt und in 95 %igem Ethanol konserviert. Nach der Austreibung wurde in der Mitte jeder Probestelle ein Teilstück von 0,1 m² mit dem Spaten ca. 30 cm tief ausgegraben. Das auf eine Folie gelegte Bodenmaterial wurde

intensiv von Hand zerbröselnd und nach Regenwürmern durchsucht. Die gefundenen Tiere werden getrennt nach der Erfassungsmethode ebenfalls in 95 %igem Ethanol konserviert. Je Untersuchungsvariante wurden vier Wiederholungen beprobt. In der Summe waren es jährlich 32 Stichproben, verteilt auf 16 Parzellen.



Abbildung 68: Probenahme der Regenwürmer im Jahr 2021 am Standort Schönburg, Austreibungsmethode (links), Handauslese (Mitte), zerbröseltes Bodenmaterial (rechts)

Im Labor wurden die in Alkohol konservierten Tiere gezählt, gewogen sowie die adulten geschlechtsreifen Tiere auf Artniveau bestimmt. Daraus wurde die Abundanz (Individuen m^{-2}), die Biomasse (g m^{-2}) sowie die Artenzusammensetzung der Regenwürmer je Variante ermittelt (Abbildung 69).



Abbildung 69: Drei Regenwurmkokons (links), tiefgrabende Regenwurmart *Lumbricus terrestris* (rechts), im November 2021 am Standort Schönburg

6.3 Ergebnis

Die Regenwurmabundanz (Individuen/m²) variierte je nach Untersuchungsgebiet und Variante zwischen 144 Individuen/m² bis 516 Individuen/m². In den 2021 und 2022 untersuchten Standorten Schönburg und Bad Höhenstadt lag die durchschnittlich gefundene Abundanz der Regenwürmer zwischen 400-500 Individuen/m² und damit deutlich höher als der Durchschnitt für bayerische Äcker, der bei ca. 145 Individuen/m² liegt. Ähnliches wurde für die Regenwurmbiomasse (g/m²) festgestellt. Diese lag in den Jahren 2021 und 2022 in allen Varianten im Mittel um ca. den Faktor 2 höher als in den 2019 und 2020 untersuchten Standorten (Pillham und Kühnham) und auch als der Durchschnitt von bayerischen Äckern (Walter & Burmeister 2022).

Einen ungünstigen Effekt der drei mit Herbiziden behandelten Varianten im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle war nur an einem von vier Standorten nachweisbar (Abbildung 70 & Abbildung 71). So lag im Untersuchungsjahr 2020 in Kühnham die Regenwurmabundanz in der unbehandelten Kontrolle mit ca. 450 Individuen/m² deutlich höher als in den drei Herbizidvarianten mit durchschnittlich ca. 275-290 Individuen/m². Die Regenwurmbiomasse lag 2020 in Kühnham mit ca. 51 g/m² in der unbehandelten Kontrolle sogar um bis zu 2,4 mal höher als in der mit Glyphosat behandelten Variante.

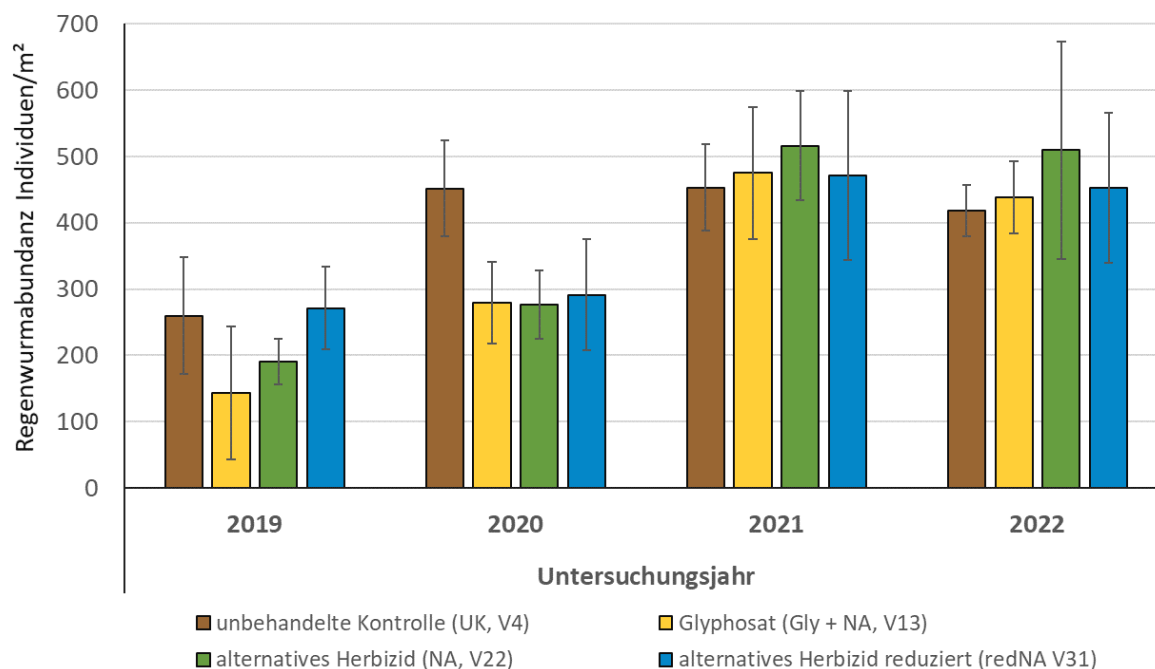


Abbildung 70: Regenwurmabundanz in den vier Herbizid-Varianten auf den jährlich wechselnden Standorten im Raum Ruhstorf in der Direktsaatvariante mit Schleppschuh und der Zwischenfrucht Viterra Schnellgrün (Mittelwerte mit Standardabweichung)

Zwischen den drei Herbizidstrategien mit Glyphosat oder den alternativen Herbiziden im Nachauflauf (ob mit voller Aufwandmenge oder reduziert) waren ebenfalls auf drei von vier Untersuchungsstandorten keine deutlichen Unterschiede in der Abundanz und Biomasse der Regenwürmer feststellbar (Abbildung 70, Abbildung 71). Lediglich auf dem im Jahr 2020

untersuchten Standort Kühnham, einem schluffigen Ton, (Tu3) lag die Regenwurmbiomasse in der Glyphosatvariante im Vergleich zur alternativen Herbizidanwendung im Nachauflauf mit voller Aufwandmenge deutlich niedriger.

Insgesamt zeigten die Ergebnisse, dass es über die Versuchsstandorte hinweg keine einheitliche Wirkung der Herbizidmanagement-Varianten auf die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer gab, vielmehr war ein starker Standort- bzw. Jahreseffekt erkennbar.

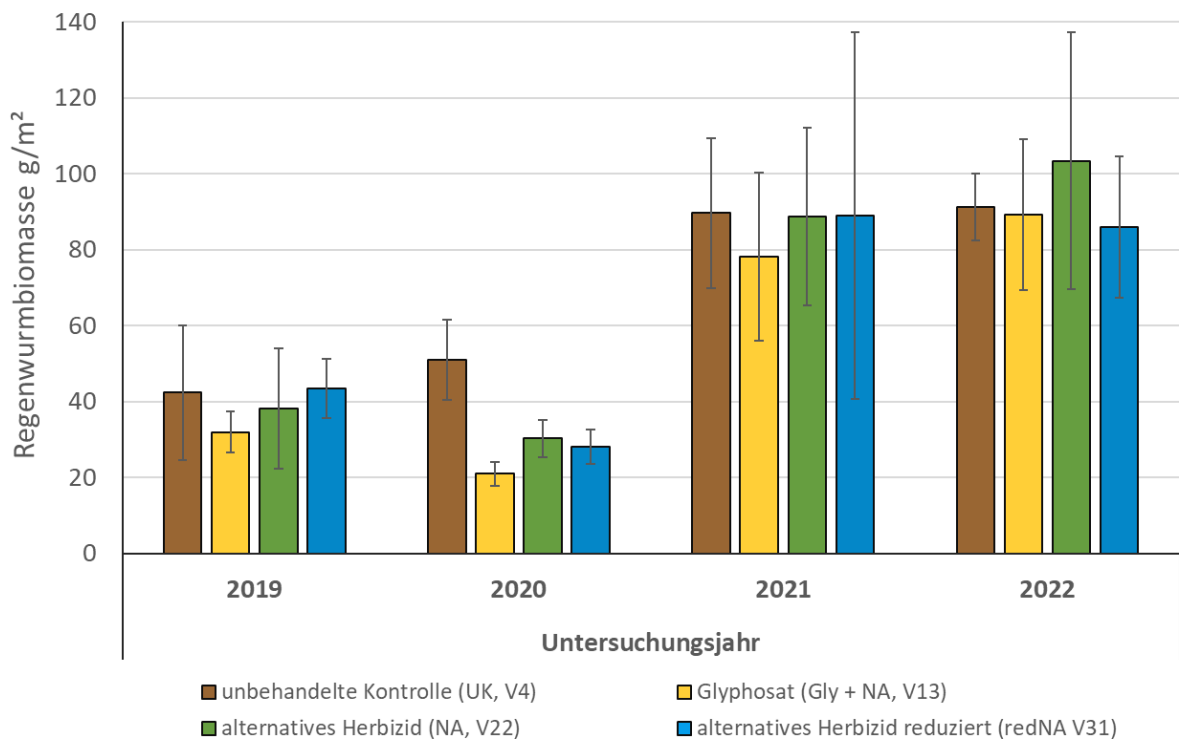


Abbildung 71: Regenwurmbiomasse in den vier Herbizid-Varianten auf den jährlich wechselnden Standorten im Raum Ruhstorf in der Direktsaatvariante mit Schleppschuh und der Zwischenfrucht Viterra Schnellgrün (Mittelwerte mit Standardabweichung)

Obwohl die vier Versuchsstandorte in Niederbayern räumlich weniger als 15 Kilometer voneinander entfernt liegen, zeigten sich deutliche Unterschiede in der Zusammensetzung ihrer Artengemeinschaft (Abbildung 72). Über alle vier Standorte wurden in der Summe 11 Regenwurmart nachgewiesen. An den Standorten Kühnham und Schönburg wurden jeweils fünf Regenwurmart erfasst und in Pillham und Bad Höhenstadt jeweils sechs. Lediglich drei im Boden endogäisch lebende Regenwurmart wurden an allen vier Versuchsstandorten nachgewiesen, *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea* und *Octolasion tyrtaeum*. Einige Regenwurmart kamen nur an einem Standort vor, z.B. *Aporrectodea longa* nur in Schönburg, *Aporrectodea georgi*, *Proctodrilus tuberculatus* und *Lumbricus polyphemus* nur in Pillham und *Eisenia fetida* nur in Kühnham. Drei Arten, *Aporrectodea georgi*, *Proctodrilus tuberculatus* und *Lumbricus polyphemus* sind gemäß ihrer Bestandssituation in Deutschland als selten eingestuft (Lehmitz et al. 2013). Auch auf den landwirtschaftlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern treten diese drei Arten in einer sehr geringen Stetigkeit von unter 5 % auf (Walter & Burmeister 2022).

Auffallend war, dass die tiefgrabende Art *Lumbricus terrestris* nur an zwei Standorten, in Schönburg und Bad Höhenstadt, festgestellt wurde und an letzterem nur in einer geringen Bestandsdichte. In Pillham (2019) trat die seltene tiefgrabende Art *Lumbrus polyphemus* auf und in Kühnham wurde keine tiefgrabende Art nachgewiesen. Am Standort Kühnham kamen mit Ausnahme weniger Tiere einer kulturfolgenden Art (*Eisenia fetida*), die v.a. im Kompost lebt und selten auf Äckern nachgewiesen wird, somit nahezu ausschließlich endögische, im Mineralboden lebende, flachgrabende Regenwurmart vor. Bemerkenswert ist, dass gerade dort eine ungünstige Wirkung von Glyphosat und den alternativen Herbiziden auf die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer zu beobachten war. Bei den alternativen Herbiziden scheint dies etwas geringer auszufallen als bei der Glyphosatvariante.

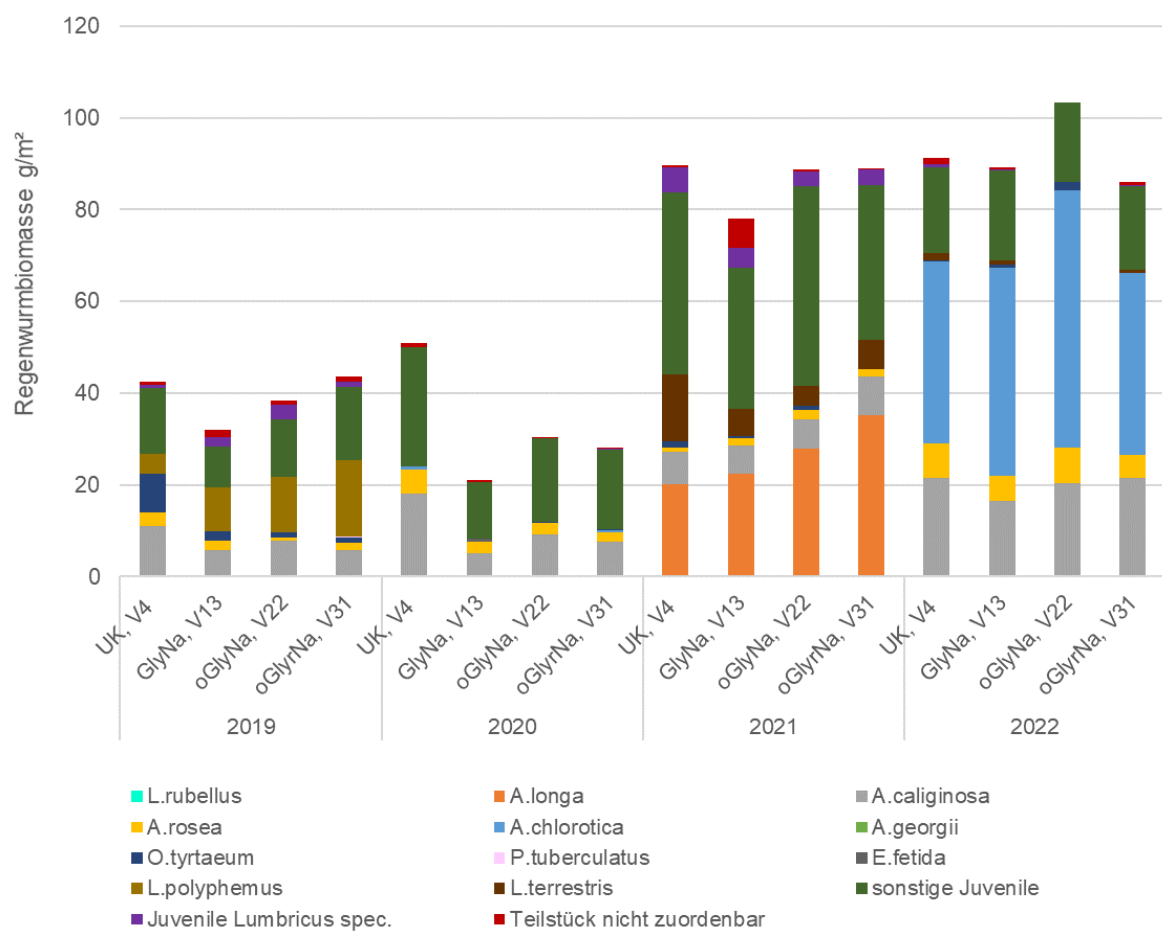


Abbildung 72: Biomasse der erfassten Regenwurmart in den vier Herbizidmanagement-Varianten auf den jährlich wechselnden Standorten im Raum Ruhstorf (Direktsaatvariante mit Schleppschuh, Zwischenfrucht Viterro Schnellgrün)

6.4 Diskussion

Auf den vier jährlich wechselnden Standorten wurde keine einheitliche Wirkung einer Glyphosatanwendung bei Direktsaat im Maisanbau auf Regenwürmer festgestellt. Dies weist auf die Komplexität des Ökosystems Boden hin, welches stark durch Jahres- und

Standorteffekte beeinflusst wird. So prägen Standorteigenschaften wie z.B. Tiefgründigkeit, Bodenfeuchte, als auch die Art der Bewirtschaftungsweise (z.B. Fruchtfolgegestaltung, Bodenbearbeitungsintensität), die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer und deren Artengemeinschaft. Ob durch Herbizide negative Auswirkungen bei Regenwürmern auftreten, ist wahrscheinlich abhängig von der Anzahl und Häufigkeit der Glyphosatanwendungen. Eine einmalige Applikation der empfohlenen Aufwandmenge oder wenn nur die Mortalität adulter Regenwürmer betrachtet wird, reicht häufig noch nicht aus, um negative Wirkungen sichtbar zu machen (de Lima et al. 2023). Subletale Effekte wie z.B. eine geringere Vermehrungs- und Wachstumsrate oder einen Rückgang der Regenwurmaktivität sind bei der Beurteilung der Wirkung von Herbiziden wahrscheinlich besser geeignet, da die Sensitivität höher ist (Gaupp-Berghausen et al. 2015, Zaller et al. 2021, Santadino et al. 2014). Viele Erkenntnisse dazu wurden in Laborstudien gewonnen und werden im Freiland wahrscheinlich stark von der Bewirtschaftungsweise überlagert. Eine nachhaltig bodenschonende, pfluglose Bewirtschaftung mit organischer Düngung und einer reichhaltigen Fruchtfolgegestaltung mit Klee gras und Zwischenfrüchten, die auch eine starke mechanische Bodenbelastung meidet, baut stabilere bzw. resilientere Regenwurmpopulationen auf, die Pflanzenschutzmittelbehandlungen möglicherweise besser abpuffern können. So erhöht beispielsweise eine reduzierte Bodenbearbeitung im Vergleich zur Pflugbearbeitung die Abundanz und Biomasse der Regenwürmer. Diese Reaktion der Regenwürmer wird nach Briones & Schmidt (2017) durch eine Applikation des Herbizids Glyphosat nicht wesentlich beeinflusst. Auch die Dauer einer pfluglosen Bewirtschaftung spielt eine wichtige Rolle. Je länger nicht mehr gepflügt wurde, desto positiver wirkte sich dies auf die Abundanz der tiefgrabenden Art *Lumbricus terrestris* aus, wie auf den Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern festgestellt wurde (Walter & Burmeister 2022).

Weiter sind mögliche Pflanzenschutzmittelrückstände in den Böden zu berücksichtigen. Eine europäische Studie in Agrarböden ergab, dass 83 % der Oberböden Rückstände von mindestens einem Wirkstoff aufwiesen, v.a. von Glyphosat und AMPA, wahrscheinlich aufgrund ihrer häufigen Anwendung (Silva et al. 2019). Eine wichtige Rolle spielen zudem die Bodeneigenschaften, da beispielsweise der Corg-Gehalt stark positiv mit dem Gesamtgehalt an Pflanzenschutzmittelrückständen korreliert (Silva et al. 2019). Die Abbaugeschwindigkeit von Glyphosat ist zudem abhängig von der mikrobiellen Aktivität, vor allem von *Pseudomonas* Bakterien (LfL 2020). Die durchschnittliche Halbwertszeit von Glyphosat im Freiland beträgt 24 Tage, von AMPA 419 Tage (LfL, 2020). In einer Studie aus Frankreich wurde Glyphosat in 88 % der Bodenproben und in 74 % der Regenwurmproben nachgewiesen, sein Hauptmetabolit AMPA noch bei 58 % der Bodenproben und in 38 % der Regenwurmproben (Pelosi et al. 2022). Dabei wurde eine höhere Anreicherung von Glyphosat und AMPA in Regenwürmern festgestellt, als es durch die Moleküleigenschaften zu erwarten war (Pelosi et al. 2022).

Auch artspezifisch unterschiedliche Auswirkungen von Pflanzenschutzmitteln auf Regenwürmer sind wahrscheinlich. Gerade der Standort Kühnham ohne Tiefgräber zeigt bei Abundanz und Biomasse sichtbare Unterschiede der Varianten, was darauf hindeutet, dass vor allem die Gruppe der flachgrabenden Mineralbodenbewohner stärker von Herbizidbehandlungen betroffen sein könnte. Von Givaudan et al. 2014 wurden artspezifisch unterschiedliche Entgiftungsstrategien durch eine Aktivierung von antioxidativen Enzymen, als Anpassung an Rückstände im Boden, für *Aporrectodea caliginosa* und *Allolobophora chlorotica* beobachtet. Dies kann schließlich zu einer Verschiebung der Artengemeinschaft bzw. des Dominanzspektrums der vorkommenden Regenwurmart führen.

Obwohl nur an einem von vier Standorten die Glyphosatanwendung im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle und zu den alternativen Herbiziden im Nachauflauf sich negativ auszuwirken scheint, weist dies, auch unter Berücksichtigung anderer bekannter Studien, darauf hin, sehr behutsam mit der Anwendung von Glyphosat umzugehen. Die Häufigkeit und Aufwandmengen von Glyphosat, die wahrscheinlich eine wichtige Rolle in der Wirkung auf Regenwürmer spielen (de Lima et al. 2023), sollten auf das Notwendigste reduziert werden und mögliche Pflanzenschutzmittelrückstände im Boden beachtet werden. Des Weiteren ist es wichtig, bodenschonende Verfahren wie beispielsweise eine reduzierte Bodenbearbeitung, den Anbau von Zwischenfrüchten, eine organische Düngung sowie die Vermeidung von Bodenverdichtungen in das Bewirtschaftungssystem zu integrieren, um Regenwurmpopulationen zu stärken und keinen weiteren Stressoren auszusetzen.

7 Fazit und Ausblick

Über alle Jahre und Varianten hinweg zeigte sich, dass die Vorsaatbehandlung mit Glyphosat den höchsten Ertrag sicherte. Alle Varianten mit dem eingesetzten Totalherbizid erzielten im Durchschnitt unabhängig von der Bodenbearbeitung zur Gülleausbringung gleichmäßig hohe Erträge. Diese Erkenntnis ist für den Erosionsschutz von großer Bedeutung, denn dieses Mittel ermöglicht alternative erosionsmindernde Gülleausbringungsverfahren im Strip Till oder mit Schleppschuh als Direktsaat ohne das Risiko einer nachhaltig ertragsmindernden Verunkrautung. Bei fehlendem Glyphosat in der Variante Schleppschuh/Direktsaat ist, vor allem bei schlechten klimatischen Rahmenbedingungen, mit sehr hohen Ertragsverlusten zu rechnen. Der Mais zeigt hier insbesondere im Direktsaatverfahren eine niedrige Toleranz gegenüber Verunkrautung und Verdichtung. Dies verdeutlicht den Zielkonflikt, bei dem hoher Erosionsschutz und gute Erträge durch Direktsaat nicht mit Herbizidreduktion oder Glyphosatverzicht vereinbar sind. Daher ersetzt die mechanische Bodenbearbeitung immer mehr den chemischen Pflanzenschutz zur Beikrautregulierung und minimiert somit die Bodenbedeckungsgrade zum Erosionsschutz. Ein Verzicht auf Glyphosat und reduzierter Herbizideinsatz im Nachauflauf ist mit dem Kompromiss des herabgesetzten Erosionsschutzes durchaus möglich. Die Variante Breitverteilung mit vollflächiger Gülleearbeitung durch die Kreiselegge zeigt, dass durch mechanische Bodenbearbeitung eine zuverlässige Reduzierung vorhandener Altverunkrautung erreicht wird. In dieser Variante besteht keine Abhängigkeit der Ertragsabsicherung von der Intensität des Herbizideinsatzes. Eine reduzierte Aufwandmenge kann langfristig zu erhöhtem Unkrautdruck führen, insbesondere beim Verzicht auf Glyphosat und wendende Bodenbearbeitung. Auch könnten komplexere Mittel, wie die Gruppe B/2 ALS-Hemmer, zur Anwendung kommen. Diese Gruppe, zu der die Sulfonylharnstoffe gehören, ist jedoch bei regelmäßigem Einsatz hochresistent gefährdet. Dies könnte zu einer erhöhten Anwendung dieser Mittel führen, wenn anfänglich weniger Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden.

Niederbayern (Gunststandort):

An den Standorten in Niederbayern zeigte sich eine gewisse Konstanz zwischen den Varianten. Gut entwickelte Zwischenfrüchte spielten eine Rolle bei der Unterdrückung von Unkraut und trugen teilweise zu einem erntewürdigen Bestand bei, selbst in der unbehandelten Kontrollvariante mit Breitverteilung und Kreiselegge. Allerdings waren die Erträge hier im Vergleich zu den Varianten mit Glyphosat + Nachauflauf und voller Aufwandmenge im Nachauflauf geringer. In der Glyphosat-Variante zeigte sich im Vergleich zu den Nachauflaufvarianten ein geringerer Unkrautbesatz, insbesondere in den Varianten ohne flächige Bearbeitung. Dadurch werden erosionsmindernde Verfahren wie die Direktsaat oder das Strip Till-Verfahren ermöglicht. Wenn Glyphosat nicht verfügbar ist, ist die Behandlung im vollen Nachauflauf die bevorzugte Methode. In Niederbayern erreichten die Breitverteilung mit Kreiselegge und das Strip Till-Verfahren einen ähnlichen Ertrag im Vergleich zur Glyphosat-Variante. Dies ist auf die mechanische Bekämpfung der Unkräuter zurückzuführen. Die ersten Unkräuter wurden somit beseitigt und der Mais stand bis zum 3- bis 8-Blatt-Stadium nicht in Konkurrenz. Voraussetzung ist, dass die Zwischenfrucht bereits im Winter einen Großteil der Altverunkrautung unterdrücken konnte. Später erfolgte die Bekämpfung der später keimenden Unkräuter mit einem Pflanzenschutzmittel. Um diesen Effekt der mechanischen Bekämpfung zu erzielen, reichen bereits die ca. 20 cm breiten Streifen nach dem Strip Till Gerät aus. Die Direktsaat mit Schleppschuh war hier bereits deutlich im Nachteil, was auf die Konkurrenz des Mais mit Unkraut in den ersten Wochen zurückzuführen ist. Hinzu kam, dass der Boden nicht gelockert oder bearbeitet wurde. Dadurch lag mehr organisches Material an der Oberfläche und die Bodenoberfläche war heller, was zu einer langsameren Erwärmung führt und sich auch negativ auf die Frühjahresentwicklung des Mais auswirken kann. In allen Varianten mit reduziertem Nachauflauf waren Ertragsrückgänge zu verzeichnen. Dies ist auf die unzureichende Bekämpfung von Beikräutern zurückzuführen, was zu Konkurrenz um Licht und Nährstoffe führte. Allerdings waren auch hier die Varianten mit Bodenbearbeitung im Vorteil.

Unterfranken (Trockenstandort)

In Unterfranken war die Trockenheit der begrenzende Faktor. In den vier Jahren, von denen zwei als Dürrejahre bezeichnet werden können, blieben alle Varianten, in denen der Mais nicht ohne Konkurrenz wachsen konnte, weit hinter den Erwartungen zurück. Die mittleren Ertragswerte lagen in der herbizidfreien Variante Schleppschuh + Direktsaat sowie Strip Till bei 8 bzw. 13 dt/ha, was durchaus als Totalausfall bewertet werden kann. Lediglich die Variante Breitverteiler + Kreiselegge konnte die Vorteile der Bodenbearbeitung zeigen. Die Ergebnisse der Totalherbizidparzellen zeigten die gleiche Tendenz wie am Standort Niederbayern. Unterschiede konnten jedoch in Bezug auf die Strip Till Varianten festgestellt werden, welche vermutlich aufgrund der wassersparenden Bearbeitung und der effektiven emissionsarmen Gülleeinarbeitung im Vorteil war. Auch die Direktsaat konnte am Trockenstandort konkurrenzfähige Erträge bei gutem Unkrautmanagement erzielen. In den Herbizidreduzierten Varianten wurde deutlich, dass vor allem bei geringem Wasserangebot die Konkurrenz der Beikräuter einen deutlich größeren Einfluss ausübte als am Gunststandort. Die mechanische Unkrautbeseitigung durch die Kreiselegge konnte dem Mais in diesen Parzellen den entscheidenden Wachstumsvorsprung verschaffen und somit konnten in der vollen Nachauflaufmenge sowie reduzierter Nachauflaufmenge noch gute Erträge generiert werden. Kombinationen aus glyphosatreier voller sowie reduzierter Herbizidaufwandmenge und konservierender Bodenbearbeitung bzw. Strip Till hingegen schnitten sehr schlecht ab und lieferten nur noch die Hälfte oder weniger des möglichen Ertrages.

Doch welche Schlüsse lassen sich nun aus diesen Erkenntnissen ziehen, und welche Aspekte erfordern vertiefende Betrachtung? Das etablierte Verfahren, das bereits in der Praxis Anwendung findet, ist unter leichten Anpassungen zukunftsfähig, unabhängig davon, ob Glyphosat verwendet wird oder nicht. Dennoch erfordern die Bedingungen einen höheren Standard im Erosionsschutz und die Resilienz in Bezug auf Trockenheit gewinnt bei reduzierten Verfahren an Bedeutung. Der Zielkonflikt zwischen der Erhöhung des Erosionsschutzes und der Reduktion von Pflanzenschutzmitteln in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, nachhaltigen Ackerbau, Bodenschutz, gesellschaftliche Akzeptanz und Zukunftsfähigkeit bleibt jedoch ungelöst. Dieser Versuch kann leider keine definitive Antwort darauf geben. Es bleibt eine komplexe Herausforderung, wie dieser Konflikt erfolgreich bewältigt werden kann.

8 Praxisnahe Veröffentlichungen und Wissenstransfer

8.1 Vorträge

- „Maisanbau – erosionsmindernd und herbizidreduziert“: Beraterfortbildung beim Workshop PSM Reduzierung von LfL und BaySG am 12.09.2023
- „Maisbestellung – erosionsmindernd und herbizidreduziert“: Fachsymposium am DMK Pflanzenschutztag am 12.07.2023
- „Boden – Herausforderungen der Zukunft“: Fachsymposium am Aktionstag: Klimaangepasste Landwirtschaft in Bayreuth am 05.04.2023
- „Was kommt auf den Boden zu?“: Vortrag am Ackerbautag am AELF Regensburg-Schwandorf am 31.01.2023
- „Maisanbau – erosionsmindernd und herbizidreduziert“: Vortrag in Ruhstorf an der Rott bei der Veranstaltung „Die LfL Ruhstorf präsentiert sich der Praxis“ am 23.11.2022
- „Boden unter Druck“: Vortrag bei der Berater-Fortbildung „Boden:Praxis Rottal Inn“ vom BBV am 24.10.2022
- „Was bedeuten zunehmende Starkregen für die Landwirtschaft?“: Vortrag am 7. KLIWA-Symposium am 15.09.2022
- „Was kommt auf den Boden zu?“: Vortrag für Anwärtler und Referendare des StMELF am 21.07.2022
- „Fachgespräch zur Evaluierung des §17 BBodSchG- Bodenerosion“: BMEL, 20.05.2022
- „Quo vadis Boden?“: Vortrag am Pflanzenbautag AELF Augsburg am 16.03.2022
- „Maisbestellung – erosionsmindernd und herbizidreduziert“: Fachtagung „Einsatz von Pflanzenschutzmitteln um 50 % reduzieren“ in Grub-Poing am 17.02.2022
- „Handlungsfeld Erosionsschutz“: Dienstbesprechung Bodenschutz und Altlasten an der Regierung von Mittelfranken am 25.01.2022
- „Boden unter Druck“: Vortrag am Pflanzenbautag AELF Abendsberg und Landshut am 12.01.2022
- „Wie halte ich den Boden und das Wasser auf dem Acker?“: Vortrag am Unternehmertag 2022 vom BBV am 12.01.2022

- „Erosionsschutz Bayern“: Vortrag auf der Dienstbesprechung der SG 60 der Regierungen in Landshut am 27.10.2021
- „Herausforderungen im Ackerbau bei extremen Witterungs- und Bodenverhältnissen“: Vortrag auf der Ortsobmännertagung des BBV München am 11.10.2021
- „Forschungen zum Erosionsschutz in Bayern an der LfL“: Vortrag vor dem Wissenschaftlich-technischen Beirat der LfL in Ruhstorf an der Rott am 06.10.2021
- „Was kommt auf den Boden zu?“, Vortrag für Anwärtler und Referendare des StMELF am 20.07.2021
- „Aktuelle Entwicklungen und Forschung zum Erosionsschutz in Bayern“: Vortrag am Projekttreffen mit dem Bundesamt für Wasserwirtschaft in Petzenkirchen am 14.07.2021
- „Erosion“: Vortrag am BODEN-FIT Tag in Schweinbach am 09.06.2021
- „Was kommt auf den Boden zu?“, Vortrag im Rahmen der Seminarreihe „Landwirtschaft und Nachhaltigkeit“ der BBV-Kreisverbände und Öko-Modellregionen Amberg-Sulzbach und Neumarkt am 12.04.2021
- „Weiterentwicklung von glyphosatfreien Erosionsschutzverfahren im Mais“: Vortrag KTBL-Tagung: Boden gut machen – neue Ackerbausysteme am 16.03.2021
- „Handlungsfeld Erosionsschutz“: Dienstbesprechung Wasserrecht und Bodenschutz an der Regierung von Oberfranken
- „Aktuelle Entwicklungen und Forschung zum Erosionsschutz in Bayern“: Vortrag am Vernetzungstreffen „Feinsediment- und Nährstoffeinträge in Gewässer“, Land Oberösterreich, am 10.11.2020
- „Klima und Bodenfruchtbarkeit – veränderte Rahmenbedingungen“: Webinar Seminar GU Umsetzung WRRL 2020 an der FüAK am 18.06.2020
- „Glyphosatfreie Erosionsschutzverfahren bei Mais“: Vortrag AF Erosionsmindernde Bodenbearbeitung der LfL am 29.01.2020
- „Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit“: Vortrag an der vlf-Fachtagung „Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit und Stickstoffeffizienz“ am 28.11.2019
- „Handlungsfeld Erosionsschutz“: Dienstbesprechung Bodenschutzrecht und Koordinierungsgespräch am 07.11.2019
- „Herausforderung Erosionsschutz“: Vortrag auf der Tagung des DMK „Stoppelmanagement und Bodenbearbeitung“ am 23.10.2019
- „Handlungsfeld Erosionsschutz“: Vortrag Dienstbesprechung Wasserrecht und Bodenschutz an der Regierung von Unterfranken am 26.09.2019
- „Bodenschutz im gesellschaftlichen und klimatischen Wandel“: Vortrag für Anwärtler und Referendare des StMELF am 15.07.2019

8.2 Veröffentlichungen

- „Erosionsschutz im Mais beherrschen“: Zeitungsartikel im Bayerischen Landwirtschaftlichen Wochenblatt (Ausgabe 3/2022)
- „Erprobung einer GIS gestützten Methode zur Erosionsschutzberatung in Biobetrieben“: Tagungsbandbeitrag der LfL Schriftenreihe, Ausgabe 4/2020 S. 139-144
- „Böden und Erträge stabil halten - Erosionsschutz im Mais“: Zeitschriftenbeitrag im Bayerischen Landwirtschaftlichen Wochenblatt, Ausgabe 3/2022 S. 42-43
- „Weiterentwicklung von Erosionsschutzverfahren im Mais unter der Herausforderung des Verzichts auf Glyphosat“: Beitrag im KTBL-Tagungsband Ausgabe 1: Boden gut machen – neue Ackerbausysteme, S- 97-98
- „Erosionsschutz im Mais ohne Glyphosat – kann das funktionieren?“: Zeitschriftenbeitrag in der LOP – Landwirtschaft ohne Pflug, Ausgabe 07/2024 (in Arbeit)

8.3 Feldtage

- Versuchsführung am 28.05.2019 in Pillham (Niederbayern)
- Feldführung am 07.07.2021 in Klingenhof (Unterfranken)
- Feldtag am 13.07.2021 in Schönburg (Niederbayern)
- Versuchsführung am 04.07.2022 in Bad Höhenstadt (Niederbayern)
- Feldtag am 28.06.2022 in Ettleben (Unterfranken)
- Feldführung am 30.06.2023 in Ettleben (Unterfranken)



Abbildung 73: Feldtag am 30.06.2023 in Ettleben

Literaturverzeichnis

Auerswald, K. & Schmidt, F. (1986); Atlas der Erosionsgefährdung in Bayern - GLA Fachbericht 1, München: Bayerisches Geologisches Landesamt.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenschutz, (2020); Information zum Wirkstoff Glyphosat.

https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ips/dateien/glyphosat_druckversion.pdf

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2021) Ackerbaustrategie 2035. Perspektiven für einen produktiven und vielfältigen Pflanzenbau.

https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/ackerbaustrategie2035.pdf?__blob=publicationFile&v=8

Demmel, M., Ebertseder, Ehbauer, W., F. Fleißner, K., Oberneder, A., Obermeier, S., Stocker, L., Walter, R., Weidner, H., Weig, A., Wiesmeier, M. (2023): Bodenpotenziale nutzen, Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und Landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V. (ALB), Freising.

https://www.alb-bayern.de/De/Bewaesserung/BewaesserungsforumBayern/Ergebnisse/fruchtbarkeit-wasserhaltevermoegen-regenwuerm_bef13.html

Fischer, F., Auerswald, K., Winterrath, T., Brandhuber, R. (2020). Klimabedingte Zunahme der Regenerosivität seit 1960, veröffentlicht in: Korrespondenz Wasserwirtschaft, Nr. 11/2020

Gömann, H., Frühauf, C., Lüttger, A., Weigel, HJ. (2017). Landwirtschaft. In: Brasseur, G., Jacob, D., Schuck-Zöller, S. (eds) Klimawandel in Deutschland. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg.

https://doi.org/10.1007/978-3-662-50397-3_18

Groß, J., & Bauer, B. (2018). CATCHY - Catch-cropping as an agrarian tool for continuing soil health and yield-increase : öffentlicher Schlussbericht für die Technische Informationsbibliothek (TiB) an der Universität Hannover : im Förderprogramm BonaRes - Boden als nachhaltige ressource für Bioökonomie des BMBF : Laufzeit des Vorhabens: 01.04.2015 - 31.03.2018 : Berichtszeitraum: 01.04.2015 - 31.03.2018. Hochschule Weihenstephan-Triesdorf. <https://doi.org/10.2314/KXP:1677291648>

Oldeman, L. R., Hakkeling, R. T. A., & Sombroek, W. G. (1991). World map of the status of human-induced soil degradation: an explanatory note, 2nd. rev. ed. ISRIC.

<https://www.isric.org/documents/document-type/isric-report-199007-world-map-status-human-induced-soil-degradation>

PD Dr. Joachim Brunotte, Adenstedt; 10/2023; Die Folgen eines Verbotes; DLG-Mitteilungen; 63-64.

Prof. Dr. Norbert Lütke Entrup (Kapitel 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7), Dr. Gernot Bodner (Kapitel 10), Dipl.-Ing. Sebastian Hötte (Kapitel 9), Dipl.-Ing. Hubert Kivelitz (Kapitel 11), Prof. Dr. Harald Laser (Kapitel 8), Dipl.-Ing. Günter Stemmann (Kapitel 9, 11); 1060/2018; Zwischen- und Zweitfrüchte im Pflanzenbau; Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung;

Literatur Walter & Wolfrum

- Angst, G., Mueller, C.W., Prater, I., Angst, S., Frouz, J., Jílková, V., Peterse, F., Nierop, K.G.J., 2019: Earthworms act as biochemical reactors to convert labile plant compounds into stabilized soil microbial necromass. *Commun Biol* 2, 441 (2019).
<https://doi.org/10.1038/s42003-019-0684-z>
- Bertrand, M., Barot, S., Blouin, M., Whalen, J., De Oliveira, T., 2015: Earthworm services for cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/ EDP Sciences/INRA, 2015, 35 (2), pp.553-567. <10.1007/s13593-014-0269-7>. <hal-01284301
- Bieri, M., Cuendet, G., 1989: Die Regenwürmer, eine wichtige Komponente von Ökosystemen. Schweiz. - Landwirtschaftliche Forschung, Recherche agronomique en Suisse 28(2), 81-96.
- Blouin, M., Hodson, M.E., Delgado, E.A., Baker, G., Brussaard, L., Butt, K.R., Dai, J., Dendooven, L., Peres, G., Tondoh, J.E., Cluzeau, D., Brun, J.-J., 2013: A review of earthworm impact on soil function and ecosystem services. – *European Journal of Soil Science* 64, 161-182.
- Bossuyt, H., Six, J., Hendrix P. F., 2006: Interactive effects of functionally different earthworm species on aggregation and incorporation and decomposition of newly added residue carbon. - *Geoderma* 130(1-2),14-25. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2005.01.005>.
- Briones, M.J.I., Schmidt, O., 2017: Conventional tillage decreases the abundance and biomass of earthworms and alters their community structure in a global meta-analysis. *Global Change Biology*. 23. 4396–4419. doi.org/10.1111/gcb.13744.
- de Lima e Silva, C. and Pelosi, C., 2023: Effects of glyphosate on earthworms: From fears to facts. *Integr Environ Assess Manag*.
<https://doi.org/10.1002/ieam.4873>
- Dunger, W., 2008: Tiere im Boden. - Westarp Wissenschaften, Hohenwarsleben, 280 S.
- Ehrmann, O., 2015: Regenwürmer in den Böden Baden-Württembergs – Vorkommen, Gefährdung und Bedeutung für die Bodenfruchtbarkeit. *Berichte der Naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg* 105: 125-176.
- Ehrmann, O., 2016: Einfluss der Regenwürmer auf die Eigenschaften des Unterbodens - Vorteile bei Starkregen und Trockenheit. *Landwirtschaft ohne Pflug* 11, 40-44.
- Fründ, H.-C., Graefe, U., Tischler, S., 2011: Chapter 16. Earthworms as bioindicators of soil Quality. In: A. Karaca (ed.), *Biology of Earthworms*, Soil Biology 24, DOI 10.1007/978-3-642-14636-7_16, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011, 261-278.
- Gaupp-Berghausen, M., Hofer, M., Rewald, B. 2015: Glyphosate-based herbicides reduce the activity and reproduction of earthworms and lead to increased soil nutrient concentrations. *Sci Rep* 5, 12886.
<https://doi.org/10.1038/srep12886>.

Givaudan, N., Binet, F., Le Bot, B., Wiegand, C. 2014: Earthworm tolerance to residual agricultural pesticide contamination: field and experimental assessment of detoxification capabilities. *Environmental pollution*, 192, 9-18;

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:33230297>

Joschko, M., Söchtig, W., Larink, O., 1992: Functional relationship between earthworm burrows and soil water movement in column experiments. - *Soil Biology and Biochemistry* 24(12), 1545-1547.

Krück, S., Nitzsche, O., Schmidt, W., 2001: Regenwürmer vermindern Erosionsgefahr. - *Landwirtschaft ohne Pflug* 1, 18-21.

Lemtiri, A., Colinet, G., Alabi, T., Cluzeau, D., Zirbes, L., Haubruge, E., Francis, F., 2014: Impacts of earthworms on soil components and dynamics. A review. – *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 18(1), 121-133.

LfL, Institut für Pflanzenschutz, Hrsg. 2020: Information zum Wirkstoff Glyphosat.

https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/ips/dateien/glyphosat_druckversion.pdf

Maggi, F., Tang, F., 2021: Estimated decline in global earthworm population size caused by pesticide residue in soil, *Soil Security*, Volume 5,

<https://doi.org/10.1016/j.soisec.2021.100014>.

Manono, B.O., 2016: Agro-ecological Role of Earthworms (oligochaetes) in Sustainable Agriculture and Nutrient Use Efficiency: A Review. *Journal of Agriculture and Ecology Research International* 8 (1): 1-18.

Paoletti, M.G., Sommaggio, D., Favretto, M.R., Petruzzelli, G., Pezzarossa, B., Barbaferi, M., 1998: Earthworms as useful bioindicators of agroecosystem sustainability in orchards and vineyards with different inputs. *Applied Soil Ecology*, Volume 10, Issues 1–2, 1998, 137-150,

[https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(98\)00036-5](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(98)00036-5).

Pelosi, C., Bertrand, C., Bretagnolle, V., Coeurdassier, M., Delhomme, O., Deschamps, M., Gaba, S., Millet, M., Nélieu, S., Fritsch, C., 2022: Glyphosate, AMPA and glufosinate in soils and earthworms in a French arable landscape, *Chemosphere*, Volume 301,

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134672>.

Santadino, M., Coviella, C. & Momo, F., 2014: Glyphosate Sublethal Effects on the Population Dynamics of the Earthworm *Eisenia fetida* (Savigny, 1826). *Water Air Soil Pollut* 225, 2207.

<https://doi.org/10.1007/s11270-014-2207-3>

Shuster, W.D., McDonald, L.P., McCartney, D.A., Parmelee, R.W., Studer, N.S., Stinner, B.R., 2002: Nitrogen source and earthworm abundance affected runoff volume and nutrient loss in a tilled-corn agroecosystem. - *Biol. Fertil. Soils* 35, 320-327.

Silva, V., Mol, H.G.J., Zomer, P., Tienstra, M., Ritsema, C.J., Geissen, V., 2019: Pesticide residues in European agricultural soils - A hidden reality unfolded. *Science of the Total Environment*. Vol 653, 1532-1545.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.441>.

Walter, R., Burmeister, J., 2022: 35 Jahre Bodendauerbeobachtung landwirtschaftlich genutzter Flächen in Bayern. Band 5: Regenwürmer. LfL Schriftenreihe 02/2022.
<https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/35-jahre-bdf-landwirtschaft-regenwuermer-lfl-schriftenreihe.pdf>

Zaller, J.G., Weber, M., Maderthaner, M., Gruber, E., Takács E., Mörtl, M., Klátyik, S., Györi, J., Römbke, J., Leisch, F., Spangl, B., Székács, A., 2021: Effects of glyphosate-based herbicides and their active ingredients on earthworms, water infiltration and glyphosate leaching are influenced by soil properties. *Environ Sci Eur* 33, 51.
<https://doi.org/10.1186/s12302-021-00492-0>