



Ring landwirtschaftlicher Betriebsleiter e.V.

Beratungsring Ackerbau

Röchlingstr. 1, 67663 Kaiserslautern



TH BINGEN
University of Applied Sciences

Neuer Ansatz für einen resilienten und regenerativen Pflanzenbau in einer produktiven, aber trocken warmen Ackerbauregion (Rheinhessen) „Regenerativer Pflanzenbau“

Abschlussbericht

Benjamin Klauk¹, Knut Behrens², Isabelle Sando³, Jan Petersen¹

¹TH Bingen

²Beratungsring Ackerbau

³Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz

Datum



Europäischer Landwirtschaftsfonds für
die Entwicklung des ländlichen Raums:
Hier investiert Europa
in die ländlichen Gebiete.



Impressum

Hauptverantwortlicher der OG

Landwirtschaftskammer Rheinland-Pfalz
Ansprechpartner: Isabelle Sando
Straße: Burgenlandstraße 7
Ort: Bad Kreuznach
Tel.: +49 (0)671 793-159
E-Mail: isabelle.sando@lwk-rlp.de

Für die Förderung zuständiges Ministerium

Ministerium für Wirtschaft, Verkehr,
Landwirtschaft und Weinbau
Referate 8607 und 8608
Stiftstraße 9
55116 Mainz
E-Mail: eulle@mwwlw.rlp.de
Internet: www.eler-eulle.rlp.de

Bildnachweise:

Inhalt

1	Vorhabenplanung	1
1.1	Erläuterung der Situation zu Vorhabenbeginn.....	1
1.2	Aufgabenstellung und Zielformulierung des Vorhabens.....	2
1.3	Arbeitsplan	2
1.3.1	Anbauvergleich im On Farm-Research	3
1.3.2	Ökologische und Ökonomische Bewertung des Regenerativen Pflanzenbaus	38
1.3.3	Exaktversuche an der TH Bingen zur Zwischenfruchtmischung-Optimierung, Biostimulantien und Komposttee Einsatz und Abbauverhalten von Sulfonylharnstoffen im Boden 43	
1.3.4	Qualitätsparameter der Erntegüter.....	58
2	Verlauf des Vorhabens	59
3	Ergebnisse und Zielerreichung	60
3.1	Anbauvergleich im On-Farm Research.....	60
3.1.1	Anbauvergleich betriebsübliches System und System Regenerativer Pflanzenbau	60
3.1.2	Zwischenfruchtanbau auf den Praxisflächen.....	69
3.1.3	Herbizidversuche für Alternativen zu Glyphosat.....	72
3.2	Ökologische und ökonomische Bewertung des Regenerativen Pflanzenbaus	86
3.2.1	Ökologische Bewertung.....	86
3.2.2	Ökonomische Bewertung	93
3.3	Exaktversuche an der Technischen Hochschule Bingen.....	94
3.3.1	Zwischenfrucht Reinsaat und Mischungen.....	94
3.3.2	Komposttee und Biostimulantien in Winterweizen	102
3.3.3	Abbau von Sulfonylharnstoffen.....	105
3.4	Qualitätsparameter der Erntegüter	108
3.4.1	Sommerbraugerste.....	108
3.4.2	Futtererbsen	112
3.4.3	Winterweizen und Winterdurum	113
3.4.4	Winterraps.....	114
3.4.5	Zuckerrübe.....	115
3.5	Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen.....	115
3.6	Erreichung der Ziele des Vorhabens.....	116
4	Ergebnisverwertung, Kommunikation und Verstetigung.....	118
4.1	Nutzen der Ergebnisse für die Praxis.....	118
4.2	(Geplante) Verwertung/Verbreitung und Nutzung der Ergebnisse	119

4.3	Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit	120
5	Zusammenarbeit in der Operationellen Gruppe (OG)	120
5.1	Gestaltung der Zusammenarbeit.....	121
5.2	Mehrwert des Formats einer OG	Fehler! Textmarke nicht definiert.
5.3	Weitere Zusammenarbeit	121
6	Verwendung der Zuwendung.....	122
7	Schlussfolgerungen und Ausblick	122
8	Literaturverzeichnis.....	124

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Novag® Direktsaatmaschine T-Force	4
Abbildung 2: Temperatur (°C) und Niederschlag (l/m²) in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023 für den Standort Osthofen (Daten: Wetterstation Bechtheim).....	11
Abbildung 3: Temperatur (°C) und Niederschlag (l/m²) in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023 für den Standort Gundersheim (Daten: Wetterstation Gundheim)	12
Abbildung 4: Temperatur (°C) und Niederschlag (l/m²) in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023 für die Standorte Esselborn und Wahlheim (Daten: Wetterstation Flomborn)	13
Abbildung 5: Temperatur (°C) und Niederschlag (l/m²) in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023 für den Standort Nieder-Wiesen (Daten: Wetterstation Wöllstein)	14
Abbildung 6: Versuchsaufbau nach DIN-Norm: 1: „Regenerativer Pflanzenbau“; 2: „Konventionell“; Barberfallen in Würfelmuster	39
Abbildung 7: Nahansicht einer Barberfalle mit Abdeckung auf der Fläche der Direktsaat, Termin II (06.05.21)	40
Abbildung 8: Temperatur (°C) und Niederschlag (l/m²) in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023 für den Standort Bingen (Daten: Wetterstation Bingen-Gaulsheim)	44
Abbildung 9: Versuchsplan Komposttee-Versuch am Standort Bingen im Versuchsjahr 2021	53
Abbildung 10: Betonkübel im Modelversuch zum Abbau von Sulfonylharnstoffen am Standort Bingen 2022	57
Abbildung 11: Anzahl an Pflanzen pro m² bei Futtererbsen, Sommergerste und Zuckerrübe im konventionellen und regenerativen Pflanzenbau in den Versuchsjahren 2021 bis 2023 (gemittelt über die Standorte, Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)	60
Abbildung 12: Anzahl an Pflanzen pro m² bei Winterdurum, Winterraps und Winterweizen im konventionellen und regenerativen Pflanzenbau in den Versuchsjahren 2021/22 und 2022/23 (gemittelt über die Standorte, Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).....	61
Abbildung 13: NDVI (normalized digital vegetation index) in Futtererbsen, Sommergerste, Winterdurum und Winterweizen im konventionellen und regenerativen Pflanzenbau im April 2022 auf den Versuchsstandorten	62

Abbildung 14: NDVI (normalized digital vegetation index) in Futtererbsen, Sommergerste, Winterdurum und Winterweizen im konventionellen und regenerativen Pflanzenbau im Mai 2023 auf den Versuchsstandorten	62
Abbildung 15: Befallsstärke <i>Rhynchosporium</i> [%] bei Sommergerste im konventionellen Pflanzenbau und Regenerativen Pflanzenbau im BBCH 25 und 51 am Standort Am Schild im Versuchsjahr 2023 (Zahlen über Säulen: Befallshäufigkeit; Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).....	63
Abbildung 16: Befallsstärke Echter Mehltau und <i>Septoria tritici</i> [%] bei Winterweizen im konventionellen Pflanzenbau und Regenerativen Pflanzenbau im BBCH 31 und 51 am Standort Plenzer im Versuchsjahr 2023 (Zahlen über Säulen: Befallshäufigkeit; Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).	64
Abbildung 17: Befallsstärke Echter Mehltau und <i>Septoria tritici</i> [%] bei Winterdurum im konventionellen Pflanzenbau und Regenerativen Pflanzenbau im BBCH 31 und 51 am Standort Am Steinsäcker im Versuchsjahr 2023 (Zahlen über Säulen: Befallshäufigkeit; Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).	64
Abbildung 18: Anzahl an Ähren [m^{-2}] bei Sommergerste, Winterdurum und Winterweizen im konventionellen Anbau und regenerativen Pflanzenbau in den Versuchsjahren 2021 bis 2023 gemittelt über die jeweiligen Standorte (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).....	65
Abbildung 19: Kornertrag (86 % TS) [dt/ha] bei Erbsen und Sommergerste im konventionellen Anbau und regenerativen Pflanzenbau in den Versuchsjahren 2021 bis 2023 gemittelt über die jeweiligen Standorte (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).	66
Abbildung 20: Kornertrag (86 % TS) [dt/ha] bei Winterdurum, Winterraps (91 % TS) und Winterweizen im konventionellen Anbau und regenerativen Pflanzenbau in den Versuchsjahren 2022 und 2023 gemittelt über die jeweiligen Standorte (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).....	66
Abbildung 21: Rüben- und Zuckerertrag [dt/ha] im konventionellen Anbau und regenerativen Pflanzenbau im Versuchsjahr 2023 an den Standorten Am Eppelsheimer Weg und Im Ochsenthal...	67

Abbildung 22: Behandlungsindex in verschiedenen Kulturen in den Versuchsjahren 2021 bis 2023 in Abhängigkeit von dem Anbauverfahren	68
Abbildung 23: Bedeckungsgrad [%] der Bodenoberfläche (08.09.21) eingeteilt in Boden, Mulch (abgestorbenen Pflanzenmaterial) und lebende Pflanzen in Abhängigkeit vom Standort (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Standorten, TukeyHSD-Test mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).	69
Abbildung 24: Oberirdische Biomasse des Zwischenfruchtauswuchses [t ha ⁻¹] in Frisch- und Trockenmasse in Abhängigkeit vom Standort und Zeitpunkt des Erntezeitpunktes (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Standorten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).	70
Abbildung 25: Bedeckungsgrad [%] der Bodenoberfläche (31.08.2022) eingeteilt in Boden, Mulch (abgestorbenen Pflanzenmaterial) und lebende Pflanzen in Abhängigkeit vom Standort (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Standorten, TukeyHSD-Test mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).	71
Abbildung 26: Bedeckungsgrad [%] der Bodenoberfläche (04.10.2022) eingeteilt in Boden, Mulch (abgestorbenen Pflanzenmaterial) und lebende Pflanzen in Abhängigkeit vom Standort (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Standorten, TukeyHSD-Test mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).	72
Abbildung 27: Wirkung auf Inkarnatklée [%] vier und sechs Wochen nach der Applikation der Herbizide in Abhängigkeit vom Herbizid in Sommergerste auf dem Versuchsstandort „Am Schniftenberg“ im Versuchsjahr 2021 (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).	73
Abbildung 28: Wirkung der Herbizide im Vergleich zur Kontrolle [%] in Abhängigkeit von der Zwischenfruchtart an der Versuchsfläche "Im Ochsenenthal" im Versuchsjahr 2022	74
Abbildung 29: Wirkung der Herbizide im Vergleich zur Kontrolle [%] in Abhängigkeit von der Zwischenfruchtart an der Versuchsfläche "Eppelsheimer Weg" im Versuchsjahr 2022	74
Abbildung 30: Durchschnittliche Gesamtwirkung der im Herbst 2021 eingesetzten Herbizide im Wintergetreide in Abhängigkeit vom Herbizid und Standort im Versuchsjahr 2022 (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten und Standorten, TukeyHSD-Test mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).....	75

Abbildung 31: Kornertrag Winterweizen (86 % TS) [dt/ha] in Abhängigkeit vom Herbizid und Standort im Versuchsjahr 2022 (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten und Standorten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler).	76
Abbildung 32: Reduzierung des Artenvorkommens im Vergleich zur Kontrolle [%] in Abhängigkeit vom Herbizid und Art an der Versuchsfläche "Langgewann" im Versuchsjahr 2022 (Fehlerbalken = Standardfehler)	77
Abbildung 33: Schäden bei Futtererbsen [%] in Abhängigkeit vom Herbizid im Versuchsjahr 2022 (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler).....	78
Abbildung 34: Anzahl Hülsen je Pflanze und Erbsen je Hülse in Abhängigkeit von dem/den eingesetzten Herbizid(en) (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler).....	79
Abbildung 35: Kornertrag (86 % TS) [dt/ha] bei Futtererbsen in Abhängigkeit von dem/den eingesetzten Herbizid(en) (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler).	80
Abbildung 36: Anzahl an Pflanzen pro m ² in Abhängigkeit von der Herbizidvariante am Standort "Am Moorkreuz" im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).....	81
Abbildung 37: Anzahl Hülsen je Pflanze und Erbsen je Hülse in Abhängigkeit von der Herbizidvariante am Standort "Am Moorkreuz" im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)	82
Abbildung 38: Kornertrag (86 % TS, dt/ha) in Abhängigkeit von der Herbizidvariante am Standort "Am Moorkreuz" im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).....	83
Abbildung 39: Herbizidschaden (%) und Herbizidwirkung (%) in Abhängigkeit von der Herbizidvariante am Standort "Am Moorkreuz" im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)	84
Abbildung 40: Aufnahme Drohnenkamera vom Versuchsschlag "Am Moorkreuz" im Versuchsjahr 2023, links: Regenerativer Pflanzenbau, rechts: konventioneller Pflanzenbau.....	85

Abbildung 41: N_{\min} Gehalte [kg/ha] in 0-90 cm Bodentiefe im Frühjahr und Herbst der Versuchsjahre 2021 bis 2023 im Durchschnitt der Standorte	86
Abbildung 42: Bodenfeuchte 10 cm Bodentiefe [vol. %] an den Standorten "Am Schild", "Am Schniftenberg" und "Im Ochsenthal" in den Jahren 2021, 2022 und 2023 in den konventionellen bewirtschafteten und regenerativ bewirtschafteten Flächen	87
Abbildung 43: Bodentemperatur 10 cm Bodentiefe [vol. %] an den Standorten "Am Schild", "Am Schniftenberg" und "Im Ochsenthal" in den Jahren 2021, 2022 und 2023 in den konventionellen bewirtschafteten und regenerativ bewirtschafteten Flächen	88
Abbildung 44: Bodentemperatur 2 cm Bodentiefe [vol. %] an den Standorten "Am Schild" und "Langgewann" in den Jahren 2021, 2022 und 2023 in den konventionellen bewirtschafteten und regenerativ bewirtschafteten Flächen	89
Abbildung 45: Durchschnittliche Biomasse (g/m ²) und Anzahl an Regenwürmer pro m ² in Abhängigkeit vom Anbauverfahren an den Standorten „Am Schild“ und „Im Ochsenthal“ im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über den Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler)	91
Abbildung 46: Anzahl an Regenwürmer pro m ² in Abhängigkeit vom Anbauverfahren und des Lebensraums der Wurmart an den Standorten „Am Schild“ und „Im Ochsenthal“ im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über den Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler)	92
Abbildung 47: Differenz des Deckungsbeitrages zwischen Regenerativen und konventionellen Pflanzenbau in verschiedenen Kulturen und Versuchsjahren (rote Säule: geringerer Deckungsbeitrag in Variante Regenerativer Pflanzenbau, grüne Säule: höherer Deckungsbeitrag in Regenerativen Pflanzenbau, Zahlen über Säulen: Deckungsbeitrag in Variante konventioneller Pflanzenbau)	93
Abbildung 48: Durchschnittlicher Umsatz [€/ha] in den beiden Varianten konventioneller und regenerativer Pflanzenbau in verschiedenen Kulturen (Aufteilung der Kosten und des resultierenden Deckungsbeitrages)	94
Abbildung 49: Feldaufgang [%] der unterschiedlichen Zwischenfruchtarten (in Reinsaat) mit und ohne zusätzliche Bewässerung im Versuchsjahr 2021 am Standort Bingen	95
Abbildung 50: Feldaufgang [%] der unterschiedlichen Zwischenfruchtarten (in Mischungen) mit und ohne zusätzliche Bewässerung im Versuchsjahr 2021 am Standort Bingen	95

Abbildung 51: Feldaufgang [%] der unterschiedlichen Zwischenfruchtarten (in Reinsaat) mit und ohne zusätzliche Bewässerung im Versuchsjahr 2022 am Standort Bingen	96
Abbildung 52: Feldaufgang [%] der unterschiedlichen Zwischenfruchtarten (in Mischungen) mit und ohne zusätzliche Bewässerung im Versuchsjahr 2022 am Standort Bingen	96
Abbildung 53: Bedeckungsgrad [%] zehn Wochen nach der Aussaat in Abhängigkeit von der Pflanzenart und der Bewässerung am Standort Bingen im Versuchsjahr 2021	97
Abbildung 54: Bedeckungsgrad verschiedener Mischungen [%] zehn Wochen nach der Aussaat in Abhängigkeit von der Mischung und der Bewässerung am Standort Bingen im Versuchsjahr 2021 ...	98
Abbildung 55: Bodenbedeckungsgrad [%] aufgeteilt in Pflanze, Mulch und Boden bei Reinsaaten in Abhängigkeit von der Art und Bewässerung am Standort Bingen, Boniturdatum: 04.10.2022	99
<i>Abbildung 56: Bodenbedeckungsgrad [%] aufgeteilt in Pflanze, Mulch und Boden in Abhängigkeit von der Mischung und Bewässerung am Standort Bingen, Boniturdatum: 04.10.2022</i>	<i>100</i>
Abbildung 57: Blattflächenindex (LAI) am 10.11.2021 (zwölf Wochen nach der Aussaat) in Abhängigkeit von der Pflanzenart und der Bewässerung im Zwischenfruchtversuch an der TH Bingen im Versuchsjahr 2021 (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Pflanzenarten bzw. der Bewässerungsmaßnahme, Conover-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)	101
Abbildung 58: Blattflächenindex (LAI) am 10.11.2021 (zwölf Wochen nach der Aussaat) in Abhängigkeit von der Mischung und der Bewässerung im Zwischenfruchtversuch an der TH Bingen im Versuchsjahr 2021 (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Pflanzenarten bzw. der Bewässerungsmaßnahme, Conover-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)	102
Abbildung 59: Kornertrag Weizen (86% TS) [dt ha ⁻¹] in Abhängigkeit von dem eingesetzten Komposttee und der Einarbeitung der Zwischenfrucht (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler).....	103
Abbildung 60: Anzahl an Weizenähren pro m ² in Abhängigkeit von dem eingesetzten Komposttee bzw. Biostimulanz verglichen mit der Kontrolle im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)	104
Abbildung 61: Kornertrag (86 % TS, dt/ha) in Abhängigkeit von dem eingesetzten Komposttee bzw. Biostimulanz verglichen mit der Kontrolle im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)	105

Abbildung 62: Einzelpflanzengewicht der Rapspflanzen [g] in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Aussaat nach der Behandlung (DAT), der Sorte (ALS resistent oder nicht) und des Wirkstoffs (Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede der behandelten Variante zur jeweiligen Kontrolle; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$, Dunnett-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit Fehlerbalken = Standardfehler)	106
Abbildung 63: Einzelpflanzengewicht der Zuckerrübenpflanzen [g] in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Aussaat nach der Behandlung (DAT), der Sorte (ALS resistent oder nicht) und des Wirkstoffs (Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede der behandelten Variante zur jeweiligen Kontrolle; ; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$, Dunnett-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit Fehlerbalken = Standardfehler)	107
Abbildung 64: Frischmasse Kresse je Topf [g] in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Aussaat nach der Behandlung (DAT) und dem Herbizid (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Herbiziden, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).....	108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Charakterisierung der Versuchsflächen und deren Größenaufteilung für die beiden Anbausysteme	4
Tabelle 2: pH-Wert, Humus und Nährstoffgehalte der Böden der Versuchsflächen zu Beginn des Versuchsvorhabens 2021 (nach LUFA)	6
Tabelle 3: pH-Wert, Humus und Nährstoffgehalte der Böden der Versuchsflächen zu Beginn des Versuchsvorhabens 2021 (nach Kindsey)	9
Tabelle 4: totale Kationenaustauschkapazität und Basensättigung (nach Kinsey) der Versuchsflächen im Versuchsjahr 2021	10
Tabelle 5: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Am Schild“ am Standort Osthofen in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023	15
Tabelle 6: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Am Steinsäcker“ am Standort Osthofen in den Versuchsjahren 2022 und 2023	17
Tabelle 7: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Am Eppelsheimer Weg“ am Standort Gundersheim in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023	18

Tabelle 8: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Plenzer“ am Standort Gundersheim in den Versuchsjahren 2022 und 2023.....	20
Tabelle 9: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Am Moorkreuz“ am Standort Gundersheim in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023.....	21
Tabelle 10: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Pfarrklauer“ am Standort Esselborn in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023.....	22
Tabelle 11: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Im Ochsenthal“ am Standort Esselborn in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023	25
Tabelle 12: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Langgewann“ am Standort Wahlheim in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023	27
Tabelle 13: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Am Schniftenberg“ am Standort Nieder-Wiesen in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023.....	29
Tabelle 14: Artenzusammensetzung der Zwischenfruchtmischungen im Versuchsjahr 2021 und den beiden Jahren 2022 und 202 auf den Versuchsflächen	31
Tabelle 15: verwendete Herbizide am Standort „Am Schniftenberg“ im Frühjahr 2021.....	34
Tabelle 16: verwendete Herbizide an den Standorten „Am Eppelsheimer Weg“ und „Im Ochsenthal“ im Herbst 2021	35
Tabelle 17: verwendete Herbizide am Standort „Langgewann“ im Frühjahr 2022 in Futtererbsen	36
Tabelle 18: verwendete Herbizide am Standort „Am Moorkreuz“ im Frühjahr 2023 in Futtererbsen	37
Tabelle 19: Ermittelte Maschinen- und Arbeitserledigungskosten auf Grundlage des KTBL-Feldarbeitsrechners.....	43
Tabelle 20: Ausgesäte Pflanzenarten im Zwischenfrucht-Monitoring am Standort Bingen im Versuchsjahr 2021	45
Tabelle 21: Ausgesäte Mischungen und deren Zusammensetzung im Zwischenfrucht-Monitoring am Standort Bingen im Versuchsjahr 2021	48
Tabelle 22: Ausgesäte Mischungen und deren Zusammensetzung im Zwischenfrucht-Monitoring am Standort Bingen im Versuchsjahr 2021	49
Tabelle 23: Ausgesäte Mischungen und deren Zusammensetzung (Gew. %) im Zwischenfrucht-Monitoring am Standort Bingen im Versuchsjahr 2022	50

Tabelle 24: Eingesetzte Komposttees am Standort Bingen Im Versuchsjahr 2021	52
Tabelle 25: Eingesetzte Komposttees und Biostimulantien am Standort Bingen Im Versuchsjahr 2023	54
Tabelle 26: Ausgesäte Raps und Zuckerrüben Sorten im Topfversuch 2022	56
Tabelle 27: Eingesetzte Herbizide im Betonkübelversuche am Standort Bingen 2022	58
Tabelle 28: N-Bilanz [kg N/ha] in den Versuchsjahren 2021 bis 2023 in verschiedenen Kulturen bei konventionellem Anbau und Regenerativen Anbau	68
Tabelle 29: Anzahl an Individuen (pro 100 m ²) in Abhängigkeit des Anbauverfahrens und des Untersuchungszeitraums im Versuchsjahr 2021 am Standort „Im Ochsenthal“, hochgestellte Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Anbauverfahren, TukeyHSD Test mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit.....	90
Tabelle 30: Simpson-Index in Abhängigkeit des Anbauverfahrens und des Untersuchungszeitraums im Versuchsjahr 2021 am Standort „Im Ochsenthal“	90
Tabelle 31: abgeleiteter Evennees-Wert in Abhängigkeit des Anbauverfahrens und des Untersuchungszeitraums im Versuchsjahr 2021 am Standort „Im Ochsenthal“	91
Tabelle 32: Rohprotein [%] und Hektolitergewicht [kg/hl] bei Sommergerste in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, Conover-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit) im Versuchsjahr 2021 ..	109
Tabelle 33: Korngrößenverteilung [%] bei Sommergerste in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, Conover-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit) im Versuchsjahr 2021	109
Tabelle 34: Rohprotein [%] und Hektolitergewicht [kg/hl] bei Sommergerste in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, Conover-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit) im Versuchsjahr 2022 ..	110
Tabelle 35: Korngrößenverteilung [%] bei Sommergerste in Abhängigkeit vom Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit) im Versuchsjahr 2022.....	110
Tabelle 36: Rohprotein [%] und Hektolitergewicht [kg/hl] bei Sommergerste in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, Conover-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit) im Versuchsjahr 2023 ..	111

Tabelle 37: Korngrößenverteilung [%] bei Sommergerste in Abhängigkeit vom Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit) im Versuchsjahr 2023	111
Tabelle 38: Rohproteingehalt [%] bei Futtererbsen in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)	112
Tabelle 39: Rohproteingehalt [%] bei Winterweizen und Winterdurum in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)	113
Tabelle 40: Hektolitergewicht (kg/hl) bei Winterweizen und Winterdurum in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)	114
Tabelle 41: Ölgehalt (%) bei Winterraps in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)	114
Tabelle 42: Zuckergehalte (%), Kalium, Natrium und Amino-N (mmol/kg) sowie Standard-Melasseverlust (%) und bereinigter Zuckergehalt (%) bei Zuckerrübe in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren im Versuchsjahr 2023	115

Zusammenfassung

Klimatische Veränderungen fordern ein Umdenken bisheriger Pflanzenbausystemen. Vermeidung von Bodenbearbeitung und eine ganzjährige Bodenbedeckung, welche durch einen Zwischenfruchtanbau sichergestellt wird, sollen durch Erhöhen der Bodenfruchtbarkeit die Resilienz des Pflanzenbausystems steigern. Dieses Projekt beinhaltete einen Paarvergleich auf neun Projektflächen, welche in einer trockenwarmen Ackerbauregion gelegen, zwischen zwei Anbauverfahren, der betriebsüblichen Anbaumethode (konservierende Bodenbearbeitung, Stoppelbearbeitung) und eine auf Direktsaat und Zwischenfruchtanbau basierende Methode. Die Kultur auf der jeweiligen Projektfläche wurde vom bewirtschaftenden Landwirt festgelegt. Agronomische Größen wie Pflanzendichte und weitere artspezifische Ertrags- sowie Qualitätsparameter auf den beiden Hälften der jeweiligen Projektfläche erhoben. Die Zwischenfruchtmischung, bestehend aus 11 Arten, wurde unmittelbar nach der Ernte durch Direktsaattechnik etabliert. Potentielle Komponenten in solchen Mischungen, die besonders unter trockenen Bedingungen einen sicheren Auflauf gewährleisten, wurden in Exaktversuchen in zwei Jahren evaluiert. Die Auswirkungen der beiden Anbaumethoden hinsichtlich N_{\min} Gehalten und Regenwurm-Population wurden auf den neun Versuchsflächen untersucht. Eine ökonomische Bewertung der Anbaumethoden wurden kulturspezifisch vorgenommen. In der Anbaumethode Regenerativer Pflanzenbau lag eine geringere Pflanzendichte vor, die bei Sommerkulturen zu geringeren Erträgen führten. Die Qualität der Ernteprodukte war meist vergleichbar, Unterschiede lagen meist im Proteingehalt bei Getreidearten. Daraus resultierten geringere Deckungsbeiträge. Die Zwischenfruchtmischung konnte trotz wasserschonender Bewirtschaftung nicht immer sicher etabliert werden. Eine Direktsaat-basierte Bestellung kombiniert mit permanenter Bodenbedeckung reduzierte die N_{\min} Gehalte im Herbst und Frühjahr und wies höhere Abundanzen an Regenwürmer auf.

Abstract

Climatic changes require a rethink of traditional cropping systems. The avoidance of tillage and the all-year soil cover provided by cover cropping should increase the resilience of the crop production system by increasing soil fertility. This project involved a paired comparison between two cropping systems, the standard cropping system (conservation tillage, stubble tillage) and a system based on no-tillage and cover cropping, on nine sites located in a dry and warm arable region. The crop on each project plot was determined by the farmer. Agronomic parameters such as plant density and other crop-specific yield and quality parameters were recorded on both plots. The catch crop mixture, consisting of 11 species, was established immediately after harvest using the direct seeding technique. Potential components in such mixtures to ensure reliable emergence, especially under dry conditions, were evaluated in trials over two years. The effects of the two cultivation methods on mineralized N-content and earthworm population were analysed on the nine trial plots. An economic evaluation of the

cropping systems was carried out on a crop-specific basis. There was a lower plant density in the regenerative cropping system, which resulted in lower yields in summer crops. The quality of the harvested products was largely comparable, with differences mainly in the protein content of the cereals. This resulted in lower margins. The cover crop mixture could not always be established reliably, despite water-saving cultivation. Direct drilling combined with permanent soil cover reduced Nmin in autumn and spring and showed higher earthworm abundance.

1 Vorhabenplanung

1.1 Erläuterung der Situation zu Vorhabenbeginn

Die sich verändernden Rahmenbedingungen für den Pflanzenbau hinsichtlich des Klimas und der damit einhergehenden Ertragsinstabilität erfordert Anpassungen des gesamten Anbausystems (Olsen & Bindi, 2002). Höhere durchschnittliche Temperaturen von bis zu 2 °C werden laut Prognosemodellen Ertragsdepressionen in süd- und mitteleuropäischen Regionen bei wichtigen Ackerbaukulturen wie Weizen mit sich bringen. Regionen wie Rheinhessen, welche durch längere Trockenperioden und einer ungleichmäßigen Niederschlagsverteilung über das Jahr geprägt sind, werden durch die Klimaänderungen hinsichtlich Ertragsstabilität besonders betroffen sein. Zudem bestehen seitens der Politik und der Gesellschaft Forderungen gegenüber der Landwirtschaft, ihre Umwelteinflüsse (Nitrat im Grundwasser, Treibhausgasemissionen, Pflanzenschutzmittelrückstände, Biodiversitätsverlust) auf ein Minimum zu reduzieren. Diese Entwicklungen erschweren es den Landwirten, mit konventionellen Anbausystemen einen profitablen Pflanzenbau aufrechtzuerhalten. Um auch zukünftig in Regionen wie Rheinhessen Pflanzenbau betreiben zu können, sind klimaresilientere Anbausysteme, die auch zugleich die genannten gesellschaftlichen Anforderungen an die Produktion erfüllen, gefragt. Ein möglicher Ansatz für ein solches System liegt im sogenannten „Regenerativen Pflanzenbau“. Dieses System basiert auf einem fruchtfolgen- und standortspezifischen Zwischenfruchtanbau in Teilbrachenzeiträumen für eine ganzjährige Bedeckung des Bodens und der langfristigen Kohlenstoffsequestrierung im Boden. Neben dem Zwischenfruchtanbau werden auch weitere pflanzenbauliche Maßnahmen notwendig sein, um die Resilienz aktueller Pflanzenbausysteme zu erhöhen. Direktsaatsysteme, die weltweit häufig in Trockengebieten bei Kulturen wie Weizen, Mais und andere Ackerbaukulturen genutzt werden, können die Erträge durch eine höhere Wasserverfügbarkeit in kritischen Wachstumsphasen steigern (Thaler et al, 2012). Weitere Effekte wie verringerte Bodenerosions- und Nährstoffauswaschungsgefahr, Förderung der Bodenorganismen, Humusaufbau und Unterdrückung von Unkräutern werden durch eine Umstellung des Anbausystems auf ein System mit Regenerativen Pflanzenbau Ansatz erwartet.

1.2 Aufgabenstellung und Zielformulierung des Vorhabens

Die Ackerbausysteme sollen in einem innovativen Ansatz weiterentwickelt werden. Der Boden wird im Rahmen der Fruchtfolgen mit annuellen Ackerbaukulturen nicht mehr bearbeitet und durch innovative Direktsaattechnik nur minimal bewegt. Zudem werden Teilbrachezeiträume stets durch fruchtfolge- und standortangepasste Zwischenfruchtmischungen begrünt. Sowohl die Begrünungen als auch die folgende Frucht werden mittels Direktsaatverfahren etabliert. Durch die permanente Bedeckung und die ausbleibende Störung des Bodens durch Bearbeitung werden mehrere Effekte erreicht. Gleichzeitig sollen die Bodentemperaturen durch eine permanente Bodenbedeckung abgepuffert werden und Evaporation in den Sommermonaten vermindert werden. Folglich werden temperatursensible Bodenorganismen geschützt. Die unterlassene Bodenbearbeitung reduziert das Aufkommen von Unkräutern, insbesondere das von Gräsern. Samen werden nicht in den Bodeneingearbeitet und konserviert, sodass langfristig eine Abnahme des Samenvorrates erreicht wird. Stickstoff wird verstärkt in den oberen Bodenschichten durch Immobilisierung und durch Einbindung in die organische Biomasse gehalten, welcher nachfolgenden Kulturen im größeren Umfang wieder zur Verfügung steht. Die permanente Bodenbedeckung sowie die Abgabe von Wurzelexsudaten bietet eine größere Nahrungsgrundlage für die Bodenorganismen, die die Bodenfruchtbarkeit steigern lässt. Die Humusanreicherung im Oberboden wird gesteigert.

Die Wirksamkeit der veränderten Bewirtschaftungsstrategien wird anhand von ausgewählten Indikatoren erhoben, die jeweils in Paarvergleichen On-farm erfasst und bewertet werden.

1.3 Arbeitsplan

Insgesamt sind fünf Arbeitspakete für das vorliegende Projektvorhaben geplant. Dabei geht es im ersten Arbeitspaket um den Anbauvergleich zwischen dem betriebsüblichen konventionellen System und dem System mit dem Regenerativen Pflanzenbau als Vorbild. Das Kernvorhaben wird in Rheinhessen auf drei beteiligten Ackerbaubetrieben umgesetzt. Dabei wird in möglichst allen Gliedern der Fruchtfolge auf allen beteiligten Betrieben jeweils ein Paarvergleich (Konventionell/Regenerativ) auf einer Ackerfläche angestellt. Im Regenerativen Anbausystem kommt eine Direktsaatmaschine der Firma Novag aus Frankreich, die als einzige derzeit das Cross-Slot-Schar verbaut, zum Einsatz. Das zweite Paket sieht eine ökonomische

und ökologische Analyse zwischen den Paarvergleichen vor. Das dritte Paket beinhaltet Exaktversuche zum Einsatz von Komposttee und Biostimulantien und Optimierung von Zwischenfruchtmischungen, welche geeignet für die Direktsaat in Trockengebieten ist. Als viertes Paket sind die Qualitätsanalysen der Ernteproben im Plan vorgesehen. Letztlich sollen die gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse durch Öffentlichkeitsarbeit in die Praxis vermittelt werden (Paket 5).

1.3.1 Anbauvergleich im On Farm-Research

1.3.1.1 Anbauvergleich betriebsübliches System und System Regenerativer Pflanzenbau

Der Anbauvergleich von beiden Anbausystemen wurden durch On-farm Research Versuche auf neun Versuchsflächen durchgeführt, welche von drei Landwirten aus Rheinhessen bewirtschaftet werden. Die Aussaat der Kulturen und Zwischenfrüchten auf den Direktsaatflächen geschah durch eine Drillmaschine der Firma Novag® (Abbildung 1). Die neun Versuchsflächen liegen in Rheinhessen, wobei jeweils drei Flächen von jedem Landwirt zur Verfügung gestellt worden ist. Die Flächen unterscheiden sich in der Größe und der Bodengüte (Tabelle 1).



Abbildung 1: Novag® Direktsaatmaschine T-Force

Tabelle 1: Charakterisierung der Versuchsflächen und deren Größenaufteilung für die beiden Anbausysteme

Versuchsfläche	Bodenpunkte	Konventionell [ha]	Regenerativ [ha]	Kultur
Gemarkung Osthofen				
Am Schild	60-80	3,11	2	2021: Futtererbse 2022: Winterdurum 2023: Sommergerste
Am Steinäcker	40-60	8	2,115	2021: nicht im Versuch 2022: Futtererbse 2023: Winterdurum
Gemarkung Gundersheim				
Plenzer	60-80	1,3	1,3	2021: nicht im Versuch 2022: Futtererbse 2023: Winterweizen
Am Eppelsheimer Weg	40-80	1,88	1,88	2021: nicht im Versuch 2022: Winterweizen 2023: Zuckerrübe
Am Mohrkreuz	60-80	1,14	1,14	2021: nicht im Versuch 2022: Sommergerste 2023: Futtererbse
Gemarkung Esselborn				

Pfarrklauer	80-100	1	1	2021: Sommergerste 2022: Winterraps 2023: Winterweizen
Im Ochsenthal	80-100	1,6	1,6	2021: Futtererbsen 2022: Winterweizen 2023: Zuckerrübe
Gemarkung Wahlheim				
Langgewann	80-100	1,1	1,1	2021: Sommergerste 2022: Futtererbse 2023: Winterweizen
Gemarkung Nieder-Wiesen				
Am Schniftenberg	30-60	3	3,44	2021: Sommergerste 2022: Winterweizen 2023: Winterraps

Zu Beginn des Projektes wurden die Grundnährstoffversorgung auf den neun Versuchsflächen untersucht. Neben der Untersuchung an der LUFA Speyer wurden parallel die Proben auch nach der Methode Kindsey/Albrecht untersucht. Die in Deutschland gängigsten Bodenuntersuchungsmethoden folgen der LUFA-Richtlinien. Durch Zusammenarbeit mit Institutionen von Bund und Ländern, Universitäten und Hochschulen werden die Methoden regelmäßig geprüft und validiert (Lorenz et al. 2017). Durch Düngungssteigerungsversuche auf Feldebene können an verschiedenen Standorten die Gehalte an Nährstoffen im Boden für einen „optimalen“ Ertrag (qualitativ und quantitativ) validiert werden. Prinzipiell wurden auf den Versuchsflächen bei den meisten Nährstoffen eine mehr als ausreichende Versorgung festgestellt (Tabelle 2). Bis auf die Fläche „Am Schniftenberg“ zeigten die anderen Flächen eine Unterversorgung an Mangan auf.

Tabelle 2: pH-Wert, Humus und Nährstoffgehalte der Böden der Versuchsflächen zu Beginn des Versuchsvorhabens 2021 (nach LUFA)

Versuchsfläche	Bodenart	pH-Wert (CaCl ₂)	Humus (%)	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	lösl. Bor	lösl. Kupfer	lösl. Mangan	lösl. Zink	Natrium
				mg / 100 g Boden TS			mg / kg Boden TS				mg / 100 g Boden TS
Am Schild	schluff. Lehm	7,71	2,12	27 (D)	36 (E)	7 (C)	0,64 (C)	1,52 (C)	11,3 (A)	1,55 (C)	2,8
Am Steinsäcker	sandiger Lehm	7,69	2,48	29 (E)	24 (D)	18 (E)	1,16 (C)	2,27 (C)	17,4 (A)	1,5 (C)	4,2
Am Eppelsheimer Weg	schluff. Lehm	7,7	2,28	32 (E)	36 (E)	11 (C)	0,61 (C)	1,47 (C)	19,1 (A)	2,89 (C)	1,9
Plenzer	schluff. Lehm	7,71	2,29	29 (E)	34 (E)	9 (C)	0,65 (C)	1,88 (C)	17,1 (A)	1,64 (C)	6,5
Am Moorkreuz	schluff. Lehm	7,67	2,26	31 (E)	21 (D)	9 (C)	0,58 (C)	1,5 (C)	15,5 (A)	1,29 (C)	5,3
Pfarrklauer	schluff. Lehm	7,67	2,31	26 (D)	33 (E)	9 (C)	0,67 (C)				5
Ochsental	toniger Lehm	7,35	2,21	17 (D)	18 (D)	12 (C)	0,57 (C)				6
Langgewann	toniger Lehm	7,63	2,34	18 (D)	34 (E)	9 (C)	0,57 (C)	1,99 (C)	17,7 (A)	1,22 (C)	3,5
Am Schniftenberg	lehmi-ger Sand	7,17	2,34	28 (E)	21 (D)	6 (B)	0,35 (A)	2,95 (C)	40,5 (C)	4,15 (E)	0,5

Neben den LUFA-Richtlinien gibt es noch alternative Bewertungsmethoden. Die Basis für die Düngeempfehlung liegt in der Kationenaustauschkapazität (KAK). In Deutschland ist die bekannteste dieser Methoden die nach Kinsey oder Albrecht/Kinsey (Weidmann et al., 2020). In den USA wenden etwas mehr als die Hälfte der Bio-Landwirte und einige konventionelle Landwirte eine BCSR - (Basic Cation Saturation Ratio = Kationenaustauschkapazität) Methode zur Analyse ihres Bodens an (Brock et al., 2021; Chaganti et al., 2021). Die KAK-Methoden gehen davon aus, dass an den Austauschern ein „ideales“ Ca:Mg:K -Verhältnis von (65%-85% : 6%-12% : 2%-5%) vorherrschen sollte und auf dieses mit gezielter Düngung von meist Kalk oder Gips hingearbeitet werden soll (Kopittke & Menzies, 2007). Die Idee, dass das Kationenverhältnis eine Rolle spielen könnte geht auf Loew zurück, dieser veröffentlichte 1892 eine erste Arbeit zu diesem Thema und schlug 1901 zusammen mit May eine Ca:Mg - Verhältnis von 5:4 vor. In weiteren Forschungsarbeiten wurde der Ansatz aufgegriffen und 1945 von Bear das Konzept des „idealen“ Bodens mit einem Kationenverhältnis von 65 % Ca^{2+} ; 10 % Mg^{2+} ; 5 % K^{+} (13:2:1) und 20% H^{+} , Na^{+} und NH_4^{+} vorgestellt. Diese Werte wurden 1959 von Graham auf die oben genannte Spanne angepasst und 1975 von Albrecht in den „Albrecht papers“ aufgegriffen (Gaspar & Laboski, 2016; Kopittke & Menzies, 2007). Daraufhin wurden in den USA eine Reihe von Versuchen zu der Thematik durchgeführt, wobei nur selten ein positiver Einfluss entdeckt werden konnte. Es wird vermutet, dass frühere Versuche „positive“ Resultate lieferten aufgrund eines pH-Wert Anstiegs durch die Kalkung (Gaspar & Laboski, 2016). Heute werden die KAK-Methoden hauptsächlich von Beratern an Landwirte empfohlen, zwei der bekanntesten amerikanischen Berater sind Neal Kinsey, ein Schüler Albrechts, und Gary Zimmer (Brock et al., 2021).

Durch sämtliche wissenschaftliche Beiträge ergibt sich eine ablehnende Haltung gegenüber den KAK-Methoden (Chaganti & Culman, 2017; Gaspar & Laboski, 2016; Kopittke & Menzies, 2007). Befragungen von amerikanischen Bodenkundler kommen ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die wissenschaftliche Gemeinschaft keinen Mehrwert in den KAK-Methoden sieht (Brock et al., 2021).

Chaganti & Culman (2017) haben 15 Versuche zusammengefasst, die allesamt keine höheren Erträge, keinen positiven Einfluss auf die Bodenphysik, die Bodengesundheit oder die Qualität der Ernte zeigten. Die meisten dieser Versuche liegen bereits länger zurück und durch die hohe Akzeptanz unter Praktikern ist es nötig dieses Thema wissenschaftlich noch einmal

aufzuarbeiten (Brock et al., 2021). Einen Anfang hierzu haben Chaganti et al. (2021) bereits gemacht. In einem 6 Jahre dauernden Versuch mit verschiedenen Düngeempfehlungen unter anderem nach Kinsey konnten keine Vorteile bei höheren Düngekosten ermittelt werden. Die von Brock et al. (2021) durchgeführten Befragungen unter Anwendern und Beratern der KAK-Methoden hat deutlich gemacht, dass die Anpassung des Kationen-Verhältnisses nur ein Baustein von vielen Maßnahmen ist, die ergriffen wurden. So sind beispielsweise Zwischenfrüchte, Untersaaten und konservierende Bodenbearbeitung zusätzliche Maßnahmen, die umgesetzt wurden. Nichtsdestotrotz wird in dem praktisch umgesetzten Regenerativen Pflanzenbau die Bodenuntersuchung nach Kinsey empfohlen (Näser, 2020). Ziel ist es, diesen Ansatz auf ausgewählten Flächen zu untersuchen. Tabelle 3 zeigt die Gehalte der verschiedenen Nährstoffe. Ein Vergleich zu den LUFA-Ergebnissen ist aufgrund der unterschiedlichen Methoden nicht bzw. bedingt zulässig. Den Ergebnissen nach sind die Böden der Versuchsflächen speziell mit den Mikronähstoffen unterversorgt. Hier zeigten die LUFA-Untersuchungen lediglich ein Mangel bei Mangan. Die Flächen haben der Kinsey-Untersuchung nach keine passende Ca:Mg Verhältnisse (Tabelle 4), was vor allem auf den freien Kalk zurückzuführen ist. Empfohlen wird ein Verhältnis von 69: 11.

Tabelle 3: pH-Wert, Humus und Nährstoffgehalte der Böden der Versuchsflächen zu Beginn des Versuchsvorhabens 2021 (nach Kindsey)

Versuchsfläche	Bodenart	pH-Wert (CaCl ₂)	Humus (%)	P ₂ O ₅ (Ohl- sen)	K	Mg	Ca	Na	S	Bor	Fe	Cu	Mn	Zink	Mo	Kobalt
				kg / ha					p.p.m							
Am Stein- säcker	Ton	7,7	2,40	131	794	828	10696	132	13	1,97	3	0,08	50	3,57	0,78	0,01
Am Schild	Ton	7,1	2,40	46	1057	520	5223	123	7	1,36	1	0,13	34	2,17	0,51	0,01
Am Eppelshei- mer Weg	schluff. Lehm	7,2	2,20	74	995	434	3963	50	96	1,09	6	0,1	53	6,65	0,55	0,01
Plenzer	schluff. Lehm	7,3	2,10	40	1236	467	4576	175	47	1,26	1	0,12	37	3,17	0,59	0,01
Am Moorkreuz	schluff. Lehm	7,4	2,00	48	910	452	5313	175	22	1,13	0	0,07	36	1,3	0,66	0,01
Pfarrklauer	schluff. Lehm	7,7	2,40	64	1175	455	6209	159	18	1,28	1	0,09	38	2,25	0,68	0,01
Im Ochsentel	schluff. Lehm	7,6	2,30	235	884	519	5515	160	28	0,88	4	0,17	58	3,69	0,82	0,01
Langgewann	Ton	7,6	3,20	242	1012	573	10432	201	26	1,11	81	1,06	105	5,21	0,83	0,01
Am Schniften- berg	schluff. Lehm	6,8	2,20	353	559	205	4794	30	12	0,55	614	4,31	147	12,05	0,77	0,38
Empfohlene Konzentration Mikronährstoffe										1,5 - 2,0	200 +	4 - 4,49	51 - 79	8 - 8,99	1 - 2	1 - 2

Tabelle 4: totale Kationenaustauschkapazität und Basensättigung (nach Kinsey) der Versuchsflächen im Versuchsjahr 2021

Versuchsfläche	totale Kationenaustauschkapazität (M.E.)	Basensättigung (%)				
		Calcium	Magnesium	Kalium	Natrium	andere Basen
Am Steinsäcker	29,19	81,73	10,54	3,11	0,88	3,73
Am Schild	15,54	74,97	12,45	7,78	1,53	3,28
Am Eppelsheimer Weg	12,09	73,11	13,33	9,41	0,80	3,35
Plenzer	14,12	72,28	12,29	10,01	2,40	3,02
Am Moorkreuz	15,38	77,05	10,93	6,77	2,21	3,04
Pfarrklauer	17,76	77,98	9,53	7,75	1,74	3,18
Ochsental	16,08	76,50	11,99	6,29	1,93	3,29
Langgewann	27,89	83,43	7,64	4,15	1,40	3,38
Am Schniftenberg	12,64	84,60	6,03	5,06	0,46	3,84
Empfohlene Basensättigung		60	10	2	0,5	
		-	-	-	-	
		70	20	5	3	

Die Daten für die Witterung im Versuchszeitraum stammen von den nahegelegenen Wetterstationen Bechtheim (Felder Gemarkung Osthofen, Abbildung 2), Gundheim (Felder Gemarkung Gundersheim, Abbildung 3), Flomborn (Felder Gemarkung Esselborn und Wahlheim, Abbildung 4) und Wöllstein (Feld Gemarkung Nieder-Wiesen, Abbildung 5). An allen Standorten wurden im ersten Versuchsjahr nach einem trockenen Frühjahr überdurchschnittliche Niederschlagssummen in den Monaten Mai, Juni und Juli gemessen. Trotz hoher Niederschlagssummen im Herbst 2022 unterschritt die Jahresniederschlagssumme in 2022 das Niveau der beiden anderen Jahren, was durch die ausgeprägte Sommertrockenheit erklärt wird. Die Jahresdurchschnittstemperatur lag im letzten Versuchsjahr 2023 zwischen 11,5 °C und 12,1 °C und damit höher als in den beiden Jahren zuvor. Die einzelnen Maßnahmen an den jeweiligen Standorten sind in den Tabellen 5 bis 13 gelistet.

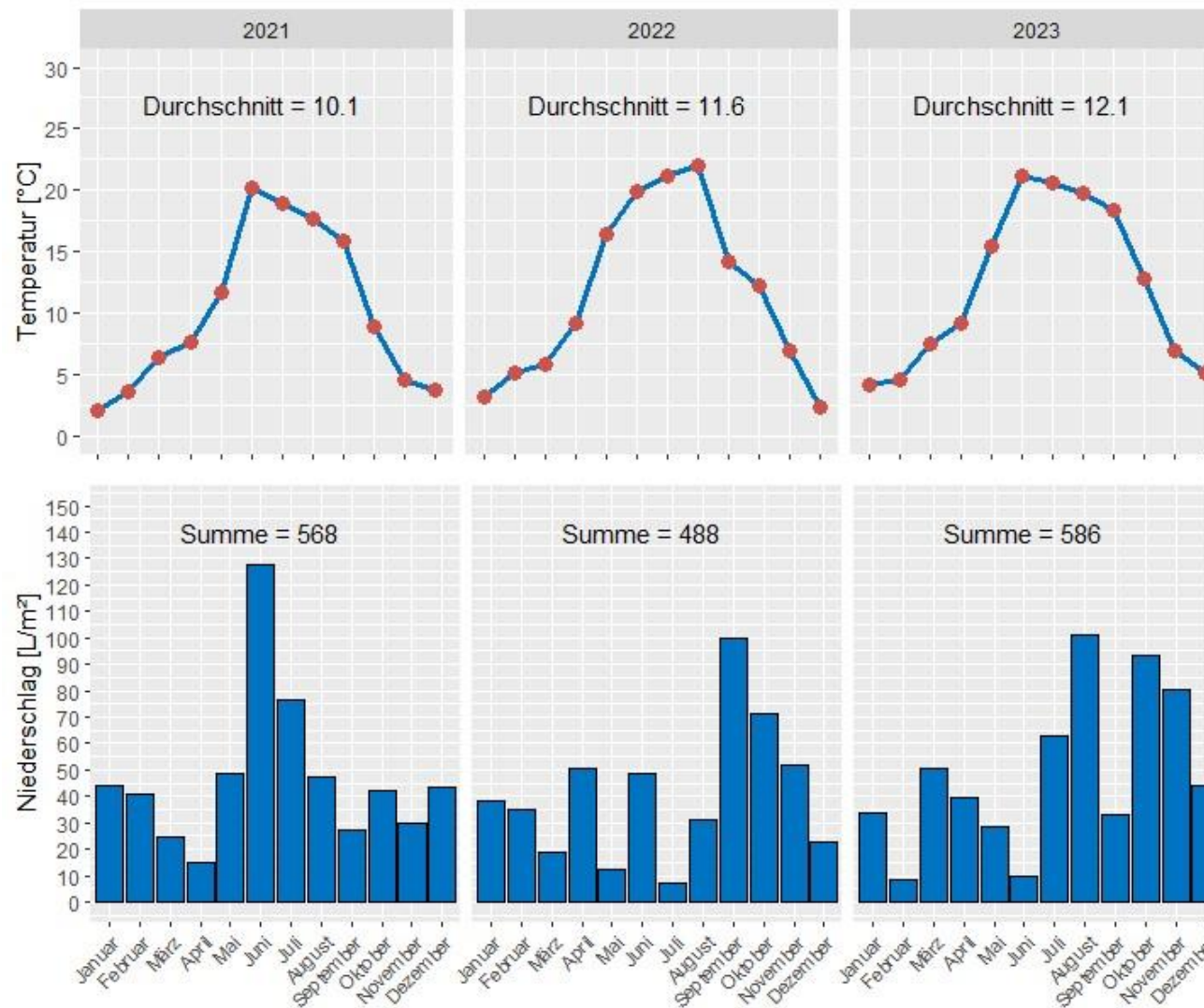


Abbildung 2: Temperatur (°C) und Niederschlag (l/m²) in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023 für den Standort Osthofen (Daten: Wetterstation Bechtheim)

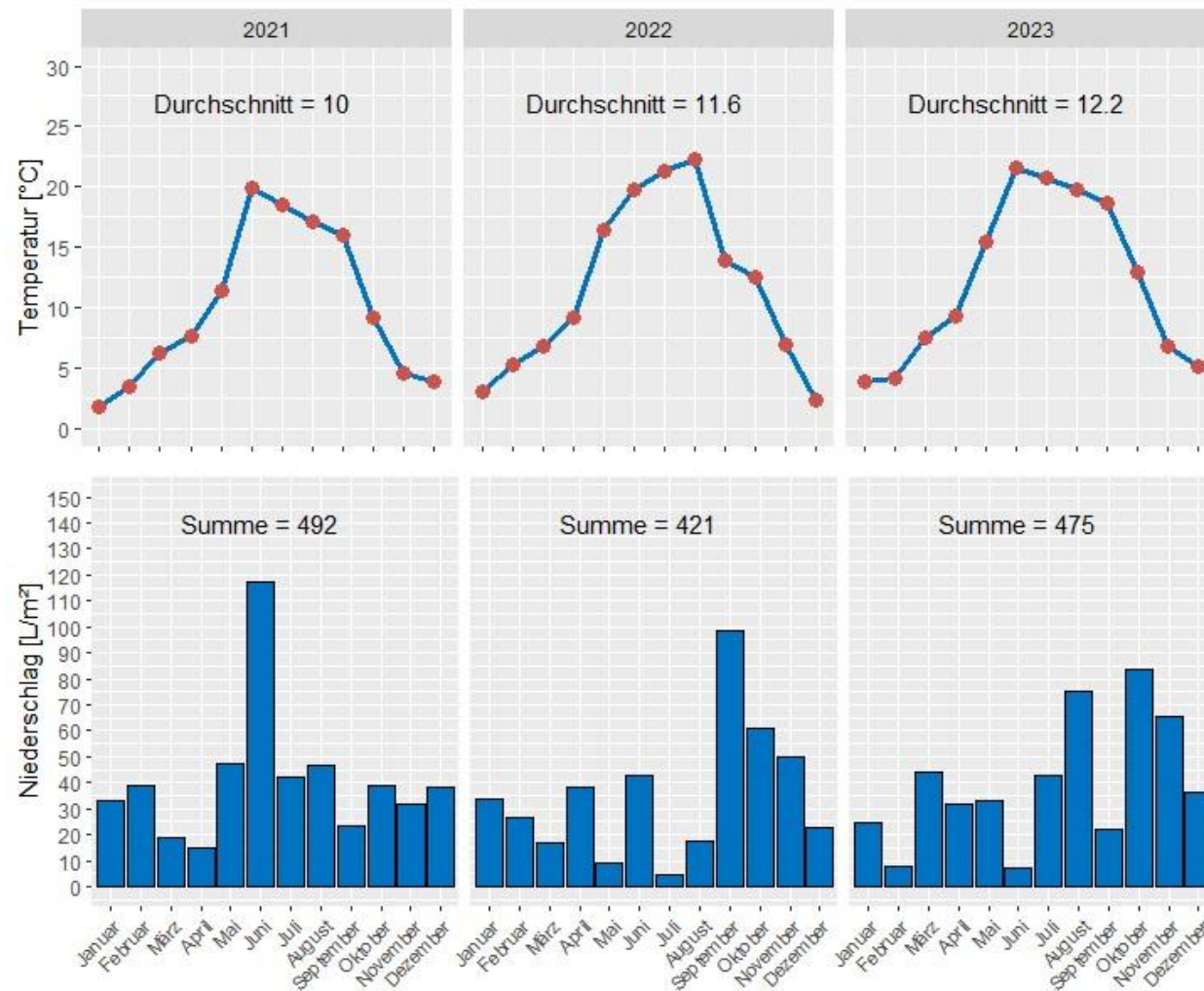


Abbildung 3: Temperatur (°C) und Niederschlag (l/m²) in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023 für den Standort Gundersheim (Daten: Wetterstation Gundheim)

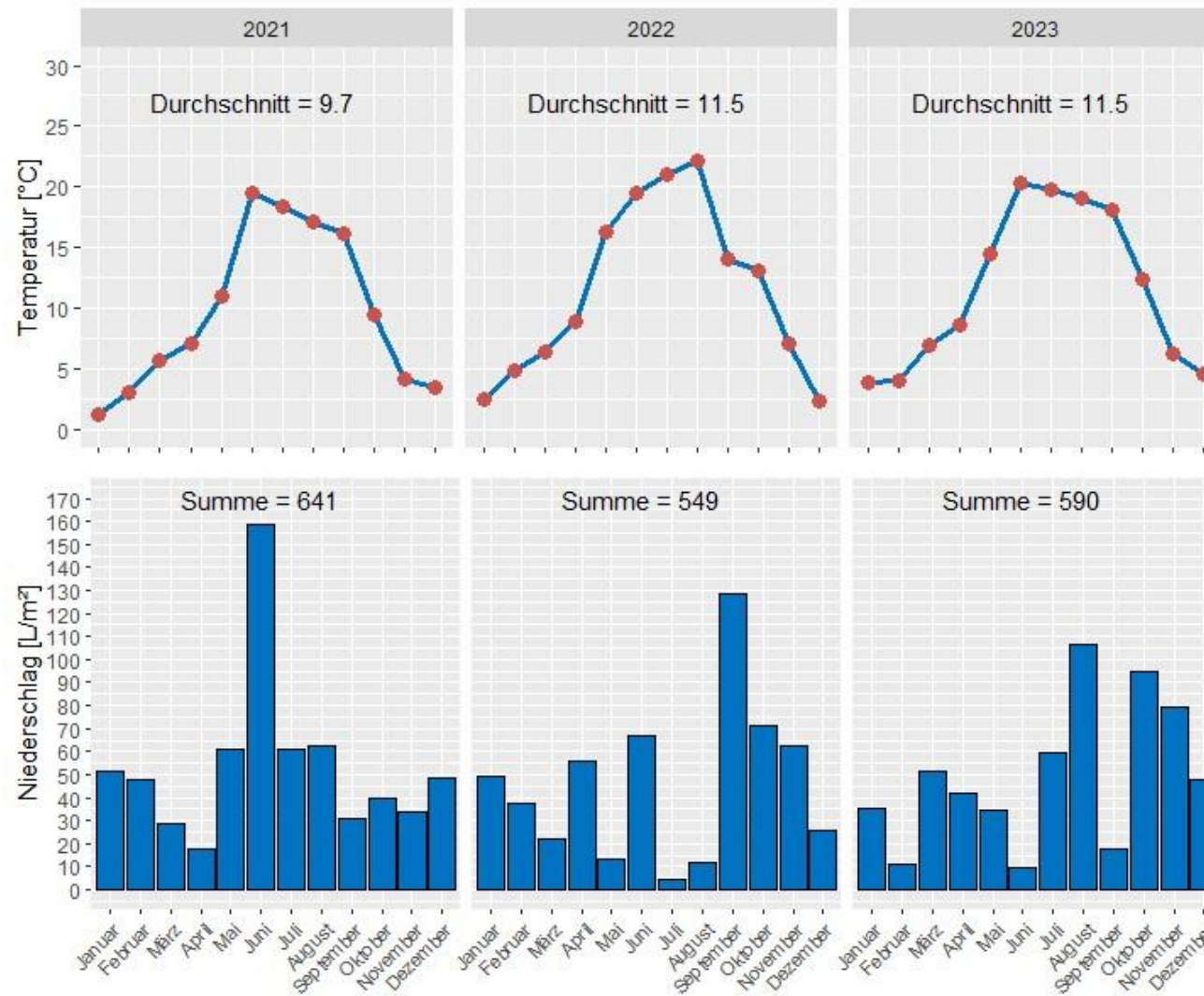


Abbildung 4: Temperatur (°C) und Niederschlag (l/m²) in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023 für die Standorte Esselborn und Wahlheim (Daten: Wetterstation Flomborn)

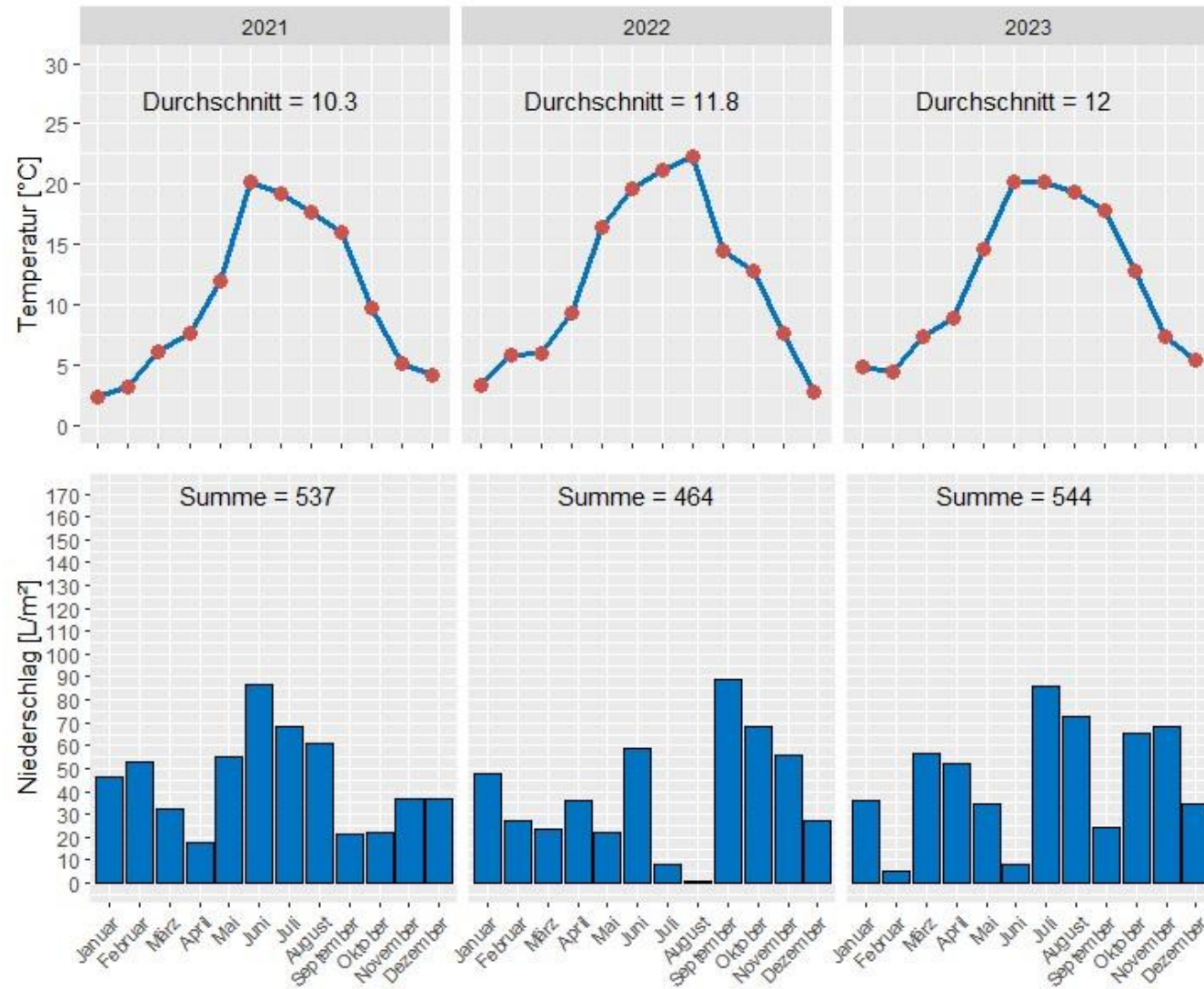


Abbildung 5: Temperatur (°C) und Niederschlag (l/m²) in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023 für den Standort Nieder-Wiesen (Daten: Wetterstation Wöllstein)

Tabelle 5: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Am Schild“ am Standort Osthofen in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023

Am Schild	Konventionell	Regenerativer Pflanzenbau
2020		
Zwischenfrucht	-	27.07.2020 Aussaat Zwischenfruchtmischung Terra Life Kruzifree®
2021		
Vorfrucht	Zuckerrübe	
Aussaat	04.03.2021 Futtererbsenaussaat (100 Körner / m², Sorte: Astronaut) mit Kreiselegge und Drillmaschine	04.03.2021 Futtererbsenaussaat (80 Körner / m², Sorte: Astronoute) mit Novag® Drille
Pflanzenschutz	09.03.2021 4 l/ha Bandur® (600 g/l Aclonifen) 03.06.2021 0,3 kg/ha Pirimor® (500 g/kg Pirimicarb) 14.06.2021 0,075 l/ha Karate® Zeon (100 g/l lambda-Cyhalothrin)	09.03.2021 4 l/ha Bandur® (600 g/l Aclonifen) 03.06.2021 0,3 kg/ha Pirimor® (500 g/kg Pirimicarb) 14.06.2021 0,075 l/ha Karate® Zeon (100 g/l lambda-Cyhalothrin)
Düngung	01.03.2021 2 dt/ha Kieserit	04.03.2021 2,3 dt/ha Kieserit®
Ernte	21.07.2021	21.07.2021
Zwischenfrucht	-	25.07.2021 22 kg/ha Zwischenfruchtmischung
Bodenbearbeitung	16.08.2021 Scheibenegge 17.09.2021 Grubber	-
Aussaat	18.10.2021 Winterdurumaussaat mit Novag® Drille (350 Körner/m², Sorte: Wintergold) mit Kreiselegge und Drille	18.10.2021 Winterdurumaussaat mit Novag® Drille (350 Körner/m², Sorte: Wintergold) mit Novag® Drille Vorheriges Niederwalzen der Zwischenfrucht
2022		
Pflanzenschutz	22.03.2022 220 g/ha Broadway® (68,3 g/kg Pyroxulam; 22,8 g/kg Florasulam; 68,3 g/kg Cloquintocet) 19.04.2022 0,4 l/ha Moddus® (250 g/l Trinexapac) 07.05.2022 1,25 l/ha Input® Classic (160 g/l Prothioconazol; 300 g/l Spiroxamine) 0,5 l/ha Cerone® 660 (660 g/l Ethephon) 22.05.2022	22.03.2022 220 g/ha Broadway® (68,3 g/kg Pyroxulam; 22,8 g/kg Florasulam; 68,3 g/kg Cloquintocet) 19.04.2022 0,4 l/ha Moddus® (250 g/l Trinexapac) 07.05.2022 1,25 l/ha Input® Classic (160 g/l Prothioconazol; 300 g/l Spiroxamine) 0,5 l/ha Cerone® 660 (660 g/l Ethephon) 22.05.2022

	1,0 l/ha Prosaro® (125 g/l Prothioconazol; 125 g/l Tebuconazol)	1,0 l/ha Prosaro® (125 g/l Prothioconazol; 125 g/l Tebuconazol)
Düngung	03.03.2022 1,5 dt/ha Kieserit 25.03.2022 155 kg N/ha Cultan 14.04.2022 50 kg/ha Bittersalz 3 l/ha Borsäure 2 l/ha Lebosol Heptamangan (65 g/l Mangan) 24.04.2022 75 g/l Utrisha™ N	03.03.2022 1,5 dt/ha Kieserit 25.03.2022 155 kg N/ha Cultan 14.04.2022 50 kg/ha Bittersalz 3 l/ha Borsäure 2 l/ha Lebosol Heptamangan (65 g/l Mangan) 24.04.2022 75 g/l Utrisha™ N
Ernte	05.07.2022	05.07.2022
Zwischenfrucht	-	05.07.2022 22 kg/ha TERRALIFE® - RIGOL TR SCHAFFHUTUNG*
Bodenbearbeitung	06.10.2022 1 x Grubber	-
Aussaat	29.10.2022 Aussaat Sommergerste (300 Körner/m², Sorte: Leandra) mit Kreisellegge und Drille	28.10.2022 Aussaat Sommergerste (300 Körner/m², Sorte: Leandra) mit Novag® Drille
Pflanzenschutz		13.11.2022 1,0 l/ha Zypar® (6,3 g/l Halauxifen, 5 g/l Florasulam, 6 g/l Cloquintocet)
2023		
Düngung	22.02.2023 50 kg N/ha (Kalkammonsalpeter) 28.03.2023 39 kg N/ha (Kalkammonsalpeter)	22.02.2023 50 kg N/ha (Kalkammonsalpeter) 28.03.2023 39 kg N/ha (Kalkammonsalpeter)
Pflanzenschutz	28.03.2023 0,2 l/ha Axial® 50 (50 g/l Pinoxaden) 1,0 l/ha Axial® Komplett (45 g/l Pinoxaden, 5 g/l Florasulam, 11,25 g/l Cloquintocet-mexyl) 22.04.2023 0,2 l/ha Moddus® (250 g/l Trinexapac) 06.05.2023 0,8 l/ha Elatus® Era (75 g/l Benzovindiflupyr, 150 g/l Prothioconazol)	28.03.2023 0,2 l/ha Axial® 50 (50 g/l Pinoxaden) 1,0 l/ha Axial® Komplett (45 g/l Pinoxaden, 5 g/l Florasulam, 11,25 g/l Cloquintocet-mexyl) 22.04.2023 0,2 l/ha Moddus® (250 g/l Trinexapac) 06.05.2023 0,8 l/ha Elatus® Era (75 g/l Benzovindiflupyr, 150 g/l Prothioconazol) 15.08.2023 2,5 l/ha Boom® Efekt (360 g/l Glyphosat)
Ernte	27.06.2023	27.06.2023

Tabelle 6: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Am Steinsäcker“ am Standort Osthofen in den Versuchsjahren 2022 und 2023

Am Steinsäcker	Konventionell	Regenerativer Pflanzenbau
Vorfrucht	Winterweizen	
	2022	
Aussaat	10.03.2022 Aussaat Futtererbsen (240 kg/ha, Sorte: Astronaut) mit Kreiselegge und Drille	12.03.2022 Aussaat Futtererbsen (240 kg/ha, Sorte: Astronaut mit Novag® Drille
Düngung	03.03.2022 1,5 dt/ha Kieserit	03.03.2022 1,5 dt/ha Kieserit
Pflanzenschutz	13.03.2022 4,0 l/ha Bandur® (600 g/l Aclonifen) 21.05.2022 140 g/ha Teppeki® (500 g/kg Flonicamid) 02.06.2022 0,075 l/ha Karate Zeon® (100 g/l Lambda-Cyhalothrin)	13.03.2022 4,0 l/ha Bandur® (600 g/l Aclonifen) 21.05.2022 140 g/ha Teppeki® (500 g/kg Flonicamid) 02.06.2022 0,075 l/ha Karate Zeon® (100 g/l Lambda-Cyhalothrin)
Ernte	29.06.2022	29.06.2022
Einsaat Zwischenfrucht		30.06.2022 22 kg/ha TERRALIFE® - RIGOL TR SCHAFFHUTUNG*
Bodenbearbeitung	06.10.2022 1 x Grubber	
Aussaat	09.10.2022 Aussaat Winterdurum (340 Körner /m², Sorte: Wintergold) mit Kreiselegge und Drille	12.10.2022 Aussaat Winterdurum (340 Körner /m², Sorte: Wintergold) Novag®-Drille
Pflanzenschutz	11.09.2022 2,0 l/ha HAKSAR® 500 SL (500 g/l MCPA) 0,375 l/ha Kantor® (Netzmittel) 20.10.2022 4,0 l/ha Malibu® (60 g/l Flufenacet; 300 g/l Pendimethalin)	02.11.2022 1,2 l/ha Axial® (50 g/l Pinoxaden) 1,0 l/ha Zypar® (6,3 g/l Halauxifen, 5 g/l Florasulam, 6 g/l Cloquintocet)
	2023	
Düngung	20.04.2023 155 kg N/ha im CULTAN-Verfahren (RMD Sulfat 15/5)	20.04.2023 155 kg N/ha im CULTAN-Verfahren (RMD Sulfat 15/5)
Pflanzenschutz	22.04.2023 0,6 l/ha Tebucur® 250 (250 g/l Tebuconazol) 0,2 l/ha Moddus® (250 g/l Trinexapac) 07.05.2023 1,5 l/ha HAKSAR® 500 (500 g/l MCPA) 31.05.2023	30.03.2023 220 g/ha Broadway® (68,3 g/kg Pyroxsulam + 22,8 g/kg Florasulam + 68,3 g/kg Cloquintocet-Mexyl) 22.04.2023 0,6 l/ha Tebucur® 250 (250 g/l Tebuconazol) 0,2 l/ha Moddus® (250 g/l Trinexapac) 07.05.2023

	1,0 l/ha Elatus® Era (75 g/l Benzo- vindiflupyr, 150 g/l Prothioconazol) 0,075 l/ha AGRO® ZEON P1-102 (100 g/l lambda-Cyhalothrin) 19.08.2023 1,5 l/ha Trepach® (50 g/l Quizalo- fop-P)	1,5 l/ha HAKSAR® 500 (500 g/l MCPA) 31.05.2023 1,0 l/ha Elatus® Era (75 g/l Benzo- vindiflupyr, 150 g/l Prothioconazol) 0,075 l/ha AGRO® ZEON P1-102 (100 g/l lambda-Cyhalothrin) 19.08.2023 1,5 l/ha Trepach® (50 g/l Quizalo- fop-P)
Ernte	03.07.2023	03.07.2023

Tabelle 7: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Am Eppelsheimer Weg“ am Standort Gundersheim in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023

Am Eppelsheimer Weg	Konventionell	Regenerativer Pflanzenbau
	2021	
Vorfrucht	Sommergerste (Ernte 16.07.2021)	
Zwischenfrucht	-	20.07.2021 22 kg/ha Zwischenfruchtmischung
Bodenbearbeitung	03.08.2021 Kurzscheibenegge 25.8.2021 Grubber 15 cm 20.9.2021 Grubber 25 cm 04.10.2021 Kurzscheibenegge	-
Aussaat	17.10.2021 Winterweizenaussaat mit Kreise- legge und Drille (300 Körner/m², Sorte: Chevignon)	17.10.2021 Winterweizenaussaat No- vag®Drille (290 Körner/m², Sorte: Chevignon) Vorheriges Niederwalzen der Zwi- schenfrucht 01.10.2021
Pflanzenschutz	23.10.2021 0,7 l/ha Mateno® Duo (500 g/l Aclo- nifen + 100 g/l Diflufenican) und 0,5 l/ha Cadou® (508,8 g/l Flufenacet)	07.08.2021 0,75 Agil-S® (100 g/l Propaquizafop)
	2022	
Düngung	04.03.2022 1,4 dt/ha schwefelsaurer Ammo- niak (30 kg N/ha) + 1,4 dt/ha Kal- kammonsalpeter (38 kg N/ha) 20.04.2022 3 dt/ha Kalkammonsalpeter (81 kg N/ha) 12.05.2022 1 dt/ha Kalkammonsalpeter (27 kg N/ha)	04.03.2022 1,4 dt/ha schwefelsaurer Ammo- niak (30 kg N/ha) + 1,4 dt/ha Kal- kammonsalpeter (38 kg N/ha) 20.04.2022 3 dt/ha Kalkammonsalpeter (81 kg N/ha) 12.05.2022 1 dt/ha Kalkammonsalpeter (27 kg N/ha)

		14.07.2022 1 dt/ha schwefelsaurer Ammoniak (21 kg N/ha)
Pflanzenschutz	16.05.2022 0,8 l/ha Elatus® Era (75 g/l Benzovindiflupyr ,150 g/l Prothioconazol) + 1 l/ha U46® M (500 g/l MCPA)	24.03.2022 1 l/ha Omnera® LQM (5 g/l Metsulfuron-methyl, 30 g/l Thifensulfuron-methyl, 135 g/l Fluroxypyr) 0,5 l/ha CCC (720 g/l Chlormequatchlorid) 16.05.2022 0,8 l/ha Elatus® Era (75 g/l Benzovindiflupyr ,150 g/l Prothioconazol) + 1 l/ha U46® M (500 g/l MCPA)
Ernte	06.07.2022	08.07.2022
Einsaat Zwischenfrucht		14.07.2022 22 kg/ha TERRALIFE® - RIGOL TR SCHAFFHUTUNG*
Bodenbearbeitung / Zwischenfrucht Bekämpfung	21.07.2022 Grubber 15 cm 04.10.2022 Grubber 15 cm 04.11.2022 Grubber 25 cm	17.12.2022 Walzen der Zwischenfrucht bei Frost
	2023	
Düngung	28.02.2023 2,5 dt/ha Kornkali 01.03.2023 3,7 dt/ha Kalkammonsalpeter (100 kg N/ha)	14.07.2022 1 dt/ha schwefelsaurer Ammoniak (21 kg N/ha) 28.02.2023 2,5 dt/ha Kornkali 01.03.2023 3,7 dt/ha Kalkammonsalpeter (100 kg N/ha)
Aussaat	07.03.2023	18.03.2023
Pflanzenschutz	15.04.2023 1,75 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 1,5 l/ha Devoid® (700 g/l Metamitron) + 0,6 l/ha Oblix® (500 g/l Ethofumesat) 19.04.2023 1,5 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 1,5 l/ha Devoid® (700 g/l Metamitron) + 0,6 l/ha Oblix® (500 g/l Ethofumesat) + 0,15 l/ha Kantor® (Additiv) 11.05.2023 1,5 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 1,5 l/ha Devoid® (700 g/l Metamitron) + 0,6 l/ha Oblix® (500 g/l Ethofumesat) + 0,15 l/ha Kantor® (Additiv) 17.05.2023 0,5 l/ha Select® 240 (240 g/l Clethodim) + 1,0 l/ha Radiamix® (Additiv)	18.03.2023 1 l/ha Select® 240 (240 g/l Clethodim) + 1,0 l/ha Radiamix® (Additiv) 20.03.2023 2 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 2 l/ha Devoid® (700 g/l Metamitron) 15.04.2023 1,75 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 1,5 l/ha Devoid® (700 g/l Metamitron) + 0,6 l/ha Oblix® (500 g/l Ethofumesat) + 0,15 l/ha Kantor® (Additiv) 19.04.2023 1,5 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 1,5 l/ha Devoid® (700 g/l Metamitron) + 0,6 l/ha Oblix® (500 g/l Ethofumesat) + 0,15 l/ha Kantor® (Additiv) 11.05.2023 1,5 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 1,5 l/ha

	01.06.2023 300 g/ha Pirimor® (500 g/kg Pirimicarb) 09.08.2023 1,2 l/ha Propulse® (125 g/l Fluopyram, 125 g/l Prothioconazol) + 1,25 kg/ha Funguran® Progress (537 g/kg Kupferhydroxid) 04.04.2023 1,0 l/ha Domark® (100 g/l Tetraconazol) + 1,8 kg/ha Coprantol® Duo (235 g/kg Kupferchlorid + 215 g/kg Kupferhydroxid)	Devoid® (700 g/l Metamitron) + 0,6 l/ha Oblix® (500 g/l Ethofumesat) + 0,15 l/ha Kantor® (Additiv) 17.05.2023 1,5 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 1,5 l/ha Devoid® (700 g/l Metamitron) + 0,6 l/ha Oblix® (500 g/l Ethofumesat) + 0,15 l/ha Kantor® (Additiv) 19.05.2023 1,2 l/ha Bariloche® (100 g/l Clopyralid) + 0,5 l/ha Agraröl 01.06.2023 300 g/ha Pirimor® (500 g/kg Pirimicarb) 09.08.2023 1,2 l/ha Propulse® (125 g/l Fluopyram, 125 g/l Prothioconazol) + 1,25 kg/ha Funguran® Progress (537 g/kg Kupferhydroxid) 04.04.2023 1,0 l/ha Domark® (100 g/l Tetraconazol) + 1,8 kg/ha Coprantol® Duo (235 g/kg Kupferchlorid + 215 g/kg Kupferhydroxid)
Ernte	23.11.2023	23.11.2023

Tabelle 8: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Plenzer“ am Standort Gundersheim in den Versuchsjahren 2022 und 2023

Plenzer	Konventionell	Regenerativer Pflanzenbau
	2022	
Düngung	05.03.2022 1 dt/ha Kieserit	05.03.2022 1 dt/ha Kieserit 16.07.2022 1 dt/ha schwefelsaurer Ammoniak (21 kg N/ha)
Aussaat	09.03.2022 Futtererbsennaussaat (80 Körner / m², Sorte: Astronaut) mit Kreissegge und Drille	23.03.2022 Futtererbsennaussaat (80 Körner / m², Sorte: Astronaut) mit Novag® Drille
Pflanzenschutz	18.03.2022 4 l/ha Bandur® (600 g/l Aclonifen) 21.04.2022 1,25 l/ha Panarex® (40 g/l Quizalofop-P-tefuryl) 25.05.2022 140 g/ha Teppeki® (500 g/kg Flonicamid)	21.04.2022 1,25 l/ha Panarex® (40 g/l Quizalofop-P-tefuryl) 07.05.2022 1,0 l/ha Clearfield®-Clentiga® (250 g/l Quinmerac; 12,5 g/l Imazamox) 25.05.2022 140 g/ha Teppeki® (500 g/kg Flonicamid) 02.08.2022

		5 l/ha Kyleo® (240 G/L GLYPOHSAT; 160 g/ha 2,4-D)
Ernte	03.07.2022	15.07.2022 (nur Teilflächen, da Herbizidschädigung der Erbsen durch Reste von Triflusufluron in der Spritze bei Clentiga®-Applikation)
Einsaat Zwischenfrucht		16.07.2022 22 kg/ha TERRALIFE® - RIGOL TR SCHAFFHUTUNG*
Bodenbearbeitung / Zwischenfrucht Be- kämpfung	23.07.2022 Scheibenegge 10.08.2022 Scheibenegge 05.09.2022 Grubber 15 cm 04.10.2022 Grubber 20 cm	19.07.2022 Mulchen von Distelplätzen
Aussaat	12.10.22 Winterweizen (280 Körner / m², Sorte: Chevignon) mit Kreiselegge und Drille	10.10.22 Winterweizen (280 Körner / m², Sorte: Chevignon) mit Novag® Drille
Pflanzenschutz Herbst	20.10.2022 0,35 l/ha Mateno® Duo (500 g/l Aclonifen + 100 g/l Diflufenican) und 0,5 l/ha Cadou® (508,8 g/l Flufenacet)	20.10.2022 0,35 l/ha Mateno® Duo (500 g/l Aclonifen + 100 g/l Diflufenican) und 0,5 l/ha Cadou® (508,8 g/l Flufenacet) 03.11.2022 3 l/ha Lentipur® (700 g/l Chlortoluron); 0,2 l/ha Primus® Perfekt (25 g/l Florasulam; 300 g/l Clopyralid)
	2023	
Pflanzenschutz	22.04.2023 0,2 l/ha Moxa® (250 g/l Trinexapac) + 0,8 l/ha Aurelia® (250 g/l Prothioconazol) 04.05.2023 1,0 l/ha Elatus® Era (75 g/l Benzo-vindiflupyr + 150 g/l Prothioconazol) + 1,0 l/ha Folpan® (500 g/l Folpet) + 0,025 l/ha Saracen® (50 g/l Florasulam) + 0,075 l/ha Karate Zeon® (100 g/l Lambda-Cyhalothrin)	22.04.2023 0,2 l/ha Moxa® (250 g/l Trinexapac) + 0,8 l/ha Aurelia® (250 g/l Prothioconazol) 04.05.2023 1,0 l/ha Elatus® Era (75 g/l Benzo-vindiflupyr + 150 g/l Prothioconazol) + 1,0 l/ha Folpan® (500 g/l Folpet) + 0,025 l/ha Saracen® (50 g/l Florasulam) + 0,075 l/ha Karate Zeon® (100 g/l Lambda-Cyhalothrin)
Düngung	23.03.2023 160 kg N/ha in Cultan-Verfahren	23.03.2023 160 kg N/ha in Cultan-Verfahren
Ernte	15.07.2023	15.07.2023

Tabelle 9: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Am Moorkreuz“ am Standort Gundersheim in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023

Am Moorkreuz	Konventionell	Regenerativer Pflanzenbau
--------------	---------------	---------------------------

	2022	
Aussaat	15.02.2022 Sommergerstenaussaat (270 Körner / m ² , Sorte: Leandra) mit Kreisellegge und Drille	21.03.2022 Sommergerstenaussaat (280 Körner / m ² , Sorte: Leandra) mit Novag® Drille
Düngung	28.02.2022 2,7 dt/ha Kalkammonsalpeter (73 kg N/ha) 20.04.2022 0,5 dt/ha Kalkammonsalpeter (14 kg N/ha)	28.02.2022 2,7 dt/ha Kalkammonsalpeter (73 kg N/ha) 20.04.2022 0,5 dt/ha Kalkammonsalpeter (14 kg N/ha) 15.07.2022 1 dt/ha schwefelsaurer Ammoniak (21 kg N/ha)
Pflanzenschutz	23.04.2022 0,15 l/ha Husar® Plus (50 g/l Iodosulfuron; 7,5 g/l Mesosulfuron) + 0,5 l/ha U46® M (500 g/l MCPA)	23.04.2022 0,15 l/ha Husar® Plus (50 g/l Iodosulfuron; 7,5 g/l Mesosulfuron) + 0,5 l/ha U46® M (500 g/l MCPA)
Ernte	13.07.2022	13.07.2022
Einsaat Zwischenfrucht		15.07.2022 22 kg/ha TERRALIFE® - RIGOL TR SCHAFFHUTUNG*
Bodenbearbeitung / Zwischenfrucht Bekämpfung	30.07.2022 Grubber 15 cm 16.09.2022 Grubber 15 cm 04.11.2022 Grubber 25 cm	17.12.2022 Walzen der Zwischenfrucht bei Frost
Aussaat	22.02.2023 Aussaat Futtererbsen (80 Körner/m ² , Sorte Astronaut) mit Kreisellegge und Drille	27.02.2023 Aussaat Futtererbsen (90 Körner/m ² , Sorte Astronaut) mit Novag® Drille
Pflanzenschutz	06.03.2023 4 l/ha Bandur® (600 g/l Aclonifen) 27.05.2023 0,075 l/ha Karate® Zeon (100 g/l Lambda-Cyhalothrin)	06.03.2023 4 l/ha Bandur® (600 g/l Aclonifen) 11.03.2023 1,0 l/ha Select® 240 (240 g/l Clethodim) + 1,0 l/ha Radiamix® 22.05.2023 1,25 l/ha Panarex® (40 g/l Quizalofop-P-tefuryl) 27.05.2023 0,075 l/ha Karate® Zeon (100 g/l Lambda-Cyhalothrin)
Ernte	04.07.2023	04.07.2023

Tabelle 10: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Pfarrklauer“ am Standort Esselborn in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023

Pfarrklauer	Konventionell	Regenerativer Pflanzenbau
-------------	---------------	---------------------------

	2021	
Bodenbearbeitung	November 2020 Grubber 15 cm	-
Düngung	25.02.2021 60 kg N/ha in Form von Ammonsulfatsalpeter	01.03.2021 50 kg N /ha in Form von Ammonsulfatsalpeter (über Novag®-Drille)
Aussaat	27.02.2021 Sommergerstenaussaat (270 Körner / m ² , Sorte: Leandra) mit Kreiselegge und Drillmaschine	01.03.2021 Sommergerstenaussaat (255 Körner / m ² , Sorte: Leandra) mit Novag®-Drille
Pflanzenschutz	17.04.2021 70 g/ha Biathlon® (714 g/kg Tritosulfuron + 54 g/kg Florasulam)	17.04.2021 70 g/ha Biathlon® (714 g/kg Tritosulfuron + 54 g/kg Florasulam)
Ernte	23.07.2021	23.07.2021
Zwischenfrucht	-	-
Bodenbearbeitung	Juli 2021 Grubber 5 cm August 2021 Grubber 5 cm August 2021 Grubber 25 cm	-
Düngung		01.09.2021 26 kg N / ha in Form von Ammonsulfatsalpeter (über Novag®-Drille)
Aussaat	01.09.2021 Winterrapsaussaat mit Kreiselegge und Drille (45 Körner/m ² , Sorte: DK Excited)	01.09.2021 Winterrapsaussaat mit Novag®- Drille (45 Körner/m ² , Sorte: DK Excited) Beisaat: 3 kg/ha Weißklee (<i>Trifolium repens</i>)
Pflanzenschutz	23.10.2021 0,25 l/ha Belkar® (48 g/l Picloram + 10 g/l Halauxifen-methyl) + 0,25 l/ha Synero® (30 g/l Aminopyralid) + 1,2 l/ha Panarex® (40 g/l Quizalofop) 10.10.2021 0,35 l/ha Toprex® (125 g/l Paclobutrazol + 250 g/l Difenconazol), 0,5l/ha Bor, 0,5l Nutriphite (5% N, 15% K ₂ O) 27.10.2021 0,25 l/ha Belkar® (48 g/l Picloram + 10 g/l Halauxifen-methyl) + 0,075 l/ha Spaviero® (100 g/l lambda-Cyhalothrin) + 0,3 l/ha Toprex® (125 g/l Paclobutrazol + 250 g/l Difenconazol) 25.11.2021 1,5 l/ha Kerb® Flo (400 g/l Propyzamid)	10.10.2021 0,35 l/ha Toprex® (125 g/l Paclobutrazol + 250 g/l Difenconazol), 0,5l/ha Bor, 0,5l Nutriphite (5% N, 15% K ₂ O) 27.10.2021 0,075 l/ha Spaviero® (100 g/l lambda-Cyhalothrin) + 0,4 l/ha Toprex® (125 g/l Paclobutrazol + 250 g/l Difenconazol)
	2022	
Düngung	September 21 1,1 dt/ha Kalkammonsalpeter (30 kg N/ha)	01.09.2021 1 dt/ha schwefelsaurer Ammoniak (21 kg N/ha)

	März 2022 Cultan-Düngung (120 kg N/ha) April 2022 1,3 dt/ha Kalkammonsalpeter (35 kg N/ha)	März 2022 Cultan-Düngung (120 kg N/ha) April 2022 1,3 dt/ha Kalkammonsalpeter (35 kg N/ha)
Pflanzenschutz	25.03.2022 0,075 l/ha Spaviero® (100 g/l lambda-Cyhalothrin); 0,5 l/ha Nutriphite (5% N, 15% K ₂ O) 27.04.2022 1,0 l/ha Propulse (125 g/l Fluopyram; 125 g/l Prothioconazol)	25.03.2022 0,075 l/ha Spaviero® (100 g/l lambda-Cyhalothrin); 0,5 l/ha Nutriphite (5% N, 15% K ₂ O) 27.04.2022 1,0 l/ha Propulse (125 g/l Fluopyram; 125 g/l Prothioconazol)
Ernte	22.07.2022	22.07.2022
Bodenbearbeitung	August 2022 Messerwalze September 2022 2x Grubber (flach und tief)	August 2022 Mulchen
Aussaat	12.10.2022 Winterweizenaussaat (270 Körner / m ² , Sorte: Chevignon) mit Kreiselge und Drille	09.10.2022 Winterweizenaussaat (270 Körner / m ² , Sorte: Chevignon) mit Novag® Drille
	2023	
Pflanzenschutz	28.03.2023 0,025 kg/ha Saracen® Max (600 g/kg Tribenuron, 200 g/kg Florasulam) 22.04.2023 0,2 l/ha Moddus® (250 g/l Trinexapac); 0,4 l/ha Bor, 6,5 kg/ha Bittersalz; 0,35 l/ha Nutriphite® (5% N, 15% K ₂ O) 15.05.2023 1,4 l/ha Ascra® XPro (130 g/l Prothioconazol, 65 g/l Bixafen, 65 g/l Fluopyram)	28.03.2023 1,8 l/ha Avoxa® (33,3 g/l Pinoxaden, 8,3 g/l Pyroxsulam); 0,1 l/ha Saracen® (50 g/l Florasulam) 22.04.2023 ,2 l/ha Moddus® (250 g/l Trinexapac); 0,4 l/ha Bor, 6,5 kg/ha Bittersalz; 0,35 l/ha Nutriphite® (5% N, 15% K ₂ O) 15.05.2023 1,4 l/ha Ascra® XPro (130 g/l Prothioconazol, 65 g/l Bixafen, 65 g/l Fluopyram)
Ernte	18.07.2023	18.07.2023

Tabelle 11: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Im Ochsenthal“ am Standort Esselborn in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023

Im Ochsenthal	Konventionell	Regenerativer Pflanzenbau
2020		
Zwischenfrucht	-	Ende Juli Aussaat Zwischenfruchtmischung (Samenanteile: 40% Öllein, 15% Ramtillkraut, 20% Alexandriernerklee, 25% Inkarnatklees) mit Novag® Drille
Bodenbearbeitung	September 2x Grubber 5cm Oktober 1x Grubber 25cm Oktober 1x Grubber 5cm	-
2021		
Bodenbearbeitung	Februar Großfederzinkenegge	-
Aussaat	03.03.2021 Futtererbsennaussaat (70 Körner / m², Sorte: Astronaut) mit Kreiselegge und Drillmaschine	30.03.2021 Futtererbsennaussaat (70 Körner / m², Sorte: Astronaut) mit Novag® Drille
Pflanzenschutz	09.03.2021 4 l/ha Bandur® (600 g/l Acclonifen) 02.06.2021 0,3 kg/ha Pirimor® (500 g/kg Pirimicarb) 14.06.2021 0,075 l/ha Karate® Zeon (100 g/l lambda-Cyhalothrin) 23.06.2021 0,075 l/ha Karate® Zeon (100 g/l lambda-Cyhalothrin)	22.02.2021 5 l/ha Kyleo® (240 g/l Glyphosat + 160 g/l 2,4-D) 03.04.2021 4 l/ha Bandur® (600 g/l Acclonifen) 02.06.2021 0,3 kg/ha Pirimor® (500 g/kg Pirimicarb) 14.06.2021 0,075 l/ha Karate® Zeon (100 g/l lambda-Cyhalothrin) 23.06.2021 0,075 l/ha Karate® Zeon (100 g/l lambda-Cyhalothrin)
Düngung	25.03.2021 1 dt/ha Kieserit	25.03.2021 1 dt/ha Kieserit
Ernte	21.07.2021	21.07.2021
Zwischenfrucht	-	24.07.2021 22 kg/ha Zwischenfruchtmischung
Bodenbearbeitung	August 1x Grubber 5cm September 1x Grubber 15cm	-
Düngung		01.09.2021 26 kg N / ha in Form von Ammonsulfatsalpeter (über Novag®-Drille)
Aussaat	15.10.2021	06.10.2021

	Winterweizenaussaat mit Kreiselegge und Drille (270 Körner/m ² , Sorte: Cheignon)	Winterweizenaussaat mit Novag® Drille (255 Körner/m ² , Sorte: Cheignon) Vorheriges Niederwalzen der Zwischenfrucht
Pflanzenschutz	23.10.2021 0,6 l/ha Herold® SC (400 g/l Flufenacet + 200 g/l Diflufenican)	-
2022		
Düngung	März 2022 Cultan-Verfahren (165 kg N/ha)	März 2022 Cultan-Verfahren (165 kg N/ha)
Pflanzenschutz	19.04.2022 0,3 l/ha Moddus® (250 g/l Trinexapac); 5 kg/ha Bittersalz;; 0,3 l/ha Bolero® (9,5 % Bor); 0,35 l/ha Nutriphite® (5% N, 15% K ₂ O) 27.05.2022 0,8 l/ha Folicur® (250 g/l Tebuconazol); 20 l/ha Stradivari® (16,5 % Methylenharnstoff und 11,5 % Harnstoff)	07.04.2022 1,8 l/ha Avoxa® (33,3 g/l Pinoxaden; 8,3 g/l Pyroxulam); 0,1 l/ha Troller® (50 g/l Florasulam) 19.04.2022 0,3 l/ha Moddus® (250 g/l Trinexapac); 5 kg/ha Bittersalz;; 0,3 l/ha Bolero® (9,5 % Bor); 0,35 l/ha Nutriphite® (5% N, 15% K ₂ O) 27.05.2022 0,8 l/ha Folicur® (250 g/l Tebuconazol); 20 l/ha Stradivari® (16,5 % Methylenharnstoff und 11,5 % Harnstoff)
Ernte	13.07.2022	13.07.2022
Zwischenfrucht	-	15.07.2022 22 kg/ha TERRALIFE® - RIGOL TR SCHAFFHUTUNG*
Bodenbearbeitung	September 2022 Grubber 5 cm Oktober 2022 Grubber 20 cm	-
2023		
Aussaat	08.04.2023 Zuckerrübenaussaat mit Einzelkornsämaschine Monosem® (10 pillierte Samen/ m ²)	20.04.2023 Zuckerrübenaussaat mit Väderstad® Tempo (10 pillierte Samen / m ²)
Düngung	Januar 2023 50 kg/ha Wigor S+B (77 % elementarer Schwefel und 2 % Bor)	Januar 2023 50 kg/ha Wigor S+B (77 % elementarer Schwefel und 2 % Bor)
Pflanzenschutz	10.04.2023 2,5 l/ha Glyphosat-Produkt (360 g/l Glyphosat) + 1,5 l/ha Megafol® (Biostimulant) 27.04.2023 1,5 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 0,5 l/ha Oblix® (500 g/l Ethofumesat) + 1,5 l/ha Metafol® (Biostimulant)	23.02.2023 2,0 l/ha Glyphosat-Produkt (360 g/l Glyphosat) 27.04.2023 1,5 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 0,5 l/ha Oblix® (500 g/l Ethofumesat) + 1,5 l/ha Metafol® (Biostimulant) 05.05.2023

	05.05.2023 1,7 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 0,6 l/ha Oblix® (500 g/l Ethofumesat) + 2 l/ha Metafol® (Biostimulant) Vor Reiehnsschluss Hackmaschine 30.05.2023 0,25 kg/ha Mospilan® (200 g/kg Acetamiprid) 09.08.2023 1,2 l/ha Propulse® (125 g/l Fluopyram, 125 g/l Prothioconazol) 06.09.2023 1,0 l/ha Domark® (100 g/l Tetraconazol)	1,7 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 0,6 l/ha Oblix® (500 g/l Ethofumesat) + 2 l/ha Metafol® (Biostimulant) 22.05.2023 1,7 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 0,6 l/ha Oblix® (500 g/l Ethofumesat) + 2 l/ha Metafol® (Biostimulant) 27.05.2023 2 l/ha Betasana® (160 g/l Phenmedipham) + 0,6 l/ha Vivendi® (100 g/l Clopyralid) 30.05.2023 0,25 kg/ha Mospilan® (200 g/kg Acetamiprid) 09.08.2023 1,2 l/ha Propulse® (125 g/l Fluopyram, 125 g/l Prothioconazol) 06.09.2023 1,0 l/ha Domark® (100 g/l Tetraconazol)
Ernte	30.11.2023	30.11.2023

Tabelle 12: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Langgewann“ am Standort Wahlheim in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023

Langgewann	Konventionell	Regenerativer Pflanzenbau
	2021	
Bodenbearbeitung	November 2020 Grubber 15 cm	-
Düngung	25.02.2021 60 kg N/ha in Form von Ammonsulfatsalpeter	01.03.2021 50 kg N /ha in Form von Ammonsulfatsalpeter (über Novag®-Drille)
Aussaat	27.02.2021 Sommergerstenaussaat (270 Körner / m², Sorte: Leandra) mit Kreiselegge und Drillmaschine	01.03.2021 Sommergerstenaussaat (255 Körner / m², Sorte: Leandra) mit Novag®-Drille
Pflanzenschutz	17.04.2021 70 g/ha Biathlon® (714 g/kg Tritosulfuron + 54 g/kg Florasulam) + 0,9 l/ha Axial® 50 (50 g/l Pinoxaden)	17.04.2021 70 g/ha Biathlon® (714 g/kg Tritosulfuron + 54 g/kg Florasulam) + 0,9 l/ha Axial® 50 (50 g/l Pinoxaden)
Ernte	23.07.2021	23.07.2021
Zwischenfrucht	-	24.07.2021 22 kg/ha Zwischenfruchtmischung mit Noavg® Drille
Düngung	-	24.07.2021 26 kg N /ha in Form von Ammonsulfatsalpeter mit Novag® Drille
Pflanzenschutz	-	10.08.2021

		1,0 l/ha Targa® Super (46,3 g/l Quizalofop)
Bodenbearbeitung	August 2021 Grubber 5 cm September 2021 Grubber 5 cm Oktober 2021 Grubber 25 cm	-
2022		
Aussaat	08.03.2022 Futtererbsenaussaat (75 Körner / m², Sorte: Astronaut) mit Kreiselegge und Drille	24.03.2022 Futtererbsenaussaat (70 Körner / m², Sorte: Astronaut) mit Novag® Drille
Pflanzenschutz	14.03.2022 4,0 l/ha Bandur® (600 g/l Aclonifen) 07.05.2022 0,75 l/ha Agil-S® (100 g/l Propaquizafop) 02.06.2022 0,075 l/ha Karate Zeon® (100 g/l Lambda-Cyhalothrin)	01.04.2022 2,0 l/ha Glyphosatprodukt (360 g/l Glyphosat) 28.04.2022 1,0 l/ha Clearfield®-Clentiga® (250 g/l Quinmerac; 12,5 g/l Imazamox) 07.05.2022 0,75 l/ha Agil-S® (100 g/l Propaquizafop) 02.06.2022 0,075 l/ha Karate Zeon® (100 g/l Lambda-Cyhalothrin) September 2022 2,0 l/ha Glyphosatprodukt (360 g/l Glyphosat)
Ernte	07.07.2022	12.07.2022
Zwischenfrucht	-	-
Bodenbearbeitung	September 2022 Grubber 5 cm Grubber 15 cm	
Aussaat	12.10.2022 Winterweizenaussaat (270 Körner / m²; Sorte: Chevignon) mit Kreiselegge und Drille	09.10.2022 Winterweizenaussaat (270 Körner / m²; Sorte: Chevignon) Novag® Drille
2023		
Düngung	30.03.2023 Cultan-Düngung (165 kg N/ha)	30.03.2023 Cultan-Düngung (165 kg N/ha)
Pflanzenschutz	28.03.2023 0,025 kg/ha Saracen® Max (600 g/kg Tribenuron, 200 g/kg Florasulam) 22.04.2023 0,2 l/ha Moddus® (250 g/l Trinexapac); 0,4 l/ha Bor, 6,5 kg/ha Bittersalz; 0,35 l/ha Nutriphite® (5% N, 15% K₂O) 15.05.2023	12.10.2022 30 g/ha Pointer® (500 g/kg Tribenuron) 28.03.2023 0,025 kg/ha Saracen® Max (600 g/kg Tribenuron, 200 g/kg Florasulam) 22.04.2023 0,2 l/ha Moddus® (250 g/l Trinexapac); 0,4 l/ha Bor, 6,5 kg/ha

	1,4 l/ha Ascra® XPro (130 g/l Prothioconazol, 65 g/l Bixafen, 65 g/l Fluopyram)	Bittersalz; 0,35 l/ha Nutriphite® (5% N, 15% K ₂ O) 15.05.2023 1,4 l/ha Ascra® XPro (130 g/l Prothioconazol, 65 g/l Bixafen, 65 g/l Fluopyram)
Ernte	18.07.2023	18.07.2023

Tabelle 13: Pflanzenbauliche Maßnahmen auf der Versuchsfläche „Am Schniftenberg“ am Standort Nieder-Wiesen in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023

Am Schniftenberg	Konventionell	Regenerativer Pflanzenbau
	2020	
Zwischenfrucht	-	Ende Juli Aussaat Zwischenfruchtmischung (Samenanteile: 40% Öllein, 15% Ramtillkraut, 20% Alexandrinerklee, 25% Inkarnatklee) mit Novag® Drille
	2021	
Düngung	28.02.2021 70 kg N/ha in Form von Kalkammonsalpeter	01.03.2021 50 kg N /ha in Form von Kalkammonsalpeter (über Novag®-Drille)
Aussaat	27.02.2021 Sommergerstenaussaat (280 Körner / m ² , Sorte: Leandra) mit Kreiselegge und Drillmaschine	03.03.2021 Sommergerstenaussaat (280 Körner / m ² , Sorte: Leandra) mit Untersaat (Rot und Gelbklee, je 1 kg/ha) mit Novag®-Drille
Pflanzenschutz	19.04.2021 70 g/ha Biathlon® (714 g/kg Tritosulfuron + 54 g/kg Florasulam) 13.05.2021 1,2 l/ha Axial® 50 (50 g/l Pinoxaden) 09.06.2021 0,8 l/ha Traciafin® (250 g/l Prothioconazol)	19.04.2021 70 g/ha Biathlon® (714 g/kg Tritosulfuron + 54 g/kg Florasulam) 13.05.2021 1,2 l/ha Axial® 50 (50 g/l Pinoxaden) 09.06.2021 0,8 l/ha Traciafin® (250 g/l Prothioconazol)
Ernte	30.07.2021	30.07.2021
Zwischenfrucht	-	01.08.2021 22 kg/ha Zwischenfruchtmischung mit Noavg® Drille
Pflanzenschutz	-	10.10.2021 3,0 l/ha Glyphosat-haltiges Produkt (360 g/l Glyphosat)
Bodenbearbeitung	14.08.2021 Scheibenegge 22.09.2021 Grubber	-
Aussaat	17.10.2021	11.10.2021 Winterweizenaussaat (300 Körner / m ² , Sorte: Patras) mit Novag® Drille

	Winterweizenaussaat (300 Körner / m ² , Sorte: Patras) mit Kreiselegge und Drille	
	2022	
Düngung	03.03.2022 1 dt/ha Kieserit 25.03.2022 155 kg N/ha Cultan	03.03.2022 1 dt/ha Kieserit 25.03.2022 155 kg N/ha Cultan
Pflanzenschutz	23.03.2022 220 g/ha Broadway® (Broadway® (68,3 g/kg Pyroxsulam; 22,8 g/kg Florasulam; 68,3 g/kg Cloquintocet) 19.04.2022 0,4 l/ha Moddus® ((250 g/l Trinexapac)	23.03.2022 220 g/ha Broadway® (Broadway® (68,3 g/kg Pyroxsulam; 22,8 g/kg Florasulam; 68,3 g/kg Cloquintocet) 19.04.2022 0,4 l/ha Moddus® ((250 g/l Trinexapac)
Ernte	15.07.2022	15.07.2022
Zwischenfrucht	-	-
Bodenbearbeitung	06.09.2022 1x Grubber	-
Aussaat	12.09.2022 Winterrapsaussaat (40 Körner/m ² , Sorte: DK Excited) mit Kreiselegge und Drille	07.09.2022 Winterrapsaussaat (23 Körner/m ² , Sorte: DK Excited) mi Novag® Drille
Pflanzenschutz	26.10.2022 0,2 l/ha Runaway® (240 g/l Clopyralid, 80 g/l Picloram, 40 g/l Aminopyralid) 0,075 l/ha Karate Zeon® (100 g/l Lambda-Cyhalothrin) 28.11.2022 1,5 l/ha Kerb® Flo (400 g/l Propyzamid)	26.10.2022 0,2 l/ha Runaway® (240 g/l Clopyralid, 80 g/l Picloram, 40 g/l Aminopyralid) 0,075 l/ha Karate Zeon® (100 g/l Lambda-Cyhalothrin) 28.11.2022 1,5 l/ha Kerb® Flo (400 g/l Propyzamid)
	2023	
Düngung	04.03.2023 100 kg N/ha (Ammonsulfatsalpeter) 28.03.2023 39 kg N/ha (Ammonsulfatsalpeter)	04.03.2023 100 kg N/ha (Ammonsulfatsalpeter) 28.03.2023 39 kg N/ha (Ammonsulfatsalpeter)
Pflanzenschutz	18.03.2023 0,075 l/ha Karate® Zeon (100 g/l Lambda-Cyhalothrin) 1 l/ha Bor flüssig (15%) 02.05.2023 1,0 l/ha Propulse® (125 g/l Fluopyram, 125 g/l Prothioconazol) 14.08.2023 3,0 l/ha Boom® efekt (360 g/l Glyphosat) + 1,5 l/ha HAKSAR® 500 SL (500 g/l MCPA)	18.03.2023 0,075 l/ha Karate® Zeon (100 g/l Lambda-Cyhalothrin) 1 l/ha Bor flüssig (15%) 02.05.2023 1,0 l/ha Propulse® (125 g/l Fluopyram, 125 g/l Prothioconazol) 14.08.2023 3,0 l/ha Boom® efekt (360 g/l Glyphosat) + 1,5 l/ha HAKSAR® 500 SL (500 g/l MCPA)
Ernte	23.07.2023	23.07.2023

In den Teilbrachenzeiträume nach der Ernte wurden in die nach Regenerativen Pflanzenbau bewirtschaftete Hälfte mit artenreichen Zwischenfruchtmischung eingesät, wobei in 2021 eine andere Mischung als in 2022 und 2023 genutzt wurden (Tabelle 14).

Tabelle 14: Artenzusammensetzung der Zwischenfruchtmischungen im Versuchsjahr 2021 und den beiden Jahren 2022 und 202 auf den Versuchsflächen

Art	wissensch. Name	Samenanteil in Mischung (Gew. %)	
		2021	2022 und 2023
Alexandrinerklee	<i>Trifolium alexandrinum</i>	5	2,5
Ölrettich	<i>Raphanus sativus</i>	4	10
Phacelia	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	5	3
Sommerwicke	<i>Vicia sativa</i>	25	22
Sonnenblume	<i>Helianthus annuus</i>	7	3
Leindotter	<i>Camelina sativa</i>	2	2,5
Rauhafer	<i>Avena strigosa</i>	30	33,5
Öllein	<i>Linum usitatissimum</i>	14	8,5
Ramtillkraut	<i>Guizotia abyssinica</i>	7	4
Absessinischer Senf	<i>Brassica carinata</i>	1	1
Sudangras	<i>Sorghum bicolor x sudanese</i>	0	10

Auf den Praxisflächen wurden folgende agronomische Parameter für beide Varianten im direkten Paarvergleich erhoben:

1. Anzahl Pflanzen pro m² (mittels Göttinger Zählrahmen) auf allen Schlägen und Kulturen
2. Drohnenüberflug über alle Versuchsflächen, Aufnahme von Bildern mit Multispektralkamera (P4 Multispectral von DJI), berechnen des NDVI (normalized difference vegetation index) im Jahr 2022 und 2023
3. Blattbonituren bei Winterdurum, Winterweizen und Sommergerste (BBCH 25 bzw. 31 und 51) in 2023 (2021 und 2022 ohne nennenswerten Krankheitsbefall)
4. Anzahl Ähren pro m² (mittels Göttinger Zählrahmen) in allen Schlägen mit Getreide
5. Kornertrag: Versuchsmähdrescher: Kerndrusch von 1,5 m Breite, ausmessen von 10 x 10 m große Erntefenster (vier auf Fläche „Konventionell“ und vier auf Fläche „Regenerativer Pflanzenbau“ je Standort); Mähdrusch mit konventionellem Mähdrescher: Dreschen einer abgemessenen Strecke, Erfassung des Erntegewichts mittels Plattenwaage

6. Rübenenertrag: Roden einer abgemessenen Strecke, Erfassung des Erntegewichts mittels Plattenwaage

Sowohl die „Konventionelle“ als auch die „Regenerativer Pflanzenbau“-Fläche wurden an jedem Standort in vier Blöcken aufgeteilt. Die Zählungen wurden in jedem Block je nach Größe 10- bis 15-mal wiederholt. In den 10 x 10 m großen Erntefenstern bzw. aus den Anhängern wurden jeweils vier Ernteproben gezogen, die für weitere Untersuchungen genutzt wurden. Weiterhin wurden für alle Flächen, die beerntet wurden, die N-Zufuhr durch Düngemittel und der N-Fixierung bei Leguminosen sowie die Abfuhr von N durch das Erntegut bilanziert:

$$\text{N-Bilanz} = (\text{N-Düngung} + \text{N-Fixierung}) - \text{N-Abfuhr Erntegut}$$

$$\text{wobei N-Fixierung} = 4,4^1 \text{ kg N/ dt FM} * \text{Ertrag dt FM / ha}$$

$$\text{und N-Abfuhr} = \text{Ertrag dt TM / ha} * \text{Rohprotein \%}$$

¹Kolbe & Köhler, 2008

Zur Bewertung der Pflanzenschutzmittelintensität in den beiden Anbausystemen wurden für die Kulturen der Behandlungsindex (beschrieben in Roßberg, 2013) herangezogen und verglichen.

1.3.1.2 Zwischenfruchtanbau auf den Praxisflächen

Vier Wochen nach der Zwischenfruchtaussaat an den jeweiligen Standorten die sich im Göttinger Rahmen befindlichen Pflanzen der Mischung bestimmt und gezählt. Dies wurde je nach Größe der Fläche 30- bis 40-mal wiederholt. Anfang September wurden 20 bis 30 Bilder je Standort in 1 m Höhe aufgenommen, welche in der Internetanwendung „SoilCover“ ausgewertet wurden (<https://soilcover.josephinum.at/>). Diese Anwendung ermöglicht das Messen des Bedeckungsgrades (%) an lebenden Pflanzen, toten Pflanzen und Steinen anhand des aufgenommenen Bildes.

Als weitere Größen wurden der Frisch- und Trockenmasseertrag für die sieben der acht Standorte erfasst. Dabei wurden vor der jeweiligen Herbstsaat bzw. dem Beginn der Vegetationsruhe ab Mitte November an 15 bis 20 Stellen eine 0,25 m² Fläche beerntet und gewogen. Die Trockenmasse wurde durch den Wasserverlust nach 24 h Trocknung bei 105 °C ermittelt. Dies wurde aufgrund der ausgeprägten Sommertrockenheit im Jahr 2022 nicht durchgeführt.

1.3.1.3 Herbizidversuche auf den Praxisflächen

Die meisten praktizierten Direktsaatsysteme beinhalten eine regelmäßige Anwendung eines Glyphosat-haltigen Herbizides vor der Saat bzw. kurz nach der Saat (Woodburn, 2000). Die Intention hinter den Herbizidversuchen war die Suche nach zugelassenen selektiven Herbiziden als Ersatz für die Glyphosat-Applikation. Aufgrund der öffentlichen Forderung seitens der Gesellschaft nach einer Reduktion bis hin zum Verbot des Glyphosat-Einsatzes müssen Alternativen evaluiert werden, die bei Direktsaatsystemen nur durch andere Herbizide bereitgestellt werden können. Insgesamt wurden fünf Versuche durchgeführt:

1. Versuch zur Regulierung von Inkarnatklée am Standort „Am Schniftenberg“ im Jahr 2021
2. Zwei Versuche zur Regulierung der Zwischenfruchtarten im Herbst an den Standorten „Am Eppelsheimer Weg“ und „Im Ochsenthal“ in 2021/2022
3. Zwei Versuche zur Unkrautbekämpfung in Futtererbsen mit Fokus auf Nachauflaufbehandlungen an den Standorten „Langgewann“ (2022) und „Am Moorkreuz“ (2023)

Ziel am Standort „Am Schniftenberg“ war es, den überwinternden Inkarnatklée (*Trifolium incarnata*), der im August 2020 ausgesät worden war, durch selektive Herbizide in der Sommergerste zu bekämpfen. Potenzielle Herbizide bzw. Wirkstoffe wurden nach einer Literaturrecherche ausgewählt (Tabelle 15).

Tabelle 15: verwendete Herbizide am Standort „Am Schniftenberg“ im Frühjahr 2021

VG	Herbizid	Wirkstoff(e) und Konzentration	Aufwand- menge
1	Kontrolle	-	-
2	Pointer® SX	500 g/kg Tribenuron	45 g/ha
3	Pointer® Plus	105 g/kg Florasulam; 83 g/kg Metsulfuron; 83 g/kg Tribenuron	50 g/ha
4	Concert® SX	40 g/kg Metsulfuron; 400 g/kg Thifensulfuron	150 g/ha
5	Pixxaro®	12,5 g/l Halauxifen-Methyl (12g/l Arylex); 280 g/l Fluroxypyr; 12 g/l Cloquintocet-Mexyl (Safener)	0,5 l/ha
6	Primus®	50 g/l Florasulam	0,1 l/ha
7	Zypar®	6 g/l Halauxifen-methyl; 5 g/l Florasulam; 6 g Cloquintocet	1,0 l/ha
8	U 46 D®	500 g/l 2,4-D	1,5 l/ha
9	Omnera® LQM	135 g/l Fluroxypyr; 28,91 g/l Thiefensulfuron; 4,82 g/l Metsulfuron	1,0 l/ha

Jede Variante wurde viermal wiederholt. Die daraus resultierenden 36 Parzellen (8 x 2,5 m) wurden auf einer vollrandomisierten Blockanlage verteilt.

Der Versuch wurde zwischen zwei Fahrgassen gelegt für einen reibungslosen Ablauf. Die Herbizide wurden am 21.04.2021 mit einer Parzellenspritze mit 2,5 m Arbeitsbreite appliziert, welche 200 l/ha Spritzbrühe mit 2,1 bar Druck und einer Geschwindigkeit von 5 km/h aus Air-mix 120-025 Düsen ausbrachte. Die visuelle Wirkungsbonitur geschah vier und acht Wochen nach der Applikation. Bei dieser Bonitur wurde ein Wirkungsgrad geschätzt, der folgende Punkte berücksichtigte: Größe der Klee-Pflanzen, Anteil nekrotisierter Blattfläche, Farbe und Blütenbildung. Als Referenz wurden jeweils fünf Pflanzen der Kontrollparzelle je Block genommen und mit fünf Pflanzen der jeweiligen Behandlung in den eben genannten Punkten verglichen. Aufgrund des Durchwuchses von Winterweizen (Vorkultur) wurde von einer Ernte des Versuches abgesehen.

Zur Regulierung der Zwischenfruchtarten im Herbst wurden an den beiden Standorten „Am Eppelsheimer Weg“ und „Im Ochsenthal“ Herbizidversuche durchgeführt. Integriert waren selektive und zugelassene Herbizide im Winterweizen (Tabelle 16). Als Vergleich wurden noch Omnera® LQM und Pointer® SX mit doppelter Aufwandmenge hinzugefügt.

Tabelle 16: verwendete Herbizide an den Standorten „Am Eppelsheimer Weg“ und „Im Ochsenthal“ im Herbst 2021

VG	Herbizid	Wirkstoff(e) und Konzentration	Aufwandmenge
1	Kontrolle	-	-
2	Alliance®	600 g/kg Diflufenican + 57,6 g/kg Metsulfuron	65 g/ha
3	Cleanshot®	610 g/kg Isoxaben + 40 g/kg Florasulam	95 g/ha
4	Primus®	50 g/l Florasulam	0,1 l/ha
5	Saracen® Delta	500 g/kg Diflufenican + 50 g/kg Florasulam	0,075 l/ha
6	Sumimax®	500 g/kg Flumioxazin	60 g/ha
7	Pointer® SX	40 g/kg Metsulfuron; 400 g/kg Thifensulfuron	30 g/ha
8	Pointer® SX	40 g/kg Metsulfuron; 400 g/kg Thifensulfuron	60 g/ha
9	Viper® Com- pact	3,75 g/l Florasulam + 15 g/l Penoxsulam + 100 g/l Diflufenican	1 l/ha
10	Zypar®	6 g/l Halauxifen-methyl; 5 g/l Florasulam; 6 g Clo- quintocet	0,75 l/ha
11	Omnera® LQM	135 g/l Fluroxypyr; 28,91 g/l Thiefensulfuron; 4,82 g/l Metsulfuron	1 l/ha
12	Alliance® + Zypar®	600 g/kg Diflufenican + 57,6 g/kg Metsulfuron + 6 g/l Halauxifen-methyl; 5 g/l Florasulam; 6 g Clo- quintocet	65 g/ha + 0,75 l/ha

Jede Variante wurde viermal wiederholt. Die daraus resultierenden 48 Parzellen (8 x 2,5 m) wurden an beiden Standorten auf einer vollrandomisierten Blockanlage verteilt. Der Versuch wurde jeweils zwischen zwei Fahrgassen gelegt. Die Herbizide wurden am 05.11.2021 mit einer Parzellenspritze mit 2,5 m Arbeitsbreite appliziert, welche 200 l/ha Spritzbrühe mit 2,1 bar Druck und einer Geschwindigkeit von 5 km/h aus Airmix 120-025 Düsen ausbrachte. Die visuelle Wirkungsbonitur geschah vier Wochen nach der Applikation. Für jede Pflanzenart wurde eine eigene Bonitur durchgeführt. Dabei wurde ein Wirkungsgrad geschätzt, der folgende Punkte berücksichtigte: Größe der zu untersuchende Pflanze, Anteil nekrotisierter Blattfläche und Farbe (Chlorosen). Als Referenz wurden Pflanzen aus der Kontrollparzelle genommen und mit den behandelten Pflanzen der jeweiligen Variante in den eben genannten Punkten verglichen. Am 11.07.2022 wurden beide Versuchsflächen mittels Versuchsmähdrescher beerntet und Ernteproben gezogen.

Ziel am Standort „Langgewann“ war es, verschiedene Herbizide hinsichtlich ihrer Eignung als Nachauflaufherbizid in Futtererbsen zu evaluieren. Verschiedene Herbizide wurden miteinander mit einer Kontrolle und einer Glyphosat-Variante verglichen (Tabelle 17).

Tabelle 17: verwendete Herbizide am Standort „Langgewann“ im Frühjahr 2022 in Futtererbsen

VG	Herbizid	Wirkstoff(e) und Konzentration	Aufwandmenge
1	Kontrolle	-	-
2	Stomp Aqua	455 g/l Pendimethalin	4 l/ha
3	Lentagran	450 g/l Pyridat	2 kg/ha
4	Harmony SX + Trend	500 g/kg Thiefensulfuron	15 g/ha
5	Spectrum Plus	250 g/l Pendimethalin und 212,5 g/l Dimethenamid	4 l/ha
6	Clentiga + Dash	250 g/l Quinmerac und 12,5 g/l Imazamox	1 l/ha
7	Shark u. Dash + Onyx	60 g/l Carfentrazone / 600 g/ha Pyridat	1,0 + 1,5 l/ha
8	RoundUp Powerflex	480 g/l Glyphosat	2,25 l/ha

Jede Variante wurde viermal wiederholt. Die daraus resultierenden 36 Parzellen (8m x 2,5m) wurden auf einer vollrandomisierten Blockanlage verteilt. Der Versuch wurde zwischen zwei Fahrgassen gelegt für einen reibungslosen Ablauf. Shark® + Dash® und RoundUp® Powerflex wurden am 31.03.2022 mit einer Parzellenspritze mit 2,5 m Arbeitsbreite appliziert, welche 200 l/ha Spritzbrühe mit 2,1 bar Druck und einer Geschwindigkeit von 5 km/h aus Airmix 120-025 Düsen ausbrachte. Die restlichen Herbizide wurden im Nachauflauf am 06.05.2022 appliziert. Die Wirkungsbonitur geschah am 31.05.2022. Die fünf vorgefundenen Unkrautarten (Rauhafer, Alexandrinerklee, Leindotter und Weißer Gänsefuß) wurden visuell bonitiert und durch den Vergleich in den Kontrollparzellen eine Wirkung der Herbizide abgeschätzt. Neben der Wirkung wurde am selben Tag auch die Kulturverträglichkeit visuell bonitiert. In allen Parzellen wurde an 10 Pflanzen die Anzahl an Hülsen je Pflanze sowie die Anzahl an Erbsen je Hülse bestimmt. Am 14.07.2022 wurden die Parzellen mittels Versuchsmähdrescher beerntet.

Im letzten Versuchsjahr wurde der Herbizidversuch in den Futtererbsen am Standort „Am Moorkreuz“ wiederholt und um Voraufherbiziden und Kombinationen aus verschiedenen Herbiziden erweitert (Tabelle 18).

Tabelle 18: verwendete Herbizide am Standort „Am Moorkreuz“ im Frühjahr 2023 in Futtererbsen

VG	Herbizid	Wirkstoff(e) und Konzentration	Aufwandmenge
1	Kontrolle	-	-
2	Stomp Aqua	455 g/l Pendimethalin	4 l/ha
3	Lentagran	450 g/l Pyridat	2 kg/ha
4	Harmony SX + Trend	500 g/kg Thiefensulfuron	15 g/ha
5	Spectrum Plus	250 g/l Pendimethalin und 212,5 g/l Dimethenamid	4 l/ha
6	Clentiga + Dash	250 g/l Quinmerac und 12,5 g/l Imazamox	1 l/ha
7	Shark u. Dash + Onyx	60 g/l Carfentrazone / 600 g/ha Pyridat	1,0 + 1,5 l/ha
8	RoundUp Powerflex	480 g/l Glyphosat	2,25 l/ha
9	Bandur	600 g/l Aclonifen	4 l/ha
10	Bandur + Onyx	600 g/l Aclonifen / 600 g/ha Pyridat	4 + 1,5 l/ha
11	Bandur + Clentiga Dash	600 g/l Aclonifen / 250 g/l Quinmerac und 12,5 g/l Imazamox	4 + 1 l/ha
12	Bandur + Centium	600 g/l Aclonifen / 360 g/l Clomazone	4 + 0,25 l/ha

In den Varianten VG 7 bis 12 wurden Shark®, RoundUp® Powerflex als auch Bandur® im Voraufbau appliziert (15.03.2023). Die restlichen Herbizide wurden am 19.04.2023 appliziert. Jede Variante wurde viermal wiederholt. Die daraus resultierenden 36 Parzellen (8m x 2,5m) wurden auf einer vollrandomisierten Blockanlage verteilt. Appliziert wurde mit einer Parzelspritze mit 2,5 m Arbeitsbreite, welche 200 l/ha Spritzbrühe mit 2,1 bar Druck und einer Geschwindigkeit von 5 km/h aus Airmix 120-025 Düsen ausbrachte. Neben der Wirkung wurde am selben Tag auch die Kulturverträglichkeit visuell bonitiert. In allen Parzellen wurde an 10 Pflanzen die Anzahl an Hülsen je Pflanze sowie die Anzahl an Erbsen je Hülse bestimmt. Am 08.07.2023 wurden die Parzellen mittels Versuchsmähdrescher beerntet.

1.3.2 Ökologische und Ökonomische Bewertung des Regenerativen Pflanzenbaus

1.3.2.1 N_{min} im Frühjahr und Herbst

Die N_{min} -Untersuchungen wurden im Frühjahr und im Herbst durchgeführt, wobei nur Standorte in Betracht kamen, auf denen eine Zwischenfrucht in der Hälfte „Regenerativer Pflanzenbau“ etabliert wurde. An jedem Standort wurden für jede Hälfte („Konventionell“ und „Regenerativer Pflanzenbau“) aus drei Tiefen Proben gezogen (0-30 cm, 30-60 cm, 60-90 cm). Die Anzahl an Einstichen war von der Größe der Fläche abhängig (10 Einstiche je ha). Die auf 4 °C gekühlten Proben wurden an das Labor „Raiffeisen Laborservice Rhein Ahr Handelsgesellschaft mbH“ nach Ormont versendet.

1.3.2.2 Bodenfeuchte und Bodentemperatur

Ziel der Bodenfeuchtemessungen war es, den volumetrischen Wassergehalt im Boden der Direktsaat- und konventionellen Flächen zu messen. Darüber sollten Rückschlüsse über den Einfluss der Anbauverfahren auf die Speicherfähigkeit geschlossen werden. Gemessen wurde der volumetrische Wassergehalt und die Bodentemperatur mittels FIELDSCOUT TDR 350 Soil moisture meter der Firma Spectrum Technologies, Inc. Die 12 cm langen Edelstahlspitzen wurden je Standort 40-mal (20-mal je Hälfte) in den Boden gedrückt. Dabei wurden die Flächen nach einem w-förmigen Muster abgegangen. Als Standorte wurden „Am Schniftenberg“ (Niederwiesen), „Im Ochsenthal“ (Esselborn) und „Am Schild“ (Osthofen) gewählt, da bereits eine Zwischenfrucht im Jahr 2020 etabliert wurde und diese Standorte das gesamte Versuchsgebiet repräsentieren können. Die Messungen wurden in einem festen Turnus von ein bis max. zwei Wochen durchgeführt. Zusätzlich wurden im Jahr 2023 an drei Standorten („Am Schild“, „Am Eppelsheimer Weg“, „Langgewann“) Temperatur Datalogger der Firma LogTag® (jeweils 4 auf der Fläche „Konventioneller Pflanzenbau“ und „Regenerativer Pflanzenbau“) 2 cm tief vergraben, welche stündlich die Temperatur aufnahmen. Aufgrund ausgereizter Speicherkapazitäten wurde nur der Zeitraum April bis zur Ernte der jeweiligen Kultur betrachtet.

1.3.2.3 Biodiversität Arthropodenfauna

Um die Auswirkungen der Bewirtschaftung auf die Arthropodenbiodiversität und -abundanz messen zu können, wurde am Standort „Im Ochsenenthal“ Insektenfallen aufgestellt. Hierfür wurde in den 24 m breiten und 50 m langen Parzellen für die modifizierten Insektenfallen nach Barber ein Würfelmuster angelegt (Abbildung 6). Die Fanggefäße (Honiggläser) wurden im Boden vergraben, wobei der obere Rand des Glases mit dem umgebenden Gelände abschloss. Als Fangflüssigkeit wurde eine gesättigte Salzlösung (30%ig) gewählt. Um die Fallen vor Regenfällen und dem Hineinfallen größerer Tiere zu schützen, wurden die Fallen mit Plastikschaalen abgedeckt. Die Abdeckung wurde in geringem Abstand zur Bodenoberfläche angebracht, damit bodenlebende Insekten diese ohne Hinderung unterwandern können (Abbildung 7).

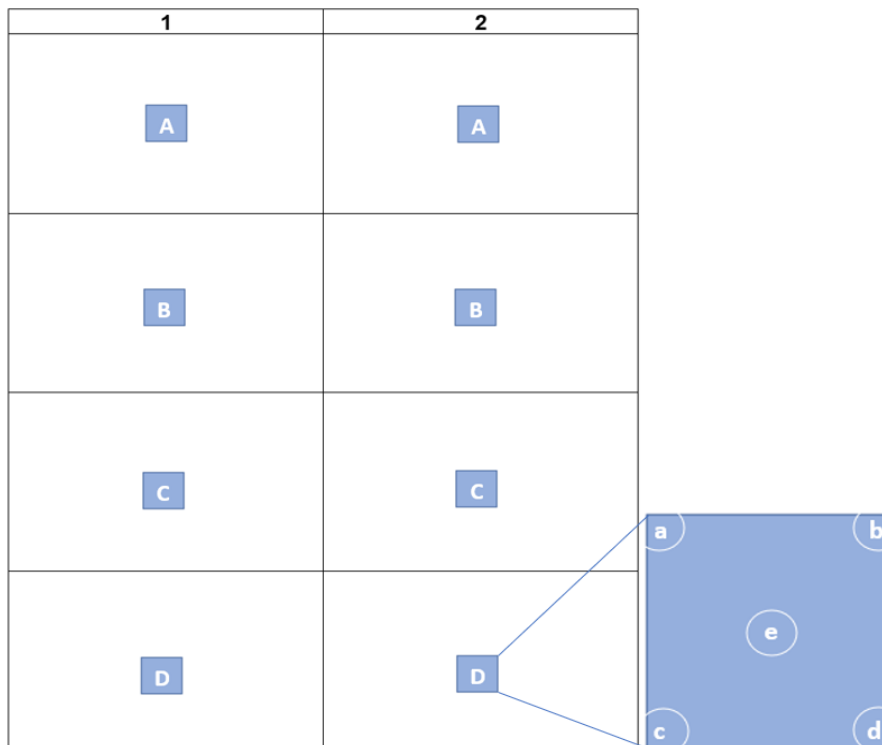


Abbildung 6: Versuchsaufbau nach DIN-Norm: 1: „Regenerativer Pflanzenbau“; 2: „Konventionell“; Barberfallen in Würfelmuster

Die Untersuchungsmethode erfolgte nach den Richtlinien der DIN EN ISO 23611-6 (Anleitung für die Planung der Probenahme von Wirbellosen im Boden). Die Parzellen befanden sich zwischen den Fahrspuren mit einer Arbeitsbreite von 24 m auf eine Länge von 200 m. Zur

Kontrolle und zum Wechsel der Barberfallen, wurden immer dieselben Wege genutzt, um zusätzliche Störungen zu vermeiden.



Abbildung 7: Nahansicht einer Barberfalle mit Abdeckung auf der Fläche der Direktsaat, Termin II (06.05.21)

Die Untersuchung der Auswirkungen der verschiedenen Bewirtschaftungsweisen auf die Abundanz der epigäischen Arthropodenfauna fand in zwei Beprobungsintervallen statt (22.04. - 06.05.21 und 06.05. - 20.05.2021). Die Auswertung der Inhalte der Fallen erfolgte nach zwei Wochen. Die entnommenen Gläser wurden am 06.05.2021 zeitgleich durch neue Gläser mit frischer Fangflüssigkeit ersetzt. Diese wurden ebenfalls nach zwei Wochen, am 20.05.2021 geleert und analysiert.

Die gefangenen Organismen aus den insgesamt 80 Barberfallen wurden mit Hilfe eines Binokulars nach der Ordnung sortiert. Folgende Ordnungen wurden separat erfasst: Käfer (*Coleoptera*), Spinnen (*Araneae*), Springschwänze (*Collembola*), Milben (*Acari*) und Hundert-/Tausendfüßer (*Chilopoda*). Die Bestimmung auf Gattungs- und Artenniveau erfolgte ausschließlich bei Spinnentieren und Käfern mit Hilfe von entsprechender Bestimmungsliteratur (Brohmer

et al., 2018; Chinery et al., 2004; Jones et al., 1990). Aufgrund der Gattungsbestimmung konnten zusätzlich zur Abundanz weitere Diversitätsparameter ermittelt werden. Der Simpson-Index (D) nach dem Statistiker Edward H. Simpson ist ein Index zur Bewertung der Diversität in der Ökologie. Dieser wird für nicht randomisierte Stichproben verwendet und drückt aus, wie hoch die Wahrscheinlichkeit ist, dass zwei aus allen Individuen einer Aufnahme durch Zufall ausgewählte Individuen der gleichen Art zugehörig sind (Simpson, 1949). Der Wertebereich des Simpson-Index liegt zwischen 0 und 1. Mit steigendem Wert nimmt die Artenvielfalt der untersuchten Individuen in der Probe zu. Bei einem Wert von 0 liegt keine Artenvielfalt vor, die gefundenen Individuen sind einer Art zugehörig. Aus dem Simpson-Index kann die Evenness (Äquität) berechnet werden. Diese gibt Aufschluss über die Gleichverteilung der Individuen einer Stichprobe bzgl. der Arten. Auch die für die Evenness errechneten Werte liegen zwischen 0 und 1, wobei 1 für eine Gemeinschaft mit perfekter Gleichmäßigkeit steht, und gegen Null abnimmt, wenn die relativen Häufigkeiten der Arten von der Gleichmäßigkeit abweichen (Benhadi-Marin et al., 2008).

1.3.2.4 Entwicklung der Regenwurmpopulation

Zur Bewertung der Populationsentwicklung der Regenwürmer wurden an den Standorten „Am Schild“ und „Im Ochsenhal“ am 05.05.2023 unter Anwendung einer Kombination von zwei verschiedenen Verfahren Regenwürmer aus dem Boden entnommen. Zunächst erfolgte die Handauslese aus dem Flächenbereich 0,25 m² in 30 cm Tiefe. Es folgte die Extraktion von Regenwürmern aus dem Boden durch das Aufbringen einer Senfmehlsuspension, bestehend aus 60 g Senfmehl und 10 L Wasser (DIN EN ISO 23611-1). Die Suspension wurde schrittweise in das entstandene Erdloch gegeben und an der Oberfläche erscheinende Regenwürmer abgesammelt. Die Untersuchung wurde nach 30 min beendet. Die Regenwürmer wurden anschließend mit Wasser abgespült, auf Filterpapier getrocknet und gewogen. Anschließend erfolgte die Artbestimmung der einzelnen Individuen mit Hilfe des „Bildatlas zur Regenwurmbestimmung“ (Krück, 2018). Auf beiden Teilflächen jedes Standorts wurde jeweils an 4 zufälligen Stellen die Anzahl an Regenwürmern und deren Artbestimmung bonitiert.

1.3.2.5 Ökonomische Bewertung

Zur ökonomischen Bewertung wurden die Deckungsbeiträge der Kulturen separat für jedes Anbauverfahren in den einzelnen Versuchsjahren berechnet. Folgende Formel wurde zur Berechnung des Deckungsbeitrags (€/ha) herangezogen:

Deckungsbeitrag

$$\begin{aligned} &= (\text{Ertrag} * \text{Preis}) - (\text{Zwischenfruchtsaatgut} + \text{Aussaat} \\ &+ \text{Bodenbearbeitung} + \text{Saatgut Kultur} + \text{Aussaat} + \text{Düngemittel} \\ &+ \text{Ausbringungskosten Düngemittel} + \text{Pflanzenschutz} \\ &+ \text{Ausbringungskosten Pflanzenschutzmittel} + \text{Ernte}) \end{aligned}$$

Handelsübliche Preise für Dünge- und Pflanzenschutzmittel wurden angenommen. Für die Erlöspreise der jeweiligen Produkte wurden die in dem jeweiligen Jahr durchschnittlichen Preise übernommen (Quelle: Landwirtschaftskammer RLP, AMI). Das Zwischenfruchtsaatgut wurde mit 3 €/kg bewertet. Der Arbeitslohn wurde auf 40 €/h festgesetzt. Mit Ausnahme der Maschinenkosten für die Novag T-Force wurden die Kosten für die genutzten Maschinen auf Basis des KTBL-Feldarbeitsrechners ermittelt (Tabelle 19). Für die Novag T-Force wurden folgende Annahmen getroffen:

- Anschaffungspreis: 140.000 €
- Nutzungsdauer: 8 Jahre
- Restwert: 20.000 €
- Jährliche Fläche: 600 ha/Jahr
- Stundenleistung: 1,3 ha/h
- Dieserverbrauch: 19 l/ha
- Unterhaltungskosten (abgeleitet von anderen Direktsaatmaschinen): 24 €/ha

Tabelle 19: Ermittelte Maschinen- und Arbeitserledigungskosten auf Grundlage des KTBL-Feldarbeitsrechners

Kostenpunkt	Maschinen- + Arbeitserledigungskosten (€/ha)
Säen Novag T-Force 350 ¹	96,09
Säen 3m Drillkombination	81,35
Grubbern 3 m	82,19
Scheibenegge, 3 m	68,37
Pflanzenschutzspritze, 24 m	14,80
Düngerstreuer, 24 m	7,54
Mähdrusch	156,64
Zuckerrübenenernte	429,84

Die für die beiden Anbauverfahren ermittelten Deckungsbeiträge wurden für jeden Paarvergleich gegenübergestellt zur Quantifizierung des wirtschaftlichen Vorteils des Regenerativen Anbaus. Zusätzlich wurden über die Jahre die kulturspezifischen gemittelten Kosten und resultierenden Deckungsbeiträge verglichen.

1.3.3 Exaktversuche an der TH Bingen zur Zwischenfruchtmischung-Optimierung, Biostimulantien und Komposttee Einsatz und Abbauverhalten von Sulfonylharnstoffen im Boden

Der Standort Bingen war durch überdurchschnittliche Sommerniederschläge im Versuchsjahr 2021 geprägt (Abbildung 8). Im Kontrast dazu fielen im Jahr 2022 die Niederschläge erst im September und die Temperaturen waren insbesondere in den Frühjahrs- und Sommermonaten überdurchschnittlich hoch mit der Konsequenz einer Dürreperiode nach der Ernte 2022.

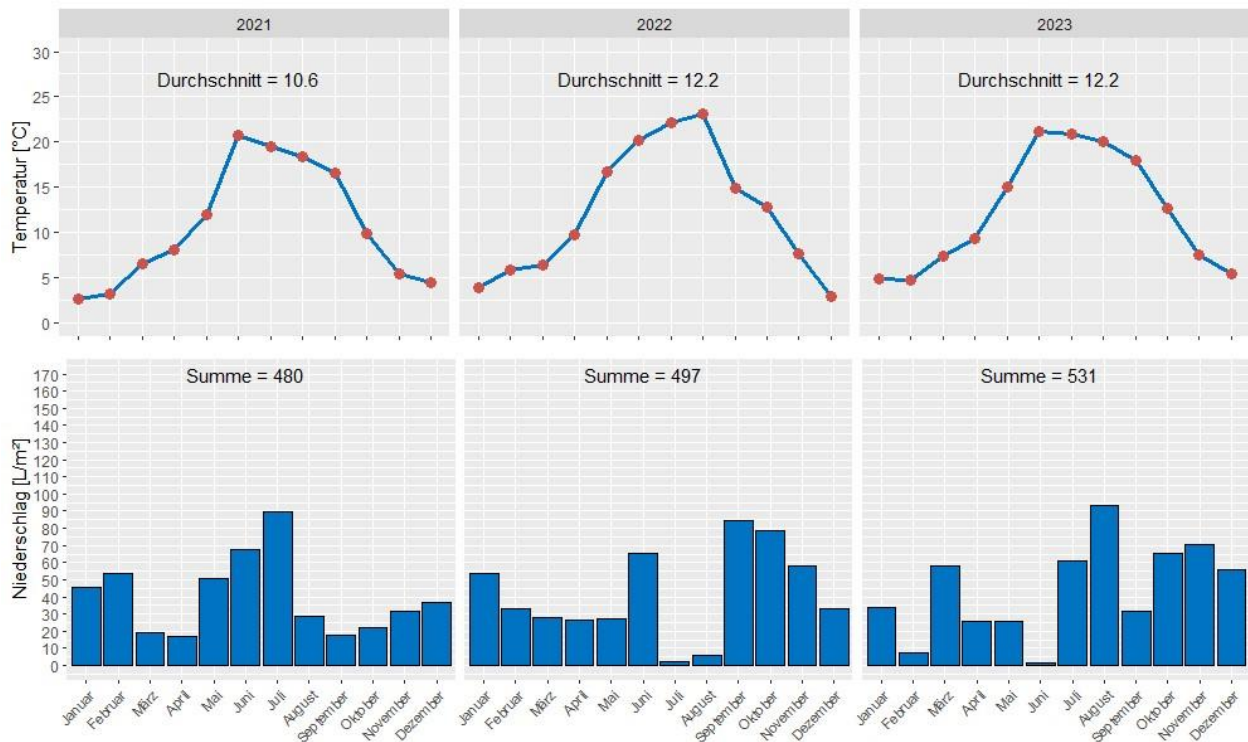


Abbildung 8: Temperatur (°C) und Niederschlag (l/m²) in den Versuchsjahren 2021, 2022 und 2023 für den Standort Bingen (Daten: Wetterstation Bingen-Gaulsheim)

1.3.3.1 Optimierung der Zwischenfruchtmischung

Die Wahl der Zwischenfruchtkomponenten berücksichtigt neben der Fruchtfolge weitere Faktoren wie z.B. den Standort und die klimatischen Bedingungen. Die in Rheinhessen meist trockenen Phasen im Zeitraum der Teilzeitbrachen erfordert eine Anpassung der Zwischenfruchtmischungen hinsichtlich Trockentoleranz. Mittels Monitorings für Zwischenfruchtkomponenten und -mischungen sollten verschiedene Pflanzenarten und Mischungen auf die Anforderungen des Versuchsvorhabens geprüft werden:

1. Sicherer Feldaufgang unter trockenen Bedingungen
2. Hoher Bedeckungsgrad zur Unkrautunterdrückung
3. Hoher Blattflächenindex (LAI) für höhere Assimilaten-Bildung
4. Mögliche Integration in die üblichen Fruchtfolgen der Ackerbauregion Rheinhessen

Nach Literaturrecherche wurden insgesamt 28 Pflanzenarten (Tabelle 19) und 20 Mischungen (Tabelle 20 und 21) ausgesät. Die Mischungen sind mit einer Ausnahme handelsüblich.

Tabelle 20: Ausgesäte Pflanzenarten im Zwischenfrucht-Monitoring am Standort Bingen im Versuchsjahr 2021

VG	Name	wissens. Name	Aussaat- menge (kg/ha)	TKM (g)	Sorte	Datum
1	Leindotter	<i>Camelina sativa</i>	7	1,2	Zuzana	04.08.
2	Ramtillkraut	<i>Guizotia abyssinica</i>	10	2,5	Ramba Zamba	04.08.
3	Abessinischer Senf	<i>Brassica carinata</i>	15	4,425	Uranus	04.08.
4	Phacelia	<i>Phacelia tanacetifolia</i>	12	1,89	Balo	04.08.
5	Alexandrinerklee	<i>Trifolium alexandrinum</i>	35	2,65	Winner	04.08.
6	Sommerwicke	<i>Vicia sativa</i>	120	45,24	Ebena	04.08.
7	Rauhafer	<i>Avena strigosa</i>	80	18,44	Luxurial	04.08. 17.08
8	Ölrettich	<i>Raphanus sativus</i> var. <i>oleiformis</i>	8	5,825		04.08.
9	Öllein	<i>Linum utilissimum</i>	40	7		04.08.
10	Sudangras	<i>Sorghum bicolor</i> x suda- nese	30	20,99	Susu	04.08. 17.08
11	Gartenkresse	<i>Lepidium sativum</i>	10	2		04.08.
12	Rispenhirse	<i>Panicum miliaceum</i>	20	7,8	Kornberger	04.08. 17.08
13	Buchweizen	<i>Fagopyrum esculentum</i>	90	24,26	Darja	04.08.
14	Sonnenblume	<i>Helianthus annuus</i>	30	55	Peredovick	04.08.
15	Blaue Lupine	<i>Lupinus angustifolius</i>	180	140	Sonet	04.08.
16	Linse	<i>Lens culinaris</i>	120	75		04.08.
17	Pannonische Wi- cke	<i>Vicia pannonica</i>	160	47,35		04.08.
18	Sommerwicke	<i>Vicia sativa</i>	200	45,24		04.08.
19	Kolbenhirse	<i>Setaria italica</i>	40	2,4		04.08. 17.08
20	Hanf	<i>Cannabis sativa</i>	40	20		04.08.
21	Gelbklee	<i>Medicago lupulina</i>	20	1,9		04.08.
22	Weißklee	<i>Trifolium repens</i>	15	0,6		04.08.
23	Gemeine Weg- warte	<i>Cichorium intybus</i>	5,5	1,225		24.08.
24	Koriander	<i>Coriandrum sativum</i>	10	8,95		24.08
25	Kümmel	<i>Carum carvi</i>	8	2,725		24.08
26	Ostindische Hanf	<i>Crotalaria juncea</i>	60	35,75		04.08.
27	Platterbse	<i>Lathyrus ssp.</i>	160	176,1		04.08.
48	Inkarnatklee	<i>Trifolium incarnata</i>	20	4,1		04.08.

Die Mischungen und die meisten Pflanzenarten wurden mittels Parzellendrillmaschine am 04.08.21 mit entsprechender Aussaatstärke ausgesät. Nach der Wintergerstenernte musste

trotz mehrmaliger Stoppelbearbeitung ein Graminizid am 12.08.21 (0,5 l/ha Select® 240, 240 g/l Clethodim) zur Bekämpfung des Ausfallgetreides appliziert werden, sodass die Gräser am 17.08.2021 erneut ausgesät wurden. Die Etablierung gelang aufgrund eines wiederholten Einsatzes von Select® 240 nicht, sodass neben den am 24.08.2021 ausgesäten Arten Gemeine Wegwarte, Koriander und Kümmel die Gräser nicht in die Auswertung mit aufgenommen wurden. Jede Mischung bzw. Pflanzenart wurde in 4 m langen und 2,5 m breiten Parzellen, welche in einer vollrandomisierten Blockanlage verteilt wurden (Abbildung 35), ausgesät und vierfach wiederholt. Zur Beurteilung der Trockentoleranz der Arten bzw. Mischungen wurden zwei der vier Blöcke zusätzlich bewässert (Block B und C). Die Tröpfchenschläuche wurden am 07.09.21 installiert und insgesamt wurden circa 80 l/m² zu drei Terminen (08.09, 10.09. und 20.09) zusätzlich bewässert.

Die Arten als auch die Mischungen wurden mit den Erfahrungen aus 2021 im Jahr 2022 geändert. Die Arten Buchweizen, Blaue Lupine, Hanf, Gelb-, Weiß- und Inkarnatklée, Koriander und Kümmel wurden ersetzt durch Spitzwegerich (5 kg/ha), Kichererbsen (150 kg/ha), Helm- (60 kg/ha) und Limabohne (100 kg/ha). Die Mischungen wurden durch eigene Kombinationen größtenteils ersetzt (Tabelle 22). Die Mischungen und Pflanzenarten wurden mittels Parzellendrillmaschine am 04.08.2022 mit entsprechender Aussaatstärke ausgesät. In der bewässerten Hälfte des Versuchs lief trotz mehrmaliger Stoppelbearbeitung viele Gerstenkörner auf, sodass ein Graminizid am 16.08.22 (0,5 l/ha Select® + 1,0 l/ha Radimix® 240, 240 g/l Clethodim) zur Bekämpfung des Ausfallgetreides appliziert wurde. Nach den Niederschlägen im September liefen in der unbewässerten Hälfte des Versuches ebenfalls Gerstenkörner auf, sodass auch hier eine Graminizid Behandlung (0,5 l/ha Select® + 1,0 l/ha Radimix® 240, 240 g/l Clethodim) am 21.09.2022 notwendig wurde. Die Versuchsfläche wurde in verschiedene Bereiche („Gräser“, „Mischungen mit Gräser“, „Gräserfrei“) eingeteilt, um bei Applikation von Graminiziden den Bereich „Gräser“ unbehandelt zu lassen. Nur 4 der 17 Zwischenfruchtmischungen sind kommerziell erhältlich (VG 36: KWS FIT4NEXTVielfalt; VG 37: PG GM 5 Allround (Freudenberger); VG 38: Terralife® Warmseason (DSV) und VG 39: Terralife® MaisPro Tr Greening 30 (DSV)). Diese erwiesen sich im Jahr 2021 als zuverlässig im Auflauf. Die restlichen Mischungen hatten die Mischung aus VG 24 als Basis und wurden hinsichtlich Bodenbedeckern wie Linse und oder anderen Leguminosen oder trockentoleranten Arten kombiniert. Alle Mischungen und Zwischenfruchtarten wurden im Jahr 2022 viermal wiederholt und auf einer

vollrandomisierten Blockanlage verteilt. Zwei Blöcke wurden nicht bewässert. Die beiden verbleibenden Blöcke wurden am 09.08.2022 (20 l/m²), 24.08.2022 (10 l/m²) und 25.08.2022 (20 l/m²) bewässert. Folgende Daten wurden erhoben:

1. Feldaufgang etwa vier Wochen nach der Aussaat (beide Jahre).
2. Bodenbedeckungsgrad abgeschätzt an in 1 m Höhe aufgenommenen Bildern am 30.08. (vier Wochen nach der Aussaat) und 17.11. und ausgewertet mit der Webanwendung von SoilCover (<https://soilcover.josephinum.at/>) (beide Jahre)
3. Blattflächenindex (LAI) gemessen mit LAI-2200C Plant Canopy Analyzer von der Firma Li-COR® am 14.10.21 und 10.11.21 (aufgrund fehlender Messtechnik nur in 2021).

Tabelle 21: Ausgesäte Mischungen und deren Zusammensetzung im Zwischenfrucht-Monitoring am Standort Bingen im Versuchsjahr 2021

VG	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Mischung	TG 11 Streufix	TG 14 Green. Fit	PG GM 4 Blitzstart	PG GM 5 Allround	TG 1 Hu- mus	PG FU 5 Hülsenge.	PG GM 6 Hotsumm	Sonder Rhein Hess	BetaMaxx TR	Warmse- ason TR
Aussaat (kg/ha)	15	17	10	11	40	100	20	22	35	30
Alexandrinerklee	30			25	15			5	2,5	6
Erbse					15	50			18	
Blaue Lupine						15				
Ölrettich								4	8	
Phacelia	35			40	15			5	5	
Sommerwicke					20	25		25	20	30
Sonnenblume							20	7		
Weißer Senf		40	80							
Leindotter		5	10				7	2		
Rauhafer	20							30	26	
Buchweizen										
Öllein							20	14	6	12
Ramtillkraut	15	10		35			8	7	10	20
Abess. Senf		45						1	3	2
Sudangras					20		35			30
Serradella									1,5	
Inkarnatklee										
Weißklee										
Zottelwicke										
Ackerbohne						10				
Sarptasenf			10							
Saflor					15					
Gartenkresse							10			

Tabelle 22: Ausgesäte Mischungen und deren Zusammensetzung im Zwischenfrucht-Monitoring am Standort Bingen im Versuchsjahr 2021

VG	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47
Mischung	MaisPro TR Grenning	N-Fixx o. Buchweiz.	Terralife BetaSola	Terralife Rigol TR	FIT4Next Vielfalt	FIT4Next Kartoffel	FIT4NEXT Masse	FIT4NEXT Raps N-Fix	Greening Ramtill 2	Rauhafer + Linse
Aussaat (kg/ha)	35	45	40	22	25	35	25	18	40	100
Alexandrinerklee		7	6	2,5	9			17,38	50	
Erbse	12	42			12,5					
Blaue Lupine					12	38,59				
Ölrettich	3		26	10	11,5	51,18	17,1			
Perserklee	2				1					
Phacelia	10	2		3	3			8,38	40	
Sommerwicke	7	36	43	22	24					
Sonnenblume	11	2		3	14					
Weißer Senf					6,5		8,1			
Leindotter				2,5	6,5	1,77	3,6			
Rauhafer			22	27,5		8,47				38
Buchweizen				16			71,2			
Öllein	14	4		8,5				56,69		
Ramtillkraut	11	0,5	3	4				17,56	10	
Abess. Senf	8			1						
Sudangras	15	1,5								
Serradella		5								
Inkarnatklee	1									
Weißklee	1									
Zottelwicke	2									
Ackerbohne	3									
Linse										62

Tabelle 23: Ausgesäte Mischungen und deren Zusammensetzung (Gew. %) im Zwischenfrucht-Monitoring am Standort Bingen im Versuchsjahr 2022

VG	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Aussaat (kg/ha)	22	22	22	22	25	25	25	25	25
Leindotter	2	2	2	2					
Ramtillkraut	7	7	7	7	10	10	10	10	10
Abessinischer Senf	1	1	1	1					
Phacelia	5	5	5	5		10		10	
Alexandrinerklee	5	5	5	5					
Sommerwicke	25								
Rauhafer	30	30	30						
Ölrettich	4	4	4	4					
Öllein	14	14	14	14	15	10	15	10	15
Sudangras									
Gartenkresse						10		10	
Rispenhirse				30	30	30	30	30	30
Sonnenblume	7	7	7	7	10	10	10	10	10
Linse		25		25					
Pannonische Wicke									
Kolbenhirse									
Spitzwegerich									
Gemeine Wegwarte					5	5	5	5	5
Ostindischer Hanf									
Platterbse			25						
Kichererbse							30	15	
Helmbohne					30	15			
Limabohne									30

VG	33	34	35	36	37	38	39*	40
Aussaat (kg/ha)	25	20	20	25	25	25	25	25
Leindotter		5					6,5	2,5
Ramtillkraut	10		10	35	20	11		4
Abessinischer Senf					2	8		1
Phacelia	10	10		40		10	3	3
Alexandrinerklee				25	6		9	2,5
Sommerwicke					30	28	24	22
Rauhafer			30					33,5
Ölrettich						3	11,5	10
Öllein	10				12	14		8,5
Sudangras					30	15	17	10
Gartenkresse	10	10	10					
Rispenhirse	30							
Sonnenblume	10					11	14	3
Linse		35	35					
Pannonische Wicke								
Kolbenhirse								
Spitzwegerich			5					
Gemeine Wegwarte	5							
Ostindischer Hanf		40	40					
Platterbse								
Kichererbse								
Helmbohne								
Limabohne	15							

*enthält zusätzlich 12 % Erbse, 2 % Perserklee, 1 % Inkarnatklee, 1 % Weißklee, 2 % zottige Wicke, 3 % Färberdistel,

1.3.3.2 Komposttee und Biostimulantien in Winterweizen

Die Anwendung von Komposttees beschränkt sich bislang nur auf wenigen Flächen in der Praxis. Häufig wird der Einsatz dieser aus Pflanzenmaterial hergestellten Fermenten zur Beschleunigung bzw. Lenkung des Rotteprozesses eingesetzt. Darin enthaltene Mikroben, Humin-, Fulvo- und Aminosäuren sollen neben der Lenkung des Rotteprozesses auch „positive“ Effekte auf das Pflanzenwachstum haben bei der Ausbringung in den Bestand. Bislang fehlen verlässliche Daten zur Be- oder Widerlegung dieser Thesen. Der Begriff „Regenerative Landwirtschaft“ wird häufig mit dem Einsatz solcher Präparate in Zusammenhang gebracht (Näser, 2020). Ziel war es, die eben beschriebenen Hypothesen durch einen Feldversuch zu be- oder widerlegen.

Auf der Versuchsfläche wurden am 04.08.2021 25 kg/ha FIT4Next® Vielfalt von der KWS ausgesät. In den bereits eingemessenen Parzellen (8 m x 2,5 m) wurde am 06.10.2021 der Frisch- und Trockenmasseaufwuchs bestimmt. Aufgrund des Wegfalls eines Produktes waren die Parzellen von VG 2 und 7 für diese Bestimmung verfügbar. Der oberirdische Biomasseaufwuchs betrug im Durchschnitt 19,1 t/ha Frischmasse bzw. 3,1 t/ha Trockenmasse. Der Aufwuchs wurde am gleichen Tag mittels Mulcher zerkleinert. Anschließend wurden die Präparate auf die Mulchschicht appliziert. Der Kontrollvariante wurden drei Behandlungen mit unterschiedlichen Präparaten gegenübergestellt (Tabelle 23).

Tabelle 24: Eingesetzte Komposttees am Standort Bingen Im Versuchsjahr 2021

VG	Komposttee	Aufwand- menge (l/ha)	Bodenbearbeitung nach Mulchen
1	-		Scheibenegge
2	-		Scheibenegge
3	HumiVit®+ HumiPro®	4 5	Scheibenegge
4	EM1® Stammlösung	1	Scheibenegge
5	EMIKO® Rottelenker	150	Scheibenegge
6	-		ohne
7	-		ohne
8	HumiVit®+ HumiPro®	4 5	ohne
9	EM1® Stammlösung	1	ohne
10	EMIKO® Rottelenker	150	ohne

Die Präparate wurden mit entsprechender Aufwandmenge am 07.10.2021 mit einer Parzelspritze mit 2,5 m Arbeitsbreite appliziert, welche 200 l/ha Spritzbrühe mit 2,1 bar Druck und einer Geschwindigkeit von 5 km/h aus Airmix 120-025 Düsen ausbrachte. Die Parzellen wurden in einer Spaltanlage randomisiert verteilt, wobei die Spalte die Bodenbearbeitung als weiteren Faktor beinhaltete (Abbildung 9). Mit 10 km/h Arbeitsgeschwindigkeit wurde die Mulchschicht etwa 7 cm eingearbeitet. Die Spalten ohne weitere Bodenbearbeitung sollten die Situation bei der Direktsaat simulieren.

	Scheibe negge	ohne	Scheibe negge	ohne	Scheibe negge	ohne	Scheibe negge	ohne	Scheibe negge	ohne	Scheibe negge	ohne	Scheibe negge	ohne
8	1	10	3	7	5	6	2	8	4	10	3	10		
2	Weg													
8	2	9	4	6	1	8	3	7	5	9	5	9	1	7
2	Weg													
8	3	7	5	8	2	10	4	9	1	6	4	6	2	8
	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5

Abbildung 9: Versuchsplan Komposttee-Versuch am Standort Bingen im Versuchsjahr 2021

Am 14.10.21 wurde mittels Parzellendrillmaschine Winterweizen ausgesät (350 Körner / m², Sorte RGT Reform®). Bislang wurden als einzige Daten N_{min}-Proben kurz vor der Applikation der Komposttees gezogen. Durchschnittlich liegt der N_{min}-Gehalt bei 144,6 kg N/ha in der Schicht 0 -90 cm. Am 01.03.2022 wurde die gesamte Versuchsfläche mit 100 kg N/ha in Form von Kalkammonsalpeter gedüngt. Die aufkommenden Unkräuter und -gräser (hauptsächlich Vogelmiere und Rote Taubnessel) wurden am 14.03.2022 mittels 1,2 l/ha Axial® (50 g/l Pinoxaden) und 0,1 l/ha Primus® (50 g/l Florasulam) behandelt. Zu drei Terminen (14.04., 28.04. und 25.05.) wurden 0,25 l/ha Humipro® in den Varianten 2,3,7 und 8 sowie 1,0 l/ha EM1® in Varianten 4 und 9 appliziert. Variante 5 und 10 wurden am 25.05.2022 mit 1,0 l/ha Prosaro® (125 g/l Tebuconazol, 125 g/l Prothioconazol) behandelt. Am 09.06.2022 wurden für die

Bonitur von Blattkrankheiten 40 Blätter (20 Fahnenblätter, 20 F-1 Blätter) aus jeder Parzelle zufällig beprobt. Aufgrund der trockenen Bedingungen waren auf diesen Blättern keine Krankheitssymptome sichtbar. Der Versuch wurde am 05.07.2022 beerntet.

Zudem wurden im Jahr 2022 sogenannte Biostimulanzien getestet. Sie stellen eine eigene Produktfunktionsgruppe in der Verordnung (EU) 2019/1009 dar. „Ein Pflanzen-Biostimulans ist ein EU-Düngeprodukt, das dazu dient, pflanzliche Ernährungsprozesse unabhängig vom Nährstoffgehalt des Produkts zu stimulieren, wobei ausschließlich auf die Verbesserung eines oder mehrerer der folgenden Merkmale der Pflanze oder der Rhizosphäre der Pflanze abgezielt wird:

1. Effizienz der Nährstoffverwertung
2. Toleranz gegenüber abiotischem Stress
3. Qualitätsmerkmale oder
4. Verfügbarkeit von im Boden oder in Rhizosphäre enthaltenen Nährstoffen (Industrieverband Agrar e. V., 2023)

Auf der Versuchsfläche wurden am 15.10.2022 Winterweizen der Sorte RGT Reform (350 Körner pro m²) ausgesät. Nach einmaliger N-Düngung (120 kg N/ha, Powerazon) im Februar 2023 wurden am 04.04.2023 die Komposttees bzw. Biostimulanzien zusammen mit einem Graminizid (500 g Atlantis® WG) appliziert (Tabelle 25). 7 Tage zuvor wurden die dikotylen Unkräuter mittels 1,5 l/ha Ariane® C (100 g/l Fluroxypyr, 80 g/l Clopyralid, 2,5 g/l Florasulam) ausgeschaltet. Am 16.05.2023 wurde 1,5 l/ha Ascra® XPro zusammen mit dem jeweiligen Komposttee bzw. Biostimulanz appliziert.

Tabelle 25: Eingesetzte Komposttees und Biostimulantien am Standort Bingen Im Versuchsjahr 2023

VG	Graminizid	Komposttee /Biostimulanzien	Aufwandmenge (l/ha)
1	-	-	
2	500 g/ha Atlantis® WG (5,6 g/kg Iodosulfuron + 29,2 g/kg Mesosulfuron)	-	
3	500 g/ha Atlantis® WG (5,6 g/kg Iodosulfuron + 29,2 g/kg Mesosulfuron)	EM1® Stammlösung	1
4	500 g/ha Atlantis® WG (5,6 g/kg Iodosulfuron + 29,2 g/kg Mesosulfuron)	HumiVit®	0,25

5	500 g/ha Atlantis® WG (5,6 g/kg Iodosulfuron + 29,2 g/kg Mesosulfuron)	Megafof®	2
6	500 g/ha Atlantis® WG (5,6 g/kg Iodosulfuron + 29,2 g/kg Mesosulfuron)	Kaishi®	2
7	500 g/ha Atlantis® WG (5,6 g/kg Iodosulfuron + 29,2 g/kg Mesosulfuron)	Kelposol®	2
8	1000 g/ha Atlantis® WG (5,6 g/kg Iodosulfuron + 29,2 g/kg Mesosulfuron)		

Alle Behandlungen wurden mit einer Parzellenspritze mit 2,5 m Arbeitsbreite appliziert, welche 200 l/ha Spritzbrühe mit 2,1 bar Druck und einer Geschwindigkeit von 5 km/h aus Airmix 120-025 Düsen ausbrachte. Die Parzellen wurden in einer Blockanlage randomisiert verteilt. Neben der Ährenzahl wurde der Kornertag am 14.07.2023 erhoben.

1.3.3.3 Abbau von Sulfonylharnstoffen

Das bereits vorgestellte System „Regenerativer Pflanzenbau“ lebt von der Dauerbegrünung, die in Teilzeitbrachen durch Zwischenfrüchte sichergestellt werden sollen. Bei bestimmten Wirkstoffen von Herbiziden reichen bereits geringe Rückstände aus, um das Wachstum sensibler Arten zu stören oder gar zu unterbinden. Ein Beispiel für einen solchen Wirkstoff ist Metsulfuron, welches häufig in Getreide appliziert wird. Geringe Rückstände reichen aus, um die Folgekultur zu schädigen (Ye et al., 2003). Zur besseren Einschätzung des Abbauverhaltens von gängigen Sulfonylharnstoffen wurde ein Topfversuch durchgeführt.

Hierfür wurden Plastiktöpfe (10 l) mit Ackerboden (sandiger Lehm) befüllt. Die oberste 2 cm Schicht wurde mit gesiebt (2 mm) Ackerboden befüllt. Folgende Faktoren sollte der Versuch beinhalten:

1. Zwei Herbizide (Finyl® und Pointer® SX) und Kontrolle
2. Zwei Indikatorpflanzen (Winterraps und Zuckerrübe)
3. ALS resistente Sorte und nicht ALS resistente Sorte
4. Verschiedene Bewässerungsszenarien nach der Aussaat
5. 3 verschiedene Aussaattermine (30, 60 und 90 Tage nach Herbizidbehandlung)

Neben Metsulfuron wurde Tribenuron als weiterer Sulfonylharnstoff in den Versuch integriert. Auf ein Drittel der Töpfe wurden am 11.04.2022 30 g/ha Finyl® (200 g/kg Metsulfuron) und auf ein weiteres Drittel 60 g/ha Pointer® SX (500 g/kg Tribenuron) appliziert. Die Herbizide

wurden mit einer Parzellenspritze mit 2,5 m Arbeitsbreite appliziert, welche 200 l/ha Spritzbrühe mit 2,1 bar Druck und einer Geschwindigkeit von 5 km/h aus Airmix 120-025 Düsen ausbrachte. Die behandelten als auch nicht behandelten Töpfe wurden am 11.04.2022 in einen Außenkäfig gestellt. Dabei wurden die Töpfe auf einer vollrandomisierten Blockanlage verteilt (3 Blöcke, je Block eine Wiederholung). Innerhalb von 30 Tagen nach der Herbizidbehandlung wurde die Hälfte der Töpfe von den Varianten Kontrolle, Metsulfuron und Tribenuron einmal pro Woche bewässert zur Simulation von verschiedenen Niederschlagsereignissen. Zur Evaluierung des Abbauverhaltens wurden 30, 60 und 90 Tage nach der Behandlung (10.05.2022, 08.06.2022 und 06.07.2022) Winterraps bzw. Zuckerrüben als Indikatorpflanzen ausgesät. Zum Vergleich wurden bei beiden Arten 5 Samen einer nicht ALS-resistente Sorte und 5 Samen einer ALS-resistente Sorte je Topf ausgesät (Tabelle 26). Die kenntlich markierten Töpfe, die entweder Zuckerrüben oder Winterraps enthielten, wurden nach der jeweiligen Aussaat 4 Wochen lang nach Bedarf der Pflanzen bewässert. Nach 4 Wochen wurde das Einzelpflanzengewicht erhoben.

Tabelle 26: Ausgesäte Raps und Zuckerrüben Sorten im Topfversuch 2022

Art	Nicht ALS-resistente Sorte	ALS-resistente Sorte
Raps (<i>Brassica napus</i>)	Bender	PT279CL Pioneer (Clearfield®)
Zuckerrübe (<i>Beta vulgaris subsp. vulgaris altissima</i>)	BTS 3975	Tekla Smart (Conviso®)

Aufgrund des geringen Aufwuchses bei den nicht ALS-resistenten Sorten wurde nach der Ernte der Variante „90 Tage Aussaat nach Behandlung“ zwei weitere Saattermine hinzugefügt. In den zuvor benutzten und beernteten Töpfen wurden 120 und 150 Tage nach der Behandlung 2 g Kresse (*Lepidium sativum*) je Topf ausgesät. Als Indikator für den Abbau des jeweiligen Wirkstoffs wurde das gesamte Pflanzengewicht je Topf 28 Tage nach der jeweiligen Aussaat erfasst.

Um genauere Aussage zum Abbauverhalten verschiedener Sulfonylharnstoffe treffen zu können, wurde ein weiterer Versuch mit verschiedenen Wirkstoffen und Zwischenfruchtarten angelegt. In Betonkübel mit 1 m Durchmesser und etwa 70 cm Höhe (Abbildung 11) wurde am 15.02.2022 Sommerweizen (Sorte Sharki, 350 Körner/m²) ausgesät zur Simulierung von Feldbedingungen. Der Sommerweizen wurde mit 100 kg N/ha gedüngt. Am 11.04.2022 wurden

die verschiedenen Herbizide (Tabelle 27) ausgebracht, wobei 3 bzw. 4 der insgesamt 30 Kübel identisch behandelt wurden (unbalanciertes Design, 3 bzw. 4 Wiederholungen je VG). Die Herbizide wurden mit einer Parzellenspritze mit 2,5 m Arbeitsbreite appliziert, welche 200 l/ha Spritzbrühe mit 2,1 bar Druck und einer Geschwindigkeit von 5 km/h aus Airmix 120-025 Düsen ausbrachte.



Abbildung 10: Betonkübel im Modelversuch zum Abbau von Sulfonylharnstoffen am Standort Bingen 2022

Tabelle 27: Eingesetzte Herbizide im Betonkübelversuche am Standort Bingen 2022

VG	Herbizid	Aufwandmenge (l oder g /ha)	Wirkstoffkonzentration
1	Kontrolle	-	
2	Omnera® LQM	1,0 l/ha	5 g/ha Metsulfuron, 30 g/ha Thifensulfuron, 135 g/ha Fluroxypyr
3	Omnera® LQM	2,0 l/ha	10 g/ha Metsulfuron, 60 g/ha Thifensulfuron, 270 g/ha Fluroxypyr
4	Finy®	30 g/ha	6 g/ha Metsulfuron
5	Finy®	60 g/ha	12 g/ha Metsulfuron
6	Pointer®	60 g/ha	30 g/ha Tribenuron
7	Pointer®	120 g/ha	60 g/ha Tribenuron
8	Monitor®	25 g/ha	20 g/ha Sulfosulfuron

Aufgrund der ausgeprägten Trockenheit wurde der Sommerweizen regelmäßig bewässert. Am 18.07.2022 wurden die Sommerweizen-Pflanzen geerntet und die Stoppeln stehen gelassen. Mittels Spaten wurden am selben Tag jeweils 5 Saatrillen je Kübel gezogen mit einer Tiefe von 2 cm. Je Rille wurde eine definierte Menge einer Zwischenfruchtart ausgesät (10 kg/ha Ramtillkraut; 10 kg/ha Gartenkresse; 12 kg/ha Phacelia; 120 kg/ha Linse; 40 kg/ha Leindotter). Trotz mehrmaliger Bewässerung gelang es nicht einen flächigen Auflauf der Zwischenfruchtarten sicherzustellen. Dies konnte auch in der Kontrollvariante beobachtet werden, sodass ein Effekt der im April ausgebrachten Herbizide ausgeschlossen bzw. keine Differenzierung zwischen den Varianten vorgenommen werden konnte. Die spätere Ernte der noch aufgelaufenen Pflanzen ergaben keinen Zusammenhang zu den applizierten Herbiziden, sodass von einer Auswertung abgesehen wurde.

1.3.4 Qualitätsparameter der Erntegüter

Sowohl die „Konventionelle“ als auch die „Regenerativer Pflanzenbau“-Fläche wurden an jedem Standort in vier Blöcken aufgeteilt. In jedem Block wurden 10 x 10 m große Erntefenster angelegt und diese mit dem Versuchsmähdrescher geerntet. Für jeden Kerndrusch wurden Proben gezogen. Standorte mit Steigungen wurden mit der auf dem Betrieb vorhandenen Technik beerntet. Anstelle von Erntefenster wurden definierte Bahnen geerntet und mittels Plattenwagen der Ertrag erfasst und Ernteproben gezogen. Die Anzahl der Ernteprobe wurde der Erntefläche angepasst (6 – 12 Proben).

Folgende Parameter wurden untersucht:

1. Sommerbraugerste: Proteingehalt (%) und Hektolitergewicht (kg/hl) mittels Nah-Infrarot-Spektroskopie, Anteil Korngrößenfraktionen (%) = Vollgerstenanteil
2. Futtererbsen: Proteingehalt (%) mittels Nah-Infrarot-Spektroskopie
3. Winterweizen und -durum: Proteingehalt (%) und Hektolitergewicht (kg/hl) mittels Nah-Infrarot-Spektroskopie
4. Winterraps: Ölgehalt (%) und Hektolitergewicht (kg/hl) mittels Nah-Infrarot-Spektroskopie
5. Zuckerrüben: Zuckergehalt (%), Gehalt an Melassebildner (mmol/kg)

2 Verlauf des Vorhabens

Alle im Arbeitsplan aufgeführten Versuche wurden wie beschrieben durchgeführt. Zwei Standorte konnten witterungsbedingt (Hagelschlag; „Im Ochsenenthal“, 2021, Futtererbsen) bzw. durch einen Herbizidschaden („Plenzer“, 2022, Futtererbsen) nicht beerntet werden. Ansonsten fanden die On-Farm Versuche in drei Vegetationsjahren statt und die Interaktion zwischen Jahreswitterung und Pflanzenwachstum bzw. Ertrag sowie die Umstellung von konventioneller auf regenerativer Anbauform konnten erfasst werden. Die Integration von Zuckerrüben in die Fruchtfolge erforderte eine Projektverlängerung von Juni auf November im letzten Versuchsjahr 2023. Zur Quantifizierung und besseren Beschreibung der Heterogenität der Pflanzenbestände, die insbesondere in der Variante „Regenerativer Pflanzenbau“ auftrat, wurden im Jahr 2022 und 2023 Drohnenbilder mittels Multispektral-Kamera durch einen externen Dienstleister aufgenommen und diese ausgewertet. Mithilfe der Drohnenkarten konnte der Vegetations-Index „NDVI“ berechnet werden. Der Austausch zwischen den Mitgliedern der operationellen Gruppe wurde durch regelmäßige Gruppentreffen ermöglicht. Zum Ende der Projektlaufzeit fand eine Abschlusstagung am 02.11.2023 in Bad Kreuznach im Haus der Landwirtschaft statt, auf der alle wesentlichen Ergebnisse und Erfahrungen des Projektes dargestellt und diskutiert wurden.

3 Ergebnisse und Zielerreichung

3.1 Anbauvergleich im On-Farm Research

3.1.1 Anbauvergleich betriebsübliches System und System Regenerativer Pflanzenbau

Die Anzahl der aufgelaufenen Pflanzen unterschied sich zwischen den beiden Verfahren bei allen Sommerungen (Abbildung 11). Mit Ausnahme bei der Sommergerste im Versuchsjahr 2021/2022 wurde eine geringe Dichte an Kulturpflanzen pro m² gezählt.

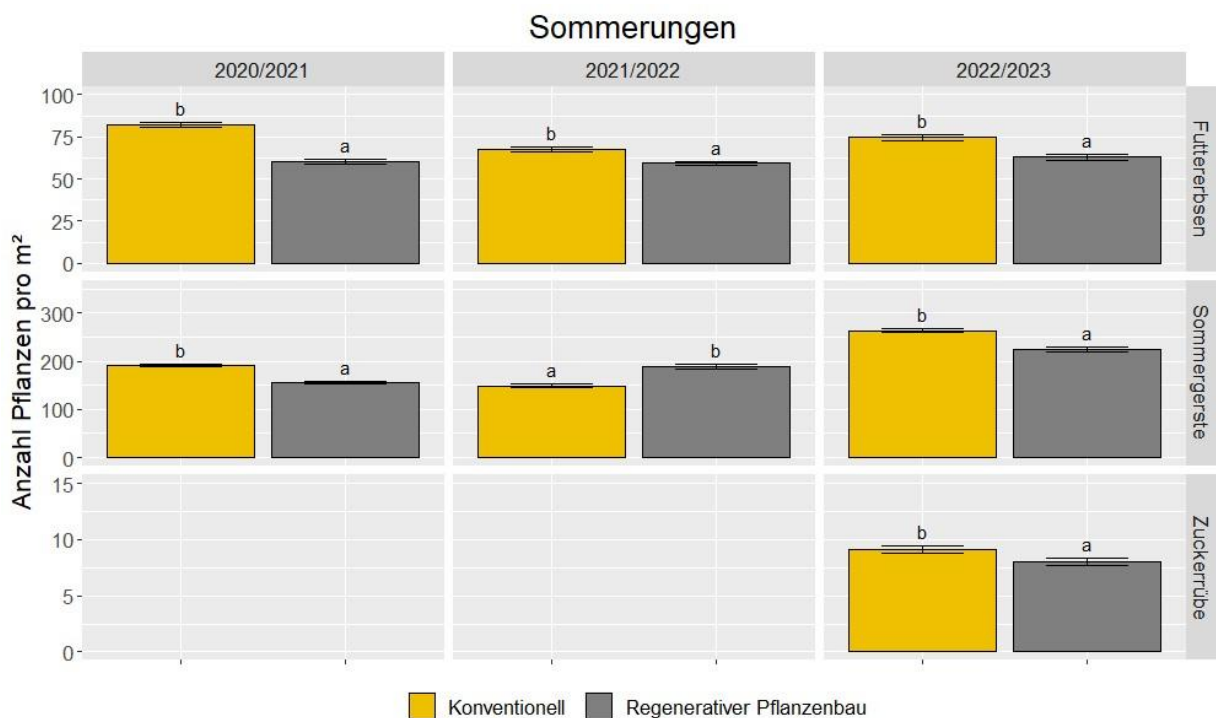


Abbildung 11: Anzahl an Pflanzen pro m² bei Futtererbsen, Sommergerste und Zuckerrübe im konventionellen und regenerativen Pflanzenbau in den Versuchsjahren 2021 bis 2023 (gemittelt über die Standorte, Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

Ein ähnliches Bild ergab die Zählungen bei den Winterkulturen, bei denen die Dichte an Kulturpflanzen meist signifikant niedriger war in der Variante „Regenerativer Pflanzenbau“ (Abbildung 12).

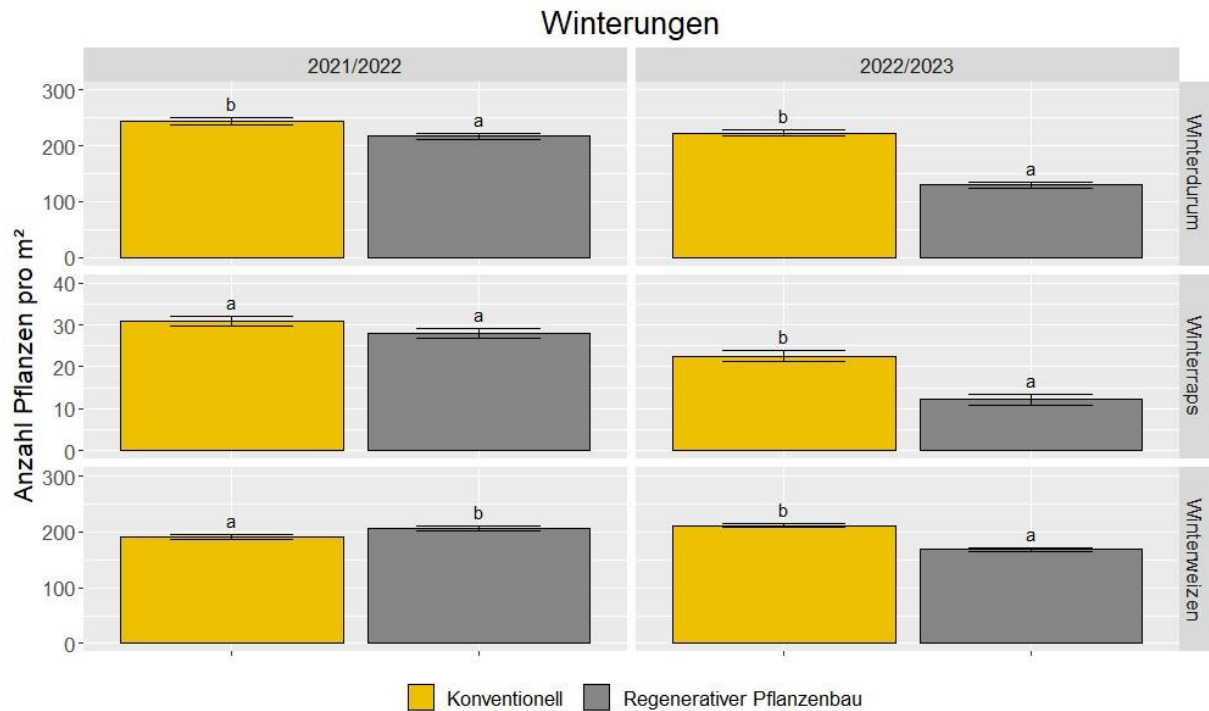


Abbildung 12: Anzahl an Pflanzen pro m² bei Winterdurum, Winterraps und Winterweizen im konventionellen und regenerativen Pflanzenbau in den Versuchsjahren 2021/22 und 2022/23 (gemittelt über die Standorte, Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit)

Die niedrigeren Werte des NDVI in den Sommerungen im April 2022 deuten auf einen Vorsprung der Pflanzen aus dem konventionellen bestellten Flächen hin (Abbildung 13). Tendenziell lagen die NDVI-Werte in den Winterungen auch in den konventionell bestellten Flächen höher, jedoch mit einem geringeren Unterschied.

Im Folgejahr konnte im Mai (meist) keine Unterschiede in der Vegetationsdichte festgestellt werden (Abbildung 14).

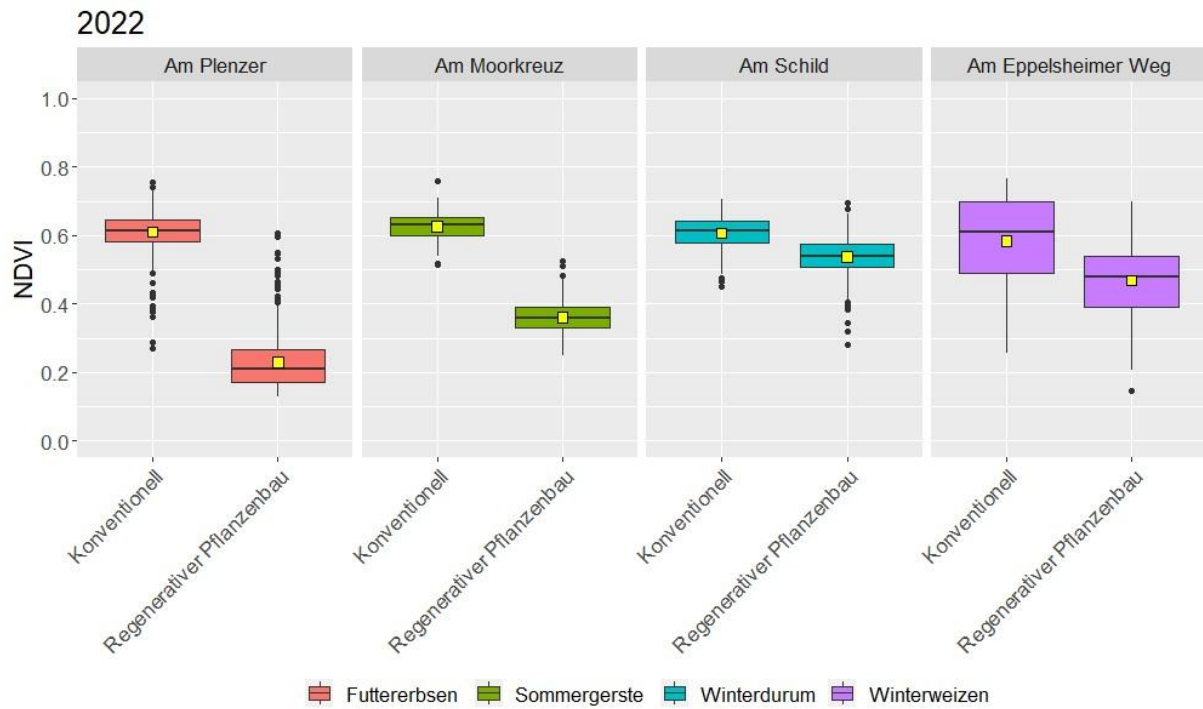


Abbildung 13: NDVI (normalized digital vegetation index) in Futtererbsen, Sommergerste, Winterdurum und Winterweizen im konventionellen und regenerativen Pflanzenbau im April 2022 auf den Versuchsstandorten

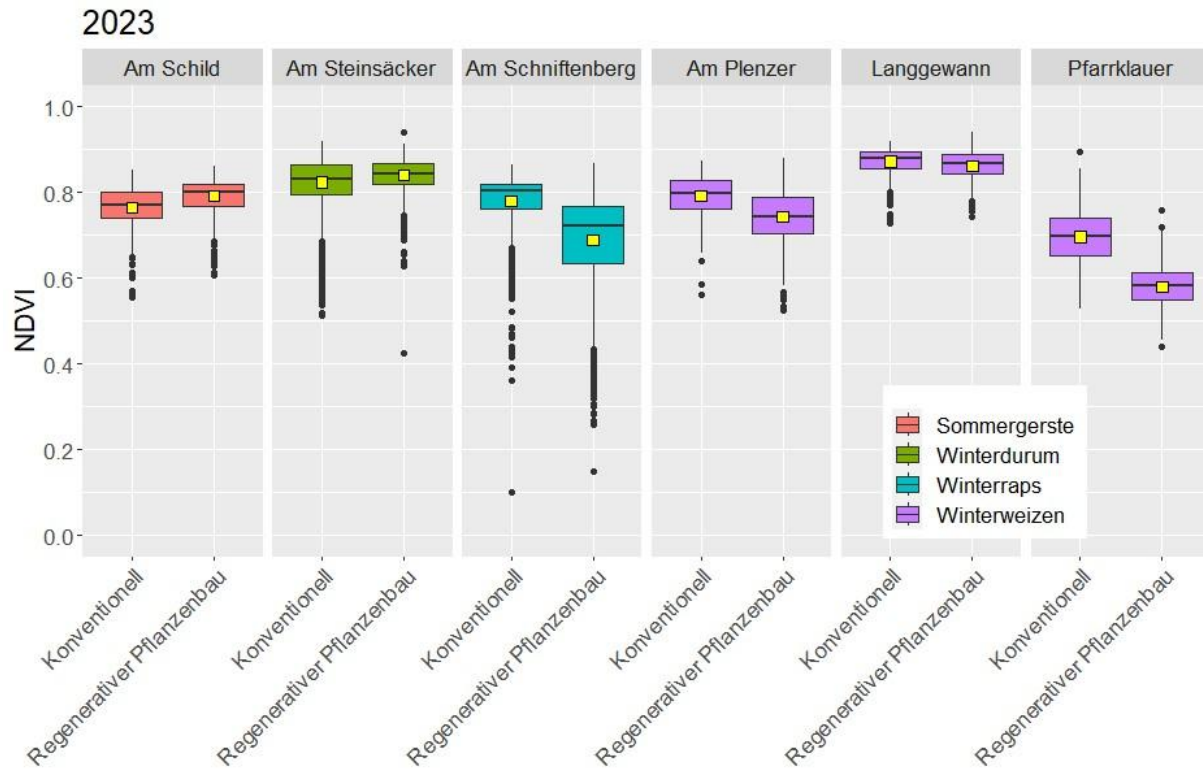


Abbildung 14: NDVI (normalized digital vegetation index) in Futtererbsen, Sommergerste, Winterdurum und Winterweizen im konventionellen und regenerativen Pflanzenbau im Mai 2023 auf den Versuchsstandorten

Die Befallsstärke bei *Rynchosporium* war bei Sommergerste im BBCH 25 mit 18 % signifikant höher im konventionellen Anbau als im Regenerativen Pflanzenbau (Abbildung 15). Der Einsatz eines Fungizides reduzierte die Befallsstärke in beiden Varianten zum BBCH 51, hier lag kein signifikanter Unterschied vor.

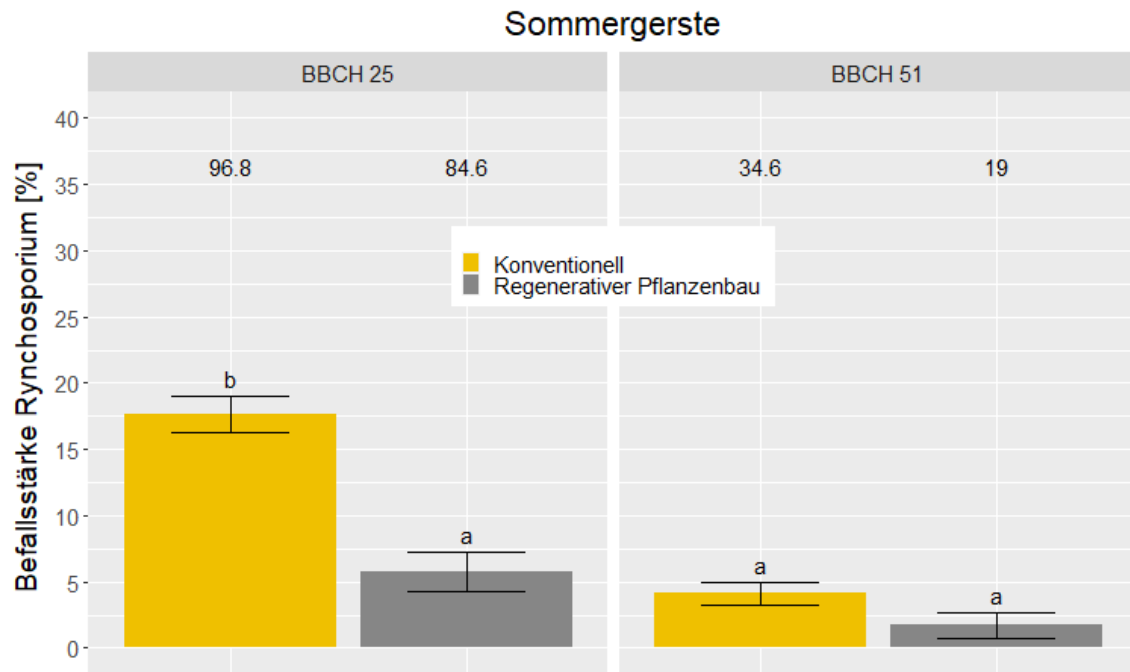


Abbildung 15: Befallsstärke *Rynchosporium* [%] bei Sommergerste im konventionellen Pflanzenbau und Regenerativen Pflanzenbau im BBCH 25 und 51 am Standort Am Schild im Versuchsjahr 2023 (Zahlen über Säulen: Befallshäufigkeit; Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).

Die Befallsstärke bei Echten Mehltau und *Septoria tritici* waren sowohl bei Winterweizen als auch bei Winterdurum signifikant höher in der konventionellen Varianten im Stadium des Schossens (Abbildung 16 und 17). Durch den Einsatz eines Fungizides wurden keine signifikanten Unterschiede in späteren Entwicklungsstadien bonitiert.

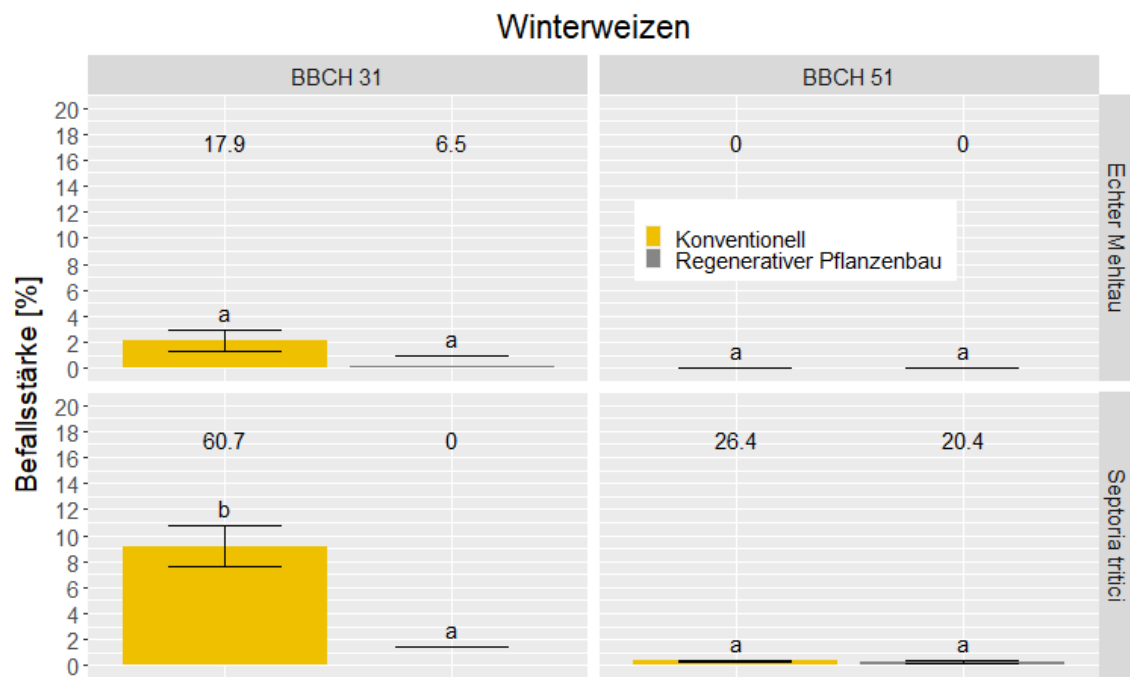


Abbildung 16: Befallsstärke Echter Mehltau und Septoria tritici [%] bei Winterweizen im konventionellen Pflanzenbau und Regenerativen Pflanzenbau im BBCH 31 und 51 am Standort Plenzer im Versuchsjahr 2023 (Zahlen über Säulen: Befallshäufigkeit; Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).

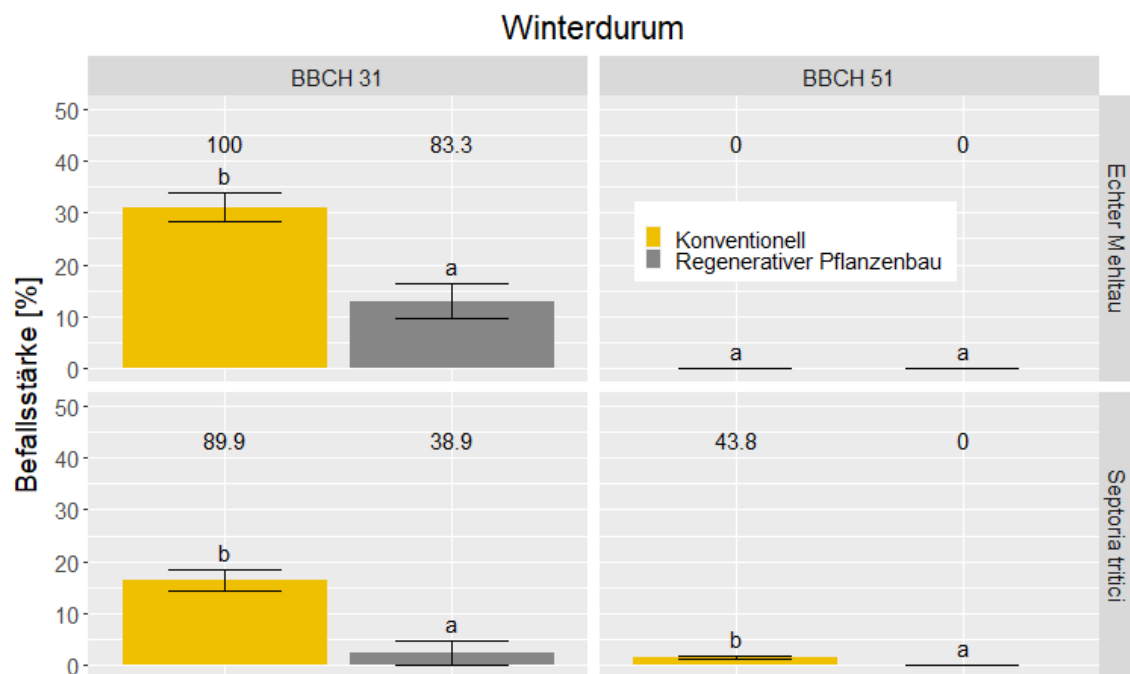


Abbildung 17: Befallsstärke Echter Mehltau und Septoria tritici [%] bei Winterdurum im konventionellen Pflanzenbau und Regenerativen Pflanzenbau im BBCH 31 und 51 am Standort Am Steinsäcker im Versuchsjahr 2023 (Zahlen über Säulen: Befallshäufigkeit; Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).

Die Ährendichte war in Sommergerste in allen drei Versuchsjahren signifikant niedriger in der Variante Regenerativer Pflanzenbau (Abbildung 18). Winterweizen als auch Winterdurum wiesen geringere Unterschiede zwischen den Ährendichten auf.

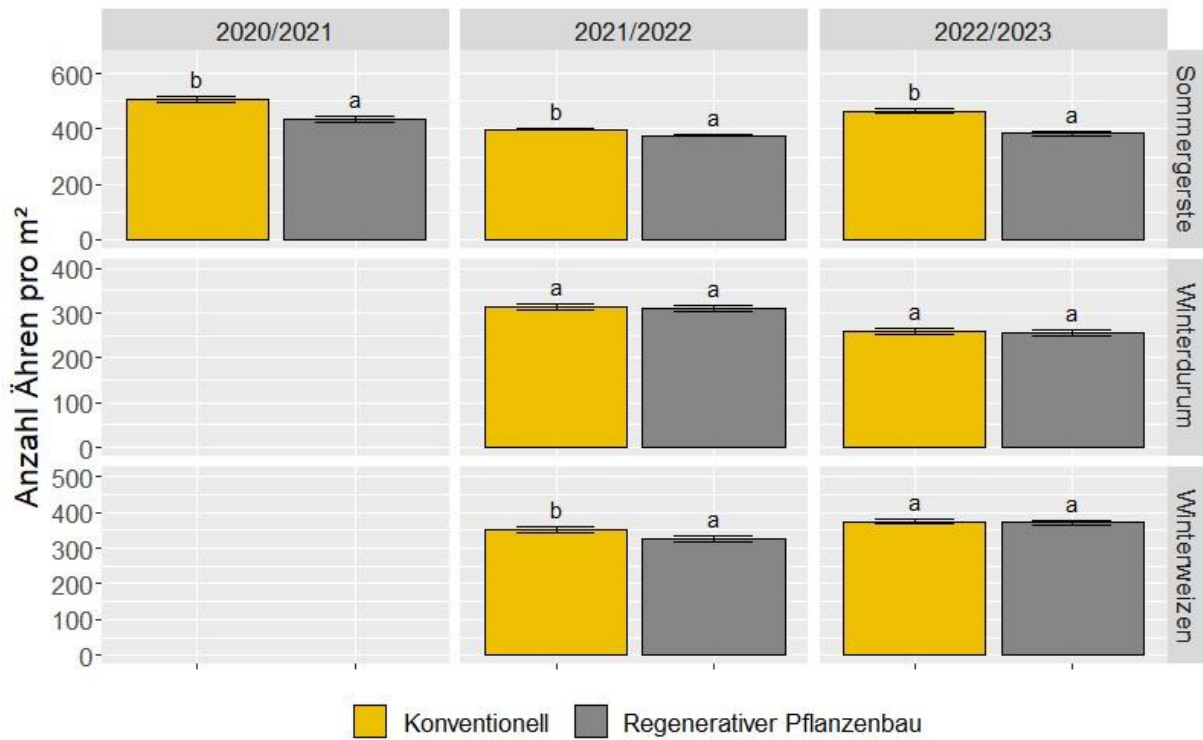


Abbildung 18: Anzahl an Ähren [m^{-2}] bei Sommergerste, Winterdurum und Winterweizen im konventionellen Anbau und regenerativen Pflanzenbau in den Versuchsjahren 2021 bis 2023 gemittelt über die jeweiligen Standorte (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).

Tendenziell wurden höhere Kornerträge bei den Sommerungen Futtererbsen und Sommergerste in der Variante konventionellen Anbau erzielt (Abbildung 19). Bei den Winterrungen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden, dort glichen sich die Kornerträge (Abbildung 20).

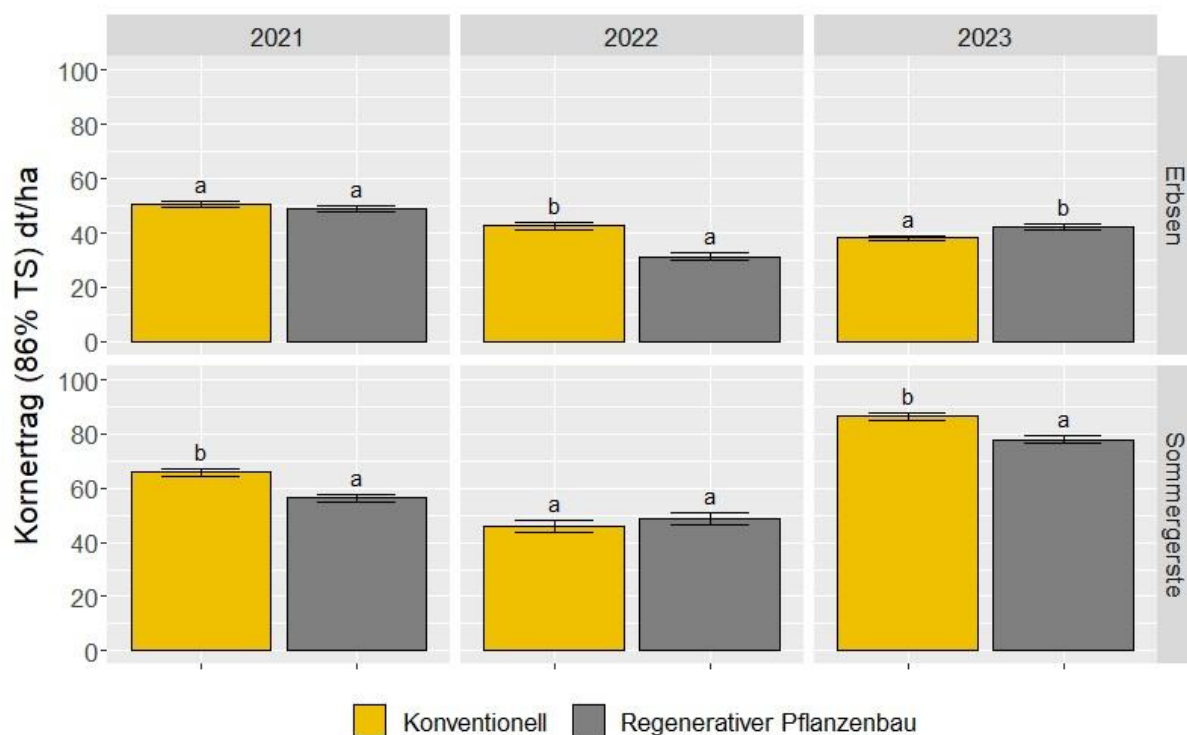


Abbildung 19: Kornertrag (86 % TS) [dt/ha] bei Erbsen und Sommergerste im konventionellen Anbau und regenerativen Pflanzenbau in den Versuchsjahren 2021 bis 2023 gemittelt über die jeweiligen Standorte (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).

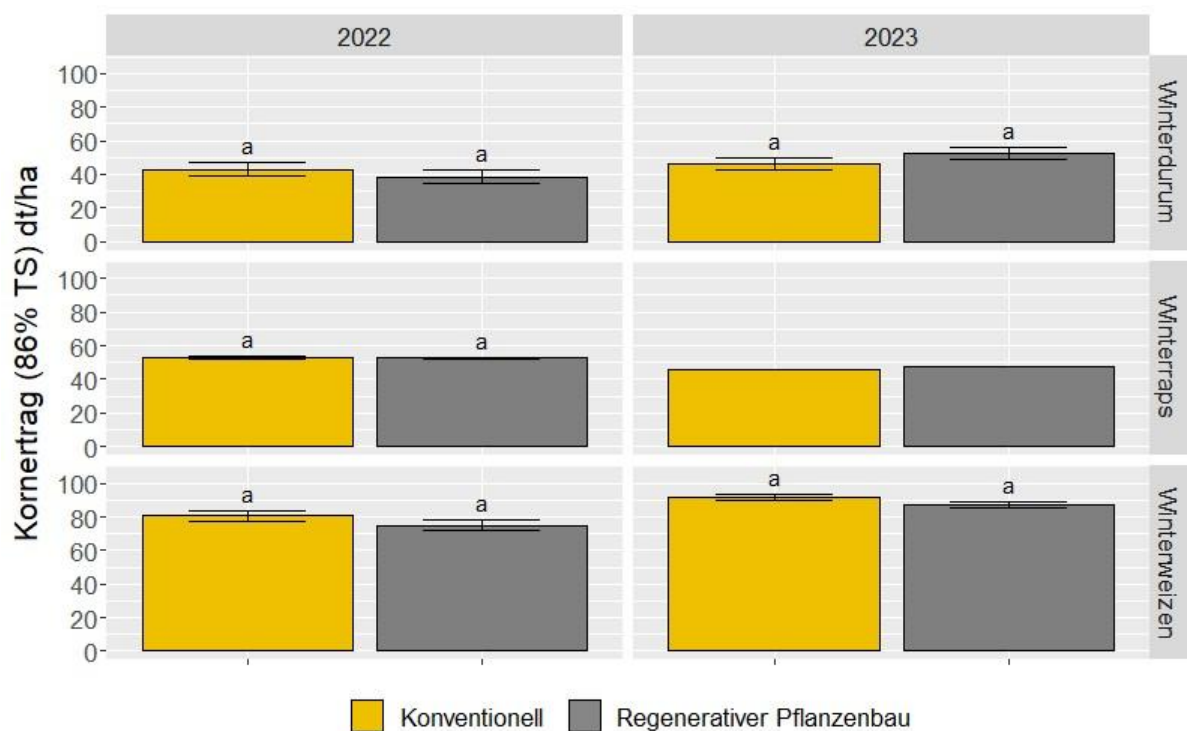


Abbildung 20: Kornertrag (86 % TS) [dt/ha] bei Winterdurum, Winterraps (91 % TS) und Winterweizen im konventionellen Anbau und regenerativen Pflanzenbau in den Versuchsjahren 2022 und 2023 gemittelt über die jeweiligen Standorte (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test, 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).

An beiden Standorten, an denen im Jahr 2023 Zuckerrüben angebaut wurden, wurden höhere Rüben- als auch höherer Zuckererträge im konventionellen Pflanzenbau geerntet (Abbildung 21).

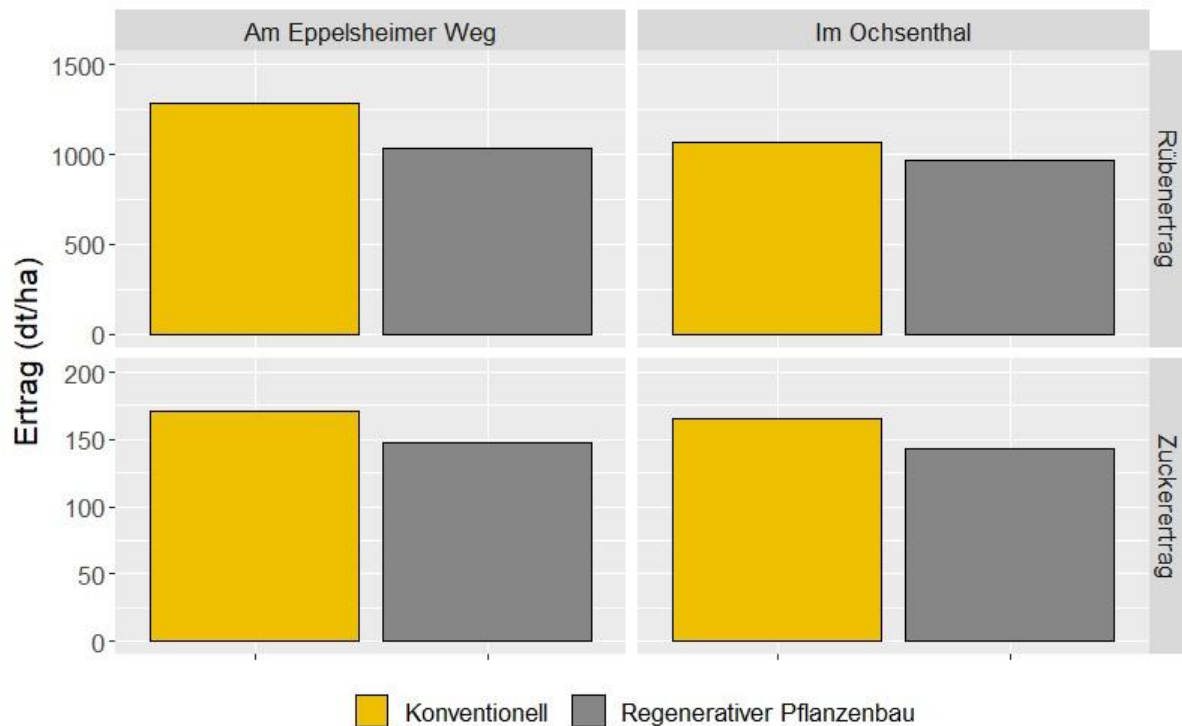


Abbildung 21: Rüben- und Zuckerertrag [dt/ha] im konventionellen Anbau und regenerativen Pflanzenbau im Versuchsjahr 2023 an den Standorten Am Eppelsheimer Weg und Im Ochsenthal

Die N-Bilanzen unterschieden sich mehr zwischen den Kulturen als zwischen den beiden Anbauverfahren (Tabelle 28). Bei der Futtererbse und Winterdurum waren die Bilanzen überdurchschnittlich positiv, wohingegen die Sommergerste häufig negative Bilanzwerte annahm.

Der Behandlungsindex, welcher die Intensität des Pflanzenschutzmitteleinsatzes quantifiziert, unterschied sich im ersten Versuchsjahr geringfügig (Abbildung 22). Durch Einsparung des Herbizides in Winterraps sank der Index im zweiten Versuchsjahr in der Regenerativen Pflanzenbau-Variante. Durch eine sich verändernde Unkrautflora stieg der Bedarf an Herbiziden im dritten Versuchsjahr auf den Direktsaatflächen in den meisten Kulturen, insbesondere in den Sommerungen, an.

Tabelle 28: N-Bilanz [kg N/ha] in den Versuchsjahren 2021 bis 2023 in verschiedenen Kulturen bei konventionellem Anbau und Regenerativen Anbau

Jahr	Kultur	N-Bilanz (kg N/ha)		
		Konventionell	Regenerative	Mittel
2021	Futtererbse	57	55	56
2021	Sommergerste	-21	-21	-21
2022	Futtererbse	52	40	46
2022	Sommergerste	28	7	18
2022	Winterdurum	32	54	43
2022	Winterraps	16	7	11
2022	Winterweizen	-13	19	3
2023	Futtererbse	23	38	30
2023	Sommergerste	-39	-10	-25
2023	Winterdurum	51	48	50
2023	Winterraps	5	0	2
2023	Winterweizen	-5	1	-2
	Mittel	8	14	11

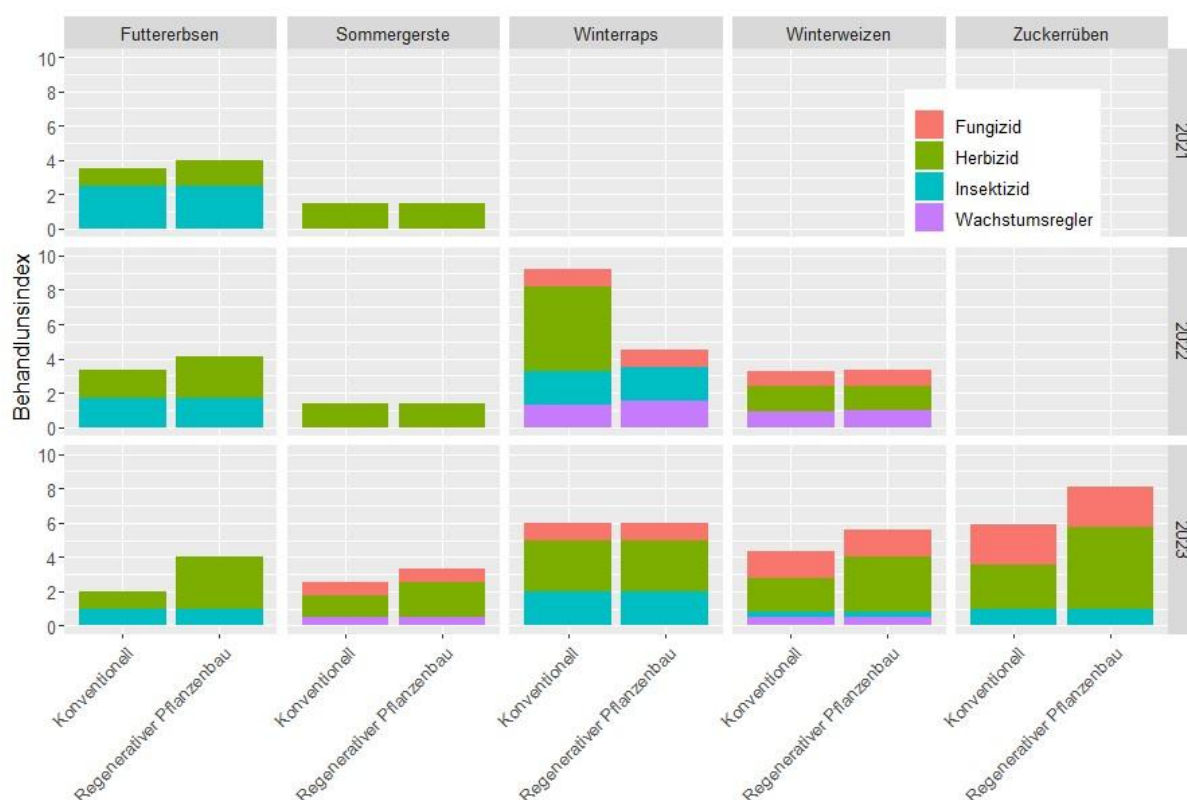


Abbildung 22: Behandlungsindex in verschiedenen Kulturen in den Versuchsjahren 2021 bis 2023 in Abhängigkeit von dem Anbauverfahren

3.1.2 Zwischenfruchtanbau auf den Praxisflächen

Die Zwischenfruchtmischung, welche im Jahr 2021 auf 8 von 9 Versuchsflächen ausgesät wurde, konnte bereits wenige Wochen nach der Aussaat ein hoher Bedeckungsgrad des Bodens mit lebenden Pflanzen bonitiert werden (Abbildung 23).

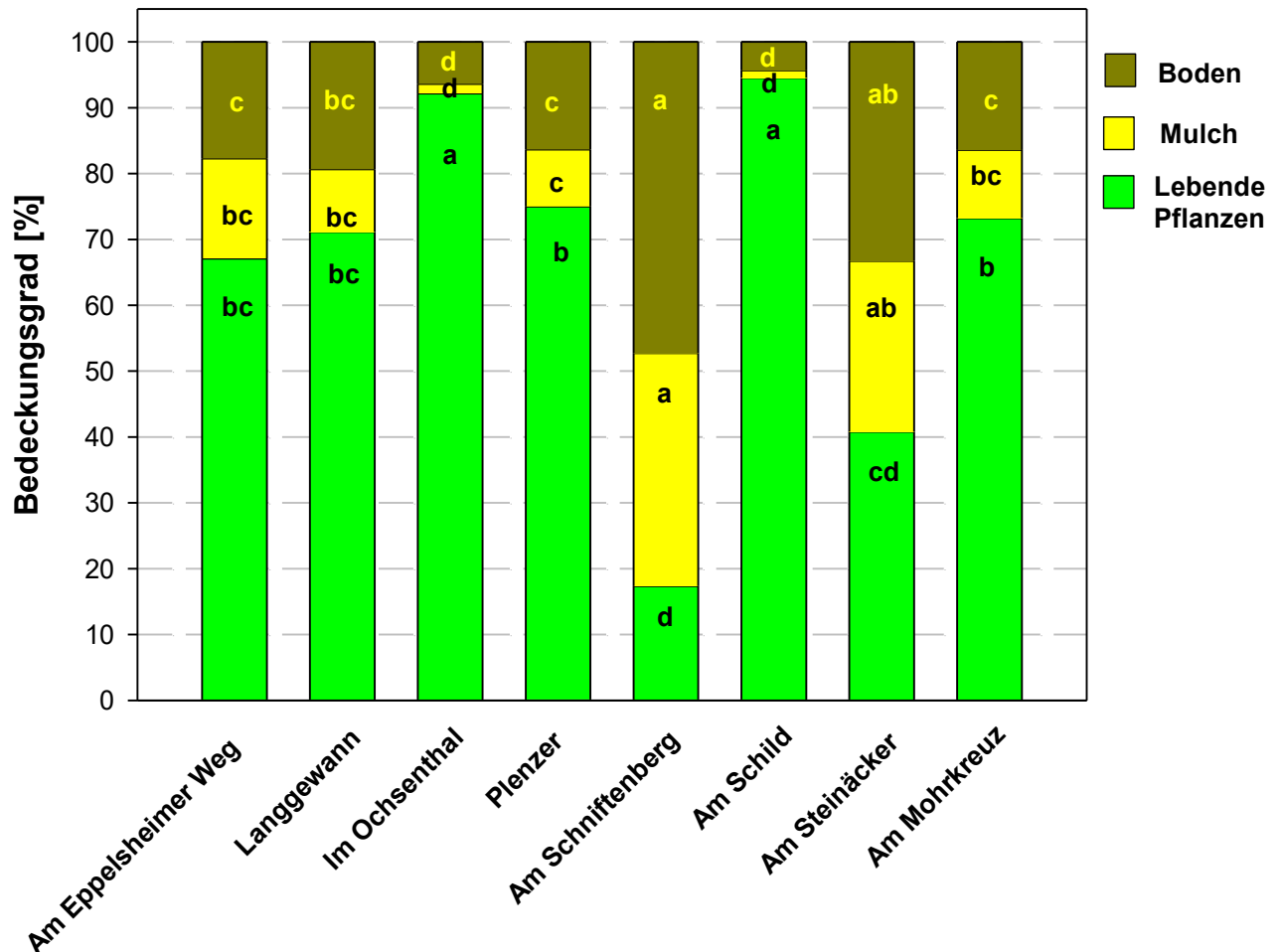


Abbildung 23: Bedeckungsgrad [%] der Bodenoberfläche (08.09.21) eingeteilt in Boden, Mulch (abgestorbenen Pflanzenmaterial) und lebende Pflanzen in Abhängigkeit vom Standort (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Standorten, TukeyHSD-Test mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).

Der Frisch- und Trockenmasseaufwuchs vom 28.09.2021 lag an den Standorten „Im Ochsental“ und „Am Schild“ bei über 6 t TM Biomasse pro ha (Abbildung 24). Die vor Eintritt der Vegetationsruhe untersuchten Standorte wiesen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Standorten auf, der Trockenmasseertrag lag zwischen 2,3 und 3,6 t pro ha.

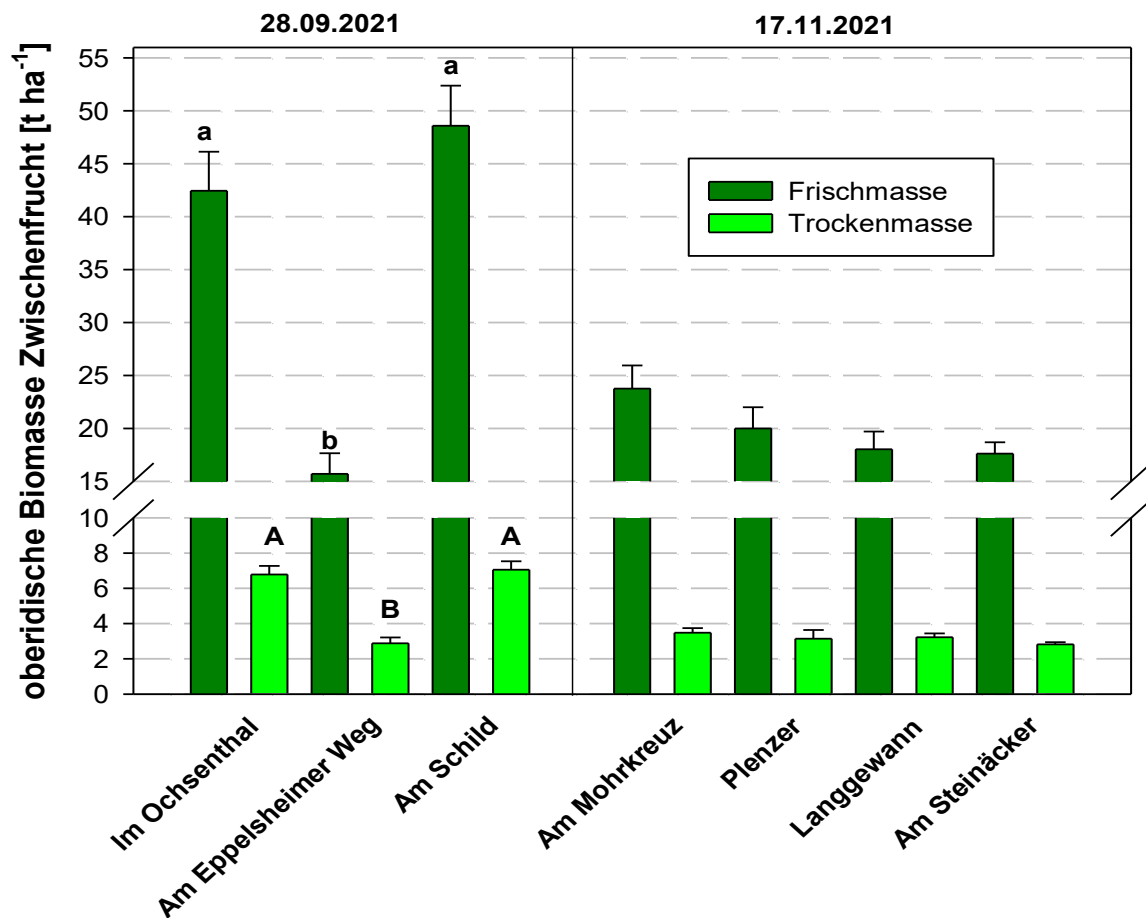


Abbildung 24: Oberirdische Biomasse des Zwischenfruchtauswuchses [t ha^{-1}] in Frisch- und Trockenmasse in Abhängigkeit vom Standort und Zeitpunkt des Erntezeitpunktes (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Standorten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit).

In Kontrast zu 2021 war Ende August 2022 der Bedeckungsgrad an lebenden Pflanzen sehr gering bis gar nicht vorhanden (Abbildung 25). Am 04.10.22 war an allen 5 Standorten der Boden mit Pflanzen überdeckt (Abbildung 26). Dabei hob sich die Versuchsfläche „Am Eppelsheimer Weg“ mit 80 % Deckungsgrad Pflanze ab, trotz des geringeren Auflaufs an Pflanzen verglichen mit der Fläche „Am Steinsäcker“.

31.08.2022

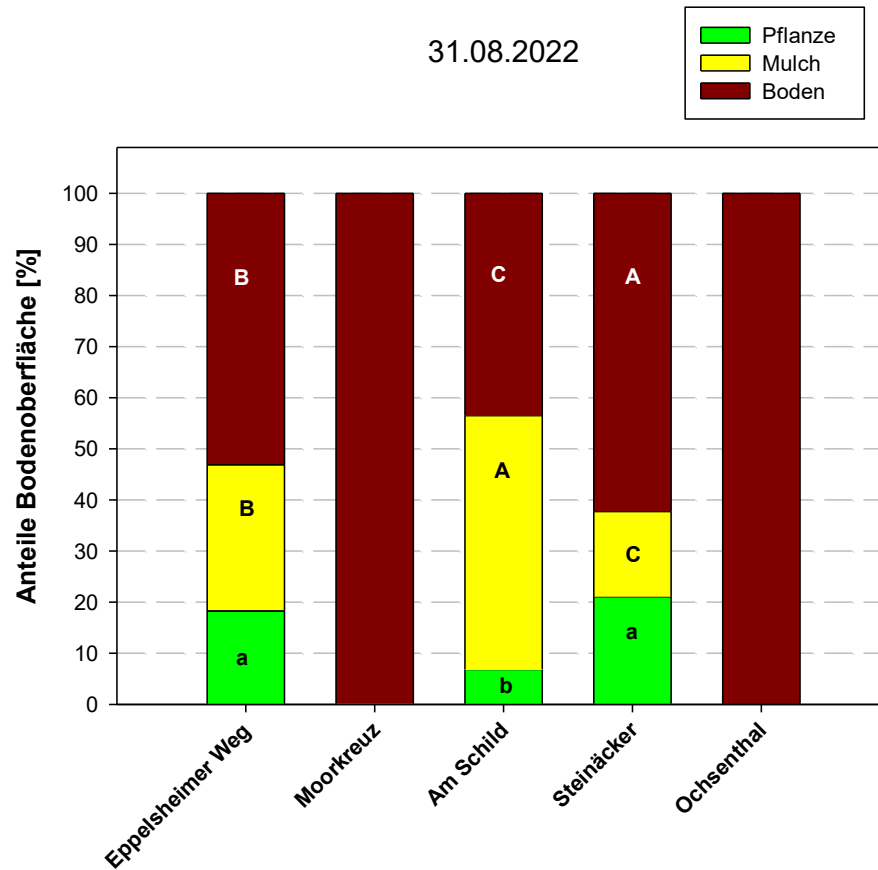


Abbildung 25: Bedeckungsgrad [%] der Bodenoberfläche (31.08.2022) eingeteilt in Boden, Mulch (abgestorbenen Pflanzenmaterial) und lebende Pflanzen in Abhängigkeit vom Standort (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Standorten, TukeyHSD-Test mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).

04.10.2022

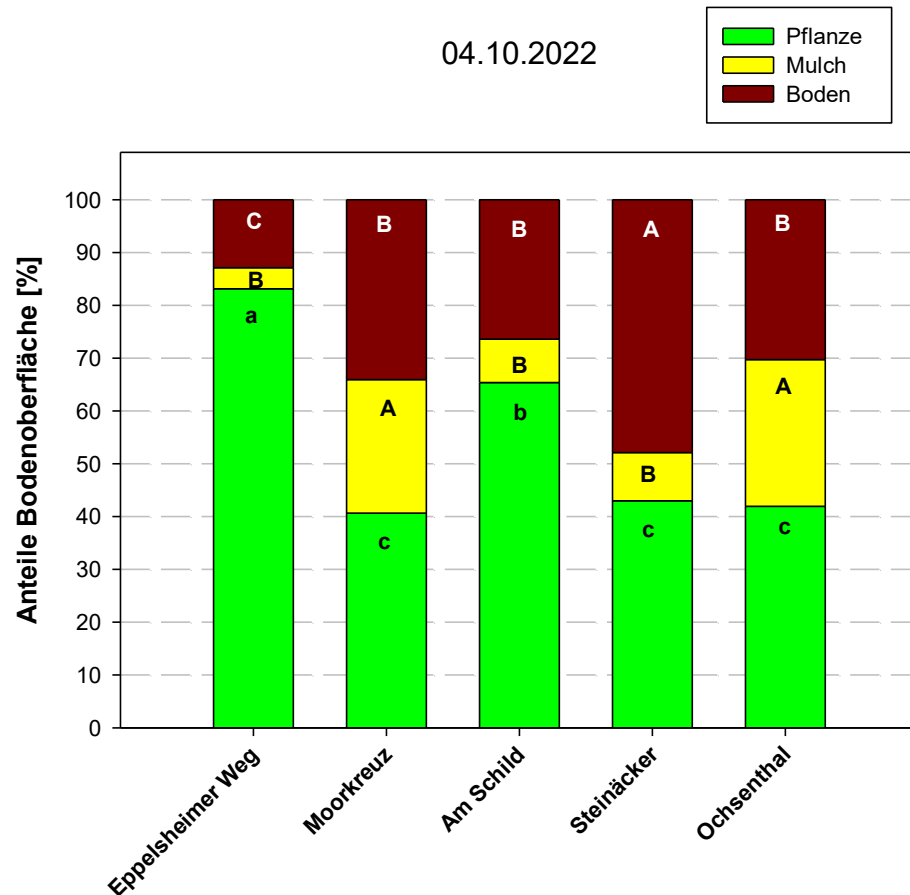


Abbildung 26: Bedeckungsgrad [%] der Bodenoberfläche (04.10.2022) eingeteilt in Boden, Mulch (abgestorbenen Pflanzenmaterial) und lebende Pflanzen in Abhängigkeit vom Standort (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Standorten, TukeyHSD-Test mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).

3.1.3 Herbizidversuche für Alternativen zu Glyphosat

3.1.3.1 Inkarnatklée in Sommergerste

Zu beiden Bonituren wurden die höchsten Wirkungsgrade gegen Inkarnatklée mit Omnera® LQM erzielt (Abbildung 27). Die anderen Sulfonylharnstoff-haltigen Präparate erreichten zwischen 70 und 80 % Wirkung. Mit 35 % zur zweiten Bonitur erreichte U 46® D die geringste Wirkung.

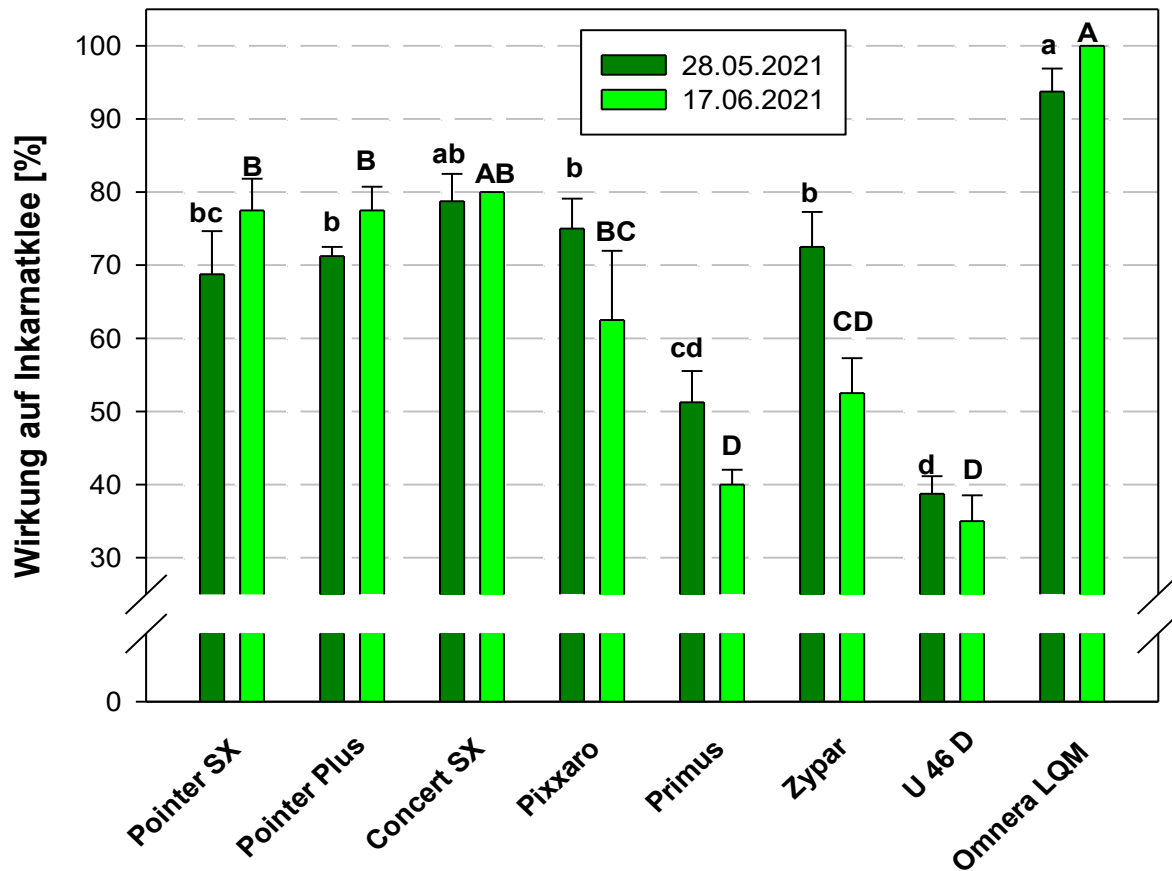


Abbildung 27: Wirkung auf Inkarnatklie [%] vier und sechs Wochen nach der Applikation der Herbizide in Abhängigkeit vom Herbizid in Sommergerste auf dem Versuchsstandort „Am Schniftenberg“ im Versuchsjahr 2021 (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).

3.1.3.2 Bekämpfung dikotyler Arten in Winterweizen im Herbst

Die abschließende Bonitur im Mai 2022 zeigte nur geringe Unterschiede im Wirkungspotential der Herbizide, die im Herbst 2021 zur Abtötung der verbliebenen Zwischenfruchtarten eingesetzt wurden (Abbildung 28 und 29). Bei einzelnen Herbiziden wie Sumimax® konnte bei Arten wie Alexandrinerklie eine geringere Wirkung festgestellt werden. Generell konnte nur zwischen den beiden Standorten ein signifikanter Unterschied in der durchschnittlichen Gesamtwirkung nachgewiesen werden, wobei auf der Fläche „Im Ochsenthal“ eine höhere Gesamtwirkung bonitiert wurde (Abbildung 30).

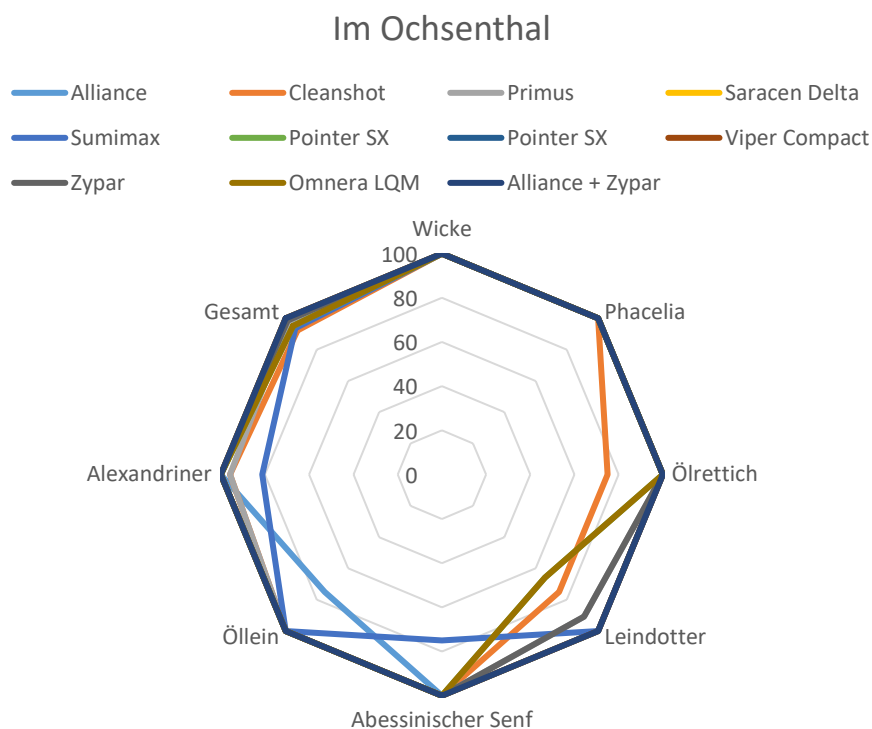


Abbildung 28: Wirkung der Herbizide im Vergleich zur Kontrolle [%] in Abhängigkeit von der Zwischenfruchtart an der Versuchsfläche "Im Ochsenthal" im Versuchsjahr 2022

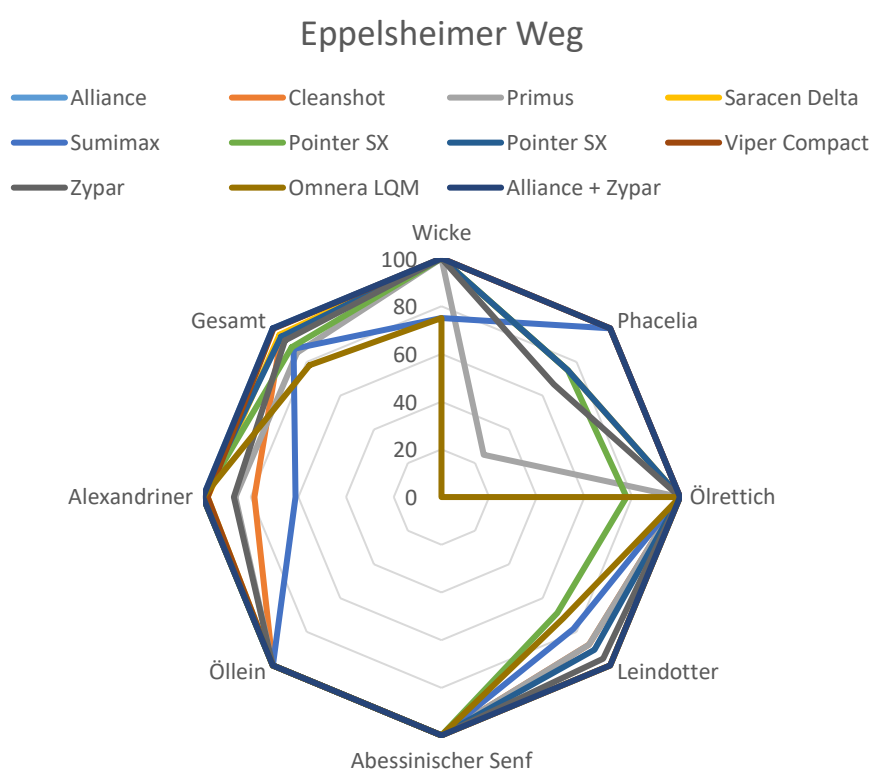


Abbildung 29: Wirkung der Herbizide im Vergleich zur Kontrolle [%] in Abhängigkeit von der Zwischenfruchtart an der Versuchsfläche "Eppelsheimer Weg" im Versuchsjahr 2022

Durchschnittliche Wirkung Herbizide

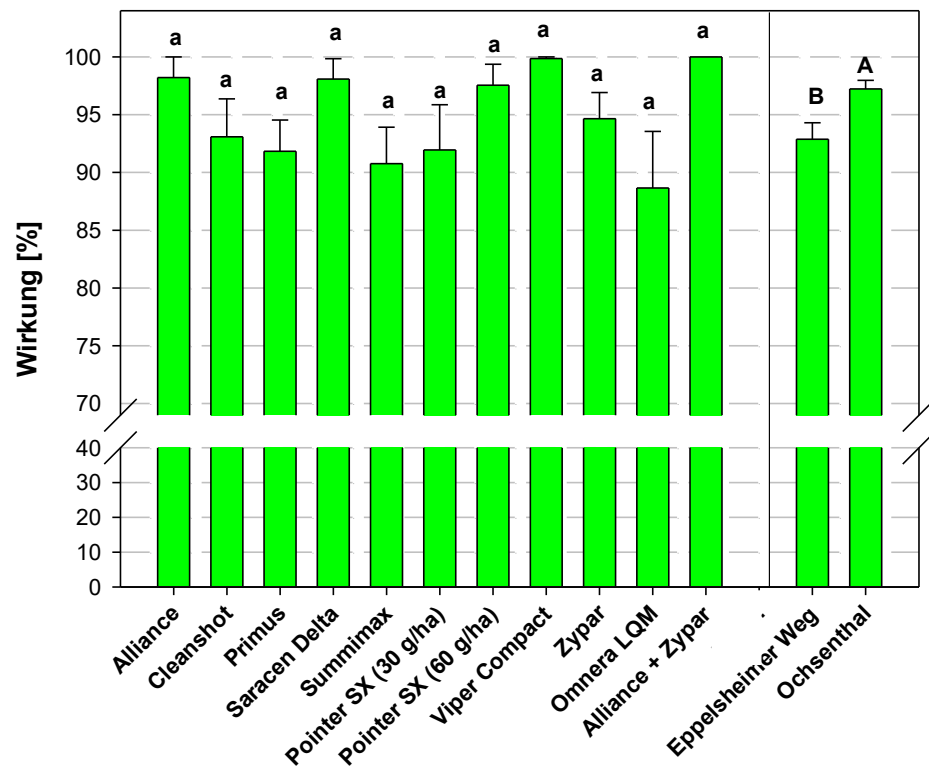


Abbildung 30: Durchschnittliche Gesamtwirkung der im Herbst 2021 eingesetzten Herbizide im Wintergetreide in Abhängigkeit vom Herbizid und Standort im Versuchsjahr 2022 (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten und Standorten, TukeyHSD-Test mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit).

Der Kornertrag unterschied sich in keiner der behandelten Varianten signifikant von der Kontroll-Variante, lediglich der Standort zeigte einen signifikanten Effekt auf den Ertrag (Abbildung 31).

Kornertrag Herbizidversuch Winterweizen

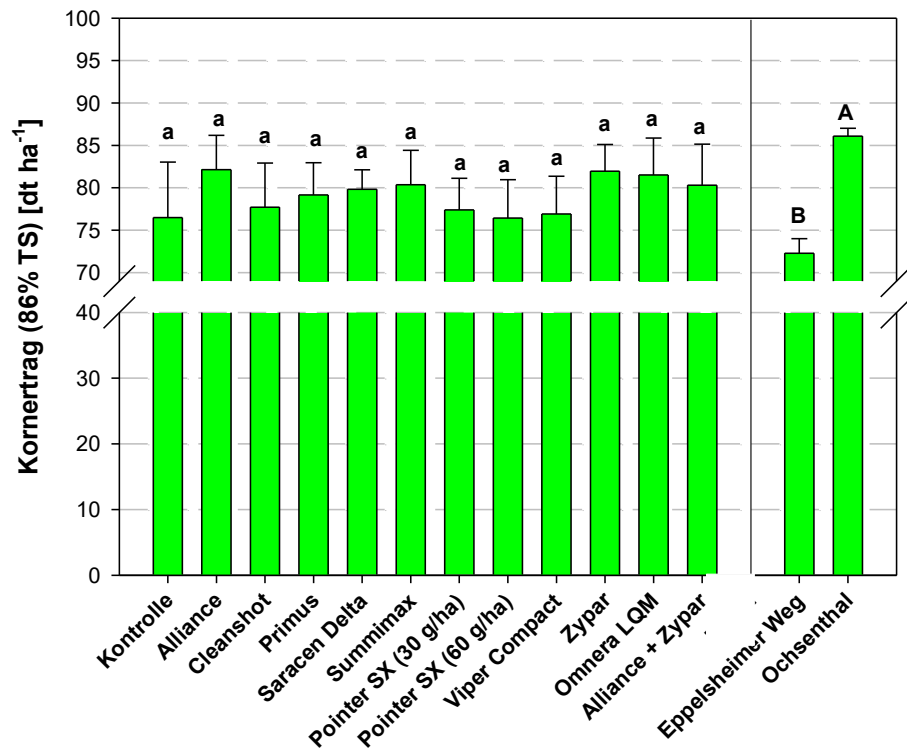


Abbildung 31: Kornertrag Winterweizen (86 % TS) [dt/ha] in Abhängigkeit vom Herbizid und Standort im Versuchsjahr 2022 (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten und Standorten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler).

3.1.3.3 Herbizideversuche in Futtererbsen

Die verschiedenen Herbizidvarianten, die im Jahr 2022 als Alternative zur Standard-Maßnahme im Voraufbauverfahren erprobt wurden, unterschieden sich nicht signifikant in ihrem Reduktionspotentials der vorkommenden Unkrautarten (Abbildung 32). Mit durchschnittlich 90 % Reduzierung erreichte die Variante „Onyx“ (Wirkstoff: Pyridat) den höchsten Wert, gefolgt von der Variante „Harmony SX“ (Wirkstoff: Thifensulfuron).

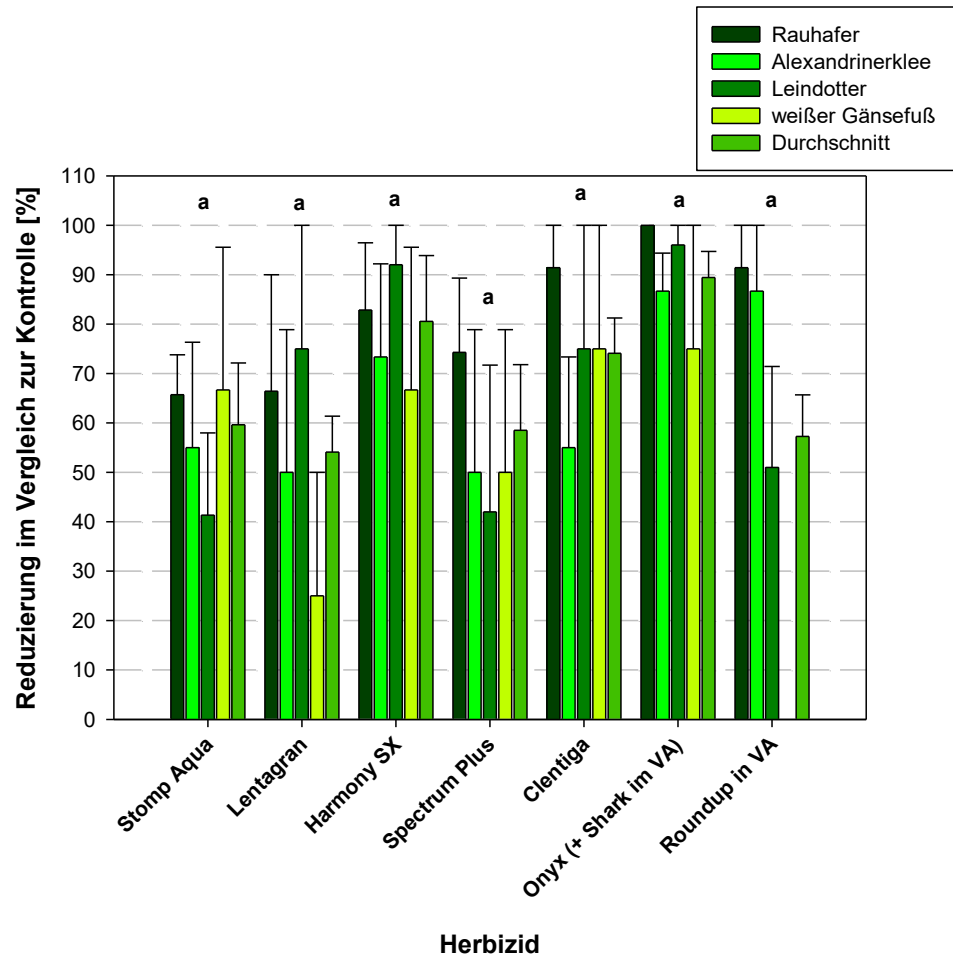


Abbildung 32: Reduzierung des Artenvorkommens im Vergleich zur Kontrolle [%] in Abhängigkeit vom Herbizid und Art an der Versuchsfläche "Langgewann" im Versuchsjahr 2022 (Fehlerbalken = Standardfehler)

Die eingesetzten Herbizide unterschieden sich in der Kulturverträglichkeit signifikant (Abbildung 33). Die visuelle Bonitur ergab eine deutliche Schädigung bei Harmony® SX, welches in Futtererbsen keine Zulassung hat. Im Vergleich mit den anderen Herbiziden konnte auch eine geringere Kulturverträglichkeit bei Onyx® festgestellt werden.

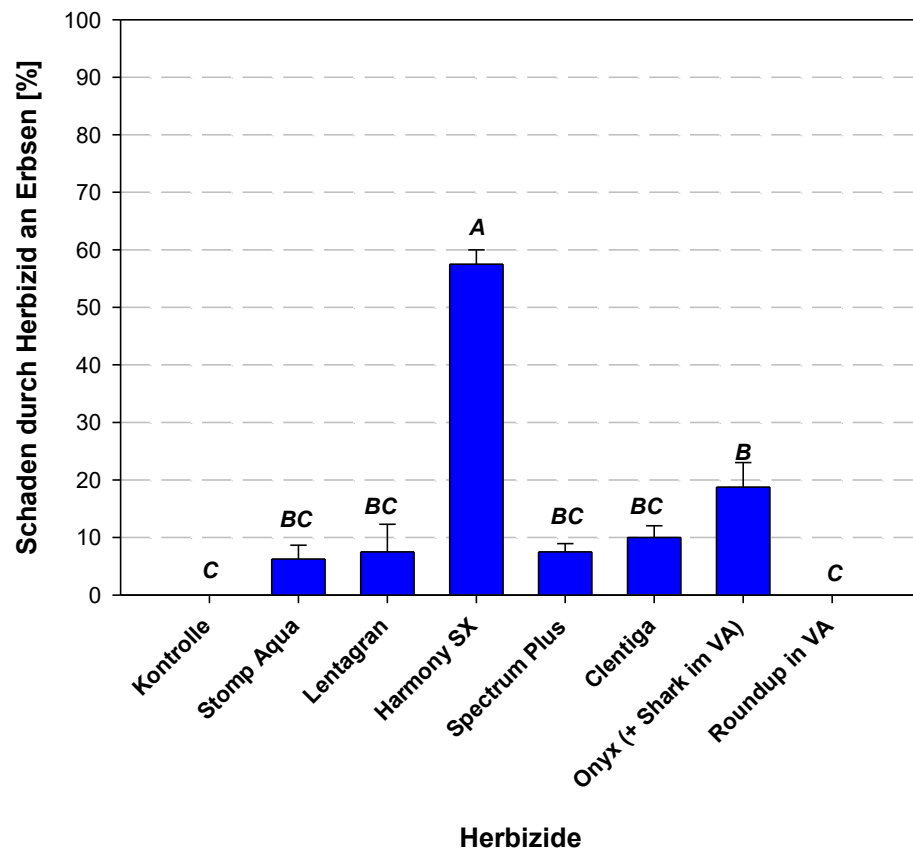


Abbildung 33: Schäden bei Futtererbsen [%] in Abhängigkeit vom Herbizid im Versuchsjahr 2022 (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler)

Die geringere Kulturverträglichkeit von Harmony® SX spiegelte sich auch in der Anzahl der niedrigeren Anzahl an Hülsen je Pflanze wider (Abbildung 34). Die Anzahl Erbsen je Hülse unterschied sich zwischen den Varianten nicht signifikant.

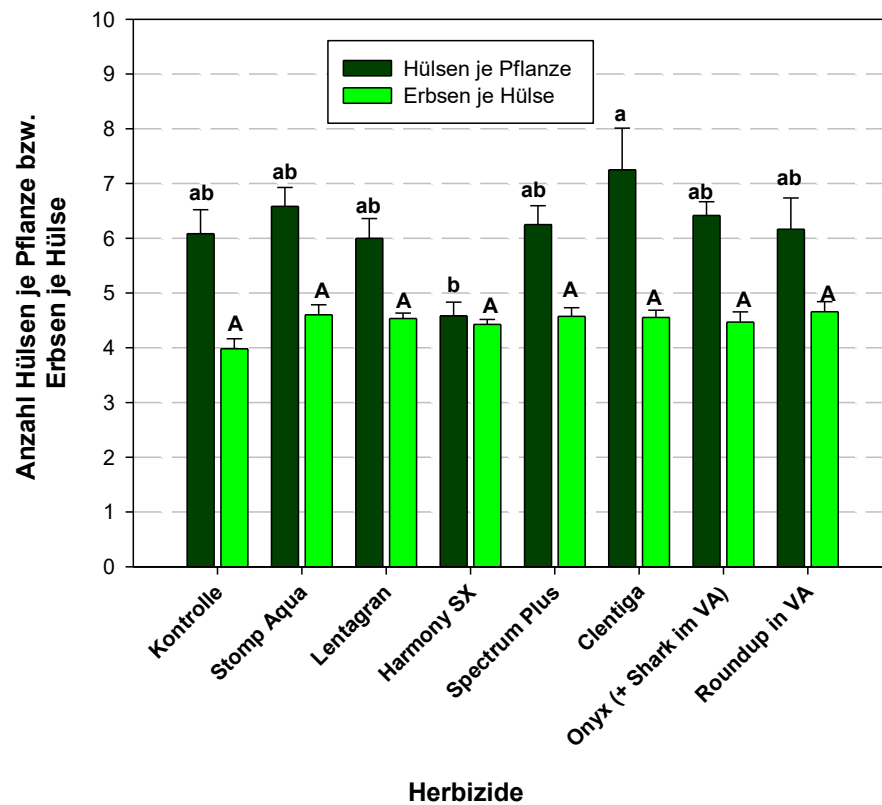


Abbildung 34: Anzahl Hülsen je Pflanze und Erbsen je Hülse in Abhängigkeit von dem/den eingesetzten Herbizid(en) (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler)

Der Kornertrag unterschied sich zwischen den Herbizidvarianten, wobei auch in der Kontroll-Variante kein signifikant geringerer Ertrag nachweisbar war (Abbildung 35).

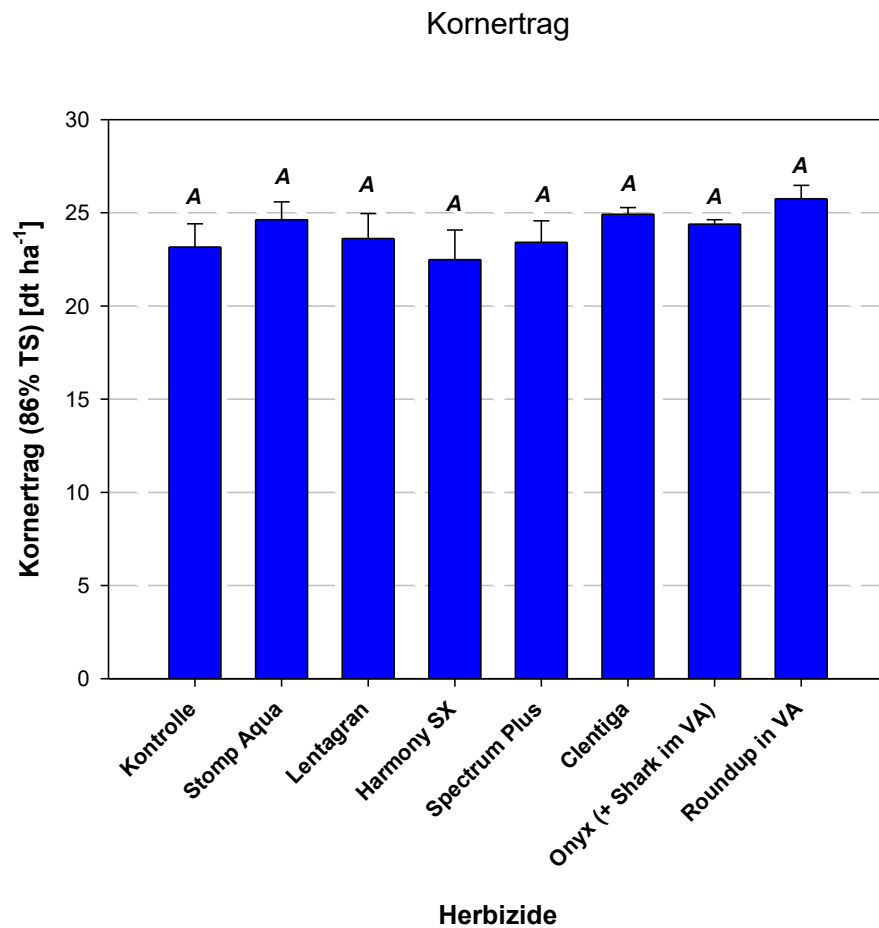


Abbildung 35: Kornertrag (86 % TS) [dt/ha] bei Futtererbsen in Abhängigkeit von dem/den eingesetzten Herbizid(en) (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler).

Im Jahr 2022 unterschieden sich die Anzahl aufgelaufener Erbsen-Pflanzen nicht signifikant zwischen den geprüften Herbiziden bzw. Herbizid-Kombinationen (Abbildung 36).

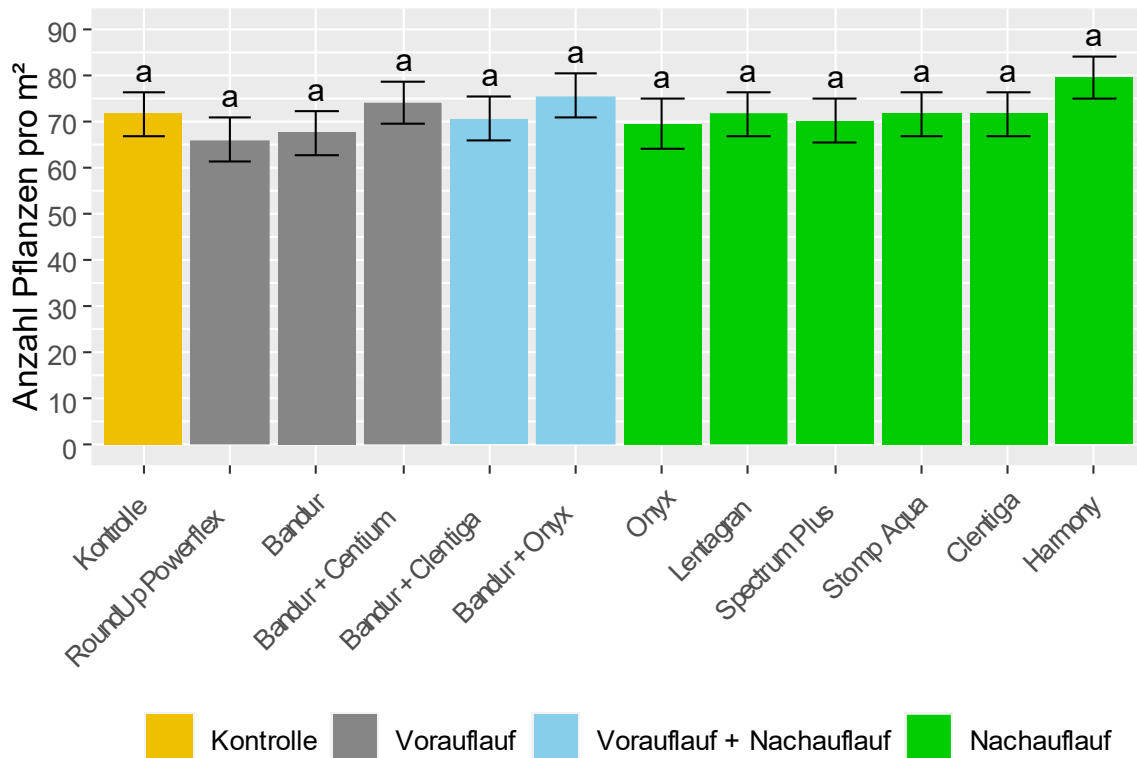


Abbildung 36: Anzahl an Pflanzen pro m² in Abhängigkeit von der Herbizidvariante am Standort "Am Moorkreuz" im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

Bei den Ertragsparametern Hülsen je Pflanze und Erbsen je Hülse konnte kein signifikanter Einfluss der Herbizidvariante festgestellt werden (Abbildung 37).

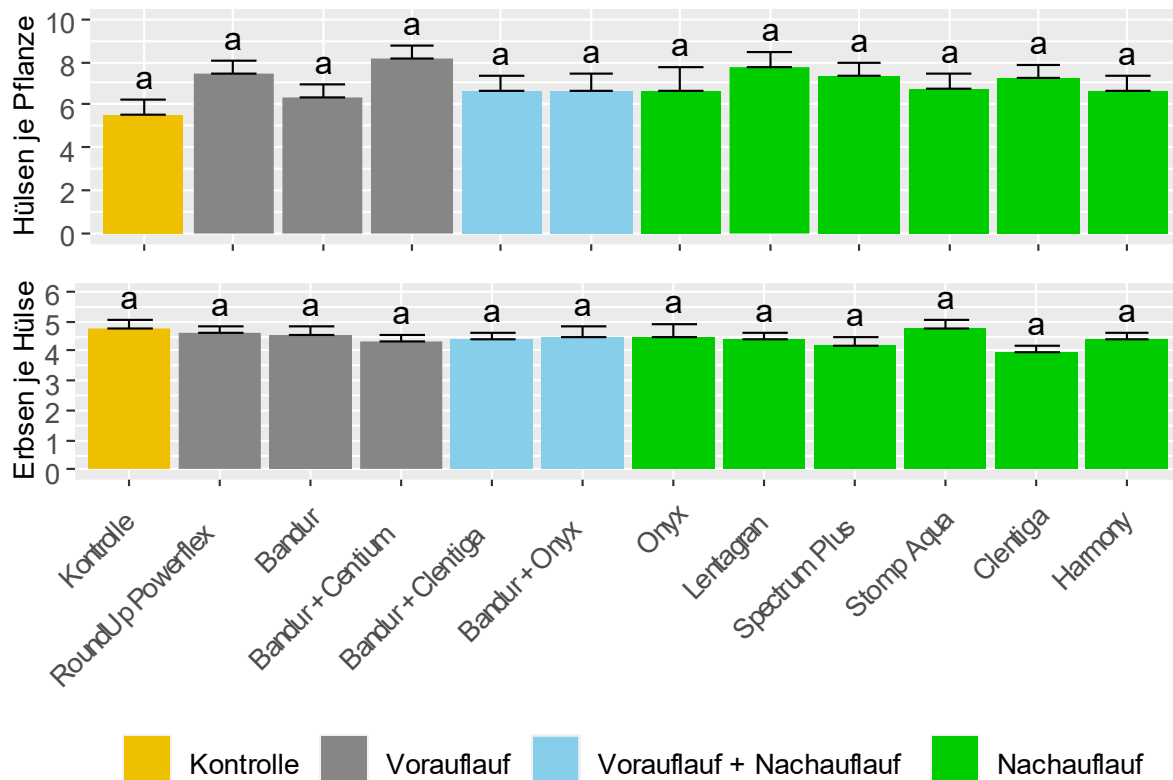


Abbildung 37: Anzahl Hülsen je Pflanze und Erbsen je Hülse in Abhängigkeit von der Herbizidvariante am Standort "Am Moor-kreuz" im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

Die gemessenen Kornerträge wiesen keine signifikanten Unterschiede auf (Abbildung 38). Herbizidschäden an der Kulturpflanze traten hauptsächlich bei den Produkten Harmony® (Thifensulfuron) und Onyx® (Pyridat) und der Kombination mit diesem Produkt auf (Abbildung 39). Die Herbizidwirkung unterschied sich zwischen den Varianten signifikant. Mit etwa 50 % Wirkungsgrad bei Spectrum® Plus (Dimethenamid + Pendimethalin) und Harmony® lagen diese unter dem Niveau der anderen Varianten. Clentiga® (Imazamox + Quinmerac) und die Kombination Bandur® (Aclonifen) und Onyx® erreichten die höchsten Wirkungsgrade mit über 90 %. Alle Varianten wiesen Lücken bei den in Direktsaat-Systemen häufig vorkommenden Arten wie Kompasslattich (*Lactuca serriola*) und Disteln-Arten (*Sonchus arvensis*, *Cirsium arvense*) auf. Diese traten nesterweise auf der Versuchsfläche auf (Abbildung 40). Die fehlende Bodenbearbeitung kann bei Futtererbsen sowohl mit den getesteten als auch zugelassenen Herbiziden nicht kompensiert werden.

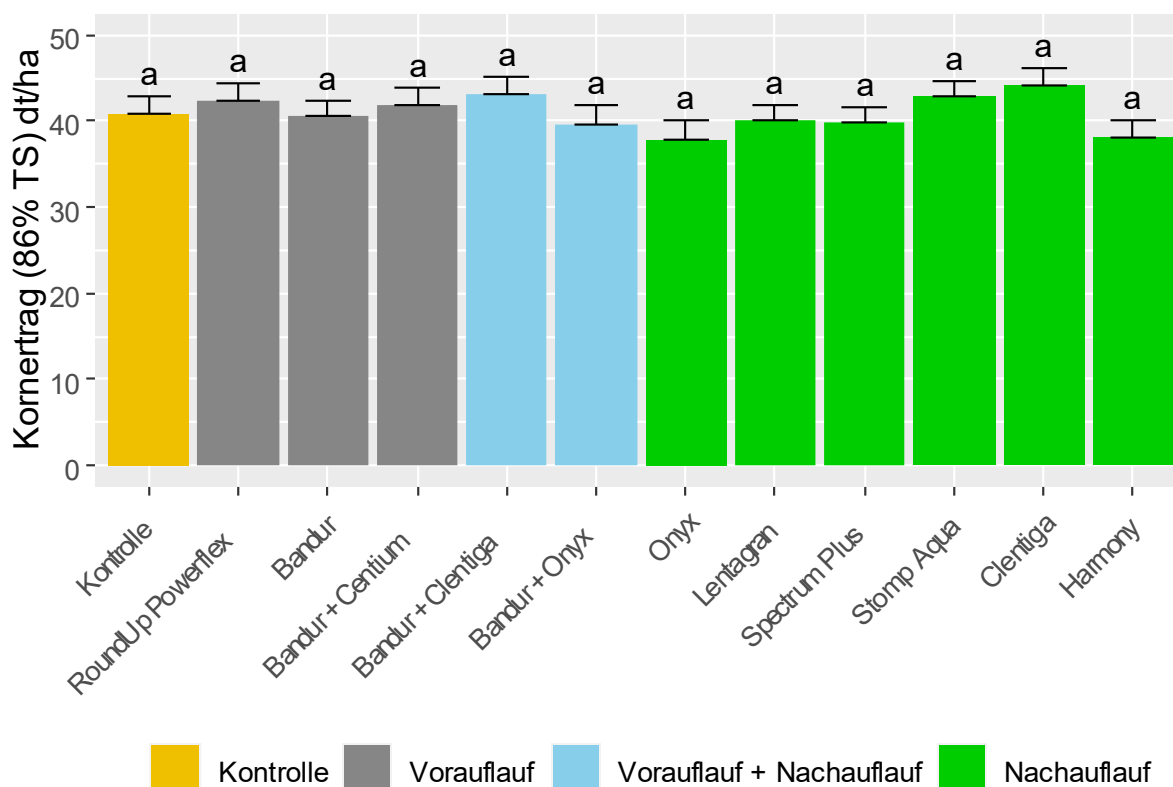


Abbildung 38: Kornertrag (86 % TS, dt/ha) in Abhängigkeit von der Herbizidvariante am Standort "Am Moorkreuz" im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

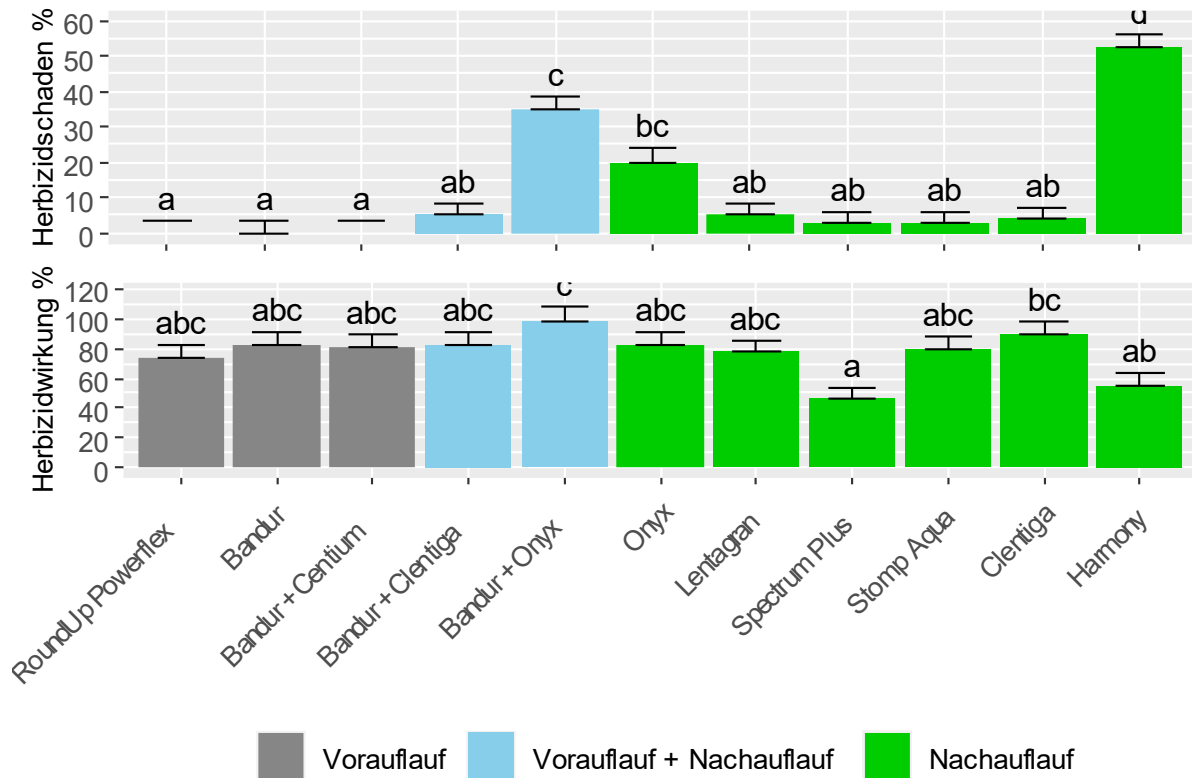


Abbildung 39: Herbizidschaden (%) und Herbizidwirkung (%) in Abhängigkeit von der Herbizidvariante am Standort "Am Moor-kreuz" im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)



Abbildung 40: Aufnahme Drohnenkamera vom Versuchsschlag "Am Moorkreuz" im Versuchsjahr 2023, links: Regenerativer Pflanzenbau, rechts: konventioneller Pflanzenbau

3.2 Ökologische und ökonomische Bewertung des Regenerativen Pflanzenbaus

3.2.1 Ökologische Bewertung

3.2.1.1 N_{min} im Frühjahr und Herbst

Die N_{min} Gehalte waren sowohl im Frühjahr als auch im Herbst niedriger in der Variante „Regenerativer Pflanzenbau“, unabhängig vom Versuchsjahr (Abbildung 41). Insbesondere in der Schicht 60-90 cm wurden niedrigere Mengen mineralisierter Stickstoff gefunden.

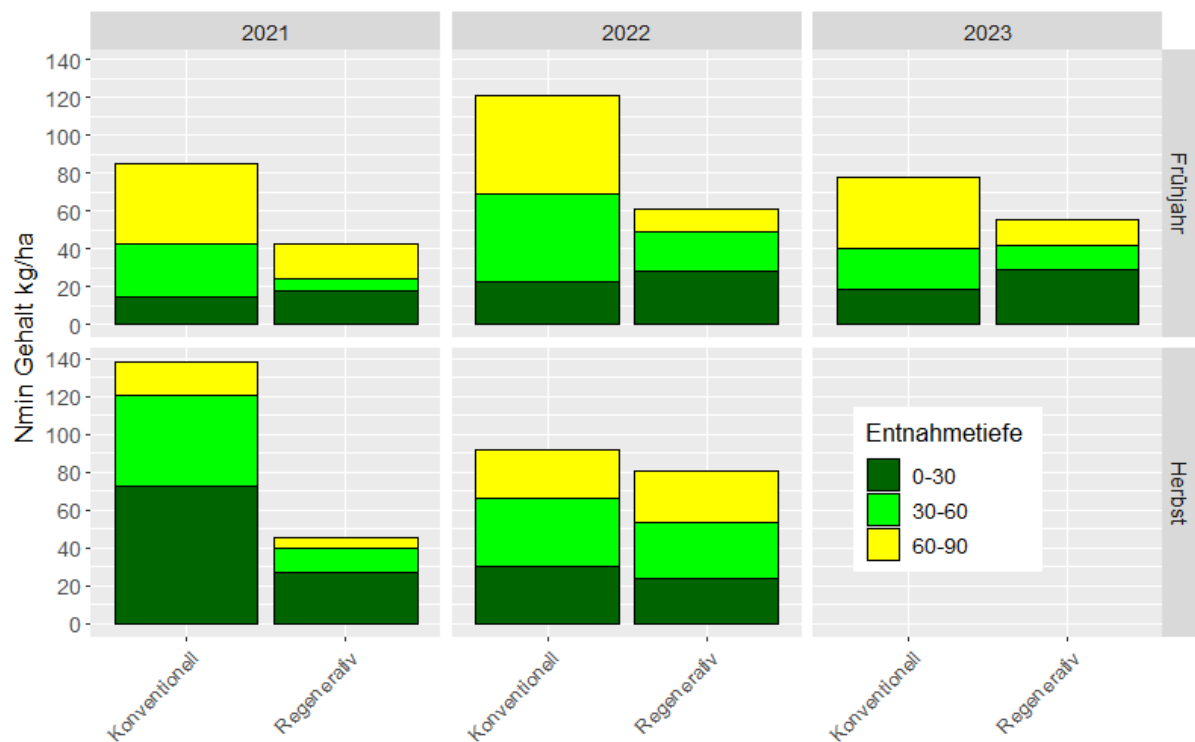


Abbildung 41: N_{min} Gehalte [kg/ha] in 0-90 cm Bodentiefe im Frühjahr und Herbst der Versuchsjahre 2021 bis 2023 im Durchschnitt der Standorte

3.2.1.2 Bodenfeuchte und -temperatur

Die Bodenfeuchte in den obersten 10 cm unterschied sich meist nur um wenige Prozentpunkt (volumetrisch) zwischen den beiden untersuchten Flächen mit verschiedenen Anbauverfahren (Abbildung 42). Tendenziell konnte in Zeiträumen mit erhöhten Niederschlagsmengen (Frühjahr und Herbst) höhere Feuchtegrade in der Fläche „Regenerativer Pflanzenbau“ gemessen werden.

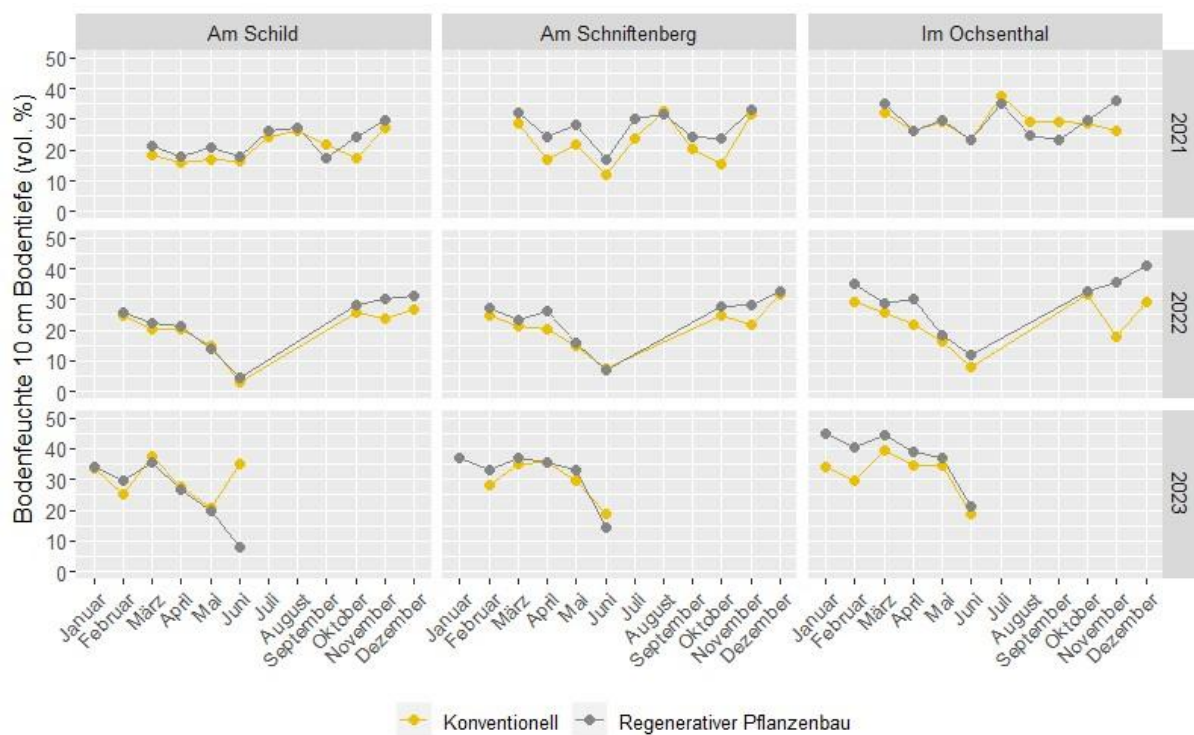


Abbildung 42: Bodenfeuchte 10 cm Bodentiefe [vol. %] an den Standorten "Am Schild", "Am Schniftenberg" und "Im Ochsenthal" in den Jahren 2021, 2022 und 2023 in den konventionellen bewirtschafteten und regenerativ bewirtschafteten Flächen

Die Bodentemperatur unterschied sich nur sehr geringfügig zwischen den Flächen an allen Standorten (Abbildung 43).

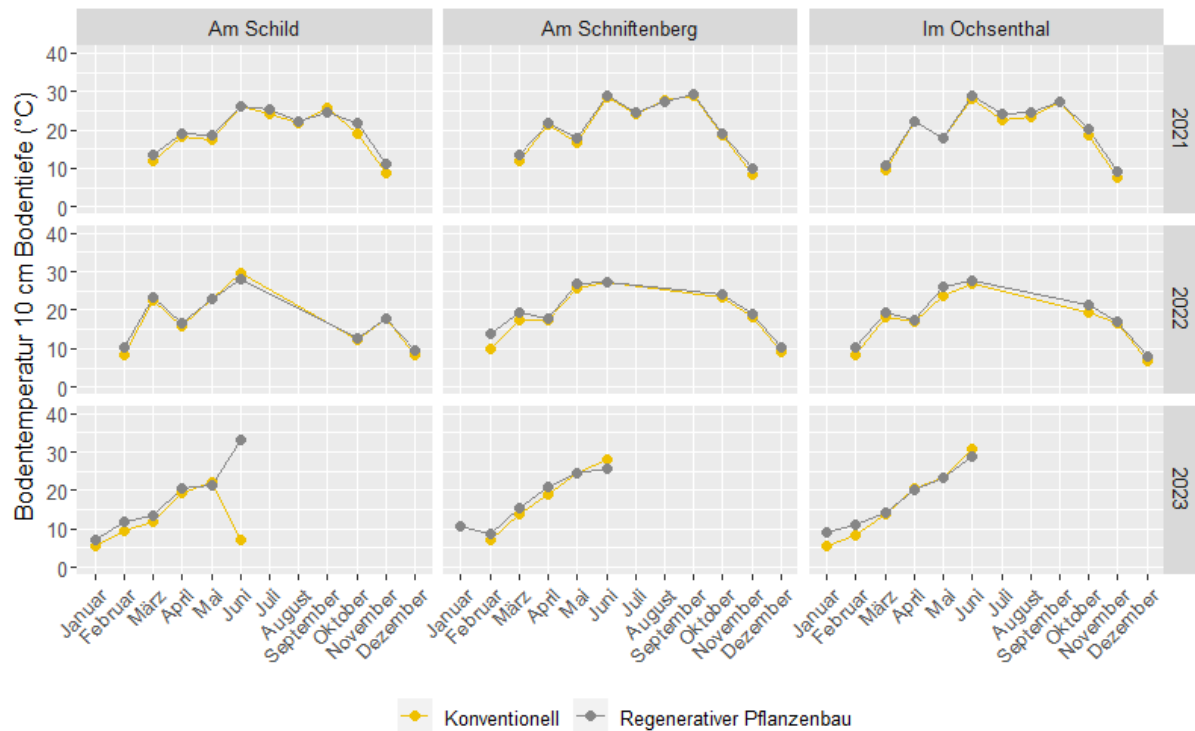


Abbildung 43: Bodentemperatur 10 cm Bodentiefe [vol. %] an den Standorten "Am Schild", "Am Schniftenberg" und "Im Ochsenthal" in den Jahren 2021, 2022 und 2023 in den konventionellen bewirtschafteten und regenerativ bewirtschafteten Flächen

Bei 2 cm Bodentiefe lagen die Tages-Höchsttemperaturen in der Variante Regenerativer Pflanzenbau insbesondere in den Monaten Mai und Juni auf einem höheren Niveau, insbesondere am Standort „Am Schild“ (Abbildung 44). Im Vergleich zwischen den beiden Standorten wurden geringere Bodentemperaturen am Standort „Langgewann“, auf der ein dichter Winterweizenbestand wuchs, gemessen.

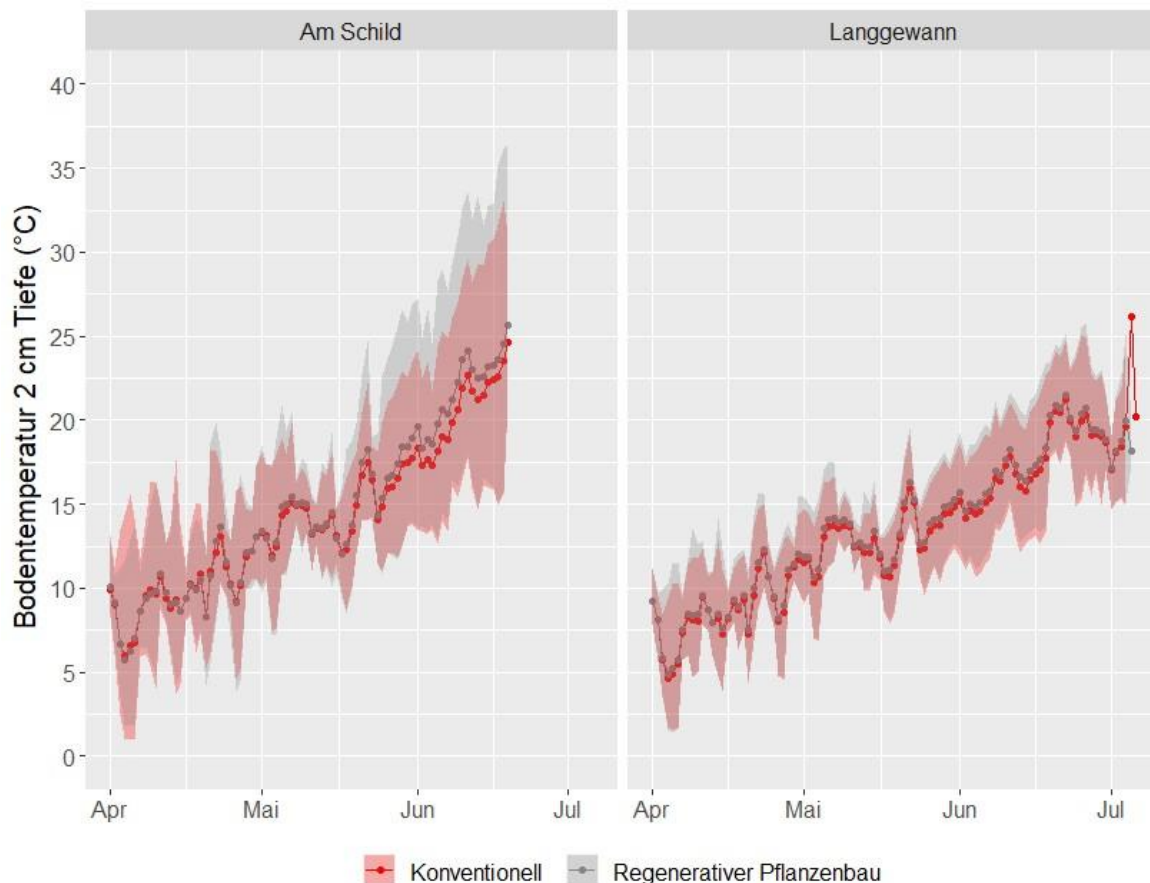


Abbildung 44: Bodentemperatur 2 cm Bodentiefe [vol. %] an den Standorten "Am Schild" und "Langgewann" in den Jahren 2021, 2022 und 2023 in den konventionellen bewirtschafteten und regenerativ bewirtschafteten Flächen

3.2.1.3 Veränderung der Arthropodenfauna

Die Abundanz der Individuen unterschied sich zwischen den beiden Anbauverfahren in alle Ordnungen (Tabelle 29). Die Anzahl an Individuen war in der Ordnung Käfer bei Variante „konventionell“ signifikant höher in beiden untersuchten Zeiträumen. Die Zählung bei den Ordnung Spinnen und Springschwänze ergab ein gegenteiliges Bild. Hier war die Anzahl in Variante „Regenerativer Pflanzenbau“ höher. Der errechnete Simpson-Index ergab für die Käfer einen höheren Wert für die Direktsaatfläche, d.h. die Artenvielfalt innerhalb der Ordnung war auf dieser Versuchsfläche größer (Tabelle 30). Die Vielfalt in der Ordnung der Spinnen unterschied sich nur geringfügig für die beiden Varianten. Die durch den „Evenness“-Wert quantifizierte Gleichverteilung auf die gefunden Arten war bei den Käfern mit Werten nahe 0 sehr gering, d. h. einzelne Arten kamen deutlich häufiger vor als andere (Tabelle 31). In der Ordnung Spinne verteilten sich die Individuen gleichmäßiger auf die Arten.

Tabelle 29: Anzahl an Individuen (pro 100 m²) in Abhängigkeit des Anbauverfahrens und des Untersuchungszeitraums im Versuchsjahr 2021 am Standort „Im Ochsenenthal“, hochgestellte Buch-staben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Anbauverfahren, TukeyHSD Test mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit

	Zeitraum I (21.04.21-06.05.21)		Zeitraum II (06.05.-20.05.21)	
Ordnung	Reg. Pflanz.	Konventionell	Reg. Pflanz.	Konventionell
Käfer	9,7 ^b	15,2 ^a	9,7 ^b	19,2 ^a
Spinnen	8,6 ^a	5,4 ^b	7,8 ^a	4,5 ^b
Springschwänze	291,3	124,4	225,8	101,6
Milben	18,4	14,8	7,7	11,6
Hundert-/Tausend-füßler	20,8	25,8	16,4	17,1

Tabelle 30: Simpson-Index in Abhängigkeit des Anbauverfahrens und des Untersuchungszeitraums im Versuchsjahr 2021 am Standort „Im Ochsenenthal“

	Zeitraum I (21.04.21-06.05.21)		Zeitraum II (06.05.-20.05.21)	
Ordnung	Reg. Pflanz.	Konventionell	Reg. Pflanz.	Konventionell
Käfer	0,88	0,49	0,89	0,46
Spinnen	0,58	0,47	0,59	0,60

Tabelle 31: abgeleiteter Evennees-Wert in Abhängigkeit des Anbauverfahrens und des Untersuchungs-zeitraums im Versuchsjahr 2021 am Standort „Im Ochsental“

	Zeitraum I (21.04.21-06.05.21)		Zeitraum II (06.05.-20.05.21)	
Ordnung	Reg. Pflanz.	Konventionell	Reg. Pflanz.	Konventionell
Käfer	0,04	0,12	0,04	0,07
Spinnen	0,19	0,42	0,24	0,28

3.2.1.4 Veränderung in der Regenwurmpopulation

An beiden Standorten stieg sowohl die Anzahl der Individuen als auch die Biomasse an Regenwürmern je m² in der regenerativen Varianten verglichen zur konventionellen Fläche (Abbildung 45). Lediglich die höhere Anzahl an Individuen ließ sich statistisch mit Signifikanz belegen.

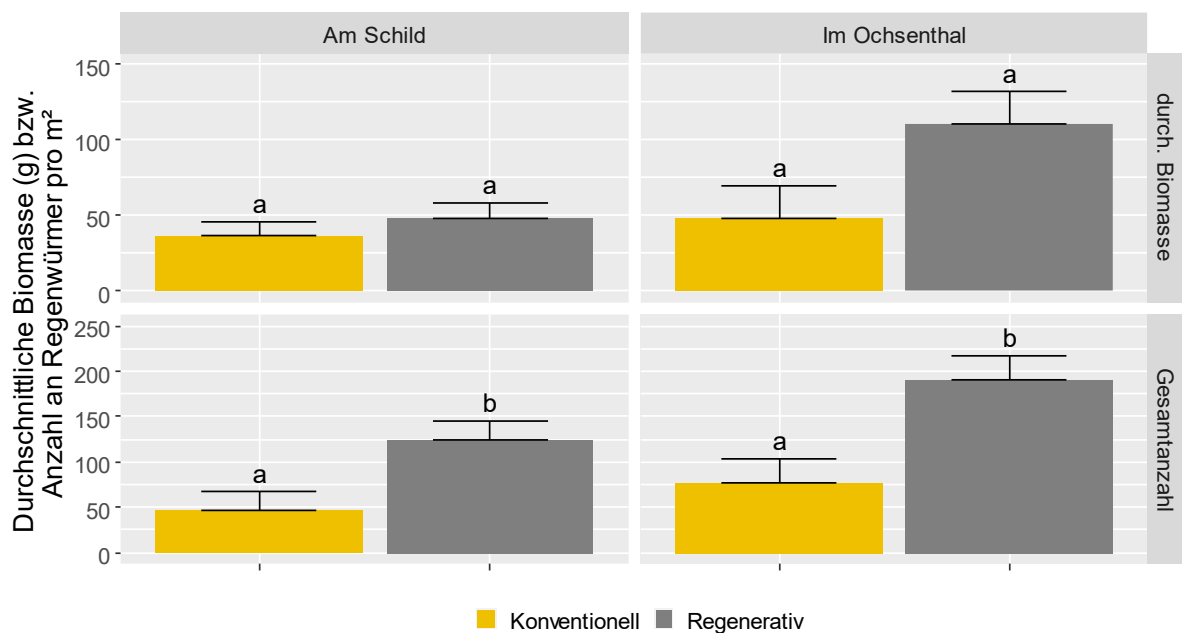


Abbildung 45: Durchschnittliche Biomasse (g/m²) und Anzahl an Regenwürmern pro m² in Abhängigkeit vom Anbauverfahren an den Standorten „Am Schild“ und „Im Ochsental“ im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über den Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler)

Bei Betrachtung der einzelnen Arten wird deutlich, dass gerade anözisch und endogäisch lebende Arten von der Direktsaat und Dauerbegrünung profitierten, wobei sich die Standorte in der Artenzusammensetzung unterscheiden (Abbildung 46).

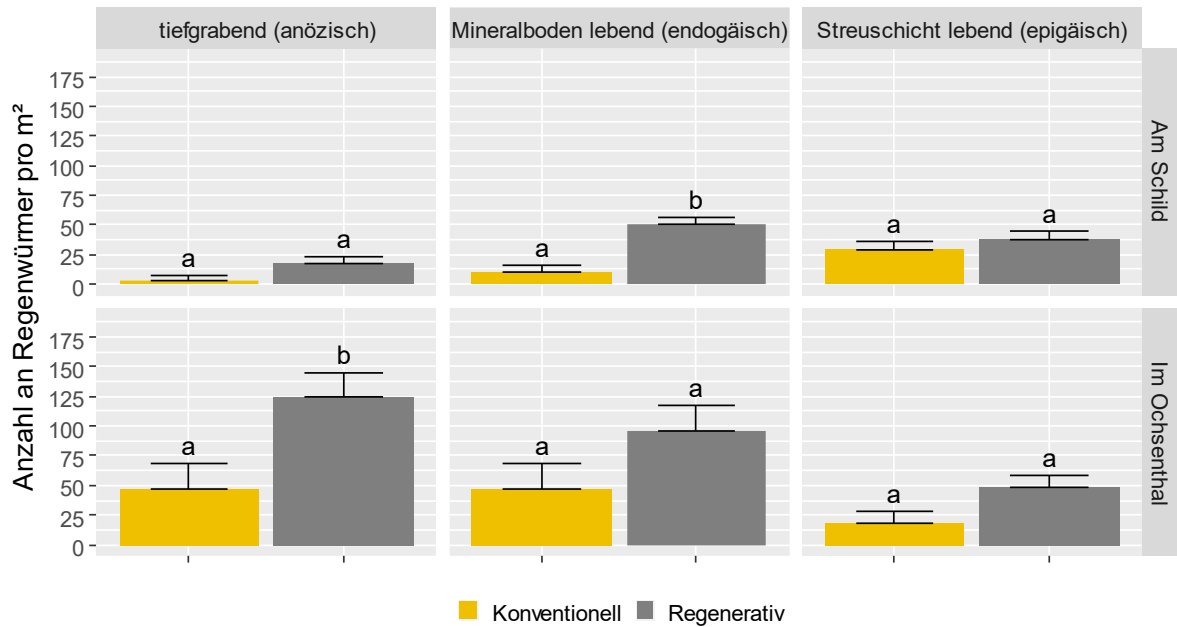


Abbildung 46: Anzahl an Regenwürmer pro m² in Abhängigkeit vom Anbauverfahren und der Lebensweise der jeweiligen Arten an den Standorten „Am Schild“ und „Im Ochsenthal“ im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über den Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler)

3.2.2 Ökonomische Bewertung

Die berechneten Deckungsbeiträge fielen in der Variante Regenerativer Pflanzenbau meist geringer aus (Abbildung 47). Insbesondere in den Sommerungen fielen die Diskrepanzen zwischen den beiden Anbauverfahren deutlicher aus. Lediglich im Winterraps konnte in beiden Versuchsjahren ein höherer Deckungsbeitrag in der Variante Regenerativer Pflanzenbau erzielt werden.

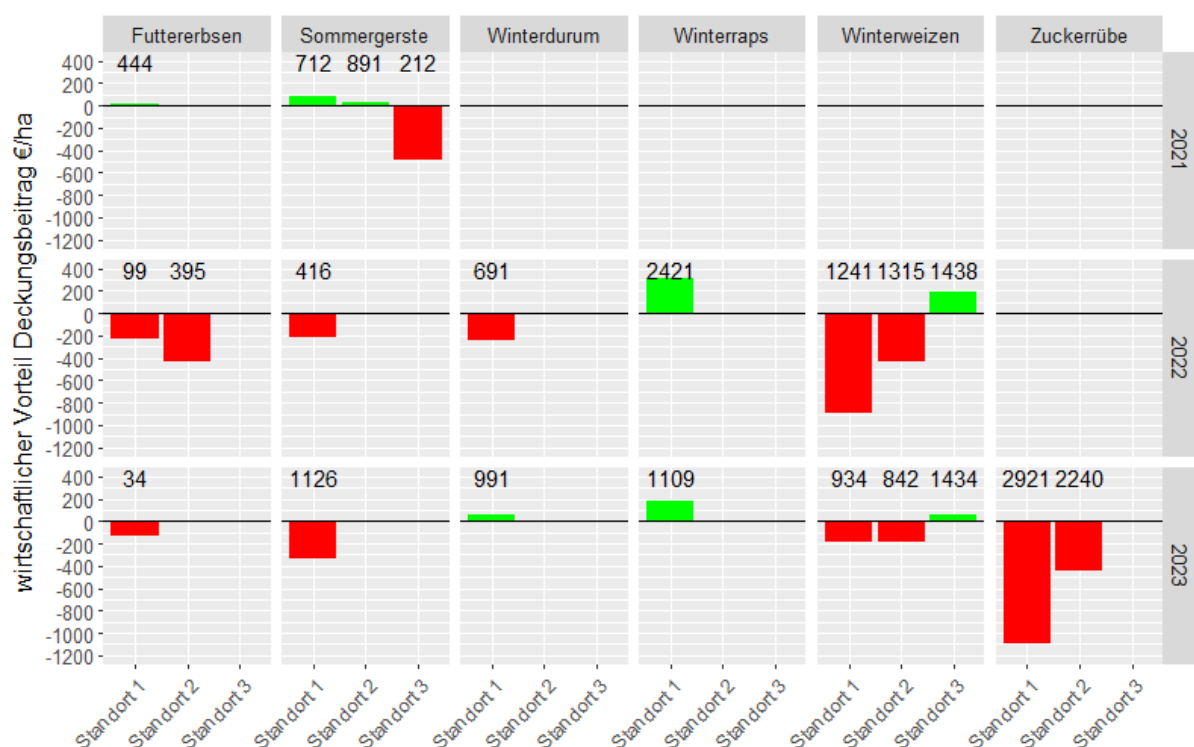


Abbildung 47: Differenz des Deckungsbeitrages zwischen Regenerativen und konventionellen Pflanzenbau in verschiedenen Kulturen und Versuchsjahren (rote Säule: geringerer Deckungsbeitrag in Variante Regenerativer Pflanzenbau, grüne Säule: höherer Deckungsbeitrag in Regenerativen Pflanzenbau, Zahlen über Säulen: Deckungsbeitrag in Variante konventioneller Pflanzenbau)

Im Durchschnitt der Jahre unterschieden sich die Direktkosten (Bodenbearbeitung, Zwischenfrucht, Saatgut, Aussaat, Düngung, Pflanzenschutz und Ernte) nur geringfügig zwischen den beiden Anbauverfahren, sodass nicht von einer Gesamtkostensenkung durch unterlassene Bodenbearbeitung gesprochen werden kann (Abbildung 48).

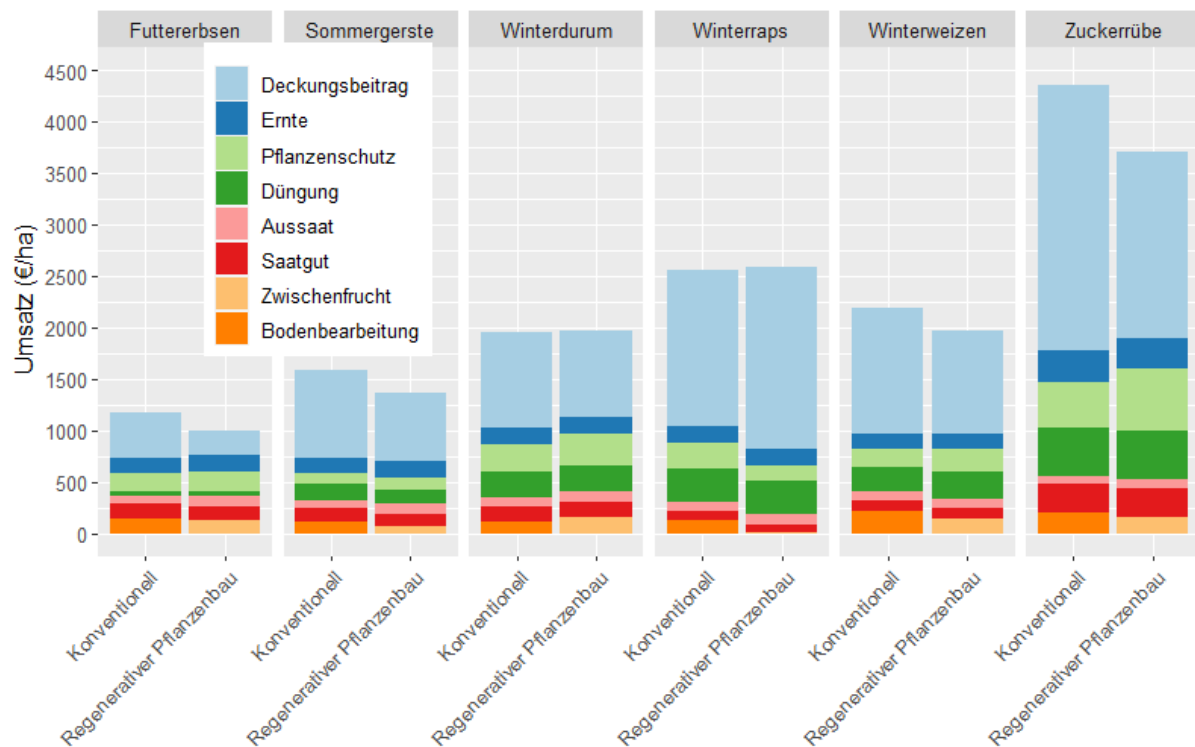


Abbildung 48: Durchschnittlicher Umsatz [€/ha] in den beiden Varianten konventioneller und regenerativer Pflanzenbau in verschiedenen Kulturen (Aufteilung der Kosten und des resultierenden Deckungsbeitrages)

3.3 Exaktversuche an der Technischen Hochschule Bingen

3.3.1 Zwischenfrucht Reinsaaten und Mischungen

Die Zwischenfruchtarten unterschieden sich im Feldaufgang in beiden Versuchsjahren, unabhängig ob diese in Reinsaat bzw. in einer Mischung ausgesät wurden (Abbildungen 49 bis 52). Tendenziell war der Feldaufgang bei großkörnigen Arten (Großkörnige Leguminosen, Sonnenblumen etc.) höher. Die Bewässerung beeinflusste den Feldaufgang meist nur geringfügig.

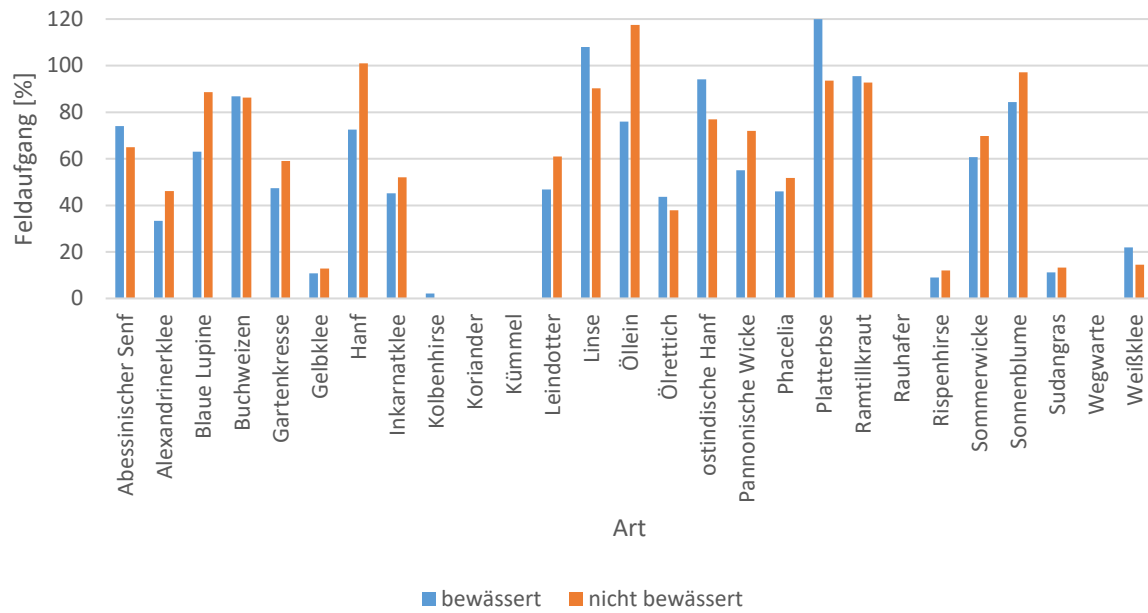


Abbildung 49: Feldaufgang [%] der unterschiedlichen Zwischenfruchtarten (in Reinsaat) mit und ohne zusätzliche Bewässerung im Versuchsjahr 2021 am Standort Bingen

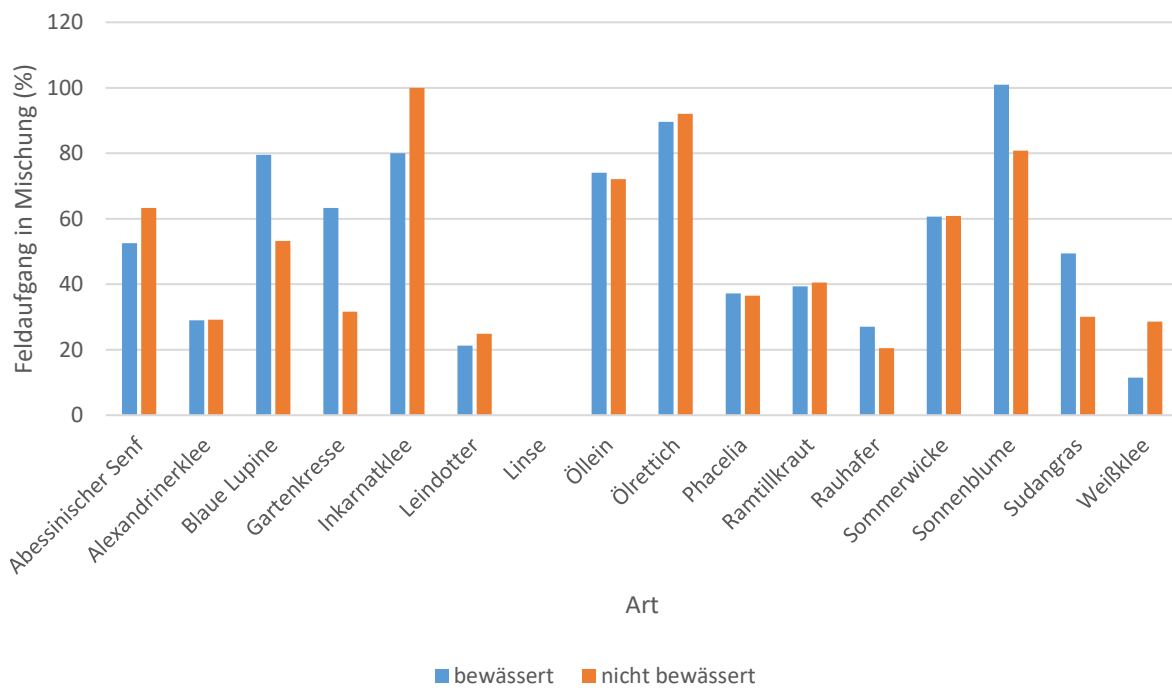


Abbildung 50: Feldaufgang [%] der unterschiedlichen Zwischenfruchtarten (in Mischungen) mit und ohne zusätzliche Bewässerung im Versuchsjahr 2021 am Standort Bingen

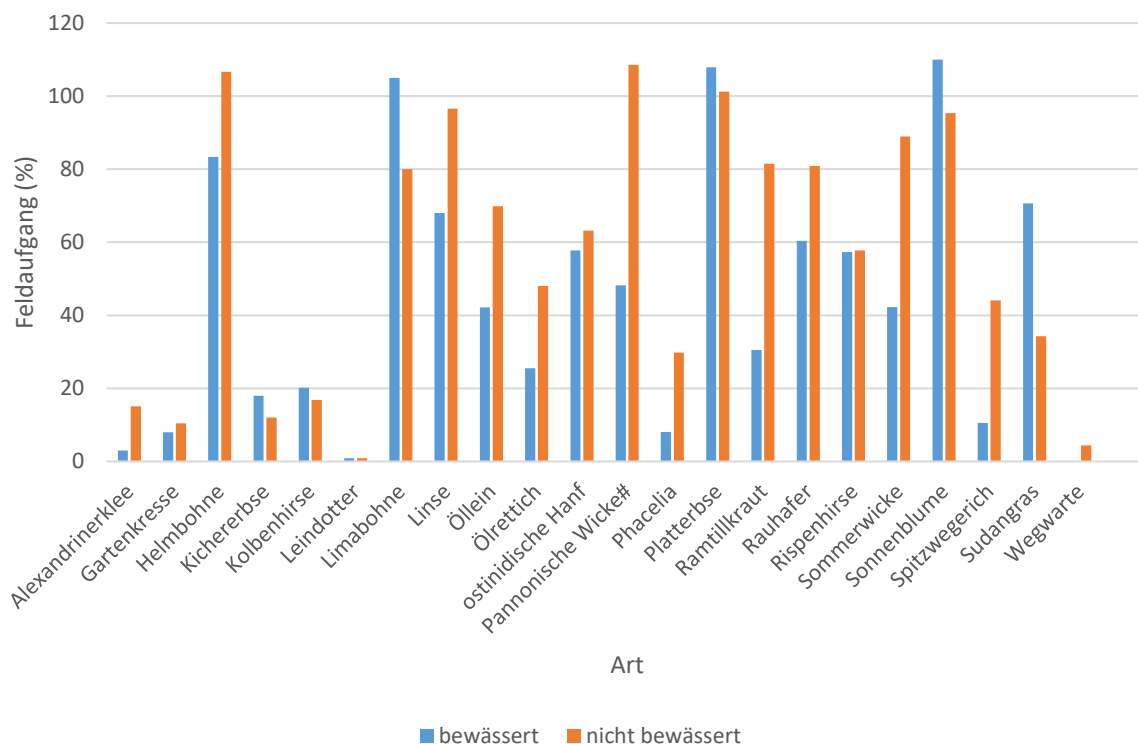


Abbildung 51: Feldaufgang [%] der unterschiedlichen Zwischenfruchtarten (in Reinsaat) mit und ohne zusätzliche Bewässerung im Versuchsjahr 2022 am Standort Bingen

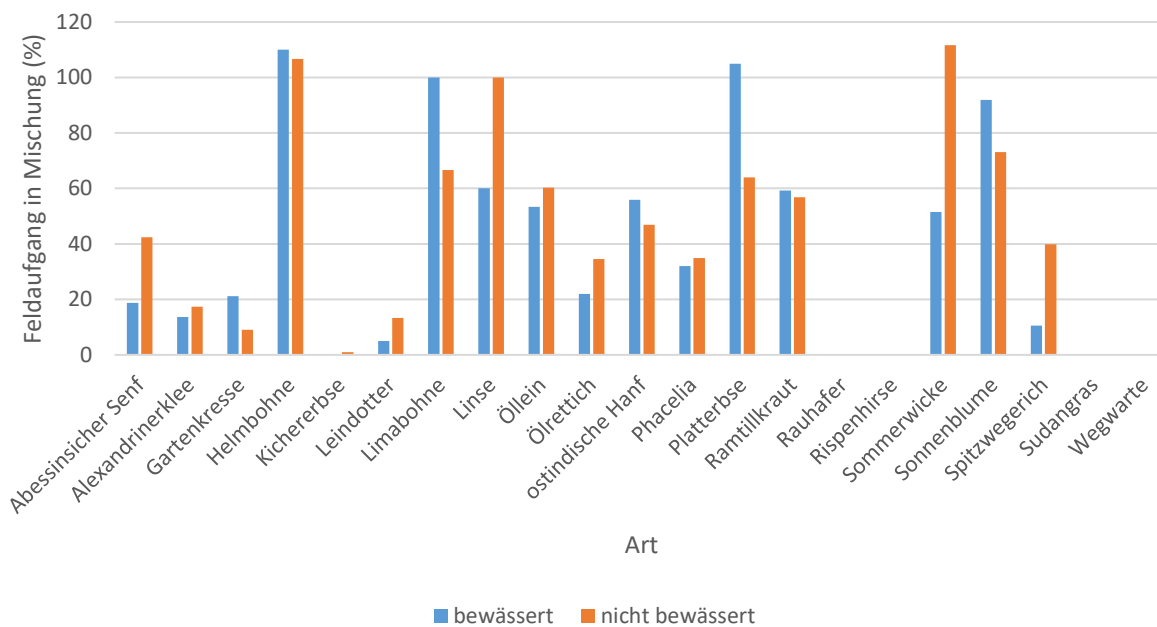


Abbildung 52: Feldaufgang [%] der unterschiedlichen Zwischenfruchtarten (in Mischungen) mit und ohne zusätzliche Bewässerung im Versuchsjahr 2022 am Standort Bingen

Im Jahr 2021, zehn Wochen nach der Aussaat unterschieden sich die Pflanzenarten im Anteil an lebenden Pflanzen am Gesamtbedeckungsgrad im größeren Maß als bei der Bonitur (Abbildung 53). Einzelne Arten erreichten einen Anteil von über 90 % (Abessinischer Senf, Pannonische Wicke) an lebenden Pflanzen. Im Kontrast dazu wurden bei den Arten Ramtillkraut und Gartenkresse ein Anteil von nur etwa 10 % lebender Pflanzen gemessen. Der Anteil an Mulch am Gesamtbedeckungsgrad unterschied sich zwischen den Arten. Durch Bewässerung stieg der Anteil an lebenden Pflanzen um 15 %.

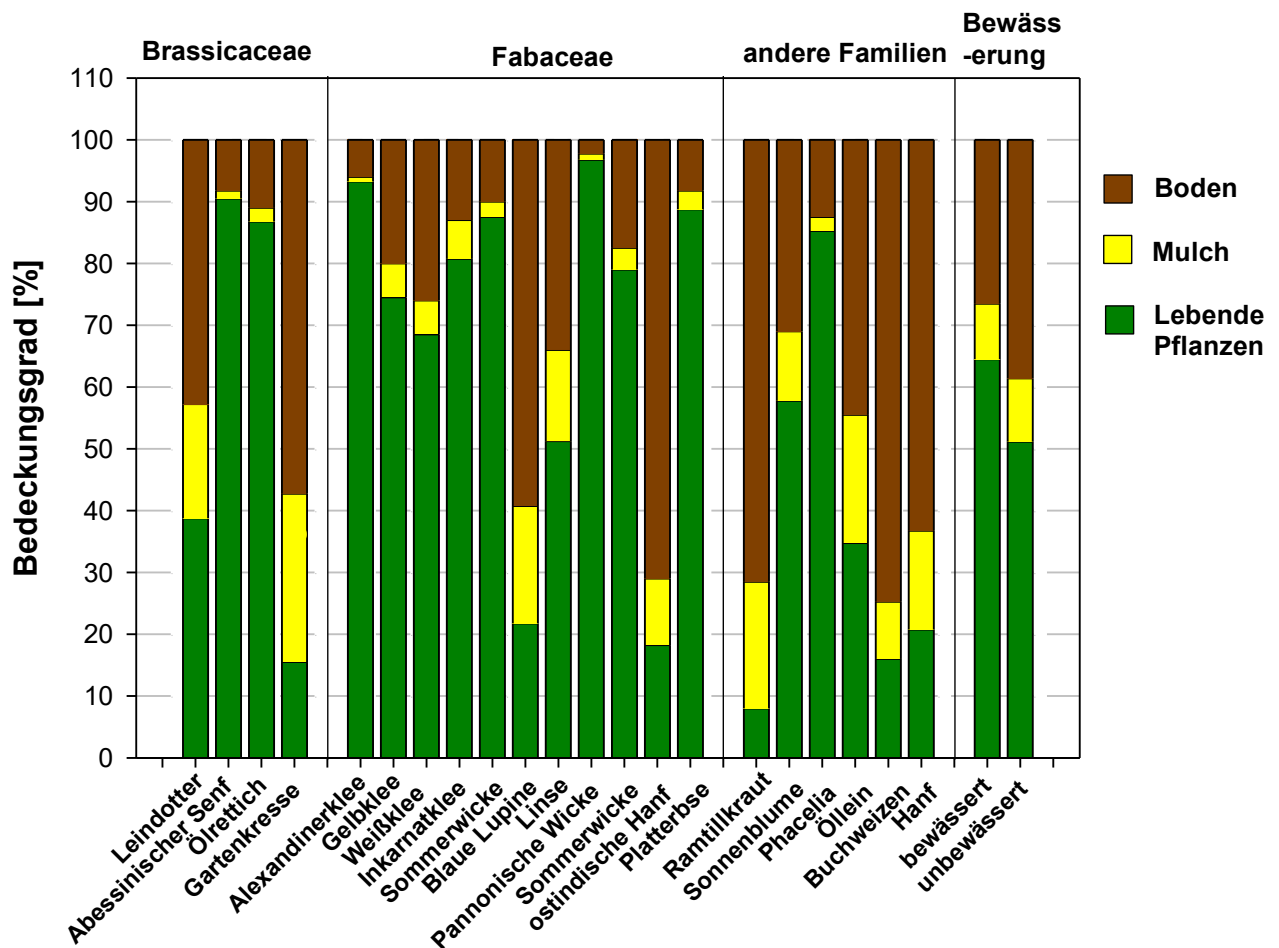


Abbildung 53: Bedeckungsgrad [%] zehn Wochen nach der Aussaat in Abhängigkeit von der Pflanzenart und der Bewässerung am Standort Bingen im Versuchsjahr 2021

Sieben Wochen nach der ersten Bonitur lagen der Bedeckungsgrad für „Lebende Pflanzen“ zwischen 60 und 98 % (Abbildung 54). Dementsprechend fiel der Anteil an blanken Boden gering aus. Auffällig waren die beiden Mischungen „Terralife® Warmseason“ und „PG GM 6 Hotsummer“, die beide den höchsten Anteil an blanken Boden aufwiesen.

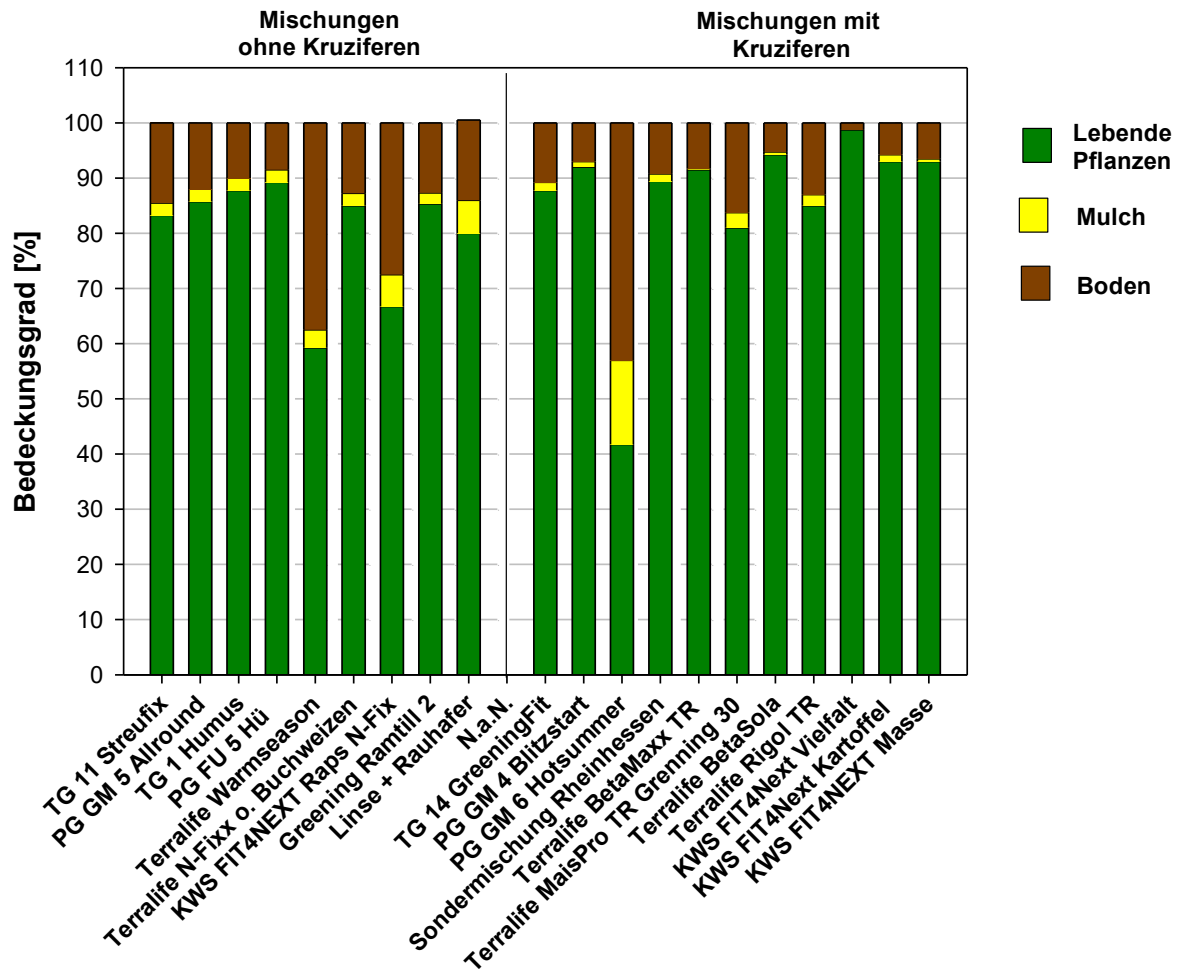


Abbildung 54: Bedeckungsgrad verschiedener Mischungen [%] zehn Wochen nach der Aussaat in Abhängigkeit von der Mischung und der Bewässerung am Standort Bingen im Versuchsjahr 2021

Bei den Reinsaaten glich sich der Bedeckungsgrad an Pflanzen der einzelnen Arten 8 Wochen nach der Aussaat an (Abbildung 55). Einzelne Arten wie Rauhafer und Wicke-Arten zeigten mit durchschnittlich 60 % Bedeckungsgrad die höchsten Werte auf. Der Unterschied zwischen der bewässerten und unbewässerten Variante im Bedeckungsgrad an Pflanzen betrug fast 80 %, was die besonders trockenen Bedingungen verdeutlichte.

Am 04.10.2022 unterschieden sich die Mischungen hinsichtlich des Bedeckungsgrades nur geringfügig (Abbildungen 56). Größeren Einfluss nahm, wie bei den Reinsaaten, die Bewässerung, die eine um 85 % höheren Bedeckungsgrad mit Pflanzen aufwies verglichen mit der unbewässerten Variante.

04.10.2022

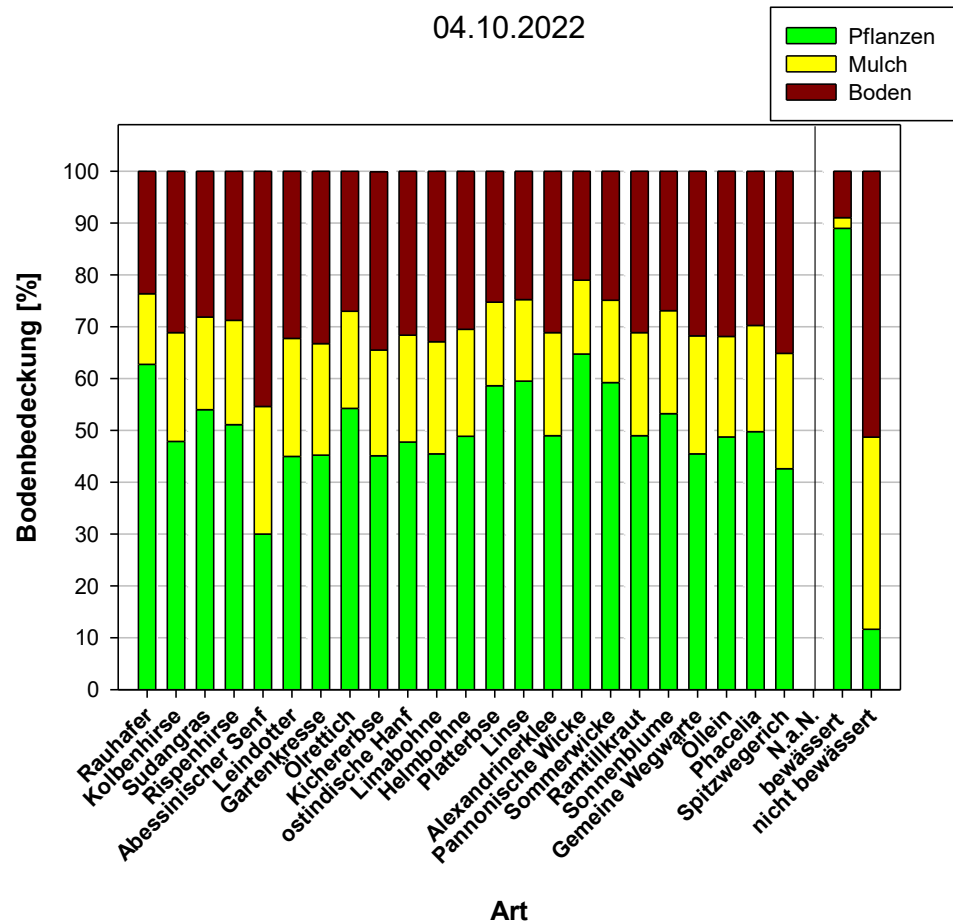


Abbildung 55: Bodenbedeckungsgrad [%] aufgeteilt in Pflanze, Mulch und Boden bei Reinsaaten in Abhängigkeit von der Art und Bewässerung am Standort Bingen, Boniturdatum: 04.10.2022

04.10.2022

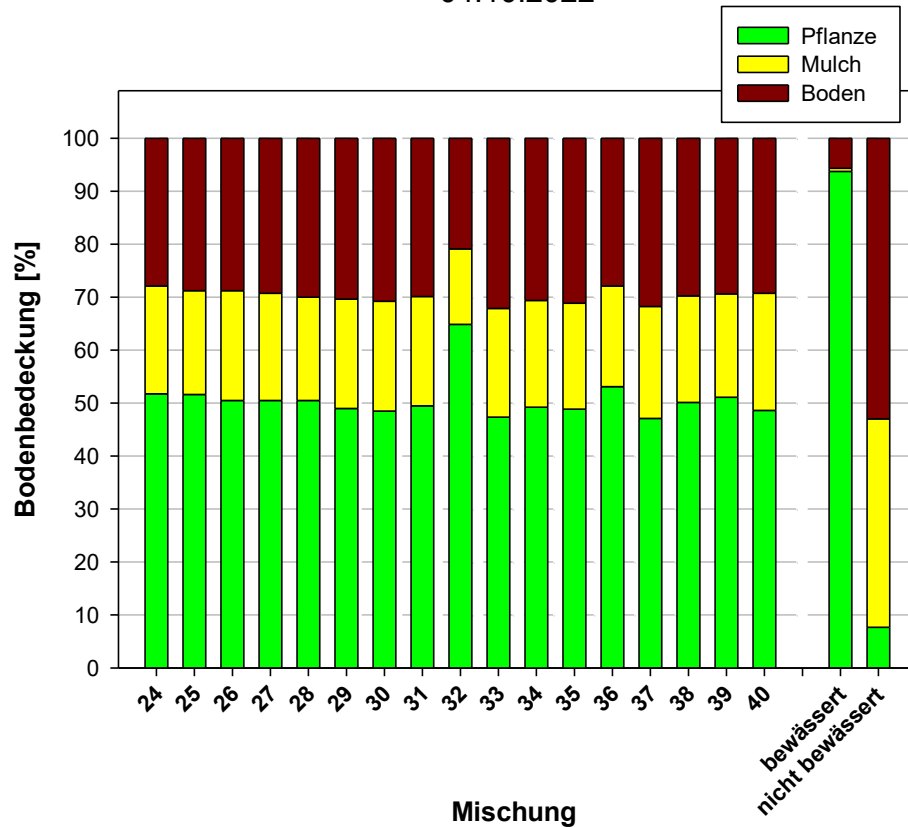


Abbildung 56: Bodenbedeckungsgrad [%] aufgeteilt in Pflanze, Mulch und Boden in Abhängigkeit von der Mischung und Bewässerung am Standort Bingen, Boniturdatum: 04.10.2022

Der Blattflächenindex unterschied sich im Jahr 2021 signifikant zwischen den Reinsaaten (Abbildung 57). Mit einem Wert von 5 lagen der Blattflächenindex bei der Platterbse und dem Abessinischen Senf am höchsten. Bei den Arten ostindischer Hanf, Ramtillkraut, Buchweizen und Hanf wurde nur ein Blattflächenindex unter 1 gemessen, da diese Pflanzenarten einem Nachtfrost Anfang Oktober zum Opfer gefallen waren. Der Blattflächenindex war in den bewässerten Flächen signifikant höher.

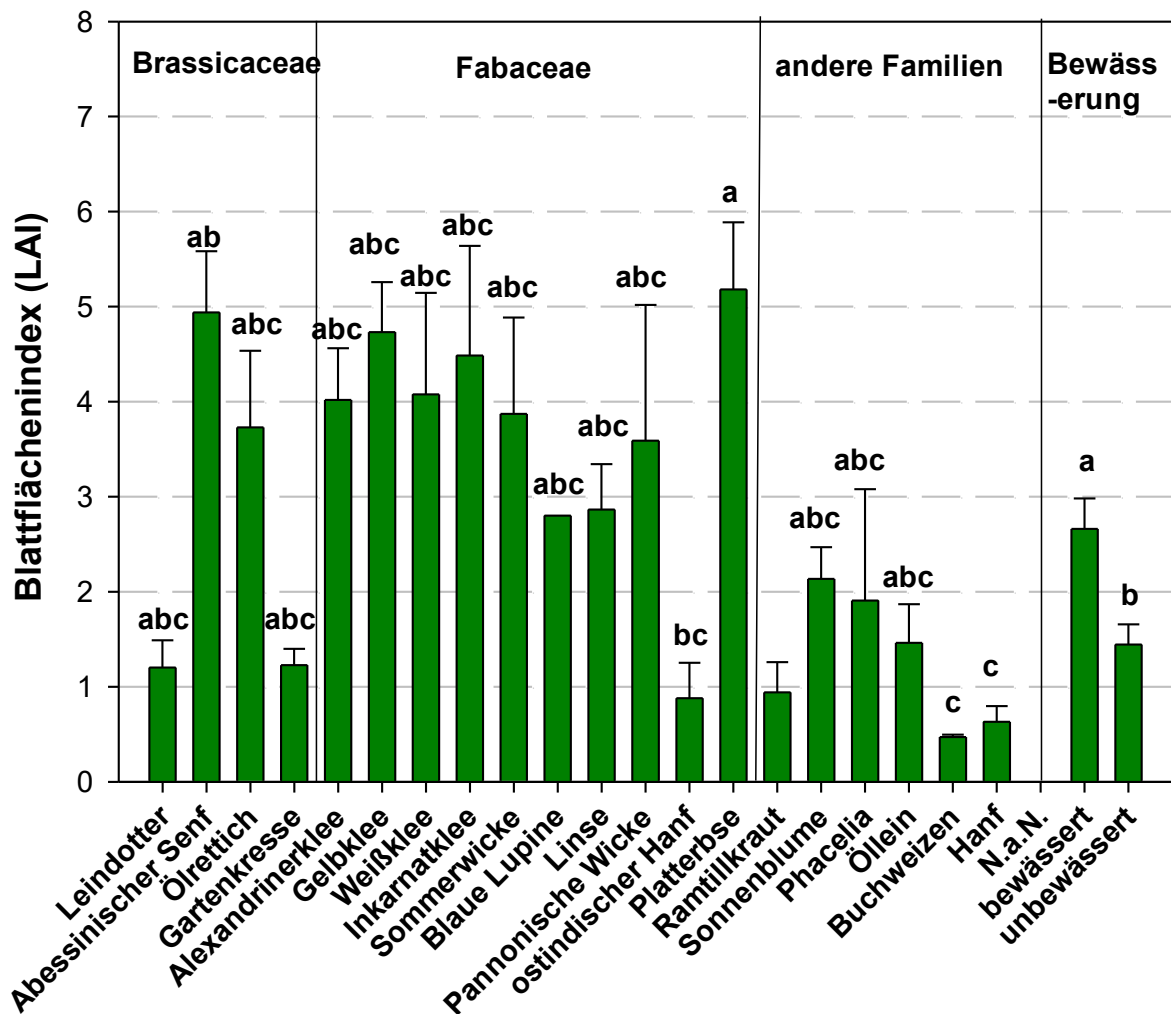


Abbildung 57: Blattflächenindex (LAI) am 10.11.2021 (zwölf Wochen nach der Aussaat) in Abhängigkeit von der Pflanzenart und der Bewässerung im Zwischenfruchtversuch an der TH Bingen im Versuchsjahr 2021 (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Pflanzenarten bzw. der Bewässerungsmaßnahme, Conover-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

Der Blattflächenindex bei den Mischungen lag zwischen 1,8 (PG 6 Hot Summer) und 5,8 (Ter-ralife® Beta Sola) (Abbildung 58). Eine Tendenz zwischen den Mischungen „mit“ oder „ohne“ Kruziferen konnte nicht abgeleitet werden, vielmehr erwies sich die Bewässerung als ein signifikanter Faktor.

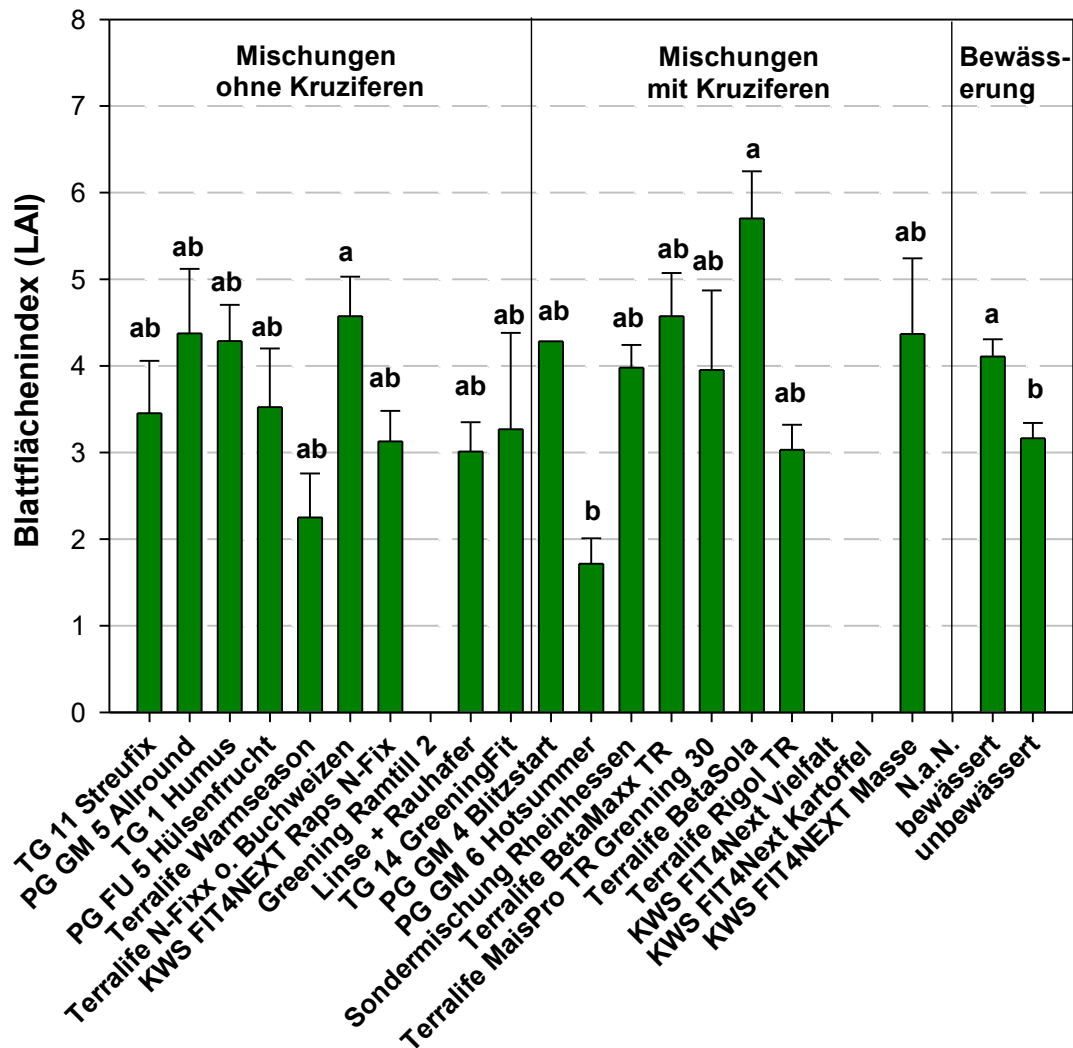


Abbildung 58: Blattflächenindex (LAI) am 10.11.2021 (zwölf Wochen nach der Aussaat) in Abhängigkeit von der Mischung und der Bewässerung im Zwischenfruchtversuch an der TH Bingen im Versuchsjahr 2021 (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Pflanzenarten bzw. der Bewässerungsmaßnahme, Conover-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

3.3.2 Komposttee und Biostimulantien in Winterweizen

Die im Herbst und Frühjahr eingesetzten Komposttees im Winterweizen führten zu keinem signifikanten Mehr- bzw. Minderertrag (Abbildung 59). Die Einarbeitung der Zwischenfrucht nach dem Mulchen führte durch die besseren Auflaufbedingungen für die Kulturpflanzen und durch die höhere Mineralisationsrate zu einem signifikant höheren Ertrag.

Kompostteeversuch

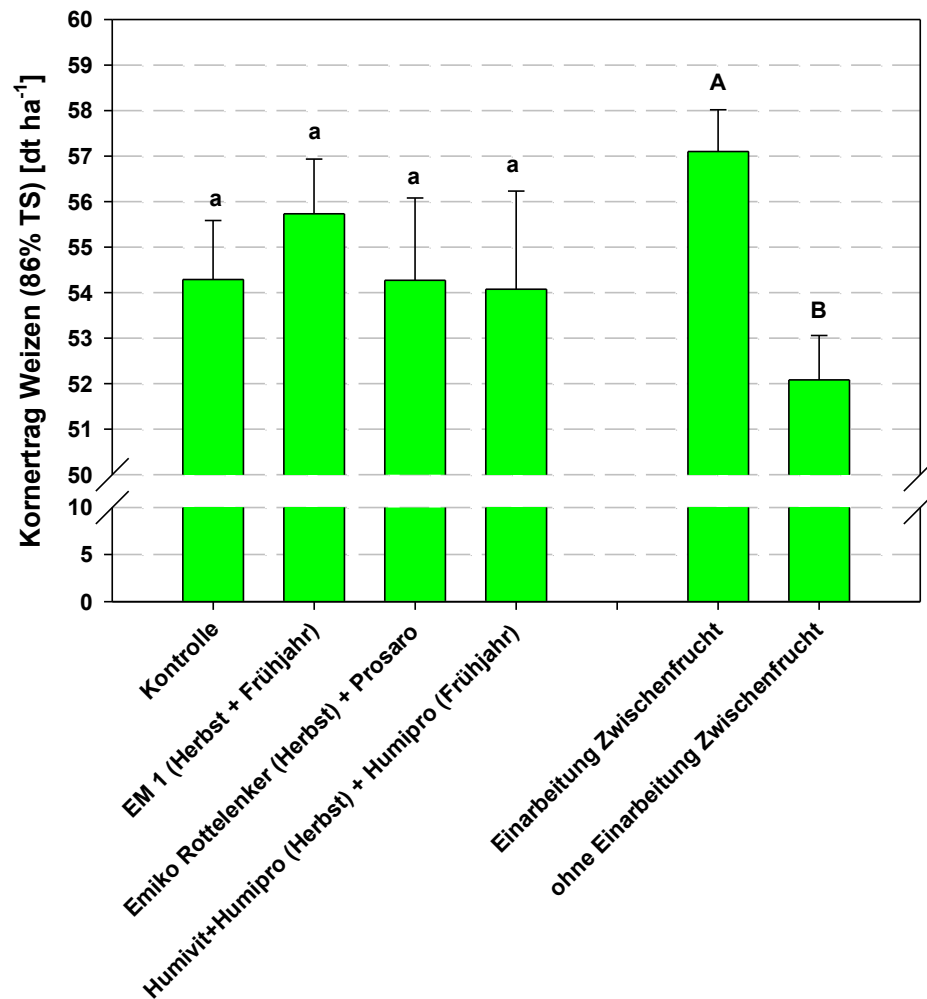


Abbildung 59: Kornertrag Weizen (86% TS) [dt ha⁻¹] in Abhängigkeit von dem eingesetzten Komposttee und der Einarbeitung der Zwischenfrucht (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede, TukeyHSD-Test mit 5% Irr-tumswahrscheinlichkeit, Fehlerbalken = Standardfehler)

Auch im Versuchsjahr 2023 führte der Einsatz von Biostimulanzien und Komposttees sowohl bei der Weizenährenzahl als auch beim Kornertrag zu keinen signifikanten Unterschieden im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle (Abbildung 60 und 61).

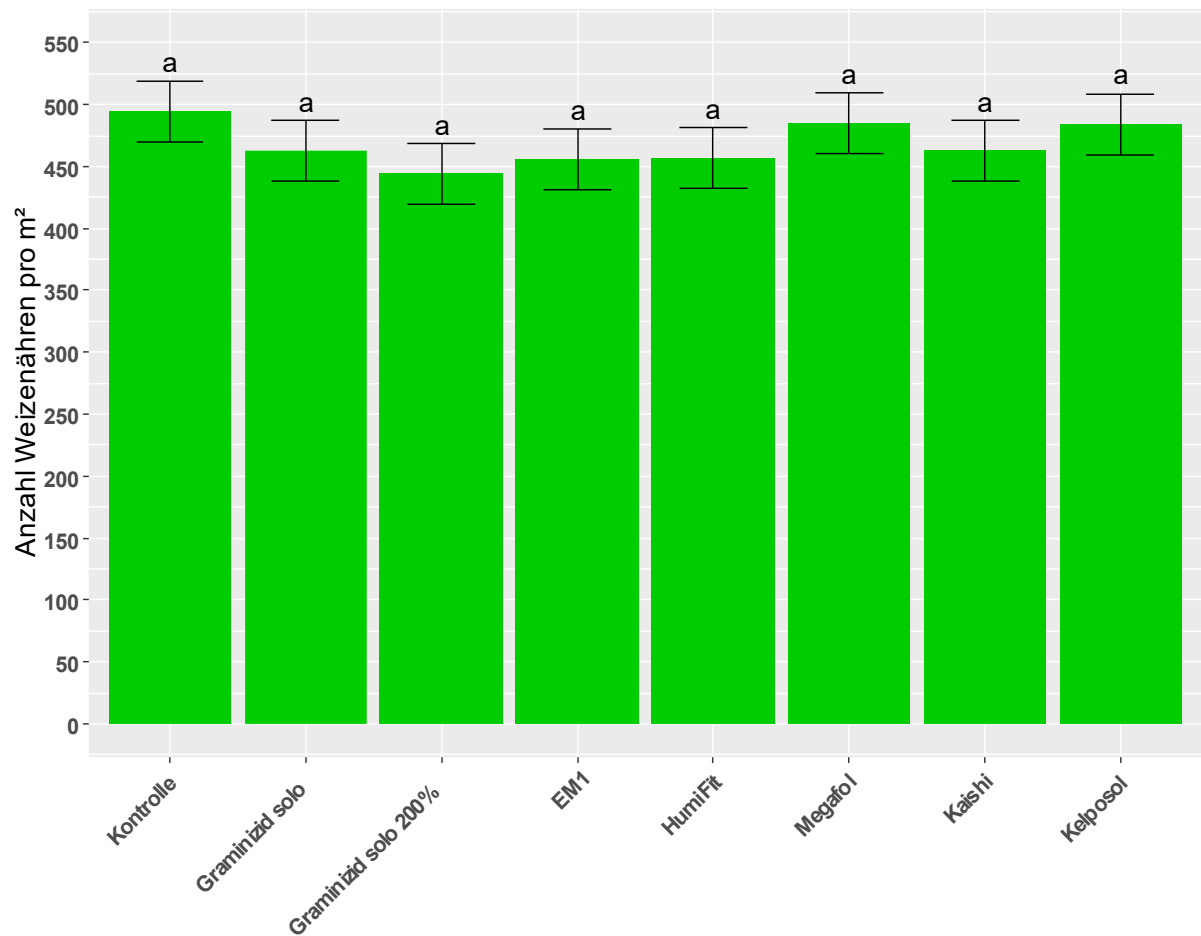


Abbildung 60: Anzahl an Weizenähren pro m² in Abhängigkeit von dem eingesetzten Komposttee bzw. Biostimulanz verglichen mit der Kontrolle im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

Der Bedarf an Fungizid konnte durch den Einsatz von Biostimulanzien bzw. Komposttees nicht reduziert werden. Die Befallsstärke an *Septoria tritici* war in keiner der behandelten Varianten reduziert.

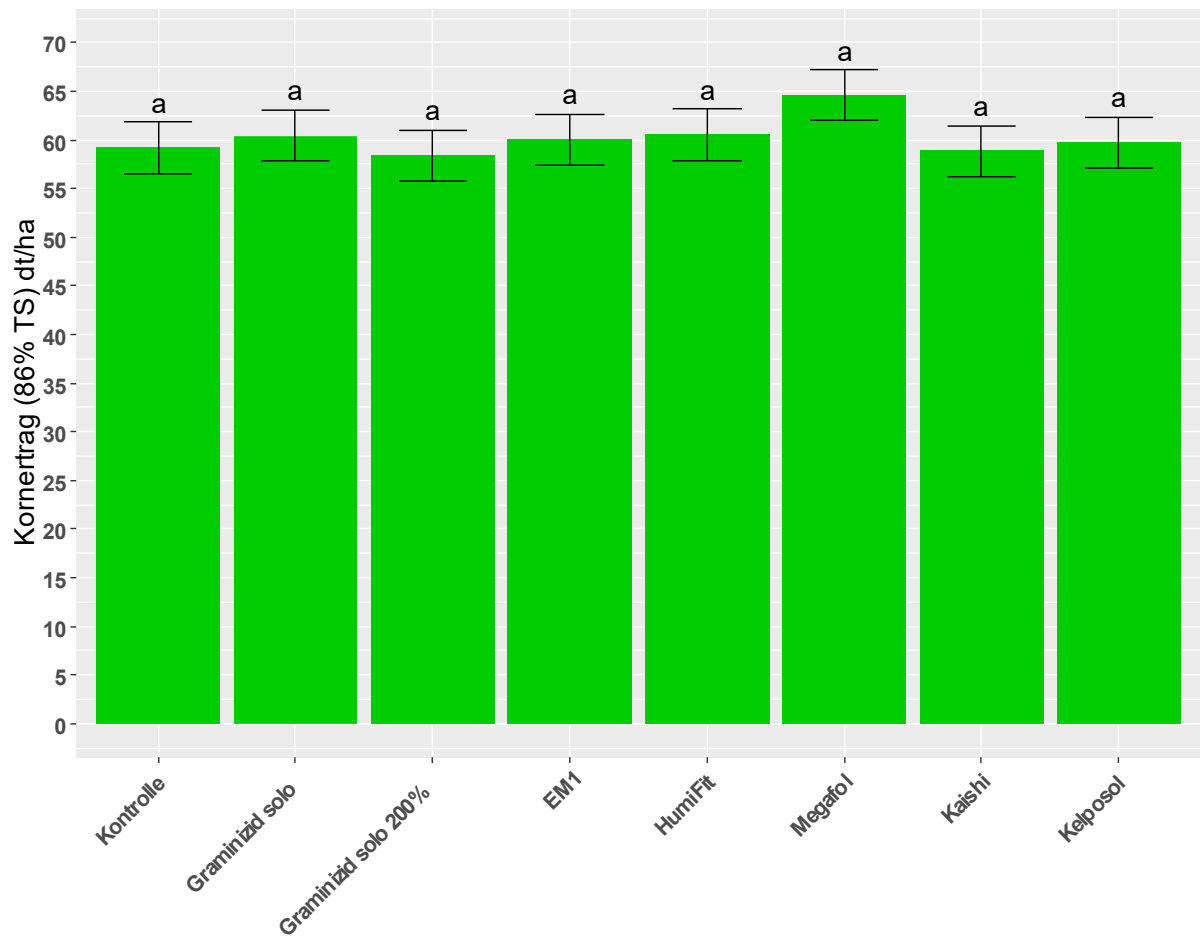


Abbildung 61: Kornertrag (86 % TS, dt/ha) in Abhängigkeit von dem eingesetzten Komposttee bzw. Biostimulanz verglichen mit der Kontrolle im Versuchsjahr 2023 (Buchstaben über Säulen: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

3.3.3 Abbau von Sulfonylharnstoffen

Beim Betrachten der Einzelpflanzengewichte wurden die Unterschiede zwischen den ALS-resistenten Sorten und nicht ALS-resistenten Sorten deutlich (Abbildung 62 und 63). Die ALS-resistente Rapssorte zeigte nur bei der Variante „30 Tage nach Behandlung“ einen signifikanten Unterschied zwischen den behandelten und unbehandelten Pflanzen. Die Saat 30 Tage nach der Behandlung führten zum Ausfall der nicht ALS-resistenten Sorte in den behandelten Töpfen, was die Wachstumsbedingungen für die ALS-resistenten Sorten verbesserte. Erst nach 90 Tage glich sich das Gewicht der nicht resistenten Rapspflanzen bei Tribenuron der Kontroll-Variante an, was nicht auf Metsulfuron zutraf.

Raps

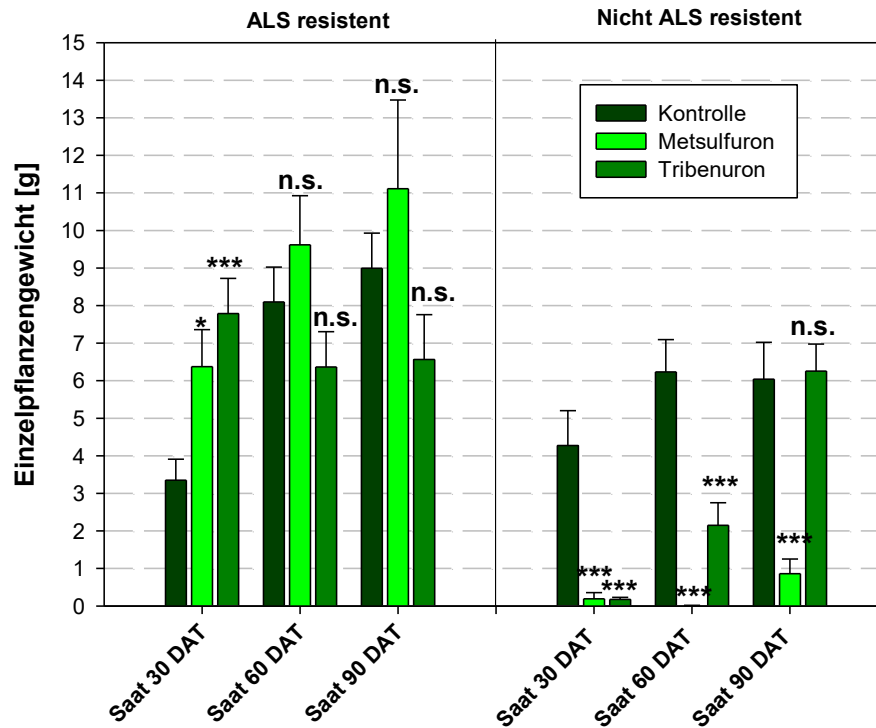


Abbildung 62: Einzelpflanzengewicht der Rapspflanzen [g] in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Aussaat nach der Behandlung (DAT), der Sorte (ALS resistent oder nicht) und des Wirkstoffs (Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede der behandelten Variante zur jeweiligen Kontrolle; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$, Dunnett-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit Fehlerbalken = Standardfehler)

Die soeben beschriebenen Resultate konnten auch bei der Indikatorpflanze Zuckerrübe beobachtet werden (Abbildung 63). Der höhere DT_{50} -Wert (Dissipation time 50% = benötigte Zeit, bis die anfängliche Konzentration eines Wirkstoffes halbiert ist) für Metsulfuron im Vergleich zu Tribenuron erklärt diese Ergebnisse.

Zuckerrübe

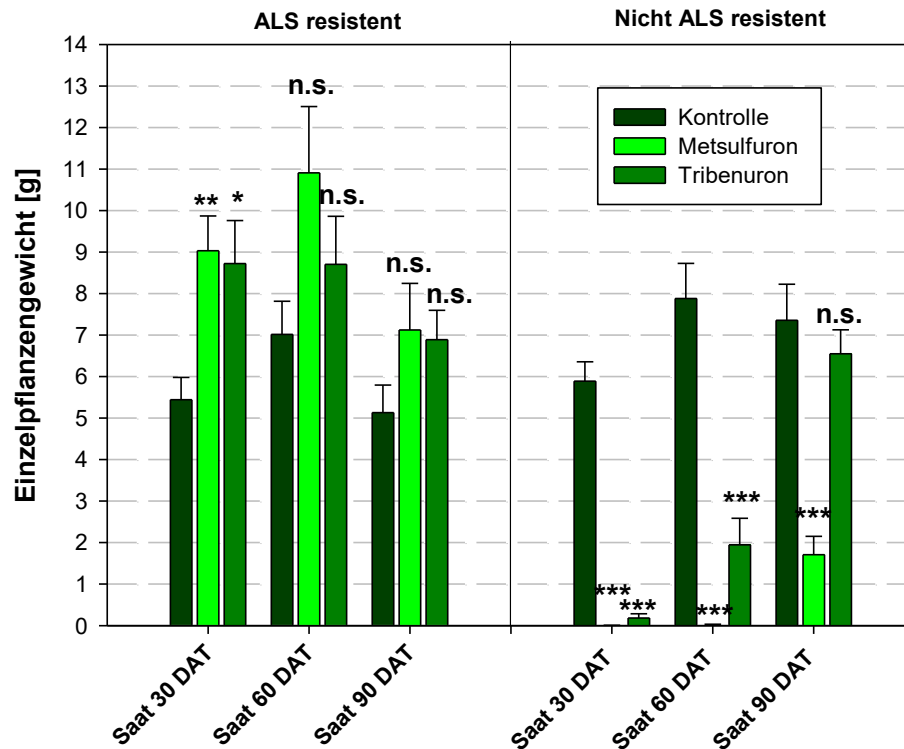


Abbildung 63: Einzelpflanzengewicht der Zuckerrübenpflanzen [g] in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Aussaat nach der Behandlung (DAT), der Sorte (ALS resistent oder nicht) und des Wirkstoffs (Sternchen kennzeichnen signifikante Unterschiede der behandelten Variante zur jeweiligen Kontrolle; ; * = $p < 0,05$; ** = $p < 0,01$; *** = $p < 0,001$; Dunnett-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit Fehlerbalken = Standardfehler)

Die Aussaat von Gartenkresse 120 und 150 Tage nach der Herbizidbehandlung verdeutlicht, dass bei keinem der beiden Wirkstoffe noch eine ausreichende Konzentration zur Aussaat vorhanden waren, um signifikante Wachstumsdepressionen hervorzubringen (Abbildung 64). Diese Zeitspanne zwischen Applikation und Aussaat von 120 Tagen wird benötigt, um einen Einfluss der getesteten Wirkstoffe auf die Zwischenfrucht ausschließen zu können. Bedingungen wie Witterung, Humusgehalt und pH-Wert beeinflussen nachweislich den Abbau von Wirkstoffen, sodass eine pauschale Ableitung eines Zeitpunktes, wann die Zwischenfrucht keine Wachstumsdepression aufgrund von Rückständen erleidet, nicht abgeleitet werden kann. Jedoch zeigen die Ergebnisse, dass unter gleichen Bedingungen Metsulfuron länger im Boden verbleibt. Daher sollte eine Applikation von Herbiziden, die diesen Wirkstoff enthalten, bei Direktsaatsystemen lediglich im Herbst erfolgen und andere Wirkstoffe mit geringerer Verweildauer in die Frühjahrbehandlung integriert werden.

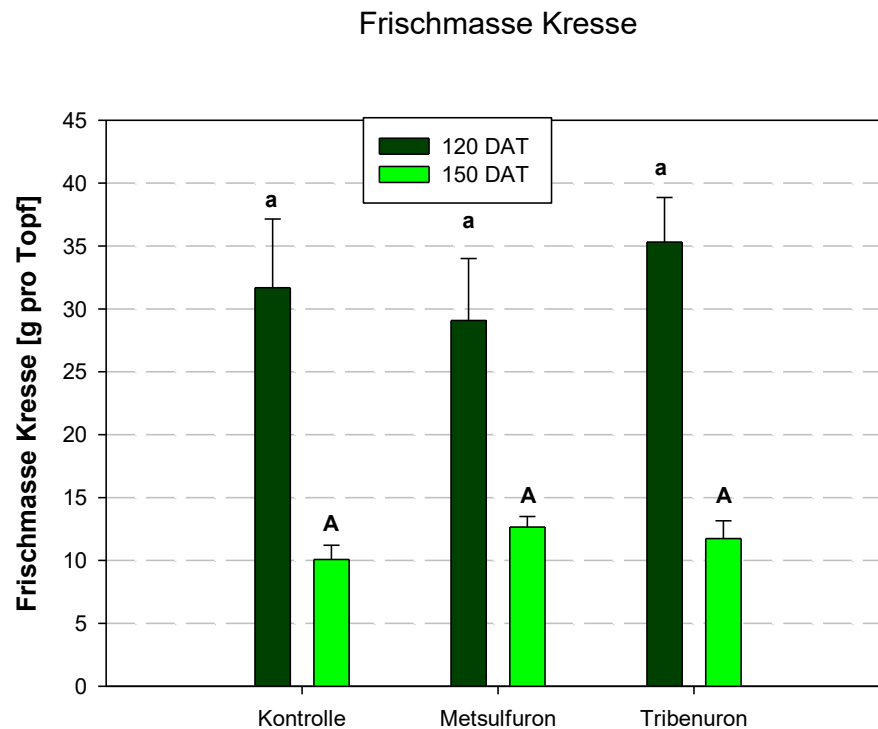


Abbildung 64: Frischmasse Kresse je Topf [g] in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Aussaat nach der Behandlung (DAT) und dem Herbizid (Buchstaben: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Herbiziden, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

3.4 Qualitätsparameter der Erntegüter

3.4.1 Sommerbraugerste

Der Rohproteingehalt unterschied sich zwischen den Varianten im Jahr 2021 signifikant (Tabelle 32). Das Hektolitergewicht unterschied sich nur geringfügig in den beiden Varianten, lediglich in der „Langgewann“ wurde mit 66,91 kg/hl ein signifikant höherer Wert für „Regenerativer Pflanzenbau“ gemessen.

Tabelle 32: Rohprotein [%] und Hektolitergewicht [kg/hl] bei Sommergerste in Abhängigkeit vom Stand-ort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, Conover-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit) im Versuchsjahr 2021

Standort	Anbau- verfahren	Rohprotein [%]		Hektolitergewicht [kg/hl]	
		Mittelwert	S.E. ±	Mittelwert	S.E. ±
Lang-ge- wann	Konven.	9,38 ^a	0,05	65,74 ^b	0,13
	Reg. Pfl.	8,65 ^b	0,07	66,91 ^a	0,20
Pfarrklauer	Konven.	9,41 ⁻	0,08	67,87 ⁻	0,24
	Reg. Pfl.	9,48 ⁻	0,05	67,61 ⁻	0,09
Am Schnif- ten-berg	Konven.	10,22 ^a	0,08	61,27 ⁻	0,36
	Reg. Pfl.	9,73 ^b	0,14	61,10 ⁻	0,87

Der Vollgerstenanteil (Körner mit Durchmesser >2,5 mm) war an zwei von drei Standorten signifikant höher in der Variante „Regenerativer Pflanzenbau“ (Tabelle 33). Der Standort „Langgewann“ fiel durch höhere Anteile in den kleineren Fraktionen auf.

Tabelle 33: Korngrößenverteilung [%] bei Sommergerste in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, Conover-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit) im Versuchsjahr 2021

Standort	Anbau- verfahren	> 1,8 mm [%]		> 2 mm [%]		> 2,2 mm [%]		> 2,5 mm [%]	
		Mit- tel- wert	S.E. ±	Mit- tel- wert	S.E. ±	Mittel- wert	S.E. ±	Mittel- wert	S.E. ±
Langgewann	Konven.	0,29 ^a	0,04	1,60 ^a	0,17	11,87 ^a	0,84	86,26 ^b	1,02
	Reg. Pfl.	0,08 ^b	0,01	0,51 ^b	0,06	5,54 ^b	0,42	93,87 ^a	0,48
Pfarrklauer	Konven.	0,05 ⁻	0,01	0,25 ⁻	0,03	2,83 ^a	0,21	96,97 ^b	0,24
	Reg. Pfl.	0,04 ⁻	0,01	0,22 ⁻	0,02	1,44 ^b	0,07	98,45 ^a	0,09
Am Schnif- tenberg	Konven.	0,11 ⁻	0,02	0,68 ⁻	0,06	6,17 ⁻	0,34	93,06 ⁻	0,37
	Reg. Pfl.	0,15 ⁻	0,02	0,80 ⁻	0,10	6,76 ⁻	1,07	92,32 ⁻	1,15

Im Jahr 2022 war das Hektolitergewicht in der Variante „Regenerativer Pflanzenbau“ bei Sommergerste niedriger verglichen mit der konventionellen Bestellung (Tabelle 34). Der Rohproteingehalt hingegen lag in der Variante Regenerativer Pflanzenbau über der konventionellen Variante.

Tabelle 34: Rohprotein [%] und Hektolitergewicht [kg/hl] bei Sommergerste in Abhängigkeit vom Stand-ort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, Conover-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit) im Versuchsjahr 2022

	Konventionell		Regenerativer Pflanzenbau		Durchschnitt	S.E. ±
	MW	S.E. ±	MW	S.E. ±		
	Hektolitergewicht [kg/hl]					
Moorkreuz	69,05 ^A	0,31	68,21 ^B	0,21	68,63	0,26
	Rohproteingehalt (%)					
Moorkreuz	9,19 ^B	0,21	11,89 ^A	0,19	10,54	0,20

Der Vollgerstenanteil (Körner mit Durchmesser > 2,5 mm) war signifikant höher in der konventionell bestellten Variante (Tabelle 35).

Tabelle 35: Korngrößenverteilung [%] bei Sommergerste in Abhängigkeit vom Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit) im Versuchsjahr 2022

Standort	Anbauverfahren	> 1,8 mm [%]		> 2 mm [%]		> 2,2 mm [%]		> 2,5 mm [%]	
		Mittelwert	S.E. ±	Mittelwert	S.E. ±	Mittelwert	S.E. ±	Mittelwert	S.E. ±
Moorkreuz	Konven.	0,14 ^b	0,03	0,85 ^b	0,14	8,92 ^b	0,82	90,09 ^a	0,94
	Reg. Pfl.	0,27 ^a	0,03	2,09 ^a	0,30	13,83 ^a	1,50	83,81 ^b	1,81

Im Versuchsjahr 2023 unterschieden sich die beiden Varianten in der Größe Hektolitergewicht nicht signifikant bei der Sommergerste, jedoch wurde ein um 2 % geringer Rohproteingehalt in der Variante regenerativer Pflanzenbau gemessen (Tabelle 36).

Tabelle 36: Rohprotein [%] und Hektolitergewicht [kg/hl] bei Sommergerste in Abhängigkeit vom Stand-ort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, Conover-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit) im Versuchsjahr 2023

Standort	Konventionell			Regenerativer Pflanzenbau		
	Mittelwert	S.E. ±	Signifikanz	Mittelwert	S.E. ±	Signifikanz
	Hektolitergewicht (kg/hl)					
Am Schild	68,6	0,4	A	68,2	0,3	A
	Rohproteingehalt (%)					
Am Schild	10,1	0,3	A	8,6	0,3	B

In keinem Anbauverfahren wurde in 2023 einen Vollgerstenanteil von 90 % erreicht (Tabelle 37).

Tabelle 37: Korngrößenverteilung [%] bei Sommergerste in Abhängigkeit vom Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit) im Versuchsjahr 2023

Standort	Anbauverfahren	> 1,8 mm [%]		> 2 mm [%]		> 2,2 mm [%]		2,5 mm – 2,8 mm [%]	
		Mittelwert	S.E. ±	Mittelwert	S.E. ±	Mittelwert	S.E. ±	Mittelwert	S.E. ±
Am Schild	Konven.	0,5 ^a	0,1	5,1 ^a	0,2	26,7 ^a	3,0	65,2 ^a	3,8
	Reg. Pfl.	0,4 ^a	0,1	5,1 ^a	0,2	27,7 ^a	2,0	65,6 ^a	3,2

3.4.2 Futtererbsen

Der Rohproteingehalt bei den Futtererbsen unterschied sich nur im letzten Versuchsjahr am Standort „Am Moorkreuz“ signifikant zwischen den beiden Verfahren (Tabelle 38). Dort lag der Gehalt in den konventionell bestellten Futtererbsen zwei Prozentpunkte höher.

Tabelle 38: Rohproteingehalt [%] bei Futtererbsen in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

Jahr	Standort	Rohproteingehalt [%]			
		Konventionell		Regenerativer Pfl.	
		Mittelwert	S.E. ±	Mittelwert	S.E. ±
2021	Am Schild	23,74 ^a	0,07	23,80 ^a	0,09
2022	Langgewann	20,49 ^a	0,08	21,02 ^a	0,10
2022	Am Steinsäcker	20,80 ^a	-	20,50 ^a	-
2023	Am Moorkreuz	23,8 ^a	0,10	21,9 ^b	0,20

3.4.3 Winterweizen und Winterdurum

Der Gehalt an Rohprotein bei Winterweizen (und Winterdurum) fiel in der Variante „Regenerativer Pflanzenbau“ meist geringer aus, was in der Regel signifikant war (Tabelle 39).

Tabelle 39: Rohproteingehalt [%] bei Winterweizen und Winterdurum in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

Jahr	Standort	Rohproteingehalt [%]			
		Konventionell		Regenerativer Pfl.	
		Mittelwert	S.E. ±	Mittelwert	S.E. ±
2022	Am Eppelsheimer Weg	11,42 ^a	0,24	10,72 ^b	0,23
2022	Am Schniftenberg	13,18 ^a	0,21	13,72 ^a	0,08
2022	Im Ochsenenthal	15,04 ^a	0,20	10,74 ^b	0,17
2022	Am Schild (Durum)	15,76 ^a	0,22	14,03 ^b	0,31
2023	Langgewann	10,4 ^a	0,1	10,5 ^a	0,1
2023	Am Plenzer	11,1 ^a	0,2	11,6 ^a	0,2
2023	Pfarrklauer	11,1 ^a	0,2	10,5 ^b	0,2
2023	Am Steinsäcker (Durum)	13,9 ^a	0,3	12,6 ^b	0,4

Die Anbauverfahren hatten bei Winterweizen und Winterdurum keinen signifikanten Einfluss auf das Hektolitergewicht (Tabelle 40).

Tabelle 40: Hektolitergewicht (kg/hl) bei Winterweizen und Winterdurum in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

Jahr	Standort	Hektolitergewicht [kg/hl]			
		Konventionell		Regenerativer Pfl.	
		Mittelwert	S.E. ±	Mittelwert	S.E. ±
2022	Am Schniftenberg	77,04 ^a	0,43	77,21 ^a	0,23
2022	Im Ochsenenthal	75,45 ^b	0,16	78,13 ^a	0,14
2022	Am Schild (Durum)	80,48 ^a	0,20	80,44 ^a	0,59
2023	Langgewann	78,9 ^a	0,1	78,5 ^a	0,2
2023	Am Plenzer	77,6 ^a	0,2	77,1 ^a	0,4
2023	Pfarrklauer	78,2 ^a	0,2	76,6 ^b	0,1
2023	Am Steinsäcker (Durum)	79,4	0,8	80,5	0,5

3.4.4 Winterraps

In den beiden Versuchsjahren 2022 und 2023 unterschieden sich die Ölgehalte signifikant, wobei im Jahr 2022 höhere Ölgehalte von Raps auf der Fläche „Regenerativer Pflanzenbau“ und in 2023 auf der konventionell bestellten Fläche gemessen wurden (Tabelle 41).

Tabelle 41: Ölgehalt (%) bei Winterraps in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren (Buchstaben hochgestellt: Darstellung signifikanter Unterschiede zwischen den Varianten, TukeyHSD-Test mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit)

Jahr	Standort	Ölgehalt [%]	
		Konventionell	Regenerativer Pfl.
2022	Pfarrklauer	48,6 ^b	49,45 ^a
2023	Am Schniftenberg	49,2 ^a	45,9 ^b

3.4.5 Zuckerrübe

Neben dem Standort zeigte auch das Anbauverfahren Einfluss auf den Zuckergehalt in den Rüben (Tabelle 42). Tendenziell war der Standard-Melasseverlust bei den Rüben aus der Fläche „Regenerativer Pflanzenbau“ höher.

Tabelle 42: Zuckergehalte (%), Kalium, Natrium und Amino-N (mmol/kg) sowie Standard-Melasseverlust (%) und bereinigter Zuckergehalt (%) bei Zuckerrübe in Abhängigkeit vom Standort und Anbauverfahren im Versuchsjahr 2023

Standort	Anbauverfahren	Zuckergehalt [%]	Kalium [mmol/kg]	Natrium [mmol/kg]	Amino-N [mmol/kg]	SMV ¹ [%]	BZG ² [%]
Am Eppelsheimer Weg	Konven.	13,3	43,1	7,9	12,8	1,40	11,30
	Regener.	14,3	47,5	5,8	13,5	1,44	12,26
Im Ochsenthal	Konven.	15,5	38,5	6,5	15,7	1,40	13,50
	Regener.	14,8	45,3	6,6	18,5	1,55	12,65

¹SMV: Standard-Melasseverlust

²BZE: bereinigter Zuckergehalt

3.5 Beitrag der Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen

Das förderpolitische Ziel, die Pflanzenproduktion ökologisch nachhaltiger zu gestalten, kann durch das hier vorgestellte Anbauverfahren, welches durch Direktsaat und Dauerbegrünung charakterisiert ist, erreicht werden. Die Abundanz von Organismen mit hoher Wertigkeit hinsichtlich der Bereitstellung von wichtigen Ökosystemdienstleistungen wie Regenwürmer und Arten der Arthropodenfauna nahm signifikant zu im Vergleich zu der konventionellen Bewirtschaftungsweise. Die Zwischenfruchtbegrünung zwischen Ernte und Aussaat der Folgekultur reduzierte N-Verluste in Form von Nitrat, welches in den Wintermonaten durch Sickerwasser ausgetragen wird. Auch der Bodenschutz konnte durch den Regenerativen Pflanzenbau deutlich verbessert werden. Eine Reduktion des Pflanzenschutzmitteleinsatzes konnte hingegen durch den regenerativen Pflanzenbau nicht erreicht werden. Im Gegenteil – durch den Wegfall der Bodenbearbeitung war teilweise ein höherer Herbizideinsatz nötig. Der Verzicht auf Bodenbearbeitung und die durch den Zwischenfruchtanbau zusätzliche Deckung sorgte in Manchen Jahren und Flächen für den Anstieg der Feldmauspopulation im regenerativen

Pflanzenbauverfahren. Schäden an den Kulturen wurden deutlich bzw. die Notwendigkeit der Feldmauskontrolle war dann gegeben.

3.6 Erreichung der Ziele des Vorhabens

Das übergeordnete Ziel des Projektes, Möglichkeiten für einen Erhalt eines produktiven Pflanzenbaus in einer trockenwarmen Region wie Rheinhessen aufzuzeigen, wurde erreicht. Das präsentierte Anbauverfahren basierend auf einem Direktsaatssystem gepaart mit einer Dauerbegrünung führte zur Erhöhung der Biodiversität in verschiedenen Bereichen. Aufgrund fehlenden Vorkommens an Schaderregern (mit Ausnahme dem letzten Versuchsjahr) konnte nur eine geringe Datenbasis erhoben werden für die Be- oder Wiederlegung der Hypothese, dass ein Anbausystem nach den Richtlinien des Regenerativen Pflanzenbaus die Suppressivität gegenüber Schaderregern erhöht. Einsparungen bei Fungiziden erscheinen möglich, die auf die technisch bedingte weitere Reihenabstände bei Getreide und die daraus resultierende bessere Abtrocknung der Bestände zurückzuführen ist. Eine Einsparung an Düngemittel kann nach drei Versuchsjahren nicht bestätigt werden. Die fehlende Bodenbearbeitung im Direktsaatssystem reduzierte das Vorkommen von Ungras-Arten wie Acker-Fuchsschwanz und Weidelgrasarten, jedoch wurden andere Arten, die z. T. als Ruderalpflanzen betrachtet werden können, begünstigt. Mittel-bis langfristig muss mit einem Wandel der Unkrautflora auf den Direktsaatflächen gerechnet werden, was sich im Versuchszeitraum nur andeutete. Das Vermeiden des Einsatzes eines Totalherbizides und die Nutzung anderer Herbizide erscheint aus wirtschaftlichen und juristischen Gründen nicht sinnvoll. Die Basis der Unkrautbekämpfung in Direktsaatssystemen ruht auf der Nutzung von Herbiziden, eine Reduktion dieser ist, unter der Prämisse, einen wirtschaftlichen und produktiven Ackerbau zu betreiben, nicht vertretbar. Die Erhaltung des Ertragspotentials ist je nach Kulturart möglich. Verspätete Aussaat im Frühjahr aufgrund feuchter Bodenbedingungen, die eine Saat mit der Direktsaatmaschine erschweren, lassen bei Sommerungen die Erträge sinken. Das Ziel, den Boden im Sommer durch eine Mulchauflage zu kühlen, wurde nicht erreicht. Entsprechend der größeren Reihenabstände und der geringeren Pflanzendichte erwärmten sich die Flächen bei hoher Strahlungsintensität schneller auf den Direktsaatflächen. Die Wirtschaftlichkeit eines solchen Systems ist insbesondere in Kulturen wie Zuckerrüben und Sommergerste nicht gegeben. Höhere Kosten bei Herbiziden und

das Nichterreichen von preisbestimmenden Qualitäten verursachen einen geringeren Deckungsbeitrag.

4 Ergebnisverwertung, Kommunikation und Verstetigung

4.1 Nutzen der Ergebnisse für die Praxis

Das vorgestellte Direktsaatsystem kann in Kulturen wie Winterweizen und Winterraps die Arbeitsspitzen im Herbst reduzieren. Die Fähigkeit dieser Kulturen, geringere Pflanzendichten durch andere Ertragsparameter zu kompensieren, machen diese interessant für ein solches System. Die Reduktion des Vorkommens von Unkrautarten, die aufgrund vorliegender Herbizidresistenzen schwer kontrollierbar sind, erleichtert das Unkrautmanagement. Der aktive Umweltschutz, der durch unterlassene Bodenbearbeitung betrieben wird, steigert die Akzeptanz solcher Produktionssysteme, was auch durch rege Kommunikation begleitet werden muss. Artenreiche Zwischenfruchtmischungen erhöhen die Wahrscheinlichkeit, auch unter trockenen Bedingungen eine ausreichende Anzahl an Pflanzen auflaufen zu lassen und je nach Standort das Auflaufen von Unkräutern zu unterdrücken. Das angestrebte Ziel, solche Systeme ohne den Einsatz von Totalherbiziden durchzuführen, ist gerade in Sommerkulturen mit geringer Konkurrenzkraft (Erbsen, Zuckerrübe) in frühen Entwicklungsstadien und Wirkungslücken bei den Herbiziden nicht realisierbar.

Weiterhin sollten Metsulfuron-haltige Herbizide im Getreide nicht im Frühjahr eingesetzt werden, um eine Schädigung der nachfolgenden Zwischenfrucht zu vermeiden. Andere Sulfonylharnstoffe (z.B. Tribenuron) zeigten im Gewächshaus kürzere Wirkungsdauer und sollten in solche Systeme und sollten daher in ein solches System integriert werden.

4.2 (Geplante) Verwertung/Verbreitung und Nutzung der Ergebnisse

Folgende Artikel sind in der Fachpresse erschienen:

- „Direktsaat als Antwort auf den Klimawandel“ in Landwirtschaft ohne Pflug, Ausgabe 06/2021 (Knut Behrens)
- „Zwischenfruchtbau und Direktsaat im Trockengebiet“ in Landwirtschaftliches Wochenblatt, Ausgabe 24/2021 (Knut Behrens)
- „Direktsaat als Antwort auf den Klimawandel“ in Rheinische Bauernzeitung, Ausgabe 32/2021 (Knut Behrens)

Folgende Vorträge wurden in verschiedenen Veranstaltungen präsentiert:

- „Erfahrungsbericht zum Direktsaatverfahren von Zwischenfrüchten und Hauptkulturen“, 16.12.2022, DLR Bad Kreuznach, Knut Behrens, Teilnehmer ca. 50 Berater
- „Erfahrungen aus mehreren Jahren Direktsaat bei Zwischenfrüchten und Hauptkulturen“, 07.12.2022, Trier, Knut Behrens, ca. 250 Teilnehmer
- „Regenerativer Pflanzenbau im Trockengebiet Rheinhessen als Alternative zum herkömmlichen Pflanzenbau – Ein EIP-Projekt zur Direktsaat in Trockenregionen“, DLR Rheinhessen-Nahe-Hunsrück, Bad-Kreuznach, 17.01.2023, Benjamin Klauk; Teilnehmer: ca. 60.
- Regenerativer Pflanzenbau – Direktsaat und dauerhafte Begrünung – geht das im Trockengebiet Rheinhessen? Agrartag Technische Hochschule Bingen, Bingen, 18.10.2023, Benjamin Klauk, Teilnehmer: ca. 60.
- „Regenerativer Pflanzenbau – Direktsaat und dauerhafte Begrünung, Ergebnisse aus dem Trockengebiet in Rheinhessen“, Pflanzenbautag DLR RNH, Simmern, 06.12.2023, Teilnehmer: ca. 100.
- Regenerativer Pflanzenbau – Direktsaat und dauerhafte Begrünung – geht das im Trockengebiet Rheinhessen? 13. Jahrestagung Gesellschaft konservierender Bodenbearbeitung, Bad Kreuznach, 15.12.2023, Benjamin Klauk, Teilnehmer: ca. 60

- 4 Vorträge im Rahmen der Hochwasserschutzberatung:
„Abfluss- und erosionsmindernde Flächenbewirtschaftung mit Hilfe von Direktsaat“
 - 28.06.2021 in Rittersheim
 - 02.09.2021 in Hargesheim
 - 08.12.2022 in Nackenheim
 - 02.02.2023 in Bad Sobernheim

Folgende Veranstaltungen und Präsentationen wurden durchgeführt:

- 08.10.2021 Führung durch die Versuche für NABU (Cosima Lindemann), BUND (Sabine Ya-coub) und Bauernverband RLP Süd Eberhard Hartelt
- 14.-16.06.2022 Präsentation der Direktsaat auf den DLG-Feldtagen in Mannheim Schilder, Handout, (Knut Behrens, Benjamin Klauk)
- 05.04.2022 Führung durch die Versuche für Staatssekretär Dr. Manz, (Umweltministerium RLP) und Dr. Friedhelm Fritsch (MWVLW, RLP)

4.3 Wirtschaftliche und wissenschaftliche Anschlussfähigkeit

Wirtschaftliche Fragestellung

1. Wird die erhoffte Ertragsstabilisierung durch Humusaufbau und Verbesserung der Bodenstruktur die geringeren Deckungsbeiträge erhöhen?
2. Wie sind die durch die unterlassene Bodenbearbeitung erzielte Effekte (Erhöhung der Artenvielfalt, aktiver Schutz vor Nährstoffauswaschung) ökonomisch zu bewerten und wie könnten diese auch für den Landwirt entlohnt werden?
3. Sind andere Sämaschinen, die durch größere Leichtzügigkeit und geringere Anschaffungskosten charakterisiert sind, ökonomischer als die hier genutzt Novag® T-Force?
4. Werden die Kosten für Zwischenfruchtsaatgut zukünftig steigen?

Wissenschaftliche Fragestellung

1. Sind zukünftig andere Möglichkeiten in der chemischen Schadnager-Bekämpfung zu erwarten?
2. Sollten aufgrund der sich ändernden Bedingungen im Boden (Wasserhaushalt, Gasaustausch) und die damit einhergehende sich ändernde Mineralisation ein anderes Düngesystem (Düngerform, Platzierung) genutzt werden?
3. Können Biostimulantien oder Komposttees die Resilienz des regenerativen Pflanzenbaus langfristig verbessern?

5 Zusammenarbeit in der Operationellen Gruppe (OG)

5.1 Gestaltung der Zusammenarbeit

Die Zusammenarbeit zwischen der Technischen Hochschule Bingen, der Landwirtschaftskammer, des Ackerbauberatungsring sowie den praktizierenden Landwirten erfolgte häufig durch bilateralen Austausch, je nach Zuständigkeit und zu erledigenden Tätigkeiten. Regelmäßig wurde sich getroffen und die Flächen besichtigt, um ein Bild über den aktuellen Stand geben zu können. Weitere interessierte Landwirte nahmen an den Treffen teil, häufig wurde ausgiebig diskutiert. OG Treffen dienten des Datentransfers und der kompakten Darstellung der erhobenen Daten.

5.2 Mehrwert des Formats einer OG

Die OG ermöglichte dem Projekt die gewonnenen Erkenntnisse in Gruppen zu präsentieren und die Ergebnisse fachlich zu diskutieren. Dank der verschiedenen Mitglieder der OG konnte ein vielseitiges und vielschichtiges Projekt umgesetzt werden. Es spricht viele Facetten der landwirtschaftlichen Produktion von Nahrungsmitteln an und deckt ein breites Feld von Interessen, Anwendungsbereichen und Aspekte des Umweltschutzes ab.

5.3 Weitere Zusammenarbeit

Eine Weiterarbeit in der vorliegenden Konstellation ist nicht vorgesehen.

6 Verwendung der Zuwendung

Auflistung der wichtigsten Positionen (Gesamtausgaben, förderfähige Ausgaben und Zuwendung)

7 Schlussfolgerungen und Ausblick

Allgemeine Schlussfolgerungen:

Die Daten des Projektes und die Erfahrungen, die die Landwirte im Zusammenhang mit diesem Projekt gemacht haben, zeigten die Möglichkeiten eines Regenerativen Anbausystems, welches langfristig auf den Aufbau von Bodenfruchtbarkeit und letztendlich auf eine höhere Resilienz gegenüber den sich veränderten Klimatischen Bedingungen setzt. Die drei Versuchsjahre offenbarten Hürden hinsichtlich der Kulturetablierung, des Unkrautmanagements sowie der Kontrolle von Schadnagern. Der Zwischenfruchtanbau konnte trotz wasserschonender Etablierung nicht immer die erwünschte Biomasse bilden. Einige Organismen im Boden profitieren von Direktsaatsystemen (insbesondere Regenwürmer), mittelfristig wird die Abundanz weitersteigen. Die Verfügbarkeit von Herbiziden, welche aufgrund politischer Entscheidung verringert werden könnte, stellt eine zentrale Bedeutung im Unkrautmanagement von Direktsaatsystemen, sodass in Kulturen mit geringer Vielfalt andere Möglichkeiten in Betracht gezogen werden sollten.

Fazit zur Eignung von EIP-Förderung zur Generierung von Innovation und Schließung von Lücken zwischen Praxis und Wissenschaft und eventuelle Vorschläge zur Weiterentwicklung der EIP-Agri:

Auch in diesem Projekt hat sich gezeigt, dass der Ansatz der EIP-Förderung Wissenschaft und Praxis enger zu verknüpfen, durchaus funktioniert. Durch das Einbeziehen der Praxis können aktuelle Fragestellungen und Probleme wissenschaftlich erforscht und gemeinsam mit der Wissenschaft und Forschung Lösungsansätze erarbeitet werden

Als zunehmend problematisch wird der bürokratische Aufwand angesehen. Viele Vorgänge im Projekt wurden durch den steigenden Bürokratismus, zusammen mit fehlender Flexibilität

und z.T. langen Wartezeiten gestoppt und verzögert. Dadurch ist viel Zeit im Projekt verloren gegangen, die deutlich besser hätte genutzt werden können. Ebenso war nicht immer ein Ansprechpartner vorhanden, was gerade bei terminlichen Fristen und Rücksprachen zu Schwierigkeiten geführt hat. Die oben aufgeführten Punkte haben zum Teil zu großem Unmut innerhalb der OG-Gruppe geführt, was eine Beteiligung der Mitglieder, weitere EIP-Projekte durchzuführen, eher abschreckt. Daher sollten sich die Rahmenbedingungen eines EIP-Agri-Projektes in Zukunft entscheidend ändern.

8 Literaturverzeichnis

- Benhadi-Marin, J., Pereira, J. A., Barrientos, J. A., Bento, A., Santos, S. A.P. (2013). Araneae communities associated with the chestnut tree canopy in north-eastern Portugal: the influence of soil management practices. *European Journal of Entomology*, 110(3): 501–508.
- Brock, C., Jackson-Smith, D., Culman, S., Doohan, D., & Herms, C. (2021). Soil balancing within organic farming: Negotiating meanings and boundaries in an alternative agricultural community of practice. *Agriculture and Human Values*, 38(2), 449–465. <https://doi.org/10.1007/s10460-020-10165-y>.
- Brohmer, P., Schaefer, M., Ansorge, H. (2018). Fauna von Deutschland: ein Bestimmungsbuch unserer heimischen Tierwelt, 25. durchgesehene Auflage. ed. Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim.
- Chaganti, V. N., & Culman, S. W. (2017). Historical Perspective of Soil Balancing Theory and Identifying Knowledge Gaps: A Review. *Crop, Forage & Turfgrass Management*, 3(1), cftm2016.10.0072. <https://doi.org/10.2134/cftm2016.10.0072>.
- Chaganti, V. N., Culman, S. W., Herms, C., Sprunger, C. D., Brock, C., Leiva Soto, A., & Doohan, D. (2021). Base cation saturation ratios, soil health, and yield in organic field crops. *Agronomy Journal*, 113(5), 4190–4200. <https://doi.org/10.1002/agj2.20785>.
- Chinery, M., Jung, I., Chinery, M. (2004). Pareys Buch der Insekten: über 2000 Insekten Europas, Aktualisierte Ausgabe ed, Kosmos-Naturführer. Kosmos, Stuttgart.
- Gaspar, A. P., & Laboski, C. A. M. (2016). Base Saturation: What is it? Should I be concerned? Does it affect my fertility program? *Proceedings of the 2016 Wisconsin Crop Management Conference*, 55–62.
- Jones, D., Gebhard, B., Jones, D., Jones, D., 1990. Der Kosmos-Spinnenführer: über 350 mittlereuropäische Spinnenarten in Farbe, 4. Aufl. ed, Kosmos-Naturführer. Franckh, Stuttgart.
- Kolbe, H., Köhler, B. (2008). Erstellung und Beschreibung des PC-Programms BEFU, Teil Ökologischer Landbau Verfahren der Grunddüngung, legumen N-Bindung, Nährstoff- und Humusbilanzierung. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, 36, 106-108.
- Kopittke, P. M., & Menzies, N. W. (2007). A Review of the Use of the Basic Cation Saturation Ratio and the “Ideal” Soil. *Soil Science Society of America Journal*, 71(2), 259–265. <https://doi.org/10.2136/sssaj2006.0186>.
- Krück S. (2018) Bildatlas zur Regenwurmbestimmung. Natur+Text GmbH
- Näser, D., (2020). Regenerative Landwirtschaft, Bodenleben und Pflanzenstoffwechsel verstehen. 12-23, Ulmer-Verlag, ISBN: 978-3-8186-0695-4.
- Olsen, J. E., Bindi, E., (2002). Consequences of climate change for European agricultural productivity, land use and policy. *European Journal of Agronomy*, 16, 239-262.

Roßberg, D., (2013). Erhebungen zur Anwendung von Pflanzenschutzmitteln in der Praxis im Jahr 2011. *Journal für Kulturpflanzen*, 141-151.

Simpson, E. H., 1949. Measurement of Diversity. In: *Nature* (163), S. 688. Online verfügbar unter <https://www.nature.com/articles/163688a0>, zuletzt geprüft am 16.07.21

Thaler, S., Eitzinger, J., Trnka, M., Dubrovsky, M., (2012). Impacts of climate change and alternative adaptation options on winter wheat yield and water productivity in a dry climate in Central Europe. *Journal of Agricultural Science*. 150, 537–555.

Weidmann, C., Mühling, K. H., & Biernat, L.; (2020). Welche Methode für die Bodenanalyse? *Getreidemagazin*, 3, 4.

Woodburn, A. T., (2000). Glyphosate: production, pricing and use worldwide. *Pest Management Science*, 56, 309-312.

Ye, Q., Sun, J., Wu, J. (2003) Causes of phytotoxicity of metsulfuron-methyl bound residues in soil. *Environmental Pollution*, 126, 417-423.