



Pflanzenbauliche Auswirkungen des Mais-Gemenge-Anbaus

„Diversifizierung des Silo- und Energiemaisanbaus im
konventionellen und ökologischen Landbau“
– Abschlussbericht 2022 –
Auszug zu dem Themenbereich

„Pflanzenbauliche Aspekte des Mais-Gemenge-Anbaus“ und
„Pflanzenwachstumsfördernde Mikroorganismen“



Landwirtschaftliches
Technologiezentrum
Augustenberg



Baden-Württemberg

Diese Publikation entstand im Rahmen des Kooperationsprojektes „Diversifizierung des Silo- und Energiemaisanbaus im konventionellen und ökologischen Landbau“.

Das Projekt wurde auf Grund eines Beschlusses der baden-württembergischen Landesregierung durch das Ministerium für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (MLR) durch das Sonderprogramm zu Stärkung der biologischen Vielfalt gefördert.

Gefördert
durch



Zitervorschlag

Schulz, V., Dieckhoff, C., Hüber, T., Müller-Lindenlauf, M., Schumann, C., Stolzenburg, K., Weisenburger, S., Zettl, F., Zunker, M., Möller, K. (2022). Pflanzenbauliche, Auswirkungen des Mais-Gemenge-Anbaus – „Diversifizierung des Silo- und Energiemaisanbaus im konventionellen und ökologischen Landbau“ – Abschlussbericht 2022. Karlsruhe: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg.

Auf Anfrage beim LTZ (poststelle@ltz.bwl.de) kann der ausführliche Abschlussbericht mit einer detaillierteren Beschreibung der Versuche bezogen werden.

Impressum

Herausgeber: Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Neßlerstr. 25, 76227 Karlsruhe, Tel.: 0721/9468-0, Fax: 0721/9468-209, E-Mail: poststelle@ltz.bwl.de, www.ltz-augustenberg.de

Bearbeitung: Dr. Vanessa Schulz, Dr. Christine Dieckhoff, Conny Hüber, Prof. Dr. Maria Müller-Lindenlauf, Caroline Schumann, Kerstin Stolzenburg, Sebastian Weisenburger, Freya Zettl, Dr. Mareile Zunker, Dr. Kurt Möller
Titelfoto: Dr. Vanessa Schulz

Layout: Katja Lang

Druck: W. Kohlhammer Druckerei GmbH + Co. KG, Stuttgart

Auflage: 120 Exemplare

November 2023

Pflanzenbauliche Auswirkungen des Mais-Gemenge-Anbaus

„Diversifizierung des Silo- und Energiemaisanbaus im
konventionellen und ökologischen Landbau“
– Abschlussbericht 2022 –
Auszug zu dem Themenbereich

„Pflanzenbauliche Aspekte des Mais-Gemenge-Anbaus“ und
„Pflanzenwachstumsfördernde Mikroorganismen“

Dr. Vanessa Schulz¹, Christine Dieckhoff¹, Conny Hüber³, Prof. Dr. Maria Müller-Lindenlauf³,
Caroline Schumann^{1,2}, Kerstin Stolzenburg¹, Sebastian Weisenburger¹, Freya Zettl³,
Dr. Mareile Zunker¹, Dr. Kurt Möller¹

Beteiligte Institutionen



Landwirtschaftliches
Technologiezentrum
Augustenberg

¹Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ),
Neßlerstraße 25, 76227 Karlsruhe,
www.ltz-augustenberg.de



²Kompetenzzentrum Ökologischer Landbau Baden-Württemberg (KÖLBW),
Hochburg 1, 79312 Emmendingen,
www.koel-bw.de



³Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU),
Neckarsteige 6-10, 72622 Nürtingen,
www.hfwu.de



⁴Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg (LAZBW),
Atzenberger Weg 99, 88326 Aulendorf,
www.lazbw.landwirtschaft-bw.de

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird im Folgenden auf die gleichzeitige Verwendung weiblicher und männlicher Sprachformen verzichtet und das generische Maskulinum verwendet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichermaßen für beide Geschlechter.

Sehr geehrte Leserinnen und Leser,

„Erhalten, was uns erhält“, unter diesem Motto verpflichtet sich das Land Baden-Württemberg zum Erhalt der biologischen Vielfalt als Lebensgrundlage. Deshalb hat die Landesregierung Ende 2017 auch das „Sonderprogramm zur Stärkung der biologischen Vielfalt“ aufgelegt. Biologische Vielfalt findet auf der Fläche statt, und da die Landwirtschaft der größte Nutzer von Landflächen in Mitteleuropa ist, gilt es Ansätze zu finden, wie Ackerbau und Biodiversitätsschutz besser in Einklang gebracht werden können. Hierbei wird viel diskutiert, inwieweit segregierende Ansätze des Biodiversitätsschutzes (also die Ausweitung von Schutzflächen unter Beibehaltung der bisherigen Bewirtschaftung auf den Restflächen) oder integrierende Ansätze des Biodiversitätsschutzes eher sinnvoll sind, um die verschiedenen Ansprüche der Landwirtschaft und des Biodiversitätsschutzes in Einklang zu bringen.

Gegenwärtig werden über 20 % der Ackerflächen mit Mais bestellt, dies bedeutet, dass erfolgreiche integrierende Maßnahmen des Biodiversitätsschutzes (z. B. durch Anbau von Begleitpflanzen) die Chance bieten, die Situation des Biodiversitätsschutzes auf landwirtschaftlichen Nutzflächen zu verbessern. Dabei gilt es nicht nur geeignete Mischungspartner für die Kulturpflanze Mais zu finden, sondern auch Wege zu finden, wie Begleitpflanzen mit möglichst geringem Zusatzaufwand (monetär und technisch) angebaut werden können, und zugleich, wie gut sich diese Pflanzen in den übrigen Produktionsprozess (Düngung, Pflanzenschutz) integrieren lassen. Durch geeignete Verfahren gilt es, die Konkurrenz der Begleitpflanze auf den Mais zu minimieren. Außerdem gilt, es die Verwertbarkeit der Biomasse zu sichern. Begleitpflanzen können z. B. Giftstoffe oder verdauungshemmende Verbindungen enthalten, sodass auch Fragen z. B. im Zusammenhang mit der Milchviehfütterung zu beantworten sind. Nicht zuletzt stellen sich auch die Fragen, inwieweit sich Begleitpflanzen überhaupt auf die Biodiversität von Tieren auswirken bzw. wie attraktiv die Begleitvegetation für unsere heimischen Insekten ist.

Stabile Erträge, bei maximaler Biodiversitätsförderung und minimalem zusätzlichem Aufwand – das ist das Ziel unserer Forschung. Seit dem Jahr 2018 untersucht die Außenstelle Forchheim des LTZ Augustenberg daher in Kooperation mit der Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU), dem Landwirtschaftlichen Zentrum Baden-Württemberg (LAZBW) und dem Kompetenzzentrum Ökolandbau Baden-Württemberg (KÖLBW) intensiv an Fragen der Erhöhung der Biodiversität im Maisanbau durch einen Misanbau mit verschiedenen Begleitpflanzen. Wesentliche Ergebnisse und Erkenntnisse aus diesen Forschungsvorhaben werden in aufbereiteter Form hiermit der Beratung und der Praxis zur Verfügung gestellt.

Wir danken der Landesregierung von Baden-Württemberg und allen Menschen, die durch ihren Einsatz diese Broschüren ermöglicht haben, für die Finanzierung und für ihr Engagement und wünschen Ihnen, dass Sie aus der Lektüre einige interessante Anregungen für Ihre tägliche Arbeit mitnehmen können. Auch möchten wir denjenigen Landwirten und Landwirtinnen danken, die bereits heute tatkräftig und innovativ an der Erhöhung der Biodiversität in Baden-Württemberg mitwirken.

Herzlichst

Dr. Kurt Möller
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg (LTZ)

Prof. Dr. Maria Müller-Lindenlauf
Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen (HfWU)

Inhalt

Zitiervorschlag	2
Beteiligte Institutionen	3
1 Pflanzenbauliche Aspekte des Mais-Gemenge-Anbaus	18
1.1 Einleitung	18
1.1.1 Versuchsfragen	19
1.2 Versuchsdurchführung	19
1.2.1 Standortbeschreibung und Witterung	19
1.2.2 Versuche zur Identifizierung von potenziellen Gemengepartnern in Mais: Artenscreening 1.0.	20
1.2.2.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	20
1.2.3 Angepasste Versuche zur Identifizierung von potenziellen Gemengepartnern in Mais: Artenscreening 2.0 ersuchsdurchführung und Datenerhebung	22
1.2.3.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	22
1.2.4 Untersuchungen zur optimalen Saatstärke geeigneter Gemengepartner in Mais	22
1.2.4.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	22
1.2.5 Untersuchungen zur optimalen Saattechnik verschiedener Mais-Gemenge	23
1.2.5.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	23
1.2.6 Optimierung des Anbausystems Mais-Kapuzinerkresse	24
1.2.6.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	24
1.2.7 Untersuchungen zu den Wirkungen einer alternativen Platzierung der Bohne im Mais-Bohnen-Gemenge	24
1.2.7.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	25
1.2.8 Untersuchungen zur Bestandsetablierung von in Herbstblütmischungen eingesättem Mais	26
1.2.8.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	26
1.2.9 Untersuchungen zur Eignung von Frühjahrsblütmischungen als Mikrobühstreifen zwischen den Maisreihen	26
1.2.9.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	26
1.2.10 Chemische Unkrautregulierung von Maisbeständen mit Blütmischungen: Herbizidversuch	27
1.2.10.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	27
1.2.11 Teilung des Maisschlages durch Blühstreifen	27
1.2.11.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	30
1.2.12 Exaktversuch zur Überprüfung der Stickstoffdüngung in Mais-Bohnen-Beständen	30
1.2.12.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	30
1.2.13 Praxisversuch zur Überprüfung der Stickstoffdüngung in Mais-Bohnen-Beständen	31
1.2.13.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	32
1.2.14 NachfruchtWirkung von Mais-Bohnen in ökologischem Winterweizen	32
1.2.14.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung	32
1.3 Ergebnisse	32
1.3.1 Versuche zur Identifizierung von potenziellen Gemengepartnern in Mais: Artenscreening 1.0.	32
1.3.1.1 Phänologische und ökologische Auswirkungen des Mais-Gemenge-Anbaus	32
1.3.1.2 Einfluss von Düngung, Platzierung der Gemengepartner sowie einzelner Gemengepartner auf die Erträge des Mais-Gemenges	36
1.3.1.3 Einfluss von Düngung, Platzierung der Gemengepartner sowie einzelner Gemengepartner auf die Qualität des Mais-Gemenge-Erntegutes	40
1.3.1.3.1 TM-Gehalt	40

1.3.2	Angepasste Versuche zur Identifizierung von potenziellen Gemengepartnern in Mais: Artsenscreening 2.0	42
1.3.2.1	Tachenhausen (konventionell)	42
1.3.2.2	Forchheim am Kaiserstuhl (ökologisch)	46
1.3.3	Untersuchungen zur optimalen Saatstärke geeigneter Gemengepartner in Mais	48
1.3.4	Untersuchungen zur optimalen Saatechnik verschiedener Mais-Gemenge	50
1.3.5	Optimierung des Anbausystems Mais-Kapuzinerkresse	50
1.3.6	Untersuchungen zu den Wirkungen einer alternativen Platzierung der Bohne im Mais-Bohnen-Gemenge	55
1.3.7	Untersuchungen zur Bestandsetablierung von in Herbstblütmischungen gesättem Mais	57
1.3.8	Untersuchungen zur Eignung von Frühjahrsblütmischungen als Mikroblühstreifen zwischen den Maisreihen	59
1.3.9	Chemische Unkrautregulierung von Maisbeständen mit Blütmischung: Herbizidversuch	62
1.3.10	Teilung des Maisschlages durch Blühstreifen	62
1.3.11	Exaktversuch zur Überprüfung der Stickstoffdüngung in Mais-Bohnen-Beständen	63
1.3.11.1	Phänologische und ökologische Auswirkungen des Mais-Bohnen-Anbaus	63
1.3.11.2	TM-Erträge und Qualität des Erntegutes des Mais-Bohnen-Gemenges	66
1.3.12	Praxisversuch zur Überprüfung der Stickstoffdüngung in Mais-Bohnen-Beständen	67
1.3.13	NachfruchtWirkung von Mais-Stangenbohne in ökologischem Winterweizen	69
1.3.14	Ökonomische Betrachtung des Mais-Gemenge-Anbaus	69
1.4	Diskussion	70
2	Einfluss der Applikation von Biostimulanzen (pflanzenwachstumfördernde Mikroorganismen) auf das Wachstum von Mais-Bohnen-Gemenges	77
2.1	Einleitung	77
2.1.1	Versuchsfragen	78
2.2	Versuchsanlage	78
2.2.1	Freilandversuche	78
2.2.1.1	Standortbeschreibung	78
2.2.1.2	Datenerhebung	82
2.2.2	Gewächshausversuche	84
2.2.2.1	Versuche im Pflanzcontainer	84
2.2.2.2	Versuche im Rhizotron	84
2.3	Ergebnisse	85
2.3.1	Freilandversuche	85
2.3.1.1	Versuchsjahr 2018	85
2.3.1.2	Versuchsjahr 2019	86
2.3.1.3	Versuchsjahre 2020 und 2021	88
2.3.2	Gewächshausversuche	94
2.3.2.1	Versuchsjahr 2020 und 2021	94
2.4	Diskussion	98
2.4.1	Besiedelung mit Mykorrhiza-Pilz	98
2.4.2	Einsatz wachstumsstimulierender Bakterien	99
2.4.3	Freilandversuche in Rheinstetten-Forchheim 2018–2021 und Wendelsheim 2020–2021	99
2.4.4	Eignung der Aussaattechnik für das Impfverfahren mit MO	100

Inhalt

2.4.5 Rhizotron-Versuch 2020.....	100
3 Zusammenfassung.....	101
3.1 Pflanzenbau.....	101
3.2 Pflanzenwachstumsfördernde Mikroorganismen.....	101
4 Literatur.....	103

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Standortparameter der pflanzenbaulichen Versuche; Höhe über dem Meeresspiegel, Temperatur im Jahresmittel, Jahresniederschlag, Boden-Klima-Raum (BKR), Bodenart und Bewirtschaftungsform ..	19
Tabelle 2: Die Ausprägung der geprüften Versuchsfaktoren N-Düngung, Ablageort und Gemengepartner (GMP) für die Versuchsjahre 2018 und 2019 an den Versuchsstandorten Ettlingen (ET), Tachenhausen (TH) und Forchheim am Kaiserstuhl (FAK).	21
Tabelle 3: Die im Voraufbau (VA) und Nachaufbau (NA) in den Versuchen aus 1.2.2 und 1.2.3 eingesetzten Herbizide.	21
Tabelle 4: Die verwendeten Gemengepartner (GMP), Sorten und angestrebter Pflanzenbestand am konventionellen Standort Tachenhausen und dem ökologischen Standorte Forchheim am Kaiserstuhl in den Jahren 2020 und 2021	22
Tabelle 5: Übersicht über die Varianten im Saatstärke-Versuch, die Aussaatstärke des Mais, die verwendeten Gemengepartner (GMP), die Saatstärke der GMP in Reinsaat und die Abstufungen der GMP-Saatstärken.	23
Tabelle 6: Übersicht über die im Saattechnik-Versuch eingesetzten Varianten an den beiden Standorten Rheinstetten-Forchheim (FO) und Tachenhausen (TH), sowie den verwendeten Sorten, Saatstärken, Aussaattechniken und dem Zeitpunkt der Gemengepartnersaat (GMP)..	23
Tabelle 7: Zielpflanzenanzahl im Silomais (Sorte „P 9911“) und Körnermais (Sorte „Futurixx Duo“), der entsprechende Saatabstand, das Verhältnis von Mais zu Kapuzinerkresse (KK, <i>Tropaeolum majus</i> L.) bzw. die per Granulatstreuer ausgebrachte Menge an KK (kg ha^{-1}) in den einzelnen Jahren und Varianten.	25
Tabelle 8: Varianten der Herbizidbehandlung in Blümmischungen, verwendetes Herbizid, Wirkstoff, Aufwandmenge und Hersteller.	27
Tabelle 9: Artenzusammensetzung und Gewichtsanteile (%) der in Tachenhausen eingesetzten Herbst- (HB) und Frühjahrsblümmischungen (FB) und der Herbstblümmischung (V2-V4) am Stifterhof.	28
Tabelle 10: Düngetechnik, Düngerart, die verwendeten Dünger, sowie die Ausbringtechnik (Hersteller, Typ) der Stickstoffdüngung	31
Tabelle 11: Pflanzenhöhen (cm) der Maispflanzen im Gemengeanbau an den Standorten Ettlingen (ET), Tachenhausen (TH) und Forchheim am Kaiserstuhl (FAK) in den jeweiligen Jahren in Abhängigkeit des Gemengepartners.	33
Tabelle 12: Bodennitrat-N-Gehalte (kg ha^{-1}) der drei Bodenschichten 0–30 cm, 30–60 cm und 60–90 cm sowohl nach der Ernte wie auch zu Vegetationsende in Abhängigkeit des Faktors N-Düngung.	33
Tabelle 13: TM-Erträge in Ettlingen im Jahr 2018 in Abhängigkeit der Faktoren N-Düngung und Ablageort des Gemengepartners.	36
Tabelle 14: Biogas- und Methanertrag in Abhängigkeit der Faktoren N-Düngung und Ablageort des Gemengepartners..	38

Tabelle 15:	Gesamtenergie (GE), umsetzbare Energie (ME) und Netto-Energie-Laktation (NEL) (jeweils MJ kg ⁻¹ oTM) in Abhängigkeit der Faktoren N-Düngung und Ablageort des Gemengepartners.	38
Tabelle 16:	TM-Gehalte (%) in Abhängigkeit der Faktoren N-Düngung, Ablageort des Gemengepartners und Gemengepartner für die Versuchsstandorte Ettlingen (ET), Tachenhausen (TH) und Forchheim am Kaiserstuhl (FAK) in den einzelnen Versuchsjahren.....	40
Tabelle 17:	Gehalte an Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF), Rohasche (XA) und stickstofffreien Extraktstoffen (NfE) (jeweils in % TM) in Abhängigkeit der Faktoren N-Düngung und Ablageort des Gemengepartners..	40
Tabelle 18:	Mineralstoffgehalte des Mais-Gemenges in Abhängigkeit der Faktoren N-Düngung, Ablageort Gemengepartner und Gemengepartner für alle Versuchsstandorte und Jahre.	42
Tabelle 19:	Angestrebter Zielbestand und Pflanzenanzahl kurz vor der Ernte in Tachenhausen in den Versuchsjahren 2020 und 2021.	43
Tabelle 20:	Angestrebter Zielbestand und Pflanzenanzahl kurz vor der Ernte in Forchheim am Kaiserstuhl in den Versuchsjahren 2020 und 2021.	46
Tabelle 21:	Gehalte an Trockenmasse (TM), Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF), Rohasche (XA), N-freie Extraktionsstoffe (NfE), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) für die beiden Kontrolle und die verschiedenen Aussaatstärke-Varianten.	49
Tabelle 22:	Feldaufgang (%) und die Standardabweichung im Saatstärke-Versuch für Mais und die entsprechenden Gemengepartner (GMP) in den einzelnen Varianten an den Standorten Rheinstetten-Forchheim und Tachenhausen. Gemessen jeweils im 3-Blattstadium des Maises.	50
Tabelle 23:	Anzahl an Mais- und Kapuzinerkressepflanzen (KK), sowie die Anzahl der Kapuzinerkresseblüten in der Ernteparzelle (15 m ²) und die Pflanzenhöhe (cm) je nach Variante beim Silomais der Jahre 2020 und 2021 in Abhängigkeit der Aussaatstärke der Kapuzinerkresse.....	52
Tabelle 24:	Anzahl an Mais- und Kapuzinerkressepflanzen (KK), sowie die Anzahl der Kapuzinerkresseblüten in der Ernteparzelle (15 m ²) und die Pflanzenhöhe (cm) je nach Variante beim Körnermais der Jahre 2020 und 2021 in Abhängigkeit der Aussaatstärke der Kapuzinerkresse	52
Tabelle 25:	TM-Ertrag (dt ha ⁻¹), TM-Gehalt (%), Biogas- und Methanpotential (l kg ⁻¹ oTM) und der Proteinertrag (dt ha ⁻¹) je nach Variante des Silomaises der Jahre 2020 und 2021 in Abhängigkeit der Aussaatstärke der Kapuzinerkresse	53
Tabelle 26:	Kornertrag bei 14 % Kornfeuchte (dt ha ⁻¹), TM-Gehalt (%), TKM (g), Stärkegehalt (% iTM) und Proteinertrag (dt ha ⁻¹) je nach Variante des Körnermais der Jahre 2020 und 2021 in Abhängigkeit der Aussaatstärke der Kapuzinerkresse.	53
Tabelle 27:	Bodennitrat-N-Gehalte (kg ha ⁻¹) zu Vegetationsende in den einzelnen Bodenschichten (0–30, 30–60 und 60–90 cm) der verschiedenen Mais-Kapuzinerkresse-Varianten für Silo- und Körnermais in den Jahren 2020 und 2021.	54
Tabelle 28:	Anteil der Mais- und Bohnenpflanzen im Bestand (%) je nach Variante der Jahre 2020 und 2021 in Abhängigkeit der verschiedenen Mais-Bohne-Varianten.	56
Tabelle 29:	TM-Ertrag (dt ha ⁻¹), TM-Gehalt (%), Biogas- und Methanpotential (l kg ⁻¹ oTM) und der Proteinertrag (dt ha ⁻¹) der Jahre 2020 und 2021 in Abhängigkeit der verschiedenen Mais-Bohne-Varianten.....	56
Tabelle 30:	Bodennitrat-N-Gehalte (kg ha ⁻¹) zu Vegetationsende in den einzelnen Bodenschichten (0–30, 30–60 und 60–90 cm) der verschiedenen Mais-Bohne-Varianten in den Jahren 2020 und 2021.	57
Tabelle 31:	Deckungsgrad (DG, %) zum Zeitpunkt der Maisaussaat in der Kontrolle (V1) und in den Varianten mit bereits im Herbst etablierten Blümmischungen (V2–V4).....	58

Inhalt

Tabelle 32:	Kolbenausprägung entsprechend BSA Notenskala (1–9, 1 = sehr gering ausgeprägt, 9 = sehr stark ausgeprägt), sowie die BBCH Stadien des Maises und die Pflanzenhöhe (cm) in der Kontrolle (V1) und in den Varianten mit bereits im Herbst etablierten Blümmischungen (V2–V4) zum potentiellen Erntetermin am Standort Stifterhof.	58
Tabelle 33:	Mittlere Trockenmasseerträge (dt ha ⁻¹) im reinen Mais (Kontrolle) und im Gemenge mit Frühjahrsblümmischung I (FBI) und II (FBII), mit (+) und ohne (-) Reihenbandspritzung im Parzellenversuch 2020 (links) und 2021 (rechts).	60
Tabelle 34:	Pflanzenarten aus den Herbst- und Frühjahrsblümmischungen 2020 mit verringerter Reaktion auf einzelne Herbizid-Wirkstoffe (verändert nach Kraus 2021).	62
Tabelle 35:	Einfluss der Kontrolle Düngung (ja/nein) in Kombination mit dem Jahr, der Ausbringtechnik, der Düngerart sowie der Düngemenge auf Pflanzenanzahl an Mais und Bohnen in der Ernteparzelle (12 m ²), sowie die Pflanzenhöhe (cm).	64
Tabelle 36:	Einfluss der Kontrolle (Düngung ja/nein) und des Jahres innerhalb auf die Höhe der Maispflanzen (cm).	64
Tabelle 37:	Einfluss der Kontrolle (Düngung ja/nein) und des Jahres innerhalb auf die Höhe der Bohnenpflanzen (cm).	64
Tabelle 38:	Einfluss der Kontrolle Düngung (ja/nein), der Ausbringtechnik und der ausgebrachten Menge an Stickstoff auf die Bodennitrat-N-Gehalte in der mittleren (30–60 cm) und untersten (60–90 cm) Schicht zum Vegetationsende.	65
Tabelle 39:	Einfluss der Kontrolle Düngung (ja/nein) in Kombination mit dem Jahr, der Ausbringtechnik, der Düngerart sowie der gedüngten N-Menge auf die Bodennitrat-N-Gehalte (kg ha ⁻¹) für die Schichten 0–30 cm, 30–60 cm und 60–90 cm jeweils nach der Ernte und zu Vegetationsende.	65
Tabelle 40:	Mittlere TM-Erträge (dt ha ⁻¹) über die Versuchsjahre in Abhängigkeit der Düngung zu Mais-Bohne; Düngerausbringtechnik (Depotdüngung, Breitverteilung), Art des verwendeten Düngers (organisch, mineralisch) und Menge an ausgebrachtem Stickstoff (0 %, 25 %, 50 % und 100 %).	66
Tabelle 41:	Einfluss der Kontrolle Düngung (ja/nein) und des Jahres auf die Trockenmassegehalte (%).	67
Tabelle 42:	Einfluss der Kontrolle Düngung (ja/nein) in Kombination mit dem Jahr, der Ausbringtechnik, der Düngerart sowie der gedüngten N-Menge auf TM-Ertrag (dt ha ⁻¹), TM-Gehalt (%), XP-Ertrag (dt ha ⁻¹), GE, ME und NEL (MJ kg ⁻¹ oTM), Biogas- und Methanpotential (l kg ⁻¹ oTM) und dem Methangehalt (%).	68
Tabelle 43:	Einfluss der Kontrolle (Düngung ja/nein), der Düngerart und der ausgebrachten Menge an Stickstoff auf die GE (MJ kg ⁻¹ oTM).	68
Tabelle 44:	On-farm Ergebnisse der TM-Erträge, TM-Gehalt, die Gehalte der Qualitätsparameter P, K, M _g , XP, XL, XF, XA und NfE und der XP-Ertrag für einen reinen Silomaisbestand mit 100 % des organischen Düngebedarfs sowie für Mais-Bohne-Bestände mit 100 %, 50 % und 0 % des organischen Düngebedarfs.	69
Tabelle 45:	Beispielhafte Saatgutkosten für die erfolgversprechendsten Mais-Gemenge im konventionellen und ökologischen Anbau, basierend auf den Saatgutpreisen von 2021.	70
Tabelle 46:	Standortparameter der pflanzenbaulichen Versuche; Höhe über dem Meeresspiegel, Temperatur im Jahresmittel, Jahresniederschlag, Boden-Klima-Raum.	79
Tabelle 47:	Übersicht über Varianten, Saatstärken von Mais und Bohne sowie Inokulationsmengen der MO-Präparate, die sowohl am Standort Rheinstetten-Forchheim als auch Wendelsheim verwendet wurden. ...	81
Tabelle 48:	Einfluss der Inokulation mit Mikroorganismenpräparaten (MO-Produkten) auf die mittleren Gesamt-Trockenmasseerträge der Mais-Bohnen-Gemenge in den Varianten am ersten Standort.	85

Tabelle 49:	Einfluss der Inokulation mit Mikroorganismenpräparaten auf den mittleren Gesamt-Trockenmasseertrag (dt ha ⁻¹) des Mais-Bohnen-Gemenges sowie der Reinkultur mit der Sorte „Gelber Badischer Landmais“ am zweiten Standort (Schlag Nr. 14) am Standort Rheinstetten-Forchheim in 2018.	86
Tabelle 50:	Prozentuale Besiedelungsrate von Maiswurzeln durch ein inokuliertes Mykorrhiza-Produkt und durch autochthone arbuskuläre Mykorrhiza-Pilze in der Kontrollvariante am Standort Rheinstetten-Forchheim im Versuchsjahr 2018	86
Tabelle 51:	Mittlere Gesamt-Trockenmasseerträge (dt ha ⁻¹) in Maisreinkultur und im Mais-Bohnen-gemenge für die drei Behandlungsvarianten am Standort Rheinstetten-Forchheim im Versuchsjahr 2019 (gemittelt jeweils über die drei Wiederholungen).	86
Tabelle 52:	Durchschnittliche Nährstoffgehalte (% TM) des Erntematerials je Variante. In der gravimetrischen Qualitätsanalyse wurden Phosphor (P), Stickstoff (N), Rohprotein- und Stärkegehalte (jeweils % TM) bestimmt.	87
Tabelle 53:	Mittelwerte der Gehalte von Stickstoff (NO ₃ -N, kg ha ⁻¹) und Phosphor (P ₂ O ₅ , mg 100 g ⁻¹ Boden) aus den Bodenproben, die vor der Aussaat bzw. nach der Ernte aus den verschiedenen Varianten gezogen wurden (gemittelt jeweils über drei Stichproben) für den Standort Rheinstetten-Forchheim in den Versuchsjahren 2020 (oben) und 2021 (unten).	89
Tabelle 54:	Mittelwerte der Gehalte von Stickstoff (NO ₃ -N, kg ha ⁻¹) und Phosphor (P ₂ O ₅ , mg 100 g ⁻¹ Boden) aus den Bodenproben, die vor der Aussaat bzw. nach der Ernte aus den Parzellen gezogen wurden (gemittelt jeweils über drei Stichproben) für den Standort Wendelsheim in den Versuchsjahren 2020 (oben) und 2021 (unten).	89
Tabelle 55:	Mittlere Gesamt-Trockenmasseerträge (dt ha ⁻¹) der Mais-Reinkultur und des Mais-Bohnen-Gemenges für die insgesamt sechs Varianten (gemittelt jeweils über die drei Wiederholungen) an den Standorten Rheinstetten-Forchheim und Wendelsheim in 2020.	91
Tabelle 56:	Mittlere Gesamt-Trockenmasseerträge (dt ha ⁻¹) der Mais-Reinkultur und des Mais-Bohnen-Gemenges für die insgesamt sechs Varianten (gemittelt jeweils über die drei Wiederholungen) an den Standorten Rheinstetten-Forchheim und Wendelsheim in 2021.	91
Tabelle 57:	Mittelwerte der Gehalte (% TM) der Pflanzeninhaltsstoffe Phosphor (P), Stickstoff (N), Stärke (ST) und Rohprotein (XP) in den Varianten der Mais-Reinkultur und des Mais-Bohnen-Gemenges an den Standorten Rheinstetten-Forchheim (oben) und Wendelsheim (unten) im Versuchsjahr 2020.	92
Tabelle 58:	Mittelwerte der Gehalte (% TM) der Pflanzeninhaltsstoffe Phosphor (P), Stickstoff (N), Stärke (ST) und Rohprotein (XP) in den Varianten der Mais-Reinkultur und des Mais-Bohnen-Gemenges an den Standorten Rheinstetten-Forchheim (oben) und Wendelsheim (unten) im Versuchsjahr 2021.	93
Tabelle 59:	Trockenmassegehalt (%) sowie Länge des oberirdischen Pflanzenmaterials (in cm) aus dem Kübel-Versuch im Gewächshaus mit den zwei MO-Präparaten und jeweils einer Kontrolle.	95
Tabelle 60:	Trockenmassegehalt (%) sowie Länge des oberirdischen Pflanzenmaterials (in cm) aus dem Container-Versuch im Gewächshaus mit drei MO-Präparaten, „Agtiv“, „Xilon“ und „Avengelus“ (Flüssigformulierung) und jeweils einer unbehandelten Kontrolle.	96
Tabelle 61:	Trockenmassegehalt (%) sowie Länge des oberirdischen Pflanzenmaterials (in cm) aus dem Rhizotron-Versuch im Gewächshaus in 2020.	97
Tabelle 62:	Trockenmassegehalt (%) sowie Länge des oberirdischen Pflanzenmaterials (in cm) und des unterirdischen Wurzelmaterials aus dem Rhizotronversuch im Gewächshaus.	97

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Schwebfliege an Luzernenblüte, Hummel in Kapuzinerkresseblüte, Wildbiene in Kürbisblüte. . . .18
Abbildung 2:	Ein artenreicher Blühstreifen, der den Maisschlag trennt, im August 20
Abbildung 3:	Blütenstadien der Großen Kapuzinerkresse (<i>Tropaeolum majus</i>) nach der Maisernte am 22.10.2019. 24
Abbildung 4:	Aussaatsystem der alternierenden Reihen (Varianten 3–6), den zugehörigen Maissorten in 2020 und 2021 und die Aussaatstärke. In V5 und V6 war 2021 die Sorte des Vorjahres nicht mehr verfügbar. 25
Abbildung 5:	Strip-Till-Bearbeitung 2020 am Standort Stifterhof. 26
Abbildung 6:	Von der Blühhmischung unterdrückter Mais 2021 am Standort Stifterhof. 27
Abbildung 7:	Ableitblech-Installation zur Erosionsmessung in der Frühjahrsblühhmischung. 27
Abbildung 8:	Kombination aus Ausbringungstechnik und verwendeter Düngerart. Organische Depot- bzw. Unterfußdüngung, organische Breitverteilung mittels Schleppschlauch, mineralische Depot- bzw. Unterfußdüngung mittels Einlegescharren bei Maissaat und mineralische Breitverteilung mittels pneumatischem Schleuderstreuer. 30
Abbildung 9:	Gärrest-Depot nach dem Ausbringen und nach der Ernte. 31
Abbildung 10:	Blühende Kapuzinerkresse knapp sieben Wochen nach dem Häckseln. 32
Abbildung 11:	Bodennitrat-N-Gehalte nach der Ernte und zum Zeitpunkt des Vegetationsendes in Ettlingen 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II). 34
Abbildung 12:	Bodennitrat-N-Gehalte nach der Ernte und zum Zeitpunkt des Vegetationsendes in Tachenhausen 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). 35
Abbildung 13:	Bodennitrat-N-Gehalte nach der Ernte und zum Zeitpunkt des Vegetationsendes in Forchheim a.K. im Jahr 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II). 35
Abbildung 14:	Gesamt-trockenmasseerträge des Mais-Gemenges für Ettlingen 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. 37
Abbildung 16:	Gesamt-trockenmasseerträge des Mais-Gemenges für Forchheim a.K. 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II). 37
Abbildung 15:	Gesamt-trockenmasseerträge des Mais-Gemenges für Tachenhausen 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II). 37

Abbildung 17: Gesamttrockenmasseerträge des Mais-Gemenges für Tachenhausen 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). 37

Abbildung 18: Gesamttrockenmasseerträge des Mais-Gemenges für Forchheim a.K. 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). 38

Abbildung 19: Biogas- und Methanertrag für Tachenhausen 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II).. . . 39

Abbildung 21: Gesamtenergie (GE), umsetzbare Energie (ME) und Netto-Energie-Laktation (NEL) für Tachenhausen 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). 39

Abbildung 20: Biogas- und Methanertrag für Tachenhausen 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). 39

Abbildung 22: Gesamtenergie (GE), umsetzbare Energie (ME) und Netto-Energie-Laktation (NEL) für Forchheim a.K. 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II).. 39

Abbildung 23: Gehalte an Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF), Rohasche (XA) und stickstofffreien Extraktstoffen (NfE) für Tachenhausen 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). 41

Abbildung 24: Gehalte an Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF), Rohasche (XA) und stickstofffreien Extraktstoffen (NfE) für Forchheim a.K. 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II).. . . 41

Abbildung 25: Gehalte an Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF), Rohasche (XA) und stickstofffreien Extraktstoffen (NfE) für Forchheim a.K. 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). 41

Abbildung 26: Gesamt-Trockenmasseerträge der Mais-Gemenge (dt ha⁻¹) für den Standort Tachenhausen für die Versuchsjahre 2020 und 2021. Die schwarzen Balken geben die Standardabweichung wieder (n = 4). 44

Inhalt

Abbildung 27: Gehalte an Rohprotein, Rohfett, Rohfasern, Rohasche und NfE in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (% TM) für den Standort Tachenhausen im Versuchsjahr 2020. Die Auswertung erfolgte für die einzelnen Parameter getrennt.....	45
Abbildung 28: Gehalte an Rohprotein, Rohfett, Rohfasern, Rohasche und NfE in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (% TM) für den Standort Tachenhausen im Versuchsjahr 2021. Die Auswertung erfolgte für die einzelnen Parameter getrennt.....	45
Abbildung 29: Gehalte an Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (% TM) für den Standort Tachenhausen im Versuchsjahr 2020..	45
Abbildung 30: Marienkäfer an Ackerbohne im Gemenge mit Mais.....	46
Abbildung 31: Gesamt-Trockenmasseerträge der Mais-Gemenge (dt ha ⁻¹) für den Standort Forchheim am Kaiserstuhl der Versuchsjahre 2020 und 2021. Mittelwerte innerhalb eines Jahres mit demselben Buchstaben sind laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht signifikant voneinander verschieden.	47
Abbildung 32: Gehalte an Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (% TM) für den Standort Forchheim am Kaiserstuhl im Versuchsjahr 2021. Die Auswertung erfolgte für die einzelnen Parameter getrennt.....	48
Abbildung 33: TM-Erträge (dt ha ⁻¹) für die beiden Kontrollen und die verschiedenen Aussaatstärke-Varianten. .	48
Abbildung 34: Boxplot der Fehlerschranken (%) für die verschiedenen Mischungsvarianten von Kapuzinerkresse mit Silomais (SM; grün) und Körnermais (KM; gelb).	51
Abbildung 35: Boxplot der Fehlerschranken (%) für die verschiedenen Aussaatstärken des 1:0,1 Mais-Kapuzinerkresse-Gemischs im Silomais (SM; grün) und Körnermais (KM; gelb).	51
Abbildung 36: Mais-Kapuzinerkresse-Bestand, der als Saatgutmischung mittels Einzelkornsaat gesät wurde.	54
Abbildung 37: Sicht auf die abwechselnden gemischten Mais-Bohnen- und reinen Hochleistungsmaisreihen. ...	55
Abbildung 38: Kumulierter Deckungsgrad pro Pflanzenart in den Herbst-Blütmischungsuntersaaten am Standort Tachenhausen 2020.	58
Abbildung 39: Mittlere Blühdeckung in den Herbstblütmischungen (HBI, HBII) und in der Kontrolle (K) über die vier Erfassungszeitpunkte. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichung ($n = 4$)....	59
Abbildung 41: Box Plot der Mais-Pflanzenanzahl 2020 in der Nettoparzelle in der Kontrolle (V1) und in den Varianten mit bereits im Herbst etablierten Blütmischungen (V2-V4) am Standort Stifterhof. ...	59
Abbildung 40: Den Mais überwuchernde Herbstblütmischungen (HB) I (links) und HBII (rechts) am 30.06.2020	59
Abbildung 42: Pflanzenhöhe der Maispflanzen in der Kontrolle (V1, oben links) und in den Varianten mit bereits im Herbst etablierten Blütmischungen zum potentiellen Erntetermin am 19.08.2020. ...	59
Abbildung 43: Mittlerer Deckungsgrad der ausgesäten Pflanzenarten und Beikräuter in den Frühjahrsblütmischungen Tachenhausen.	60
Abbildung 44: Deckungsgrad von Ansaat und Beikräutern in der Mais-Reinkultur (K) und dem Gemenge mit den Blütmischungsvarianten FBI und FBII im Jahr 2020.	61
Abbildung 46: Mittlerer Deckungsgrad von Ansaat und Beikräutern in der Mais-Reinkultur (K) und in dem Gemenge mit den Blütmischungsvarianten FBI und FBII im Jahr 2021..	61
Abbildung 48: Parzellenversuch zu Mais mit blühender Untersaat (Frühjahrsblütmischung) Tachenhausen 2021. 61	
Abbildung 45: Entwicklung der mittleren Blühdeckung in der Kontrolle (K) und im Gemenge mit Frühjahrsblütmischung I und II (FBI, FBII) von Juni bis August 2020.	61
Abbildung 47: Entwicklung der mittleren Blühdeckung in der Kontrolle (K) und im Gemenge mit Frühjahrsblütmischung I und II (FBI, FBII) mit und ohne Reihenbandspritzung (RBS) von Juni bis August 2021.	61

Abbildung 49: Deckungsgrad und Artenvielfalt in den Blühstreifenversuchen 2021. Standort Nr. 2 und 7 wurden auf Grund eines Hagelschadens bzw. starker Verunkrautung nicht gewertet.	63
Abbildung 50: Drohnenaufnahme des Düngungsversuchs in Mais-Bohne aus dem Jahr 2021.	63
Abbildung 51: Vergleich der Kornerträge von vier Winterweizensorten (Aristaro, Royal) bzw. -mischungen (Arowi, Tawi) nach der Vorfrucht Mais bzw. Mais-Bohne am Standort Hochburg.	69
Abbildung 52: Aufsummierte Bodennitrat-N-Gehalte in 0–90 cm Tiefe im ökologischen Winterweizen mit Vorfrucht Mais und Mais-Bohne an drei Terminen. Die schwarzen Balken geben die Standardabweichung wieder.	69
Abbildung 53: Extraflorale Nektarien (= dunkle Punkte) an Ackerbohnen.	71
Abbildung 54: Blühzeitraum der einzelnen legumen und nicht-legumen Gemegepartner im Vergleich zu Winterraps, Dauergrünland und der Referenzfrucht Mais am Standort Tachenhausen.	72
Abbildung 55: Lage der beiden Versuchsstandorte in den Boden-Klima-Räumen Baden-Württembergs, mit Angabe der Untersuchungsjahre.	79
Abbildung 56: Die in den Feldversuchen verwendeten MO-Präparate. Links: Mykorrhiza-Präparat „ptAktiv“ (schwarz) mit zugehöriger Bakterienmischung (weiß); Mitte: mit „ptAktiv“ vermengtes Maissaatgut; rechts: Trichoderma-Präparat „Avengelus“	81
Abbildung 57: Unterschiedlicher Aufwuchs der Pflanzen an den Versuchsstandorten Rheinstetten-Forchheim und Wendelsheim im Versuchsjahr 2020 in Abhängigkeit von der gewählten Aussaattechnik.	82
Abbildung 58: Wurzelbesiedlung mit dem Nützlingspilz Trichoderma atrobrunneum Produkt „Avengelus“ Fa. MycoSolutions, 40-fache Vergrößerung.	83
Abbildung 59: Wurzelbesiedlung mit dem Mykorrhiza-Pilz Rhizophagus irregularis (syn. Glomus intraradices) Produkt „Aktiv®“, 40-fache Vergrößerung.	83
Abbildung 60: Gesamtansicht der Rhizotron-Bauteile. Erläuterungen der einzelnen Bauteile.	85
Abbildung 61: Durchwurzelung der unbehandelte Maisvariante im Rhizotron-Versuch nach Entfernung der Verdunkelungsplatte beim Abbau des Versuchs.	85
Abbildung 62: Wurzelbilder mit verschieden stark ausgeprägter Mykorrhizierung. Links: Kontrollvariante mit schwach autochthonen Mykorrhizapilz-Strukturen, rechts: Sporenbildung durch inokulierte Mykorrhiza-Pilze.	87
Abbildung 63: Prozentuale Besiedelungsrate von Maiswurzeln einzeln und im Gemenge mit Bohnen durch zwei inokulierte Mykorrhizapilz-Produkte im Vergleich zu im Boden vorhandenen autochthonen Mykorrhiza-Pilzen in der Kontrollvariante am Standort Rheinstetten-Forchheim im Versuchsjahr 2019.	88
Abbildung 64: Entwicklung der durchschnittlichen Pflanzenhöhe (cm ± Standardfehler) in den sechs Varianten über die sechs bzw. drei Boniturtermine am Standort Rheinstetten-Forchheim in den Versuchsjahren 2020 und 2021.	90
Abbildung 65: Entwicklung der durchschnittlichen Pflanzenhöhe (cm ± Standardfehler) in den sechs Varianten über die sechs bzw. drei Boniturtermine am Standort Wendelsheim in den Versuchsjahren 2020 und 2021.	91
Abbildung 66: Prozentuale Besiedelungsrate (%) von Maiswurzeln einzeln und im Gemenge mit Bohnen durch das MO-Präparat „Aktiv“ im Vergleich zu im Boden vorhandenen, autochthonen Mykorrhiza-Pilzen in der Kontrollvariante (ohne MO) an den Standorten Rheinstetten-Forchheim und Wendelsheim in 2020.	94

Inhalt

Abbildung 67: Prozentuale Besiedelungsrate (%) von Maiswurzeln einzeln und im Gemenge mit Bohnen durch das MO-Präparat „Aktiv“ im Vergleich zu im Boden vorhandenen, autochthonen Mykorrhiza-Pilzen in der Kontrollvariante (ohne MO) an den Standorten Rheinstetten-Forchheim und Wendelsheim in 2021.	94
Abbildung 68: Prozentuale Besiedelungsrate von Maiswurzeln einzeln und im Gemenge mit Bohnen durch das MO-Präparat „Aktiv“ und „Avengelus“ im Vergleich zu im Boden vorhandenen, autochthonen Mykorrhiza-Pilzen in der Kontrollvariante (ohne MO) an dem Pflanzcontainer-Versuch im Forschungsgewächshaus des Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) in 2020.	95
Abbildung 69: Prozentuale Besiedelungsrate von Maiswurzeln einzeln und im Gemenge mit Bohnen durch das MO-Präparat „Aktiv“ und zwei Trichoderma-Produkte „Xilon“ und „Avengelus“ (Flüssigformulierung) im Vergleich zu im Boden vorhandenen, autochthonen Mykorrhiza-Pilzen in der unbehandelten Kontrollvariante (ohne MO) an dem Pflanzcontainer-Versuch im Forschungsgewächshaus des Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) im Jahr 2021.	96
Abbildung 70: Prozentuale Besiedlungsgrade von Maiswurzeln in Reinkultur durch da MO-Präparat „Aktiv“ im Vergleich zu der Kontrollvariante (ohne MO) im Rhizotronversuch in dem Jahr 2020.	97
Abbildung 71: Prozentuale Besiedlungsgrade (in %) von Maiswurzeln in Reinkultur durch zwei Formulierungen des MO-Präparates „Avengelus“ im Vergleich zu der Kontrollvariante (ohne MO) und durch das MO-Präparat „Xilon“ im Vergleich zur Kontrollvariante (ohne MO) im Rhizotron-Versuch in 2021.	97
Abbildung 72: Wurzelwachstum der mit „Xilon“ (Trichoderma asperellum-Stamm T34) behandelten Maisvariante im Vergleich zur Kontrolle, 30 Tage nach Aussaat aus dem Rhizotron-Versuch im Juli 2021 im Forschungsgewächshaus des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums Augustenberg.	98

ADL	Säure-Detergenzien-Lignin („acid detergent lignin“)	LTZ	Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg
AMP	Arbuskuläre Mykorrhiza-Pilze	ME	Umsetzbare (metabolisierbare) Energie
BBCH	Skala für morphologische Entwicklung einer Pflanze	MO	Mikroorganismen
BKR	Boden-Klima-Raum	n.E.	nach Ernte
BM	Blühmischung	NA	Nachauflauf
BSA	Bundessortenamt	NEL	Netto-Energie-Laktation
DG	Deckungsgrad	NfE	Stickstoff freie Extraktstoffe
DüV	Düngeverordnung	NO ₃ -N	Nitratstickstoff
EH	Einheit	öko.	ökologisch
ET	Ettlingen, LTZ Versuchsstandort	oTM	organische Trockenmasse
FAK	Forchheim am Kaiserstuhl, LTZ Versuchsstandort	Pfl.	Pflanzen
FB	Frühjahrsblühmischung	PGPB	pflanzenwachstumsfördernde Bakterien („Plant Growth Promoting Bacteria“)
FO	Forchheim, LTZ Außenstelle	PGPM	pflanzenwachstumsfördernde Mikroorganismen („Plant Growth Promoting Microorganisms“)
GBL	Gelber Badischer Landmais	s	sandig
GE	Gesamtenergie, Bruttoenergie	S	Sand
HB	Herbstblühmischung	ST	Stifterhof, LTZ Außenstelle
HfWU	Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen	TBA	Terbuthylazin
HSD	Tukey's honestly significant difference test	TH	Tachenhausen, HfWU Versuchsgut
IR	in die Maisreihen	TKM	Tausendkornmasse
k.A.	keine Angaben	TM	Trockenmasse
KbE	Koloniebildende Einheit	u	schluffig
KK	Kapuzinerkresse	u.B.	unterhalb der Bestimmungsgrenze
Kö.	Körner	VA	Vorauslauf
KÖLBW	Kompetenzzentrum Ökologischer Landbau Baden-Württemberg	WEN	Wendelsheim
konv.	konventionell	XA	Rohasche
l	lehmig	XF	Rohfaser
L	Lehm	XL	Rohfett
LAZBW	Landwirtschaftliches Zentrum Baden-Württemberg	XP	Rohprotein
		ZR	zwischen die Maisreihen



Abbildung 1: Schwebfliege an Luzernenblüte (links), Hummel in Kapuzinerkresseblüte (Mitte), Wildbiene in Kürbisblüte (rechts).

Fotos: Vanessa Schulz/LTZ

1 Pflanzenbauliche Aspekte des Mais-Gemenge-Anbaus

1.1 Einleitung

Die Praktikabilität eines Anbausystems spielt in der landwirtschaftlichen Praxis eine zentrale Rolle. Beim Anbau, sowohl konventionell wie auch ökologisch, müssen die verwendeten Gemenge-Partner neben ihren Einflüssen auf Ertrag und Erntegutqualität auch eine praxisübliche Aussaat und Bestandsführung erlauben. Zudem sollten sie für Insekten von Interesse sein. Die Gemengepartner Saat-Luzerne (*Medicago sativa*), Echter Steinklee (*Melilotus officinalis*), Sommerwicke (*Vicia sativa*), Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus* und *peregrinum*), Kürbisse (*Cucurbita maxima* und *pepo*) und Stangenbohnen (*Phaseolus vulgaris*), sowie Ackerbohne (*Vicia faba*), Erbse (*Pisum sativum*) und Sonnenblumen (*Helianthus annuus*) stellen alle eine potentielle Nahrungsquelle für Insekten dar und wurden deshalb als vielversprechende Partner für einen Gemengeanbau mit Mais hinsichtlich ihrer pflanzenbaulichen Praktikabilität geprüft.

Das System Mais-Stangenbohne ist sowohl im konventionellen als auch im ökologischen Landbau bereits sehr gut erforscht (Saattermin, Ablageort Bohnensaatgut, Mais/Bohnen-Verhältnis, Pflanzenschutz) (Pekrun et al. 2013a; Pekrun et al., 2013b; Pekrun & Hubert, 2016; Sukhbaatar et

al., 2019). Zudem ist es bereits gut in der Praxis etabliert. Im Jahr 2020 betrug die Anbaufläche in Deutschland etwa 15.000 ha (Leiser, 2021). Fragen zur Düngung bestanden allerdings weiterhin, da der Einfluss einer Leguminose auf die Höhe der N-Düngung noch unbekannt war. Das Ziel dieses Arbeitspakets bestand darin, die Auswirkungen des Mais-Bohnen- und Mais-Blütmischung-Anbaus auf die Biodiversität zu untersuchen. Hierbei lag der Fokus vor allem auf der Artenvielfalt und der Abundanz von Laufkäfern und Wildbienen. Mithilfe unterschiedlicher Methoden zur Insektenenerhebung wurden während der Hauptblütezeit des Gemengepartners Laufkäfer und Wildbienen an verschiedenen Standorten in Baden-Württemberg abgefangen.

Ein Nachteil bei der gleichzeitigen Etablierung von Mais und dem Gemengepartner ist, dass das zusätzliche Blühangebot erst relativ spät zur Verfügung steht und sich auch nur auf eine Art beschränkt. Eine Studie von von Redwitz et al. (2019) ermittelte die Möglichkeit einer Strip-Till Saat des Maises in einen überjährigen Blütmischungsbestand. Dadurch ist zu Beginn der Vegetationsperiode, lange vor der Maisaussaat, bereits ein Blühangebot verfügbar, dass viele Arten umfasst. Da viele Wildbienenarten hinsichtlich ihrer Nahrungspflanzen hochspezialisiert sind, kann dadurch eine breitere Nahrungsgrundlage geschaffen werden. Die Konkurrenz durch bereits im Herbst des Vorjahres etablierte Blütmischungen ist teilweise sehr groß. Daher kann die Blütmischung auch zeitgleich mit dem Mais ausgesät werden. Dies erfordert, bei gleichzeitiger Aussaat, allerdings

meist Spezialtechnik und schafft wieder erst spät ein Blühangebot. Ein wichtiger Aspekt ist auch die Beikrautkontrolle, da der Mais sonst einer starken Konkurrenz durch die Blümmischung und die Beikräuter unterliegt. Neben dieser kombinierten Etablierung stellen Blühstreifen, die den Maisschlag teilen, eine weitere Alternative zur ökologischen Aufwertung dar. Durch die räumliche Trennung von Blühstreifen und Mais kann die Bestandsführung des Maises praxisüblich durchgeführt werden. Diese Möglichkeiten der Diversifizierung und ökologischen Aufwertung werden im Folgenden auf ihre Praxistauglichkeit und Auswirkungen auf den Ertrag und die Qualität des Erntegutes geprüft.

1.1.1 VERSUCHSFRAGEN

Um dem in den letzten Jahren vermehrt aufgekommenen Interesse an Mischkultur-Systemen gerecht zu werden, was nicht zuletzt auf der Annahme gründet, dass diese Systeme besser an Risiken (Witterung, Krankheitsdruck, Schädlingsbefall) angepasst sind als der Reinanbau, wurden verschiedene Feldversuche angelegt. Gerade auch im Hinblick auf die Biodiversität und die Schaffung von Nahrungsangeboten und Rückzugsräumen für Insekten kann der Gemenge-Anbau eine Alternative sein.

Folgende Versuchsfragen liegen daher den pflanzenbaulichen Versuchen zu Grunde:

- Welche anderen Pflanzen außer der bereits etablierten Stangenbohne eignen sich im Mischanbau mit Silomais?
- Wie können Mais-Gemenge etabliert werden und wie sieht eine Bestandsführung aus?
- Wie wirken sich die Pflanzen auf Produktionstechnik, Erträge, Ökologie und die Qualität des Erntegutes aus?
- Wie muss die Stickstoffdüngung im System Mais-Bohnen aussehen?
- Kann durch den Anbau von Mais-Bohnen der Rohproteingehalt in der Silage erhöht werden?
- Kann die Kombination von Mais und Blümmischungen eine Option sein?

1.2 Versuchsdurchführung

1.2.1 STANDORTBESCHREIBUNG UND WITTERUNG

Mehrere pflanzenbauliche Versuche wurden in unterschiedlichen Boden-Klimaräumen (BKR) in Baden-Württemberg durchgeführt (Tabelle 1).

TABELLE 1: STANDORTPARAMETER DER PFLANZENBAULICHEN VERSUCHE; HÖHE ÜBER DEM MEERESSPIEGEL, TEMPERATUR IM JAHRESMITTEL, JAHRESNIEDERSCHLAG, BODEN-KLIMA-RAUM (BKR), BODENART UND BEWIRTSCHAFTUNGSFORM

(langjährige Klimadaten entsprechen dem Zeitraum 1961–1990).

	Höhe ü. NN (m)	Temperatur Jahresmittel (°C)	Jahresniederschlag (mm)	BKR	Bodenart	Bewirtschaftung
Achern	132	9,6	921	121 Rheinebene und Nebentäler	L	konv.
Bettenreute	596	8,7	982	115 Tertiär-Hügelland Donau-Süd	sL	konv.
Ettlingen	135	10,3	771	198 Schwarzwald	L	konv.
Forchheim am Kaiserstuhl	175	9,4	903	121 Rheineben und Nebentäler	sL	öko.
Haldenhof	407	6,8	942	123 Oberes Gäu und körnermaisfähige Übergangslagen	IT	konv.
Jungborn	302	8,8	809	122 Schwäbische Alb, Baar	T	konv.
Köngen	308	8,8	809	123 Oberes Gäu und körnermaisfähige Übergangslagen	L	konv.
Ostrach	640	6,7	857	115 Tertiär-Hügelland Donau-Süd	L	konv.
Otterswang	640	7,6	902	115 Tertiär-Hügelland Donau-Süd	L	konv.
Rheinstetten-Forchheim	116	10,3	771	121 Rheinebene und Nebentäler	IS	konv.
Stifterhof	194	9,3	776	121 Rheineben und Nebentäler	uL	konv.
Tachenhausen	330	8,8	809	122 Schwäbische Alb, Baar	L	konv.
Wolfschlugen	380	8,8	809	123 Oberes Gäu und körnermaisfähige Übergangslagen	L	konv.



Abbildung 2: Ein artenreicher Blühstreifen, der den Maisschlag trennt, im August
Foto: Freya Zettl/HfWU

Witterungstechnisch waren die Jahre 2018 bis 2021 unterschiedlich. Während im Frühjahr 2018 wechselhaftes Wetter die Aussaat an einzelnen Standorten bis Ende Mai verzögerte, folgte eine niederschlagsarme Vegetationsperiode. An den einzelnen Versuchsstandorten kam es zu erheblichen Niederschlagsdefiziten. Im Frühjahr 2019 war die Witterung zur Aussaat günstiger als im Vorjahr. Zu Beginn wurde zwar ein zu warmer April gemessen, während der Mai zu kühl war, aber die Niederschläge waren in dieser Phase ausreichend. Der Sommer 2019 hingegen zeichnete sich ebenfalls durch überdurchschnittliche Temperaturen und geringen Niederschlägen aus. Auch 2020 fiel weniger Niederschlag als im langjährigen Mittel, wobei Baden-Württemberg im Vergleich zum Rest von Deutschland kühl und nass war. Im Frühjahr wurden zum Aussaatzeitpunkt teilweise schon Tagestemperaturen von über 20 °C erreicht und Ende Juli herrschte eine Hitzewelle. Das Jahr 2021 brachte im Allgemeinen eine durchschnittliche Witterung, die mancherorts durch Unwetterereignisse durchzogen war. Der Mai verlief insgesamt zu kühl, während der Sommer durch zahlreiche Starkregen und Gewitter gekennzeichnet war.

1.2.2 VERSUCHE ZUR IDENTIFIZIERUNG VON POTENZIELLEN GEMENGEPARTNERN IN MAIS: ARTENSCHREIBUNG 1.0

Ziel dieser Versuche war die Prüfung von Stangenbohnen sowie die Identifizierung von weiteren möglichen Gemengepartnern für Mais, als Alternative zur Stangenbohne. Geprüft

wurden Saat-Luzerne, Echter Steinklee, Sommerwicke, Kapuzinerkresse, zwei Kürbisse, zwei Stangenbohnen, sowie im Jahr 2019 eine Mischung aus Stangenbohne und Sommerwicke und Stangenbohne und Kürbis. Die Versuche wurden in den Jahren 2018 und 2019 an zwei konventionellen Standorten (Ettlingen, Tachenhausen) und einem ökologischen Standort (Forchheim a.K.), 2020 und 2021 mit angepassten Varianten an zwei Standorten (Tachenhausen, Forchheim a.K.) durchgeführt (1.2.3).

1.2.2.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Gesät wurde der Mais mit einer Saatstärke von 8 Pflanzen m⁻² und einem Reihenabstand von 75 cm. Die Gemengepartner wurden mit der Saatstärke für einen Reinbestand in einer zweiten Überfahrt gesät (Tabelle 2). Am Standort Ettlingen wurde neben den GMP zudem noch die Höhe der mineralischen Stickstoff-(N-)Düngung in drei Stufen (0 %, 50 % und 100 % des N-Düngebedarfs eines reinen Silomaisbestandes laut DüV), sowie der Ablageort der Gemengepartner (zwischen die Maisreihen, ZR, bzw. in die Maisreihen, IR) untersucht.

An den Standorten Tachenhausen und Forchheim a.K. erfolgte keine N-Düngung und der GMP wurde in einer zweiten Überfahrt dicht an der Maisreihe abgelegt, um eine Aussaat in die Maisreihe zu simulieren. Die eingesetzten Herbizide und Applikationszeitpunkte können in Tabelle 3 abgelesen werden. Am ökologischen Standort Forchheim a.K. erfolgte die Unkrautbekämpfung mittels zwei Striegelgängen (BBCH Mais 12 und 13; 5 km h⁻¹, Zinkendruck 3, geringste Federspannung) und drei Hackgänge mittels Fingerhacke (BBCH Mais 14, 14–16, 15–17). Angehäuft wurde erst ab dem zweiten Termin, wenn die GMP etwas größer waren. Die Ernte erfolgte zur Teigreife des Mais (BBCH 85).

Erhobene Parameter waren neben allgemeinen Wachstumsbeobachtungen (Anteil Mais und Gemengepartner an Erntegut, Pflanzenhöhe, Blühbeginn und -ende), Trockenmasseertrag, Trockenmassegehalt, verschiedene Qualitätsparameter (N, P, K, Mg, Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF) und Rohasche (XA), stickstofffreie Extraktstoffe (NfE), Gesamtenergie (GE), metabolisierbare

TABELLE 2: DIE AUSPRÄGUNG DER GEPRÜFTEN VERSUCHSFAKTOREN N-DÜNGUNG, ABLAGEORT UND GEMENGEPARTNER (GMP) FÜR DIE VERSUCHSJAHRE 2018 UND 2019 AN DEN VERSUCHSSTANDORTEN ETTLINGEN (ET), TACHENHAUSEN (TH) UND FORCHHEIM AM KAISERSTUHL (FAK).

					2018			2019		
					ET	TH	FAK	ET	TH	FAK
Faktor:			0% DüV Silomais		✓	✗	✗		✗	✗
N-Düngung			50% DüV Silomais		✓	✗	✗		✗	✗
			100% DüV Silomais		✓	✗	✗		✗	✗
Faktor			in der Maisreihe		✓	✗	✗		✗	✗
Ablageort			zwischen den Maisreihen		✓	✗	✗		✗	✗
				Sorte						
				Aussaatzstärke						
Faktor	1		Mais (<i>Zea mays</i> L.)	Figaro	8 Körner m ⁻²	✓	✓	✓	✓	✓
GMP	2	+	Saat-Luzerne (<i>Medicago sativa</i> L.)	Catera	15 kg ha ⁻¹	✓	✓	✓	✓	✓
	3	+	Echter Steinklee (<i>Melilotus officinalis</i> L.)	-	4 kg ha ⁻¹	✓	✓	✓	✓	✓
	4	+	Sommerwicke (<i>Vicia sativa</i> L.)	Jose [#] / Mery [¶]	70 kg ha ⁻¹	✓	✓	✓	✓	✓
	5	+	Kapuzinerkresse (<i>Tropaeolum majus</i> L.)	-	20 kg ha ⁻¹	✓	✓	✓	✓	✓
	6	+	Gartenkürbis I (<i>Cucurbita pepo</i> L.)	Jack be little	1,6 Körner m ⁻²	✓	✓	✓	✓	✓
	7	+	Gartenkürbis II (<i>Cucurbita pepo</i> L.)	Spinnig / Dancing Gourd	1,6 Körner m ⁻²	✓	✓	✓	✓	✓
	8	+	Stangenbohne I (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	WAV 512 / 612 [†]	4,5 Körner m ⁻²	✓	✓	✓	✓	✓
	9	+	Stangenbohne II (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	Anellino verde [‡]	4,5 Körner m ⁻²	✓	✓	✓	✗	✗
	10	+	Gartenkürbis III [¶] (<i>Cucurbita pepo</i> L.)	New England Pie	1,6 Körner m ⁻²	✗	✗	✗	✓	✓
	11	+	Mischung I [¶] (Gartenkürbis II + Stangenbohne I)		1,6 Körner m ⁻² + 4,5 Körner m ⁻²	✗	✗	✗	✓	✓
	12	+	Mischung II [¶] (Sommerwicke + Stangenbohne I)		70 kg ha ⁻¹ + 4,5 Körner m ⁻²	✗	✗	✗	✓	✓

Starke Verunkrautung und Sturmschaden, Standort nicht wertbar

konventionelle Sorte; ¶ ökologische Sorte, † WAV 512 wurde 2019 in WAV 612 umbenannt, ‡ Anellino verde nicht verfügbar in 2019, // nur 2019 getestet

TABELLE 3: DIE IM VORAUFLAUF (VA) UND NACHAUFLAUF (NA) IN DEN VERSUCHEN AUS 1.2.2 UND 1.2.3 EINGESETZTEN HERBIZIDE.

		Mais (Kontrolle)	Mais + Saat-Luzerne	Mais + Steinklee	Mais + Sommerwicke	Mais + Kapuzinerkresse	Mais + Kürbis	Mais + Stangenbohne	Mais + Mischung I	Mais + Mischung II	Mais + Ackerbohne	Mais + Erbse	Mais + Sonnenblume
Vorauflauf (VA)	Stomp + Spectrum	2,8 + 1,0						2,8 + 1,0					2,6 + 1,2
	Stomp					1,75					3,5	3,5	
Nachauflauf (NA)	Stomp		2,2	2,2	2,2								



TABELLE 4: DIE VERWENDETEN GEMENGEPARTNER (GMP), SORTEN UND ANGESTREBTER PFLANZENBESTAND AM KONVENTIONELLEN STANDORT TACHENHAUSEN UND DEM ÖKOLOGISCHEN STANDORTE FORCHHEIM AM KAISERSTUHL IN DEN JAHREN 2020 UND 2021

Angestrebter Pflanzenbestand			
GMP	Sorte	konventionell	ökologisch
Kontrolle I: Mais (<i>Zea mays</i>)	Figaro	8 Körner m ⁻²	8 Körner m ⁻²
Kontrolle II: Mais (<i>Zea mays</i>)	Figaro	-	10 Körner m ⁻²
Sommerackerbohne (<i>Vicia faba</i>)	Avalon	4,5 Körner m ⁻²	4 Körner m ⁻²
Sommererbse (<i>Pisum sativum</i>)	Tip [#] /Astronaute [¶]	4,5 Körner m ⁻²	4 Körner m ⁻²
Kapuzinerkresse (<i>Tropaeolum spp.</i>)	T. peregrinum [#] / T. majus [¶]	4,5 Körner m ⁻²	4 Körner m ⁻²
Gartenkürbis I, rankend (<i>Cucurbita pepo</i>)	New England Pie [#] / Red Kuri [¶]	-	1,6 Körner m ⁻²
Gartenkürbis II, nicht rankend (<i>Cucurbita pepo</i>)	One Ball F1 [#] / Green Hokkaido [¶]	-	1,6 Körner m ⁻²
Sonnenblume (<i>Helianthus annuus</i>)	Atlanta [#] / D120 [¶]	2 Körner m ⁻²	2 Körner m ⁻²

#2020; ¶2021

Energie (ME) und die Netto-Energie für die Laktation (NEL), Biogas- und Methanausbeute) sowie die Boden Nitrat-N-Gehalte. Eine ökonomische Bewertung der vielversprechendsten Gemengepartner (Stangenbohne, Kapuzinerkresse, Ackerbohne, Erbse, Sonnenblume) sowohl unter konventioneller, wie auch ökologischer Bewirtschaftung erfolgte auf Basis der Saatgutkosten. Beim Anbau dieser Mais-Gemenge-Alternativen entsprechen alle Kosten denen des reinen Maisanbaus, lediglich die Saatgutkosten sind durch den zusätzlichen Gemengepartner erhöht.

1.2.3 ANGEPASSTE VERSUCHE ZUR IDENTIFIZIERUNG VON POTENZIELLEN GEMENGEPARTNERN IN MAIS: ARTENSCHREIBUNG 2.0 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG UND DATENERHEBUNG

Als weitere Partner wurden 2020 und 2021 Ackerbohnen, Erbsen und Sonnenblumen geprüft, sowie unter ökologischen Bedingungen verschiedene Kürbisse (Tabelle 4). Für die Kapuzinerkresse wurde in 2020 versucht eine Art zu finden, die am Mais hochrankt (*Tropaeolum peregrinum*), was allerdings aufgrund der sehr glatten Blattstruktur des Maises und der starken Bewegung der Blätter im Wind nicht möglich war. Daher wurde 2021 wieder die ursprüngliche Art der Jahre 2018 und 2019 eingesetzt (*Tropaeolum majus*)

1.2.3.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Die Gemengepartner und der Mais wurden gemischt und mittels praxisüblichem Einzelkornsäegerät mit 75 cm Reihenabstand ausgesät. An beiden Standorten erfolgte keine N-Düngung. Die Beikrautregulierung erfolgte wie in Tabelle 3 beschrieben bzw. unter ökologischen Bedingungen wieder durch Striegeln und Hacken. Es erfolgten dieselben Erhebungen wie in Kapitel 1.2.2.1 beschrieben. Da die GMP zu so geringen Anteilen im Erntegut vorhanden sind, dass es sich bei dem Häckselgut nur um Maisbiomasse handelte, wurde auf die Berechnung der Parameter für die Nutzung in der Biogasanlage und der Nutzung in der Milchviehfütterung verzichtet.

1.2.4 UNTERSUCHUNGEN ZUR OPTIMALEN SAATSTÄRKE GEEIGNETER GEMENGEPARTNER IN MAIS

1.2.4.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Der Versuch sollte die optimale Saatstärke der drei vielversprechendsten Gemengepartner aus dem Artenscreeningversuch (1.2.2) ermitteln, da sich die Saatstärken noch am Bedarf für einen Reinbestand orientierte. Der Versuch wurde 2019

TABELLE 5: ÜBERSICHT ÜBER DIE VARIANTEN IM SAATSTÄRKE-VERSUCH, DIE AUSSAATSTÄRKE DES MAISES, DIE VERWENDETEN GEMENGEPARTNER (GMP), DIE SAATSTÄRKE DER GMP IN REINSAAT UND DIE ABSTUFUNGEN DER GMP-SAASTÄRKEN

Variante	Mais	GMP	Saatstärke GMP Reinsaat (kg ha ⁻¹)	Anteil Saatstärke GMP (%)
1	Kontrolle I (10 Kö. m ⁻²)			
2	Kontrolle II (8 Kö. m ⁻²)			
3,4,5	Kontrolle (8 Kö. m ⁻²)	Saat-Luzerne (Sorte: Catera)	15	100, 50, 25
6,7,8	Kontrolle (8 Kö. m ⁻²)	Sommerwicke (Sorte: Jose)	70	100, 50, 25
9,10,11	Kontrolle (8 Kö. m ⁻²)	Kapuzinerkresse	20	100, 50, 25

am Standort Rheinstetten-Forchheim durchgeführt. Geprüft wurden Saat-Luzerne, Sommerwicke und Kapuzinerkresse in zwei Abstufungen verglichen mit einem Reinbestand (Tabelle 5). Die mineralische N-Düngung richtete sich nach dem N-Bedarf eines reinen Silomaisbestandes. Erfasst wurden Trockenmasseertrag und Trockenmassegehalt.

1.2.5 UNTERSUCHUNGEN ZUR OPTIMALEN SAATTECHNIK VERSCHIEDENER MAIS-GEMENGE

1.2.5.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Auf Grund der stark unterschiedlichen Saatgutmorphologie wurden verschiedene Aussaatvarianten geprüft, um einen Mais-Gemengebestand mit unterschiedlichen Saatguteigenschaften zu etablieren (Tabelle 6). Der Saattechnikversuch

wurde in Rheinstetten-Forchheim und Tachenhausen durchgeführt.

Der Mais (Sorte „Figaro“) wurde mit einem Reihenabstand von 75 cm mittels Einzelkornsämaschine gesät. Die Aussaat der Gemengepartner erfolgte mit den in Tabelle 6 aufgelisteten Saattechniken in den entsprechenden Aussaatstärken. Eine Ertragserfassung im Saattechnik-Versuch fand nicht statt.

Ermittelt wurden das Datum des Feldaufgangs von Mais und Gemengepartner. Die Anzahl von Pflanzen m⁻² zum Zeitpunkt des 3-Blattstadiums des Maises wurde per Zählung bestimmt. Bei dem Kürbis in Variante 5 wurden zusätzlich noch die Abstände der Kürbispflanzen innerhalb der Reihen gemessen.

TABELLE 6: ÜBERSICHT ÜBER DIE IM SAATTECHNIK-VERSUCH EINGESETZTEN VARIANTEN AN DEN BEIDEN STANDORTEN RHEINSTETTEN-FORCHHEIM (FO) UND TACHENHAUSEN (TH), SOWIE DEN VERWENDETEN SORTEN, SAATSTÄRKEN, AUSSAATTECHNIKEN UND DEM ZEITPUNKT DER GEMENGEPARTNERSAAT (GMP).

Variante	Ort	Sorte und Saatstärke	Aussaatechnik	Zeitpunkt GMÜ-Saat
1 Sommerwicke	FO TH	Sorte: Jose, 70 kg ha ⁻¹ Sorte: Hanka, 70 kg ha ⁻¹	Pneumatikstreuer, APV Schneckenkornstreuer, Lehner Super Vario	nach Maissaat
2 Saat-Luzerne	FO TH	Sorte: Catera, 15 kg ha ⁻¹ Sorte: Planet, 15 kg ha ⁻¹	Pneumatikstreuer; APV Schneckenkornstreuer, Lehner Super Vario	nach Maissaat
3 Saat-Luzerne	FO TH	Sorte: Catera, 15 kg ha ⁻¹ Sorte: Planet	Drillsaat, Hege 80 PNI Drillsaat, Amazone D7 Typ 25	nach Maissaat
4 Kürbis III	FO TH	Sorte: New England Pie, 1,6 Körner m ⁻²	Drillsaat, Hege 80 PNI Handsaat	nach Maissaat
5 Kürbis III	FO TH	Sorte: New England Pie, 1,6 Körner m ⁻²	Einzelkornsaat, Monosem Einzelkornsaat, Becker Aeromat DT	gemeinsam mit Mais



Abbildung 3: Blütenstadien der Großen Kapuzinerkresse (*Tropaeolum majus*) nach der Maisernte am 22.10.2019. Foto: Caroline Schumann

1.2.6 OPTIMIERUNG DES ANBAUSYSTEMS MAIS-KAPUZINERKRESSE

Die Artenscreening-Versuche unter 1.2.2 und 1.2.3 ergaben, dass die Kapuzinerkresse ein interessanter Partner für den gemeinsamen Anbau mit Silomais ist. Es entstehen keine negativen Einflüsse auf Ertrag und Qualität des Erntegutes und die Aussaat sowie die Unkrautregulierung erwiesen sich als praktikabel mit der vorhandenen Betriebstechnik (1.2.5). Auch im Hinblick auf Körnermais kann Mais-Kapuzinerkresse eine interessante Alternative sein, da sie nicht an den Maispflanzen hochrankt und somit nicht in das Druschgut gelangt (wie dies z. B. bei Mais-Stangenbohne der Fall ist). Daher musste nun die optimale Aussaatstärke bzw. Zielpflanzenbestand und Mischungsverhältnis für Mais-Kapuzinerkresse geprüft werden.

1.2.6.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Zur Verifizierung der Ergebnisse des in 1.2.4 beschriebenen Saatstärke-Versuches aus dem Jahr 2019 wurden die Kapuzinerkresse-Varianten in 2020 erneut durchgeführt und zusätzlich noch im Körnermais geprüft (Tabelle 7). Dazu wurden die in 1.2.4 verwendeten Saatstärken der Kapuzinerkresse genutzt: 100 % KK Saatgut (20 kg ha⁻¹, entspr. 18 Kö. m⁻²; Mais: KK-Verhältnis 1:1,8), 50 % KK Saatgut (10 kg ha⁻¹, entspr. 9 Kö. m⁻²; Mais: KK-Verhältnis 1:0,9) und 25 % KK Saatgut (5 kg ha⁻¹, entspr. 4,5 Kö. m⁻²,

Mais: KK-Verhältnis 1:0,45). 2021 wurde das Mischungsverhältnis, Aussaattechnik und der anzustrebende Zielpflanzenbestand von Mais-Kapuzinerkresse für Silomais wie auch Körnermais optimiert. Gewählt wurde ein Mais: KK-Mischungsverhältnis von 1:0,1. Es wurden der normale Zielpflanzenbestand für Mais getestet (V2), sowie ein abgesicherter Bestand, bei dem die Verdrängung der Maiskörner durch die 0,1 Körner m⁻² KK mit einbezogen wurde (V3). Zudem wurde getestet die Kapuzinerkresse mittels pneumatischem Granulatstreuer nahe an den Maisreihen abzulegen, jeweils mit 2 und 9 kg ha⁻¹ (V4, V5) (Tabelle 7).

Angelegt wurden die Versuche in beiden Jahren in Rhein-
stetten-Forchheim.

Vor der Aussaat wurde der Versuch unter Berücksichtigung des im Boden verfügbaren Nitrat-N nach DüV-Empfehlung für Silomais mineralisch gedüngt. Die Aussaat erfolgte wie in Tabelle 7 aufgelistet.

Sowohl für die Silomais-, als auch für die Körnermais-Varianten wurde das Datum des Feldaufganges für Mais und Kapuzinerkresse bestimmt. Mittels einer Zählung der Mais- und Kapuzinerkresspflanzen wurde die Saatgutverteilung innerhalb der Reihe bei der Saat ermittelt. Zudem fand Ende Juli eine Auszählung der Anzahl an Kapuzinerkresseblüten statt.

Analysiert wurden die Gehalte an Rohprotein (XP), Hemicellulose (HC) und Säure-Detergenz-Lignin (ADL). Biogas- und Methanertrag wurden errechnet. Die Körnermaisproben wurden ebenfalls auf Rohprotein und zusätzlich auf den Stärkegehalt untersucht. Daneben erfolgte die Ermittlung der TKM. Die Bodennitrat-N-Gehalte wurden zum Ende der Vegetation erfasst.

1.2.7 UNTERSUCHUNGEN ZU DEN WIRKUNGEN EINER ALTERNATIVEN PLATZIERUNG DER BOHNE IM MAIS-BOHNEN-GEMENGE

Die Versuche der Jahre 2018 und 2019 ergaben, dass keine relevante Steigerung der Rohproteingehalte durch die Stangenbohne erzielt werden konnte. Dies wurde auf den

TABELLE 7: ZIELPFLANZENANZAHL IM SILOMAIS (SORTE „P 9911“) UND KÖRNERMAIS (SORTE „FUTURIXX DUO“), DER ENTSPRECHENDE SAATABSTAND, DAS VERHÄLTNISS VON MAIS ZU KAPUZINERKRESSE (KK, TROPAEOLUM MAJUS L.) BZW. DIE PER GRANULATSTREUER AUSGEBRACHTE MENGE AN KK (KG HA⁻¹) IN DEN EINZELNEN JAHREN UND VARIANTEN.

Variante	Silomais / Körnermais		Verhältnis Mais : KK	KK über Streuer (kg ha ⁻¹)	
	Zielbestand (Pflanzen ha ⁻¹)	Saatabstand (cm)			
2020					
V1 (Kontrolle)	100.000 / 80.000	13,3 / 16,7	1		
V2 (+ 100 %)			1 : 1,8		
V3 (+ 50 %)			1 : 0,9		
V4 (+ 25 %)			1 : 0,45		
2021					
V1 (Kontrolle)	100.000 / 80.000	13,3 / 16,7	1		
V2 (normal)			1 : 0,1		
V3 (abgesichert)			1 : 0,1		
V4 (+ 2 kg)			1		2
V5 (+ 9 kg)			1		9

kurzen Zeitraum zwischen Hülsenbildung und Erntetermin zurückgeführt, sowie den geringen Anteil an Bohnen. Daher wurden Versuche zur Optimierung des Aussaat-Systems durchgeführt.

1.2.7.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Anstelle in alle Säaggregate der Einzelkornsämaschine die praxisübliche 8:4 Mais: Bohnen-Mischung zu geben, wurden die Kästen abwechselnd mit Maissaatgut und Mais-Bohnen-Saatgut (Verhältnis 1:1) befüllt. Damit der Mais länger stehen bleiben kann und die Bohne so eine

Chance zur Abreife bekommt, wurde Maissaatgut von Hochleistungssorten mit einer hohen Reifezahl (FAO > 300) verwendet. Abgedreht wurde auf 10 Körner m⁻².

Vor der Aussaat wurde der Versuch unter Berücksichtigung des im Boden verfügbaren Nitrat-N nach DüV-Empfehlung für Silomais mineralisch gedüngt. Als Kontrollen diente eine standorttypische Silomaisorte (V1, P9911, 10 Körner m⁻²) und ein praxisübliches Mais-Bohnen-Gemenge (V2, 8 Körner m⁻² KWS Figaro + 4 Körner m⁻² WAV 612). Abbildung 4 gibt eine schematische Darstellung des Aussaat-Systems der alternierenden Reihen in V3-V6 wieder.

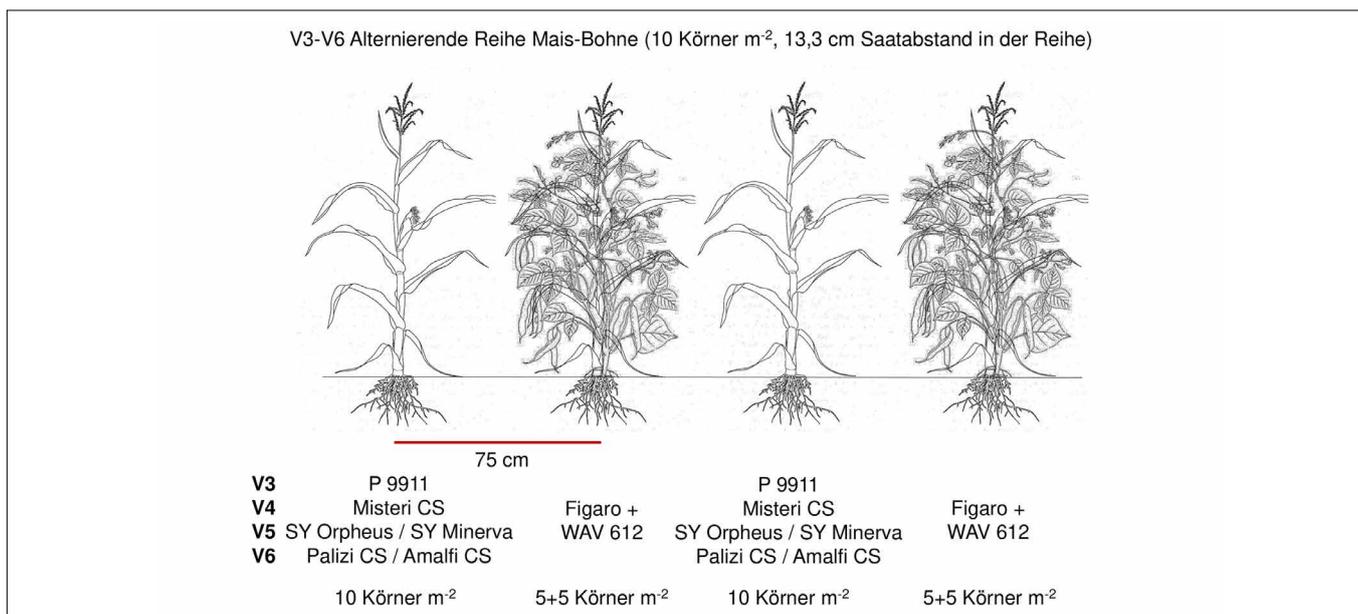


Abbildung 4: Aussaatssystem der alternierenden Reihen (Varianten 3–6), den zugehörigen Maissorten in 2020 und 2021 und die Aussaatstärke. In V5 und V6 war 2021 die Sorte des Vorjahres nicht mehr verfügbar.



Abbildung 5: Strip-Till-Bearbeitung 2020 am Standort Stifterhof.

Foto: Vanessa Schulz/LTZ

Neben dem Trockenmasseertrag und dem Trockenmassegehalt zur Ernte wurde das Datum des Auflaufens des Mais und der Bohne festgestellt, sowie die Pflanzenanzahl von Mais und Bohnen vor der Ernte. Pflanzenhöhe und die Boden-Nitrat-N-Gehalt wurden zum Vegetationsende bestimmt.

1.2.8 UNTERSUCHUNGEN ZUR BESTANDSETABLIERUNG VON IN HERBSTBLÜHMISCHUNGEN EINGESÄTEM MAIS

1.2.8.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Einzelne Gemengepartner haben den Nachteil, dass durch die späte Saat (gemeinsam mit Mais) das Erosionsrisiko kaum reduziert wird und der Mehrwert für wildlebende Insekten relativ gering ist, auf Grund des geringen zusätzlichen Artenspektrums. Getestet werden sollte daher in diesen Versuchen die Biomasseleistung von Silomais, der nach einer Strip-Till-Bearbeitung in einen überjährigen Blütmischungsbestand gesät wurde (Tabelle 9). An den Versuchsstandorten Stifterhof und Tachenhausen wurden unterschiedliche, regionaltypische Blütmischungen mit abfrierenden und überwinterten Arten verwendet.

Da sich im Verlauf der Vegetationsperiode 2020 sowohl am Stifterhof als auch in Tachenhausen abzeichnete, dass die Konkurrenz für den Mais durch die Blütmischung zu groß ist und dieser mit starken Entwicklungs- und Wachstumsdepressionen reagierte, wurden die Versuch nicht beerntet. Dies war 2021 am Standort Stifterhof erneut

der Fall, in Tachenhausen wurde der Versuch 2021 nicht mehr durchgeführt.

Während der Vegetationsperioden 2020 und 2021 wurden am Stifterhof zum Aussaatzeitpunkt des Mais der Bodendeckungsgrad der einzelnen Varianten bestimmt. Zudem erfolgte 2020 die Bestimmung der Pflanzenhöhe, sowie eine Bewertung des Vorhandenseins von Kolben (-anlagen). Im Jahr 2021 entfielen diese Bonituren, da der Mais noch stärker unterdrückt wurde wie 2020.

In Tachenhausen wurden der Deckungsgrad nach Braun-Blanquet und der Blühaspekt aller vorkommenden Pflanzenarten erhoben. Die Blühdeckung wurde berechnet.

1.2.9 UNTERSUCHUNGEN ZUR EIGNUNG VON FRÜHJAHRSBLÜHMISCHUNGEN ALS MIKROBLÜHSTREIFEN ZWISCHEN DEN MAISREIHEN

Analog zur Herbstblütmischung wurden auch zwei Frühjahrsblütmischungen (FBI und FBII) auf ihre Eignung als Gemengepartner bei einer gemeinsamen Aussaat mit Mais untersucht (Tabelle 9). Die Frühjahrsblütmischungen wurden sowohl im Parzellenversuch (2020 und 2021) als auch auf einer Praxisfläche (2020) getestet.

1.2.9.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Der Praxisversuch wurde 2020 in Oberboihingen auf einer Fläche von 0,35 ha durchgeführt. Dazu wurde die gesamte Fläche mit Mais eingesät, davon drei Arbeitsbreiten im Gemenge mit FBII und fünf Arbeitsbreiten im Gemenge mit FBI.

Im Parzellenversuch wurde das Blütmischungssaatgut im Verhältnis von 1:3 mit Maisschrot gemischt und in einem Arbeitsgang zeitgleich mit dem Mais (Sorte „Figaro“) zwischen die Maisreihen gesät. Die Parzellen wurden jeweils zur Hälfte mit einem praxisüblichen Maisherbizid behandelt bzw. unbehandelt belassen. Deckungsgrad und Blühaspekt der Blütmischungen wurden erfasst.

Um zu untersuchen, ob die Blühstreifen zwischen den Maisreihen den Erosionsschutz erhöhen, wurde im Par-



Abbildung 6: Von der Blütmischung unterdrückter Mais 2021 am Standort Stifterhof. (Foto: Vanessa Schulz/LTZ)



Abbildung 7: Ableitblech-Installation zur Erosionsmessung in der Frühjahrsblütmischung. (Foto: Sabine Kurz/HfWU)

zellenversuch im Frühjahr 2020 einen Monat lang die Erosion gemessen. Dazu wurden Ableitbleche installiert (Abbildung 7). Jeweils nach starken oder länger anhaltenden Regenfällen wurde dokumentiert, wieviel Wasser in die einzelnen Auffanggefäße abgeschwemmt wurde.

1.2.10 CHEMISCHE UNKRAUTREGULIERUNG VON MAISBESTÄNDEN MIT BLÜHMISCHUNGEN: HERBIZIDVERSUCH

1.2.10.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Von jeder der vier in 1.2.8 und 1.2.9 verwendeten Blütmischungen (HBI, HBII, FBI, FBII) (Tabelle 9) wurde 2020 ein Blühstreifen für Versuche zu Wirkungslücken

von Pflanzenschutzmitteln angelegt (Tabelle 8). Nach der Herbizidbehandlung wurden an mehreren Terminen die überlebenden Arten ausgezählt.

1.2.11 TEILUNG DES MAISSCHLAGES DURCH BLÜHSTREIFEN

Aufgrund hoher Ertragsverluste in den Mais-Herbstblütmischungsversuchen ist es naheliegend, Mais und Blütmischung auf der Ackerfläche räumlich voneinander zu trennen, um einen Biodiversitätseffekt zu erzielen und kaum Ertragsverluste beim Mais zu haben. Daher wurden im Versuchsjahr 2020/21 Blütmischungsstreifen im Mais auf Praxisflächen angelegt.

TABELLE 8: VARIANTEN DER HERBIZIDBEHANDLUNG IN BLÜHMISCHUNGEN, VERWENDETES HERBIZID, WIRKSTOFF, AUFWANDMENGE UND HERSTELLER.

Variante	TAB-freie Mittel	Wirkstoff	Aufwandmenge (ha ⁻¹)
1	unbehandelt		
2	Mais Banvel 480 S	Dicamba	0,6 l
3	Arrat und Dash	Dicamba + Tritosulfuron	200 g + 1 l
4	Peak	Prosulfuron	12–20 g
5	Harmony SX	Thifensulfuron	15 g + 1 l
6	B 235 + Haspen (Öl)	Bromoxynil	0,75–1,5 l

TABELLE 9: ARTENZUSAMMENSETZUNG UND GEWICHTSANTEILE (%) DER IN TACHENHAUSEN EINGESetzten HERBST- (HB) UND FRÜHJAHRSBLÜHMISCHUNGEN (FB) UND DER HERBSTBLÜHMISCHUNG (V2-V4) AM STIFTERHOF.

		Tachenhausen						Stifterhof		
		2020				2021		2020 und 2021		
Deutscher Name	Botanischer Name	HB 	HBI 	FB 	FBI 	FB 	FBI 	V2	V3	V4
Abessinischer Kohl / Äthiopischer Senf	<i>Brassica carinata</i>									x
Acker-Glockenblume	<i>Campanula rapunculoides</i>			1	1					
Acker-Hundskamille	<i>Anthemis arvensis</i>			7	7	10	3			
Acker-Lichtnelke	<i>Silene noctiflora</i>			1		10	3			
Acker-Rettich	<i>Raphanus raphanistrum</i>			3						
Acker-Senf	<i>Sinapis arvensis</i>			10	10	10	3		15	
Ackervergissmeinnicht	<i>Myosotis arvensis</i>		2	3	2		4,5			
Ackerwitwenblume	<i>Knautia arvensis</i>			2	3			2	3,2	
Alexandrinklee	<i>Trifolium alexandrinum</i>									x
Aufrechter Ziest	<i>Stachys recta</i>	1	0,5	1	1					
Beinwell	<i>Symphytum x</i>	0,5								
Borretsch	<i>Borago officinalis</i>			1		5	2			
Dill	<i>Anethum graveolens</i>							4,5	4,5	
Dost	<i>Origanum vulgare</i>								1,2	
Echte Kamille	<i>Matricaria recutita</i>			7	7	10	2			
Echter Baldrian	<i>Valeriana officinalis</i>			1						
Echter Frauenspiegel	<i>Legousia speculum-veneris</i>			1	1					
Espalette	<i>Onobrychis arenaria</i>		4						2,5	
Espalette	<i>Onobrychis viciifolia</i>			3			4,5			
Färberkamille	<i>Anthemis tinctoria</i>		0,5				3		1,5	
Fenchel	<i>Foeniculum vulgare</i>							6	3,5	
Futtererbse	<i>Pisum sativum</i>									x
Gartenkresse	<i>Lepidum sativum</i>	15	25					9,7	7,5	
Gelbe Resede	<i>Resedea lutea</i>			3						
Gemeine Braunelle	<i>Prunella vulgaris</i>			2						
Gemeiner Rainkohl	<i>Lapsana communis</i>			2			4,5			
Geruchlose Kamille	<i>Tripleurospermum perforatum</i>	1,5	1	7	7	10	3			
Gewöhnliche Schafgarbe	<i>Achillea millefolium</i>	2	2	2	5		5			
Gewöhnlicher Dost	<i>Origanum vulgare</i>				2					
Gewöhnlicher Wirbeldost	<i>Clinopodium vulgare</i>				1		4,5			
Gewöhnliches Bitterkraut	<i>Picris hieracioides s.l.</i>				3		4,5			
Gewöhnliches Hirtentäschel	<i>Capsella bursa-pastoris</i>			3						
Gewöhnliches Leimkraut	<i>Silene vulgaris</i>		0,5							
Grassternmiere	<i>Stellaria graminea</i>				1		4,5			
Große Braunelle	<i>Prunella vulgaris</i>	1	2							
Hirtentäschel	<i>Capsella bursa-pastoris</i>						4,5			
Hopfenklee	<i>Medicago lupulina</i>	10	10	5	6	10	4,5			
Hornklee	<i>Lotus corniculatus</i>	10	2		5		4,5			
Inkarnatklee	<i>Trifolium incarnatum</i>	10					2	7	2,7	x
Kleiner Wiesenknopf	<i>Sanguisorba minor</i>	2	6		2					
Kleinköpfiger Pippau	<i>Crepis capillaris</i>			3			4,5			
Knäuel-Glockenblume	<i>Campanula glomerata</i>	0,5	0,5							

		Tachenhausen						Stifterhof		
		2020				2021		2020 und 2021		
Deutscher Name	Botanischer Name	HB 	HBI 	FB 	FBI 	FB 	FBI 	V2	V3	V4
Koriander	<i>Coriandrum sativum</i>	5	0,5	3	3	10	2	12,5	12,5	
Kornblume	<i>Centaurea cyanus</i>	0	0					3,5	2	
Kümmel	<i>Carum carvi</i>	5	0,5	3	4				1,5	
Leindotter	<i>Camelina sativa</i>	5	2				4,5	3,5	4,5	
Luzerne	<i>Medicago sativa</i>							7	4,5	
Majoran	<i>Origanum majoranum</i>	1								
Margarite	<i>Leucanthemum vulgare</i>		1		2		4,5			
Margerite	<i>Leucanthemum ircutianum</i>							3,5	1,5	
Öllein	<i>Linum usitatissimum</i>									x
Persischer Klee	<i>Trifolium resupinatum</i>								3,5	x
Phacelia	<i>Phacelia tanacetifolia</i>							8	4,5	x
Pyrenäen-Storchschnabel	<i>Geranium pyrenaicum</i>				1					
Ramtilkraut	<i>Guizotia abyssinica</i>									x
Raps	<i>Brassica napus</i>				5	10	2			
Ringelblume	<i>Calendula officinalis</i>	5	1				4,5	3	2,5	
Rote Taubnessel	<i>Lamium purpureum</i>		1	5						
Rotklee	<i>Trifolium pratense</i>		5	7	15	10	2	6		x
Rübsen	<i>Brassica rapa</i>								3,5	
Safflor / Färberdistel	<i>Carthamus tinctorius</i>									x
Sandmohn	<i>Papaver argemone</i>		0,5							
Schwedenklee	<i>Trifolium hybridum</i>									x
Senf	<i>Sinapis alba</i>	15	25							
Serradella	<i>Ornithopus sativus</i>									x
Sommerwicke	<i>Vicia sativa</i>									x
Sonnenblume	<i>Helianthus annuus</i>							6	6	x
Sorghum	<i>Sorghum ssp.</i>									x
Spitzwegerich	<i>Plantago lanceolata</i>	1,5	0,5				4,5			
Steinklee (Gattung)	<i>Melilotus officinalis</i>							3,5	2	
Steinklee, weiß	<i>Melilotus albus</i>								2	
Stoppelrübe / Rübsen	<i>Brassica rapa</i>							5,8		
Tiefenrettich	<i>Raphanus ssp.</i>									x
Weg- Malve	<i>Malva neglecta</i>				2					
Wegwarte	<i>Cichorium intybus</i>							1	1	
Weißklee	<i>Trifolium repens</i>	5		15		5	5			x
Wiesenflockenblume	<i>Centaurea jacea</i>				2			3	2,5	
Wiesenspippau	<i>Crepis biennis</i>		0,5							
Wiesensalbei	<i>Salvia pratensis</i>	0,5	1		2					
Wilde Möhre	<i>Daucus carota</i>	1	0,5					4,5	4,4	
Winterwicke	<i>Lathyrus latifolius</i>									x
Wundklee	<i>Anthyllis vulneraria</i>	2	5							
Artenanzahl		23	28	26	26	11	27	19	25	18

x: bei V4 handelt es sich um eine im Handel erhältliche Blümmischung, Artenanteil daher unbekannt



Abbildung 8: Kombination aus Ausbringungstechnik und verwendeter Düngerart. Organische Depot- bzw. Unterfußdüngung (oben, links, Foto: Tobias Mann/LTZ), organische Breitverteilung mittels Schleppschauch (oben rechts, Foto: Sebastian Weisenburger/LTZ), mineralische Depot- bzw. Unterfußdüngung mittels Einlegescharen bei Maissaat (unten links, Foto: Kerstin Stolzenburg/LTZ) und mineralische Breitverteilung mittels pneumatischem Schleuderstreuer (unten rechts, Foto: Hanna Uckele/LTZ).

1.2.11.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Auf sieben Ackerschlägen verschiedener konventionell wirtschaftender Betriebe wurde im Herbst 2020 (Aussaat betriebspezifisch; Ende August bis Ende September) ein Blühstreifen angelegt. Verwendet wurde dabei die „mehrjährige Honigpflanzenmischung“ von Rieger-Hofmann (48 Arten) gemischt mit 50 % Senf (*Sinapsis alba*) als Deckfrucht mit einer Saatstärke von 20 kg ha^{-1} (10 kg Honigpflanzenmischung + 10 kg Senf). Im Mais-Schlag wurden entweder ein oder zwei je fünf bis sechs Meter breite Blühstreifen ausgesät. Diese nahmen dabei maximal 10 % der Fläche ein. Bei diesem Konzept können die praxisüblichen Arbeitsbreiten für die Mais-Bewirtschaftung beibehalten werden, bei gleichzeitig geringem Aufwand für den Landwirt. Die Entwicklung der Blühstreifen wurde in monatlichen Abständen dokumentiert. Im Sommer 2021 wurde eine Bonitur der aufgelaufenen Arten durchgeführt. Anschließend wurde die Deckung der eingeschlossenen Arten geschätzt.

1.2.12 EXAKTVERSUCH ZUR ÜBERPRÜFUNG DER STICKSTOFFDÜNGUNG IN MAIS-BOHNENBESTÄNDEN

Getestet wurden die Einflüsse der Ausbringungstechnik (Depotdüngung oder Breitverteilung) verschiedener Dünger (organisch und mineralisch) und die Höhe der Stickstoffgabe (100 % des Bedarfs eines reinen Silomaisbestandes laut DüV, 50 %, 25 % und 0 %) auf Ertrag und Qualität des Häckselgutes, sowie den Bodennitrat-N-Gehalt in einem Mais-Bohne-Bestand. Die räumliche Trennung von Mais und Bohne durch die Bohnenaussaat zwischen den Maisreihen, sollte dem Mais einen Vorsprung verschaffen, um an das Düngedepot zu gelangen und so die Leguminose anregen, den Stickstoff aus der Luft zu fixieren

1.2.12.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Der ermittelte N-Bedarf laut DüV legte den Richtwert (100 % N-Düngung) fest. Von diesem Wert erfolgte eine

TABELLE 10: DÜNGETECHNIK, DÜNGERART, DIE VERWENDETEN DÜNGER, SOWIE DIE AUSBRINGTECHNIK (HERSTELLER, TYP) DER STICKSTOFFDÜNGUNG.

Düngetechnik	Düngerart	Dünger	Ausbringungstechnik
Depotdüngung	organisch	Gärrest	Volmer Strip Till CULEX
Breitverteilung			Schleppschlauch, Eisele Einachs-Fass (6.700 l)
Depotdüngung	mineralisch	ALZON	Düngereinlegeschar an pneumatischer Einzelkornsäegerät, Monosem NG Plus 4
Breitverteilung			Rauch AERO 2112

Abstufung auf 50 % und 25 %. Zur Kontrolle wurde keine Düngung (0 %) durchgeführt. Ausgebracht wurde der organische Dünger per Schleppschlauch (Breitverteilung) oder es erfolgte eine Ablage des Düngers als Depot unterhalb der Maisreihe (Depotdüngung) (Tabelle 10). Der mineralische Dünger wurde entweder mittels Pneumatikstreuer ausgebracht (Breitverteilung) oder während der Saat mittels Düngereinlegescharen als Depotstreifen unterhalb des Mais abgelegt (Depotdüngung). Die eingesetzten Dünger waren Gärrest (organisch) oder ALZON (46 % N, mineralisch). Der organische Dünger wurde innerhalb der vorgegebenen 4 Stunden eingearbeitet.

Die Grundnährstoffe P, K und Mg wurden jeweils vor der N-Düngung und Aussaat mittels mineralischer Düngemittel aufgedüngt, damit nur der Stickstoff Einflüsse auf Wachstum und Ertrag des Mais hatte. Der Mais wurde mittels pneumatischer Einzelkornsämaschine ausgesät (8 Körner m⁻²,

„Figaro“). Am selben Tag wurde die Bohne zwischen die Maisreihen gesät (4,5 Körner m⁻², „WAV 512“ bzw. „WAV 612“).

Neben dem Trockenmasseertrag und dem Trockenmassegehalt wurden vor der Ernte noch die Pflanzenhöhe der Mais- und Bohnenpflanzen und die Pflanzenanzahl beider Pflanzen erfasst. Bodennitrat-N-Gehalte wurden nach der Ernte und zu Vegetationsende ermittelt. Es wurden dieselben Qualitätsparameter wie in 1.2.2.1 erhoben.

1.2.13 PRAXISVERSUCH ZUR ÜBERPRÜFUNG DER STICKSTOFFDÜNGUNG IN MAIS-BOHNENBESTÄNDEN

Zur Überprüfung der notwendigen N-Düngermenge für Mais-Stangenbohnen-Gemenge auf langjährig mit organischen Düngemitteln versorgten Flächen wurden 2019 auf einer Praxisfläche in Ostrach Düngestreifen angelegt.



Abbildung 9: Gärrest-Depot nach dem Ausbringen (links) und nach der Ernte (rechts).

Fotos: Kurt Möller/LTZ



Abbildung 10: Blühende Kapuzinerkresse knapp sieben Wochen nach dem Häckseln

(Foto: Caroline Schumann/LTZ)

1.2.13.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Die N-Gaben über Gärreste für den Mais-Bohnen-Bestand betragen jeweils 100 %, 50 % und 0 % des N-Düngebedarfs eines Silomaisreinbestandes. Als Kontrolle diente jeweils die ortstypische Silomaisorte, die mit 100 % des N-Bedarfs gedüngt wurde. Angelegt wurden vier Demostreifen entsprechend der oben erwähnten Varianten.

Die Aussaat der Mais-Bohnen-Bestände erfolgte mit sieben Pflanzen Mais und drei Pflanzen Bohnen m². Eingesetzt wurden die betriebsüblichen Maissorten („Sofala Duo“) und die Stangenbohne „WAV 612“. Die Kontrolle wurde betriebsüblich mit zehn Maispflanzen pro m² gesät. Erfasst wurden der Trockenmasseertrag und der Trockenmassegehalt, sowie die in 1.2.2.1 beschriebenen Parameter des Erntegutes.

1.2.14 NACHFRUCHTWIRKUNG VON MAIS-BOHNEN IN ÖKOLOGISCHEM WINTERWEIZEN

1.2.14.1 Versuchsdurchführung und Datenerhebung

Im Jahr 2018 wurde auf dem Hofgut Hochburg Mais sowie Mais-Bohnen-Gemenge (Maissorte Figaro, Bohnensorte WAV612) in 36 m breiten Streifen angebaut. Im Herbst 2018 wurden zwei Winterweizensorten (Aristaro, Royal) und zwei Winterweizensortenmischungen (Arowi, Tawi) zweifach wiederholt jeweils nach Mais bzw. Mais-Bohne

ausgesät. Erhobene Parameter im Winterweizen waren der Kornertrag und der Boden-Nitrat-N-Gehalt nach der Vorfruchternte, zum Vegetationsbeginn und nach der Weizenernte.

1.3 Ergebnisse

1.3.1 VERSUCHE ZUR IDENTIFIZIERUNG VON POTENZIELLEN GEMENGEPARTNERN IN MAIS: ARTENSCREENING 1.0

1.3.1.1 Phänologische und ökologische Auswirkungen des Mais-Gemenge-Anbaus

1.3.1.1.1 Blühangebot

Saat-Luzerne und Steinklee wurden unter ökologischen Bedingungen auf Grund ihrer geringen Größe beim Hacken verschüttet, was zu einem Totalausfall trotz hohem Feldaufgang führte. Zudem kam der Steinklee im Schatten des Maisbestandes nicht zum Blühen. Die Sommerwicke boten das früheste aber auch kürzeste Blühangebot. Die Kapuzinerkresse begann an allen Standorten und Jahren knapp 50 Tage nach der Saat zu blühen. Sie blühte zudem auch nach der Ernte bis zum ersten Frost weiter und wertete dadurch die abgeerntete Fläche optisch auf (Abbildung 10). Die Blühphase der Kürbisse begann 60 Tage nach der Aussaat und zog sich bis zur Ernte bzw. bis nach der Ernte. Es wurde in beiden Jahren beobachtet,

TABELLE 11: PFLANZENHÖHEN (CM) DER MAISPFLANZEN IM GEMENGEANBAU AN DEN STANDORTEN ETTLINGEN (ET), TACHENHAUSEN (TH) UND FORCHHEIM AM KAISERSTUHL (FAK) IN DEN JEWEILIGEN JAHREN IN ABHÄNGIGKEIT DES GEMENGEPARTNERS.

		ET		TH			FAK		
		2018	2018	2019		2018	2019		
1	Mais (Kontrolle)	244	303	341	d	234	291	bc	
2	+ Saat-Luzerne	258	299	299	ab	239	294	c	
3	+ Steinklee	245	302	305	ab	246	296	c	
4	+ Sommerwicke	250	297	280	a	234	253	a	
5	+ Kapuzinerkresse	261	303	337	d	245	290	bc	
6	+ Kürbis I	-	299	337	d	250	294		
7	+ Kürbis II	-	307	337	d	249	296	c	
8	+ Bohne I	261	301	334	cd	237	290	bc	
9	+ Bohne II	254	301	-		240	-		
10	+ Kürbis III			294	ab		279	b	
11	+ Mischung I			324	b		297	c	
12	+ Mischung II			286	a		259	a	
	p-Wert	0,817	0,943	<,001	***	0,225	<,001	***	

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern innerhalb eines Standorts und Jahres laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

dass die Bohnen relativ spät nach der Saat mit der Blüte begannen (65–100 Tage) und Blüten nur für einen kurzen Zeitraum vorhanden waren, da der Bestand dann beerntet wurde. Am Standort Forchheim a.K. wurde beobachtet, dass bei großer Trockenheit Blüten abgeworfen wurden bzw. die Blütenneubildung stockte.

1.3.1.1.2 Pflanzenhöhe

In Ettlingen hatten 2018 weder die Höhe der N-Düngung noch der Ablageort des Gemengepartners oder der Gemengepartner einen Einfluss auf die Höhe der Maispflanzen (Tabelle 11). In Tachenhausen und Forchheim a.K. wurde 2018 ebenfalls kein signifikanter Einfluss auf die Pflanzenhöhe durch den Gemengepartner nachgewiesen. Das Vorhandensein von Konkurrenzverhältnissen ließ sich im zweiten Versuchsjahr in Tachenhausen und Forchheim a.K. durch signifikante Unterschiede bei der Pflanzenhöhe des Maises beobachten. Die höchsten Pflanzen in Tachenhausen

wurden mit durchschnittlich 341 cm in der Kontrolle gefunden. Signifikant kleinere Pflanzen als in der Kontrolle wurden in der Variante mit Sommerwicke (280 cm), Kürbis III (294 cm) und Mischung II (286 cm) gemessen. Am Standort Forchheim a.K. unterschieden sich ebenfalls die Variante mit Sommerwicke (253 cm) und Mischung II (259 cm) von der Kontrolle (291 cm). Die höchsten Pflanzen waren in Mischung I zu verzeichnen (297 cm).

1.3.1.1.3 Bodennitrat-N-Gehalt

Der Ablageort des Gemengepartners hatte keinen Einfluss auf die Nitrat-N-Gehalte nach der Ernte in den Schichten 0–30 cm und 30–60 cm. Eine 100 % N-Düngung führte in den obersten beiden Schichten nach der Ernte zu signifikant höheren Nitrat-N-Gehalten als eine 50 % N-Düngung oder eine 0 % Düngung (Tabelle 12). Hingegen wurden keine Unterschiede zwischen einer 0 % und einer 50 % N-Düngung festgestellt. Auch zum Vegetationsende wurde

TABELLE 12: BODENNITRAT-N-GEHALTE (KG HA⁻¹) DER DREI BODENSCHICHTEN 0–30 CM, 30–60 CM UND 60–90 CM SOWOHL NACH DER ERNTE WIE AUCH ZU VEGETATIONSENDE IN ABHÄNGIGKEIT DES FAKTORS N-DÜNGUNG.

N-Düngung	Nach Ernte						Vegetationsende					
	0–30 cm		30–60 cm		60–90 cm	0–30 cm		30–60 cm		60–90 cm		
0%	16,0	a	4,46	a		35,6	a	7,64	a	5,65	a	
50%	21,6	a	5,88	a		55,8	b	9,12	b	6,14	a	
100%	48,7	b	9,18	b		95,3	c	13,5	c	7,55	b	

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern innerhalb eines Standorts und Jahres laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

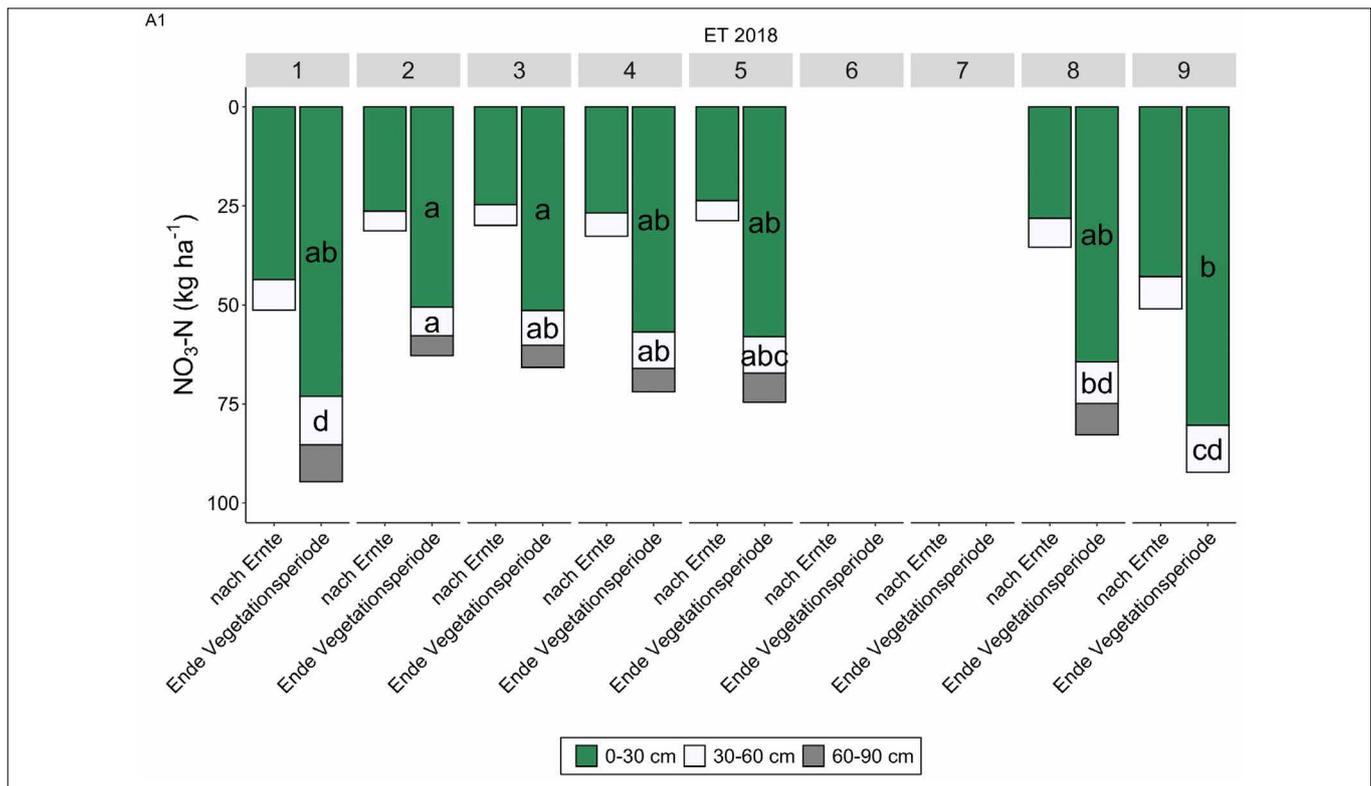


Abbildung 11: Bodennitrat-N-Gehalte nach der Ernte und zum Zeitpunkt des Vegetationsendes in Ettlingen 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern innerhalb eines Termins und einer Schicht laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

beobachtet, dass die Bodennitrat-N-Gehalte bei hohen N-Gaben höher waren.

Nach der Ernte wurden in den einzelnen Bodenschichten keine nachweisbaren Unterschiede in den Nitrat-N-Gehalten durch die Einsaat eines Gemengepartners (Abbildung 11) festgestellt.

Zum Vegetationsende wurde in der obersten (0–30 cm) und der mittleren Schicht (30–60 cm) ein Einfluss des Gemengepartners nachgewiesen. Die Einsaat eines Gemengepartners brachte von 0–30 cm allerdings keine signifikante Veränderung im Vergleich zu einem reinen Maisbestand mit sich. Der Ablageort hatte wieder keinen Einfluss auf die Bodennitrat-N-Gehalte.

Am Standort Tachenhausen wurden 2018 nach der Ernte keine Unterschiede zwischen den Gemengepartnern in den einzelnen Bodenschichten nachgewiesen. Zu Vegetationsende waren ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zu beobachten (Abbildung 12).

Nach der Ernte 2019 wurden in Tachenhausen in keiner Bodenschicht signifikante Veränderungen im Vergleich zur Kontrolle nachgewiesen. Zum Vegetationsende wurden in der Schicht 30–60 cm und 60–90 cm Unterschiede statistisch nachgewiesen werden. Die Variante Mais + Mischung II (Sommerwicke + Bohne II) hatte niedrigere Nitrat-N-Gehalte in der Schicht 30–60 cm.

Auf dem ökologischen Standort Forchheim a.K. wurden nach der Ernte 2018 in der obersten und mittleren Schicht keine signifikanten Einflüsse durch die Verwendung eines Gemengepartners nachgewiesen. Die unterste Schicht von 60–90 cm wiesen die beiden Kürbisse, die beiden Bohnen und die Sommerwicke signifikant höhere Bodennitrat-N-Gehalte als die Kontrolle auf. Zum Vegetationsende 2018 wurden lediglich in der obersten Schicht signifikant höhere Boden-Nitrat-N-Gehalte bei Mais-Sommerwicke verglichen mit der Kontrolle gemessen.

Im zweiten Jahr 2019 waren keine signifikanten Einflüsse der Gemengepartner auf die Nitrat-N-Gehalte in der

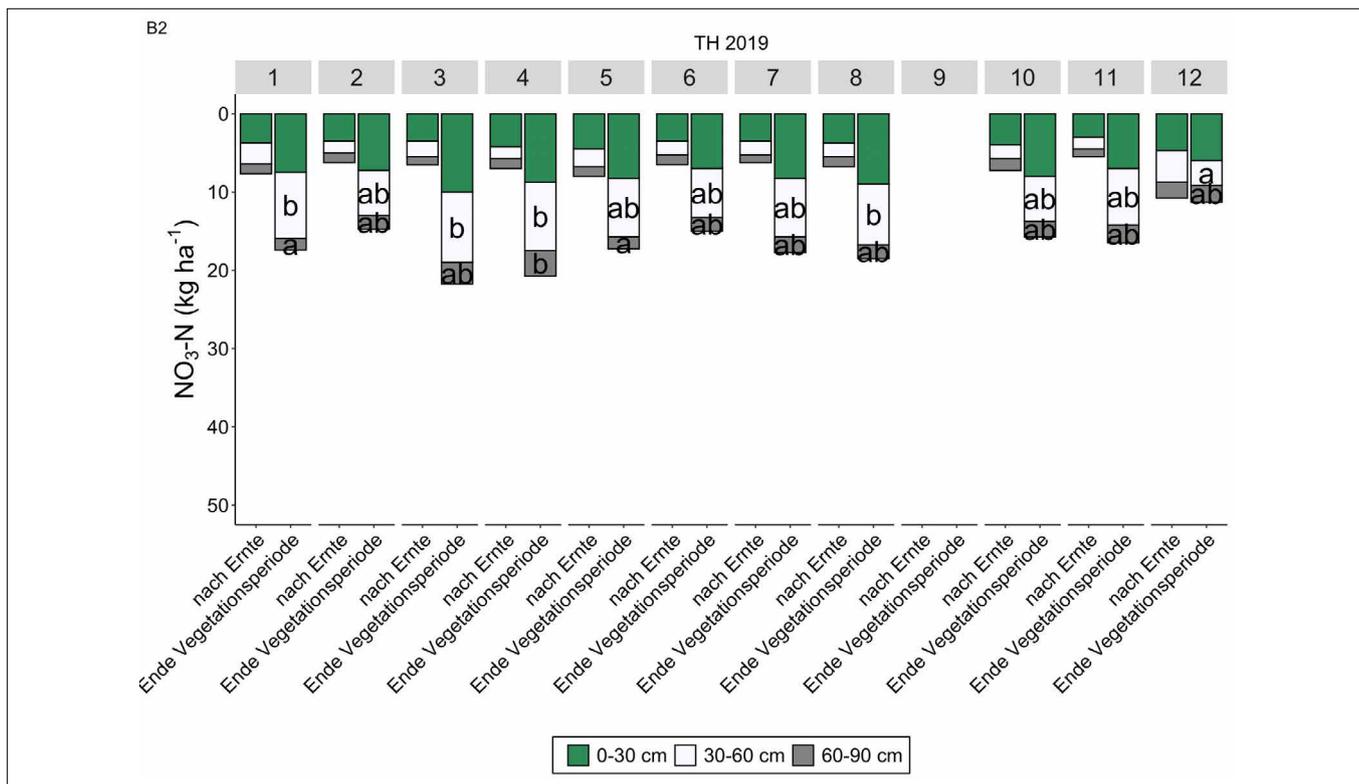


Abbildung 12: Bodennitrat-N-Gehalte nach der Ernte und zum Zeitpunkt des Vegetationsendes in Tachenhausen 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern innerhalb eines Termins und einer Schicht laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

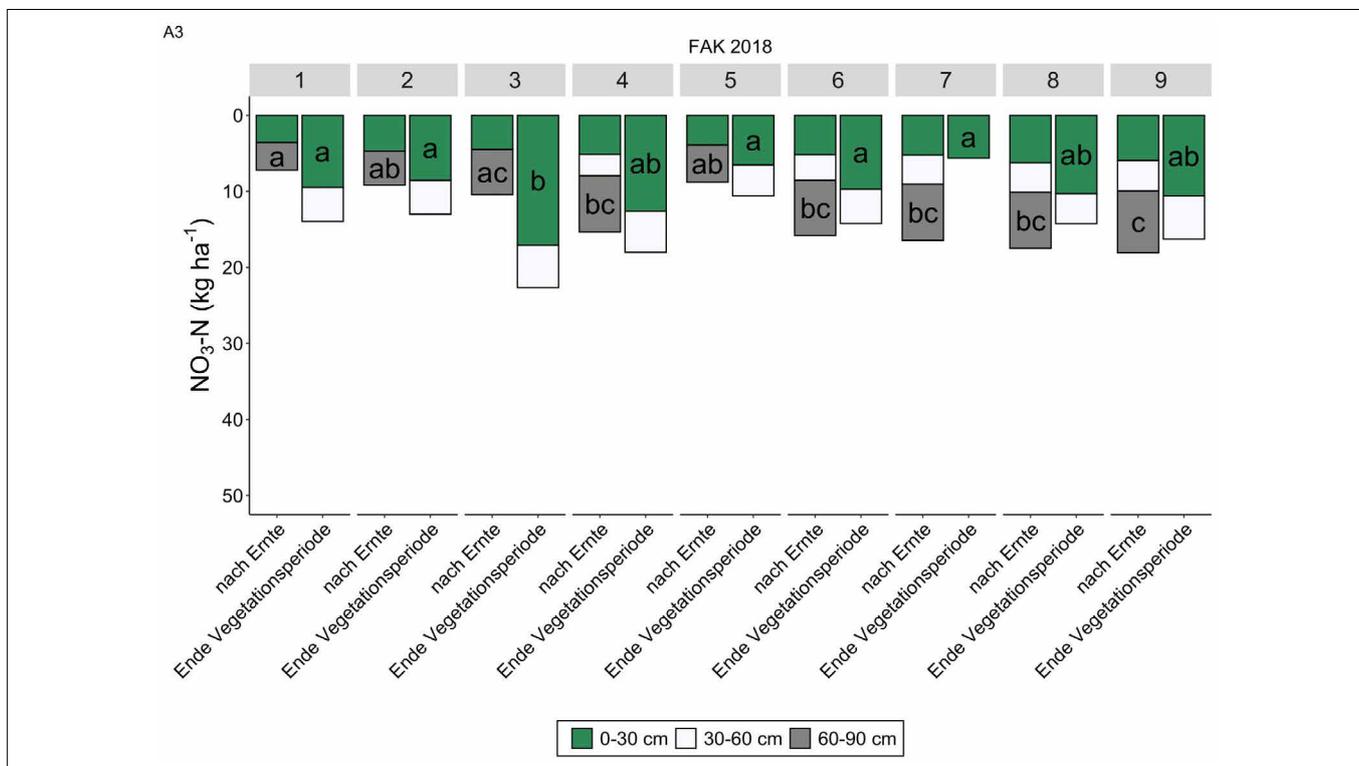


Abbildung 13: Bodennitrat-N-Gehalte nach der Ernte und zum Zeitpunkt des Vegetationsendes in Forchheim a.K. im Jahr 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern innerhalb eines Termins und einer Schicht laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

TABELLE 13: TM-ERTRÄGE IN ETTLINGEN IM JAHR 2018 IN ABHÄNGIGKEIT DER FAKTOREN N-DÜNGUNG UND ABLAGEORT DES GEMENGEPARTNERS.

N-Düngung	(dt ha ⁻¹)	
0 %	132	a
50 %	142	ab
100 %	145	b
p-Wert	0,004	**
Ablageort		
Zwischen den Reihen	142	a
In der Reihe	137	a
p-Wert	0,004	***

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind innerhalb der Faktoren N-Düngung und Ablageort laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

obersten und mittleren Bodenschicht nachweisbar. Der F-Test für die unterste Schicht wies zwar eine Signifikanz auf, jedoch waren die einzelnen Gemengepartner nicht signifikant voneinander verschieden.

1.3.1.2 Einfluss von Düngung, Platzierung der Gemengepartner sowie einzelner Gemengepartner auf die Erträge des Mais-Gemenges

1.3.1.2.1 TM-Ertrag

Am Standort Ettlingen unterschied sich eine Düngung mit 50 % des N-Bedarfs nicht signifikant von einer 100 % Düngung. Trotz einer Signifikanz von 0,004 konnten keine Unterschiede in den TM-Erträgen ermittelt werden, ob der Gemengepartner zwischen die Maisreihen gesät wurde oder in der Maisreihe abgelegt wurde (Tabelle 13). Die Kombination aus Düngung und Ablageort hatte keinen signifikanten Einfluss auf den TM-Ertrag

Der Gemengepartner hatte in jedem Jahr und an jedem Standort signifikante Einflüsse auf den TM-Ertrag, außer in Forchheim a.K. 2018 (Abbildung 16). In Ettlingen 2018 wies der Gemengeanbau mit den beiden Bohnen und der Kapuzinerkresse vergleichbare TM-Erträge wie die Kontrolle auf (Abbildung 14). Die Differenz zwischen Kontrolle und dem Gemengeanbau mit Kapuzinerkresse betrug lediglich 14,0 dt ha⁻¹. In Tachenhausen wurde in keinem der beiden Versuchsjahre ein nachweisbarer Unterschied zwischen reinem Maisanbau und Mais im Gemengeanbau nachgewiesen (Abbildung 15 und Abbildung 17). Im Jahr 2018 lagen die TM-Erträge trockenheitsbedingt in

der Kontrolle bei 134 dt ha⁻¹, während 2019 179 dt ha⁻¹ erzielt wurden. Unter ökologischen Bedingungen wies die ANOVA zwar auf Signifikanz hin, allerdings unterschieden sich 2018 die Varianten ausweislich des post hoc-Tests nicht untereinander und auch nicht von der Kontrolle (Abbildung 16).

Die Ergebnisse der Fraktionierung des Erntematerials in die Teile Mais und Gemengepartner, ggf. noch Unkraut zeigen an allen Standorten und Jahren, dass der Mais im Gemengeanbau weiterhin der Hauptbiomassebildner bleibt, die Gemengepartner leisten nur einen kleinen oder gar keinen Beitrag zum Biomassertrag. Besonders in Ettlingen wurde beobachtet, dass der Anteil an Unkräutern hoch war (Abbildung 14). Teilweise haben Unkräuter einen Anteil von 13–15 dt ha⁻¹ (Saat-Luzerne und Steinklee) am Ertrag ausgemacht, wenn eine standortangepasste Unkrautregulierung nicht möglich war. In Tachenhausen ergab die Fraktionierung, dass im Trockenjahr 2018 die Gemengepartner weniger als 10 dt ha⁻¹ zum Ertrag beitragen, wovon die beiden Bohnensorten mit 5,39 und 6,72 dt ha⁻¹ von allen Gemengepartnern die höchsten Anteile erbrachten (Abbildung 15). In einem feuchteren Jahr, wie 2019, trug die Bohne I mit knapp über 30 dt ha⁻¹ zum Gesamttrockenmasseertrag bei (Abbildung 17). Am ökologisch bewirtschafteten Standort Forchheim a.K. wurde ebenfalls nachgewiesen, dass eine Unkrautregulierung von entscheidendem Erfolg für das System Mais-Gemenge ist. Im Jahr 2018 gestaltete sich die Unkrautregulierung dort schwieriger als 2019. Dies führte dazu, dass durchschnittlich bis zu 5 dt ha⁻¹ des gesamten TM-Ertrages auf Unkraut zurückzuführen waren (Abbildung 16).

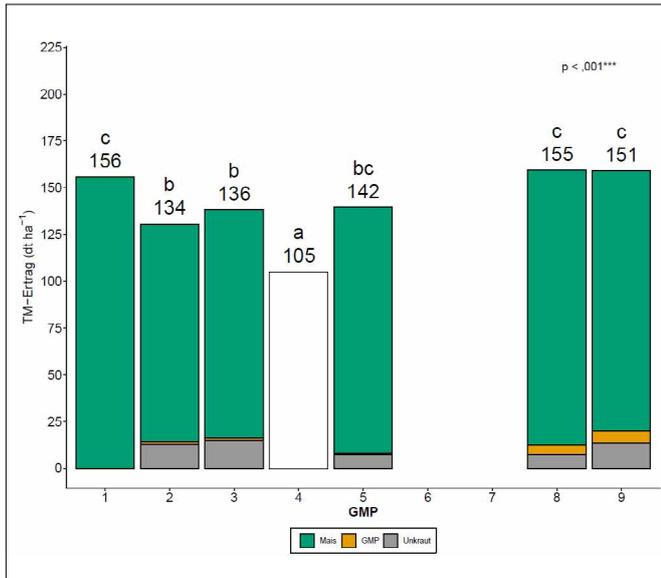


Abbildung 14: Gesamttrockenmasseerträge des Mais-Gemenges für Ettligen 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Das obere Ende jedes farbigen Abschnitts gibt den jeweiligen Anteil der Fraktionen Mais, Gemengepartner und Unkraut am Gesamttrockenmasseertrag an. Ein weißer Balken bedeutet, für diese Variante wurde keine Fraktionierung in Mais, Gemengepartner und Unkraut vorgenommen.

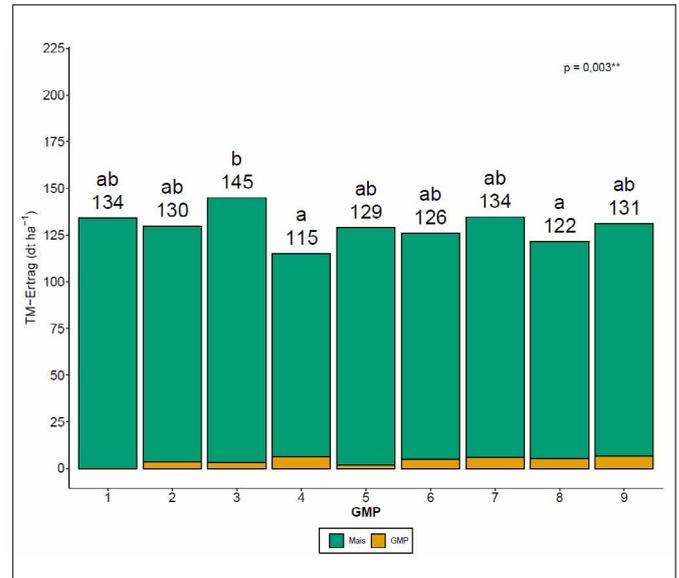


Abbildung 15: Gesamttrockenmasseerträge des Mais-Gemenges für Tachenhauzen 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Das obere Ende jedes farbigen Abschnitts gibt den jeweiligen Anteil der Fraktionen Mais und Gemengepartner am Gesamttrockenmasseertrag an.

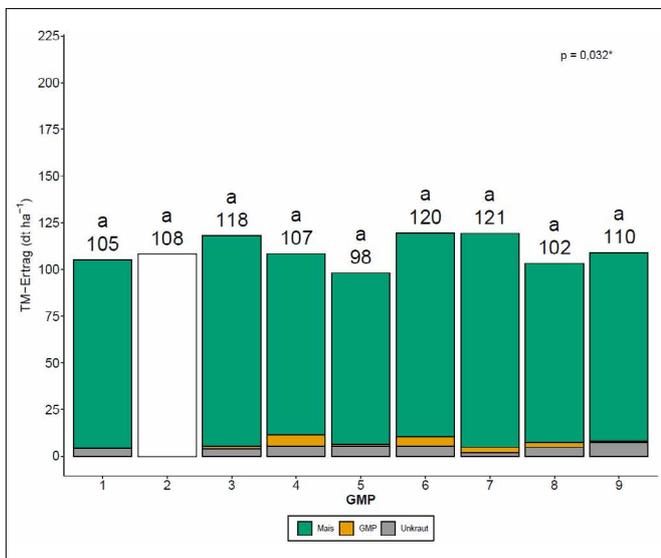


Abbildung 16: Gesamttrockenmasseerträge des Mais-Gemenges für Forchheim a.K. 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Das obere Ende jedes farbigen Abschnitts gibt den jeweiligen Anteil der Fraktionen Mais, Gemengepartner und Unkraut am Gesamttrockenmasseertrag an. Ein weißer Balken bedeutet, für diese Variante wurde keine Fraktionierung in Mais, Gemengepartner und Unkraut vorgenommen.

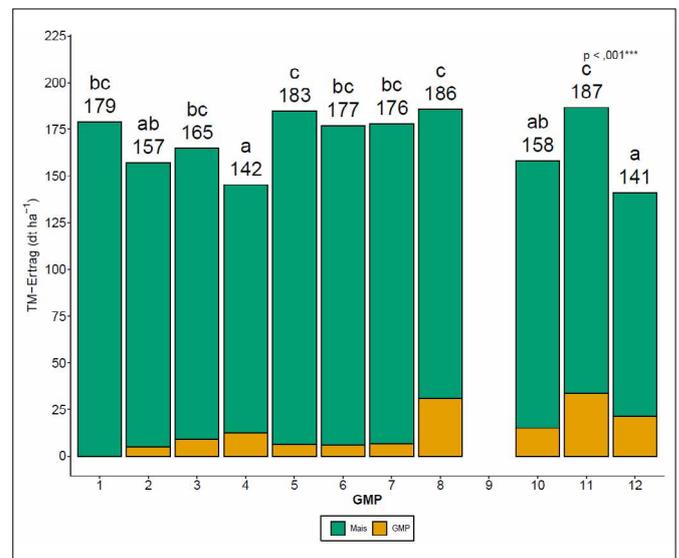


Abbildung 17: Gesamttrockenmasseerträge des Mais-Gemenges für Tachenhauzen 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Das obere Ende jedes farbigen Abschnitts gibt den jeweiligen Anteil der Fraktionen Mais und Gemengepartner am Gesamttrockenmasseertrag an.

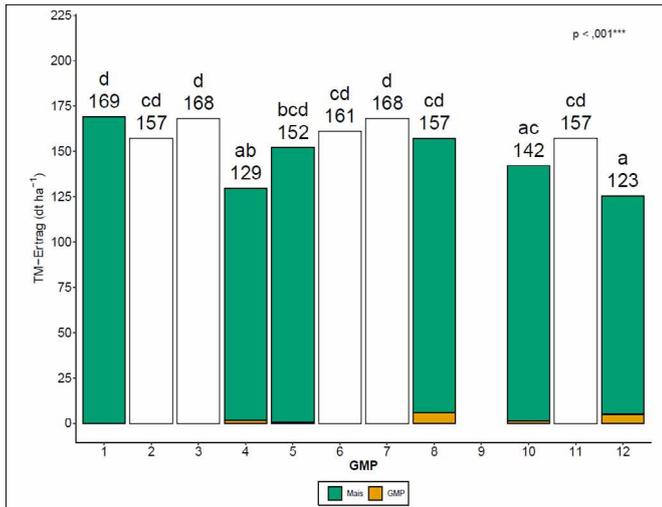


Abbildung 18: Gesamttrockenmasseerträge des Mais-Gemenges für Forchheim a.K. 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Das obere Ende jedes farbigen Abschnitts gibt den jeweiligen Anteil der Fraktionen Mais, Gemengepartner und Unkraut am Gesamttrockenmasseertrag an. Ein weißer Balken bedeutet, für diese Variante wurde keine Fraktionierung in Mais, Gemengepartner und Unkraut vorgenommen.

1.3.1.2.2 Biogas- und Methanerträge

Die Ausbeute für Biogas- und Methanerträge waren im Jahr 2018 in Ettlingen nicht vom Ablageort des Gemengepartners abhängig. Allerdings hatte sich in diesem Jahr gezeigt, dass eine Stickstoff-Düngung einen signifikanten Einfluss auf die Biogasausbeute, aber nicht auf den Methanertrag hat. Die Biogaserträge zwischen keiner N-Düngung und einer 100 % N-Düngung unterschieden sich um $5 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ (Tabelle 14).

TABELLE 14: BIOGAS- UND METHANERTRAG IN ABHÄNGIGKEIT DER FAKTOREN N-DÜNGUNG UND ABLAGEORT DES GEMENGEPARTNERS.

	Biogasertrag ($\text{l kg}^{-1} \text{ oTM}$)		Methanertrag
N-Düngung			
0%	554	b	298
50%	552	b	299
100%	549	a	298
p-Wert	< 0,001	***	0,714
Ablageort			
Zwischen den Reihen	552		299
In der Reihe	551		298
p-Wert	0,546		0,733

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind innerhalb der Faktoren N-Düngung und Ablageort laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

Der Einsatz der Gemengepartner hatte einen signifikanten Einfluss unter konventionellen Bedingungen, jedoch nicht unter ökologischen. In Ettlingen wurden beim Gemengeanbau mit Sommerwicke signifikant niedrigere Biogas- und Methanerträge nachgewiesen. Die Kontrolle erzielte Erträge von $556 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ Biogas und $300 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ Methan, während beim gemeinsamen Anbau mit Sommerwicke diese Werte mit 539 und $294 \text{ l kg}^{-1} \text{ oTM}$ deutlich niedriger waren.

Für Tachenhäuser waren die Veränderungen abhängig vom Jahr. Während 2018 der Biogas- und Methanertrag signifikant durch den Gemengeanbau mit Bohne I gesteigert wurden, wurden 2019 die Erträge durch diesen Gemengepartner reduziert (Abbildung 19 und Abbildung 20).

Am Standort Forchheim a.K. wurde in keinem Versuchsjahr ein Unterschied für die beiden untersuchten Parameter Biogas und Methan beobachtet.

1.3.1.2.3 Gesamtenergie (GE), metabolisierbare Energie (ME) und Netto-Energie für die Laktation (NEL)

Ein Einfluss der N-Düngung wurde lediglich auf die Menge an GE beobachtet (Tabelle 15). Der Ablageort des Gemengepartners hatte auf keinen der Parameter einen Einfluss. Anders ist es der Fall beim Gemengepartner an sich. In Ettlingen wurde beobachtet, dass bei gemeinsamem Anbau von Mais mit Sommerwicke die Gehalte an GE, ME und NEL signifikant geringer waren wie bei reinem Silomais. Dieser Effekt wurde aber nur in Ettlingen beobachtet. In Tachenhäuser unterschied sich 2018 keine Gemengevariante

TABELLE 15: GESAMTENERGIE (GE), UMSETZBARE ENERGIE (ME) UND NETTO-ENERGIE-LAKTATION (NEL) (JEWEILS $\text{MJ kg}^{-1} \text{ OTM}$) IN ABHÄNGIGKEIT DER FAKTOREN N-DÜNGUNG UND ABLAGEORT DES GEMENGEPARTNERS.

Faktor	GE		ME	NEL
N-Düngung				
0%	18,1	a	10,6	6,39
50%	18,3	b	10,6	6,37
100%	18,3	ab	10,6	6,40
p-Wert	0,021	*	0,849	0,855

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind innerhalb der Faktoren N-Düngung und Ablageort laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

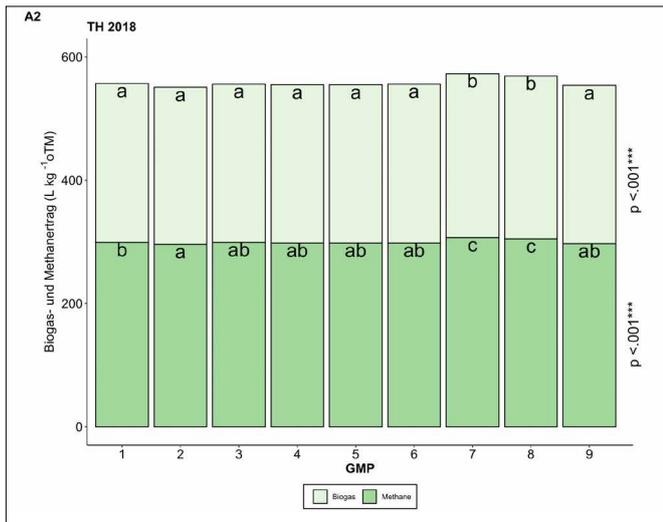


Abbildung 19: Biogas- und Methanertrag für Tachenhausen 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern innerhalb eines Parameters laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Das obere Ende jedes farbigen Abschnitts gibt den jeweiligen Wert für Biogas und Methan an.

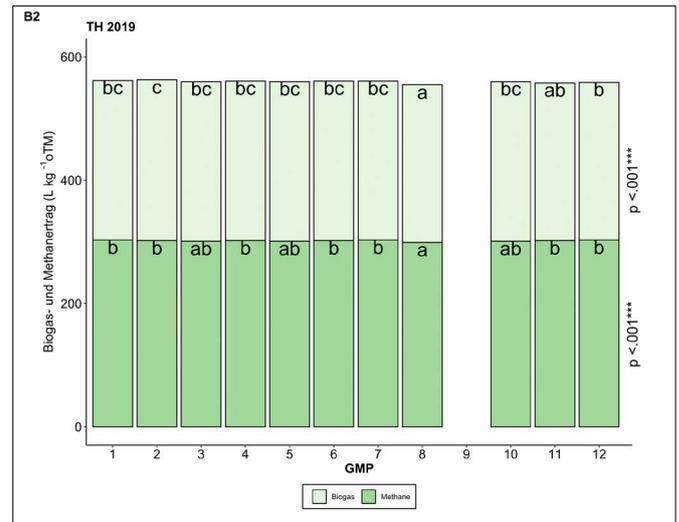


Abbildung 20: Biogas- und Methanertrag für Tachenhausen 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern innerhalb eines Parameters laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Das obere Ende jedes farbigen Abschnitts gibt den jeweiligen Wert für Biogas und Methan an.

von der Kontrolle. Im Jahr 2019 hatten alle Mischbauvarianten geringere GE-Gehalte wie die Kontrolle, außer beim Einsatz von Saat-Luzerne (Abbildung 21). Bei den ME und NEL-Gehalten hatte nur der Einsatz der Bohne I signifikant niedrigere Gehalte, wie die Kontrolle. Am ökologisch

bewirtschafteten Standort Forchheim a.K. wurden 2018 keine signifikanten Unterschiede beim Einsatz eines Mais-Gemenges nachgewiesen. Im Jahr 2019 wurden nur beim GE nachweisbare Unterschiede ermittelt (Abbildung 22).

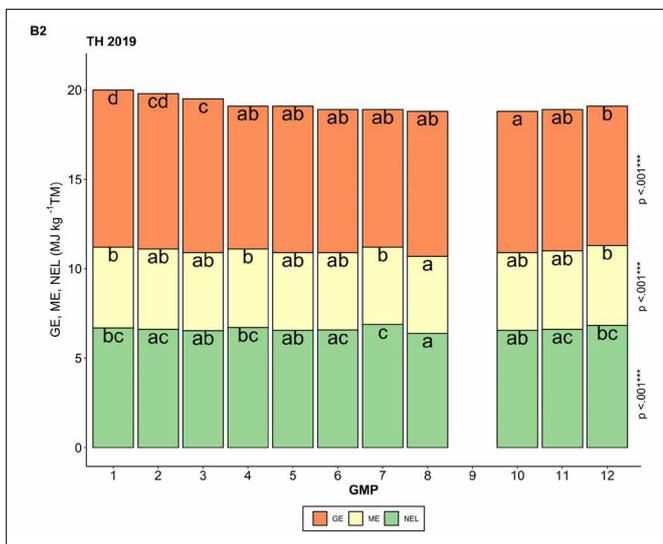


Abbildung 21: Gesamtenergie (GE), umsetzbare Energie (ME) und Netto-Energie-Laktation (NEL) für Tachenhausen 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern innerhalb eines Parameters laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Das obere Ende jedes farbigen Abschnitts gibt den jeweiligen Wert für GE, ME und NEL an.

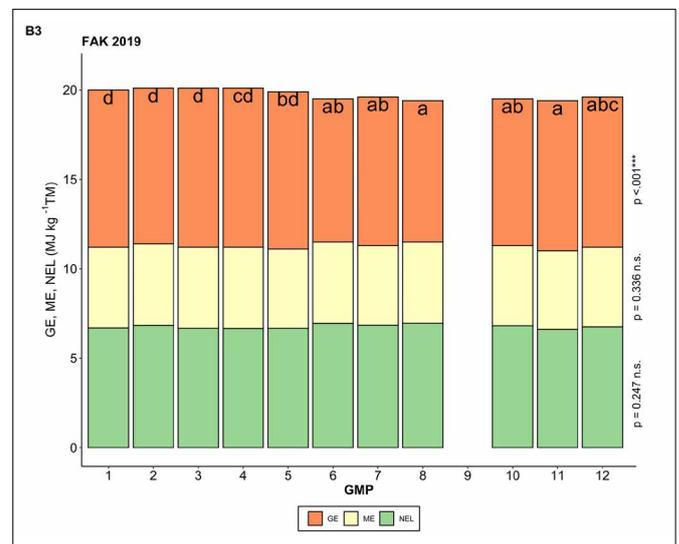


Abbildung 22: Gesamtenergie (GE), umsetzbare Energie (ME) und Netto-Energie-Laktation (NEL) für Forchheim a.K. 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern innerhalb eines Parameters laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Das obere Ende jedes farbigen Abschnitts gibt den jeweiligen Wert für GE, ME und NEL an.

TABELLE 16: TM-GEHALTE (%) IN ABHÄNGIGKEIT DER FAKTOREN N-DÜNGUNG, ABLAGEORT DES GEMENGEPARTNERS UND GEMENGEPARTNER FÜR DIE VERSUCHSSTANDORTE ETTLINGEN (ET), TACHENHAUSEN (TH) UND FORCHHEIM AM KAISERSTUHL (FAK) IN DEN EINZELNEN VERSUCHSJAHREN.

Faktor	ET		TH				FAK		
	2018		2018		2019		2018	2019	
1 Mais (Kontrolle)	32,6	ab	28,7	ab	32,7	a	39,7	34,6	bc
2 + Saat-Luzerne	32,7	ab	32,3	bc	32,0	a	38,1	34,1	ac
3 + Steinklee	32,7	ab	33,7	c	32,4	a	40,6	35,2	c
4 + Sommerwicke	31,0	a	30,6	ac	30,6	a	38,3	35,3	c
5 + Kapuzinerkresse	34,0	b	31,1	ac	32,7	a	39,2	34,6	bc
6 + Kürbis I	-		29,0	ac	32,5	a	40,7	34,6	bc
7 + Kürbis II	-		30,5	ac	32,2	a	40,3	34,0	ac
8 + Bohne I	32,4	ab	27,0	a	29,5	a	37,9	33,1	ac
9 + Bohne II	31,4	a	29,0	ac	-		39,3	-	
10 + Kürbis III					32,1	a		34,9	c
11 + Mischung I					30,0	a		31,6	ac
12 + Mischung II					29,1	a		32,0	ab
p-Wert	0,012	*	0,003	**	0,010	*	0,096	<,001	***

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartner innerhalb eines Standorts und Jahres laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

Während der Gemengeanbau mit Saat-Luzerne, Steinklee, Sommerwicke und Kapuzinerkresse keine signifikanten Unterschiede zu einem reinen Maisbestand aufwies, wurden für die anderen Gemengepartner signifikant niedrigere Gehalte nachgewiesen. ME und NEL wurden durch den Gemengeanbau nicht beeinflusst.

1.3.1.3 Einfluss von Düngung, Platzierung der Gemengepartner sowie einzelner Gemengepartner auf die Qualität des Mais-Gemenge-Erntegutes

1.3.1.3.1 TM-Gehalt

Der TM-Gehalt wurde weder durch N-Düngung noch durch den Ablageort des Gemengepartners beeinflusst (Tabelle 16). Nur der Gemengepartner hatte einen Einfluss

auf den TM-Gehalt. In allen Jahren wurde nachgewiesen, dass der TM-Gehalt trotz Gemengeanbau zur Ernte in einem silierbaren Bereich zwischen 30–40 % lag. Lediglich Forchheim a.K. bildete 2018 aufgrund einer ungewöhnlich schnellen Abreife mit teilweise hohen TM-Gehalten zur Ernte eine Ausnahme.

1.3.1.3.2 Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, Rohasche, Stickstofffreie Extraktstoffe

Die N-Düngung hatte einen signifikanten Einfluss auf den XP- und den NfE-Gehalt, ein Einfluss durch den Ablageort gab es nicht (Tabelle 17). Je höher die N-Düngung war, desto höher waren die XP-Gehalte und dementsprechend niedriger die NfE-Gehalte. Die Gehalte an XL, XF und XA wurden nicht beeinflusst.

TABELLE 17: GEHALTE AN ROHPROTEIN (XP), ROHFETT (XL), ROHFASER (XF), ROHASCHE (XA) UND STICKSTOFFFREIEN EXTRAKTSTOFFEN (NFE) (JEWEILS IN % TM) IN ABHÄNGIGKEIT DER FAKTOREN N-DÜNGUNG UND ABLAGEORT DES GEMENGEPARTNERS.

Faktor	XP		XL	XF	XA	NfE	
N-Düngung							
0%	6,62	a	2,01	21,5	4,46	70,5	b
50%	7,83	b	2,23	21,6	4,65	68,9	ab
100%	8,91	c	2,09	21,2	4,73	68,3	a
p-Wert	<,001	***	0,407	0,694	0,324	0,003	**

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind innerhalb der Faktoren N-Düngung und Ablageort laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

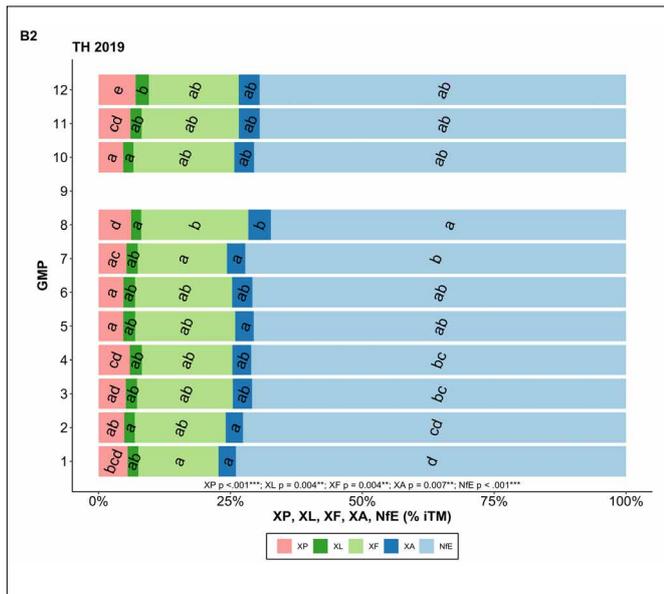


Abbildung 23: Gehalte an Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF), Rohasche (XA) und stickstofffreien Extraktstoffen (NfE) für Tachenhausen 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern innerhalb eines Parameters laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

Der Gemengepartner hatte einen signifikanten Einfluss auf die genannten Parameter. So konnte für den XP-Gehalt in Ettlingen 2018 nachgewiesen werden, dass durch den Gemengeanbau mit Sommerwicke die Gehalte signifikant gesteigert wurden, von 7,08 % TM im reinen Maisanbau auf 9,97 % beim Gemengeanbau. In Tachenhausen wurde im selben Jahr beobachtet, dass beim gemeinsamen Anbau mit Kapuzinerkresse und den beiden Kürbissen I und II die XP-Gehalte signifikant geringer waren. Im zweiten Jahr wurden ebenfalls wieder bei der Kapuzinerkresse niedrigere XP-Gehalte nachgewiesen, ebenso für Kürbis I und III. Hingegen bewirkte die Einsatz von Mischung II eine Steigerung der Gehalte (Abbildung 23). Für den ökologischen Standort Forchheim a.K. wurde in beiden Jahren Unterschiede zwischen dem reinen Maisanbau und dem Mais-Gemengeanbau nachgewiesen. Während 2018 Kürbis I geringere XP-Gehalte als die Kontrolle hatte, wies 2019 die Sommerwicke höhere Gehalte auf (Abbildung 24 und Abbildung 25).

Für die XL-Gehalte wurden in keinem Jahr an keinem Standort Unterschiede zum reinen Maisanbau nachgewiesen. Für den XF-, XA- und NfE-Gehalt lässt sich keine

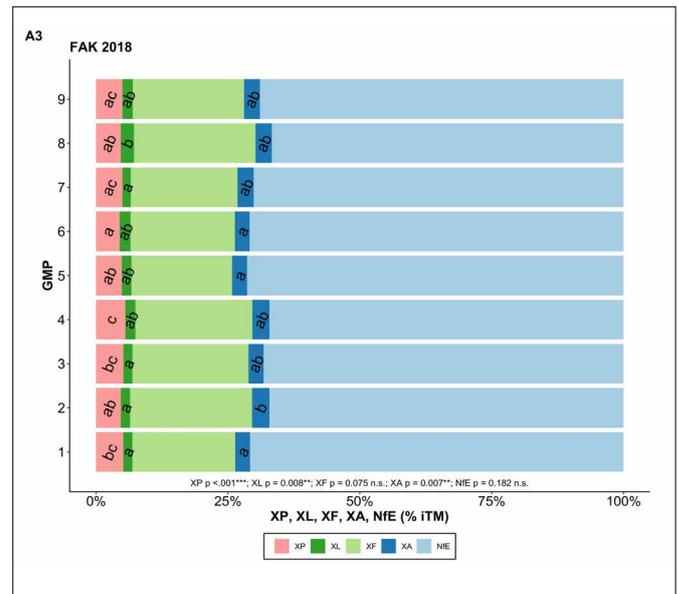


Abbildung 24: Gehalte an Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF), Rohasche (XA) und stickstofffreien Extraktstoffen (NfE) für Forchheim a.K. 2018 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern innerhalb eines Parameters laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

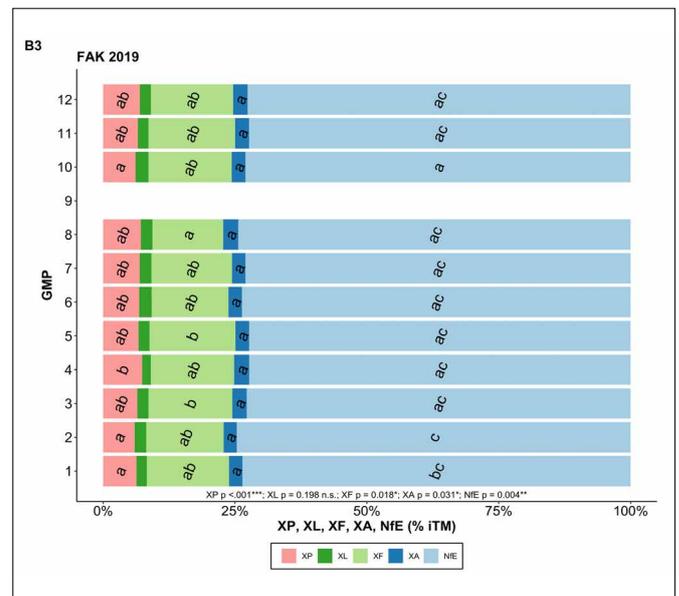


Abbildung 25: Gehalte an Rohprotein (XP), Rohfett (XL), Rohfaser (XF), Rohasche (XA) und stickstofffreien Extraktstoffen (NfE) für Forchheim a.K. 2019 in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (1 Mais (Kontrolle), 2 Mais + Saat-Luzerne, 3 Mais + Steinklee, 4 Mais + Sommerwicke, 5 Mais + Kapuzinerkresse, 6 Mais + Kürbis I, 7 Mais + Kürbis II, 8 Mais + Bohne I, 9 Mais + Bohne II, 10 Mais + Kürbis III, 11 Mais + Mischung I, 12 Mais + Mischung II). Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Gemengepartnern innerhalb eines Parameters laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

klare Tendenz erkennen, welche Gemengepartner einen Einfluss auf den Gehalt hatten. Dies ist je nach Jahr und Standort unterschiedlich.



TABELLE 18: MINERALSTOFFGEHALTE DES MAIS-GEMENGES IN ABHÄNGIGKEIT DER FAKTOREN N-DÜNGUNG, ABLAGEORT GEMENGEPARTNER UND GEMENGEPARTNER FÜR ALLE VERSUCHSSTANDORTE UND JAHRE.

	N										P								
	2018					2019					2018				2019				
	ET	TH	FAK	TH	FAK	ET	TH	FAK	ET	TH	FAK	TH	FAK	TH	FAK				
N-Düngung																			
0 %	1,05	a								0,18	a								
50 %	1,25	b								0,16	b								
100 %	1,43	c								0,16	b								
p-Wert	< ,001	***								< ,001	***								
GMP																			
1 Mais (Kontrolle)	1,12	a	0,90	ab	0,88	ab	1,08	d	1,18	a	0,16	a	0,15	a	0,18	1,02	ab	0,20	bc
2 + Saat-Luzerne	1,17	a	0,89	ab	0,85	a	0,93	ac	1,10	a	0,17	a	0,14	a	0,17	1,04	ab	0,18	ac
3 + Echter Steinklee	1,24	a	0,85	a	0,85	a	0,95	ad	1,20	ab	0,16	a	0,15	ab	0,16	1,05	ac	0,19	bc
4 + Sommerwicke	1,58	b	0,90	ab	0,98	b	1,06	bcd	1,38	b	0,22	b	0,15	ab	0,17	1,27	c	0,20	c
5 + Kapuzinerkresse	1,14	a	0,88	ab	0,85	a	0,83	a	1,23	ab	0,15	a	0,14	a	0,18	0,90	a	0,16	ab
6 + Kürbis I	-		0,85	a	0,80	a	0,83	a	1,23	ab	-		0,16	ab	0,16	1,01	ab	0,18	ac
7 + Kürbis II	-		0,84	a	0,83	a	0,91	ab	1,25	ab	-		0,16	ab	0,17	1,09	bc	0,18	ac
8 + Bohne I	1,19	a	0,90	ab	0,79	a	1,06	cd	1,27	ab	0,16	a	0,15	ab	0,16	1,02	ab	0,17	ac
9 + Bohne II	1,26	a	0,97	b	0,83	a	-	-	-	-	0,16	a	0,17	b	0,16	-	-	-	-
10 + Kürbis III							0,80	a	1,10	a						1,00	ab	0,16	ab
11 + Mischung I							1,04	bcd	1,20	ab						1,04	ab	0,15	a
12 + Mischung II							1,23	e	1,27	ab						1,17	bc	0,16	ab
p-Wert	0,003	**	0,011	*	0,003	**	< ,001	***	< ,001	***	< ,001	***	0,009	**	0,301	< ,001	***	< ,001	***

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind innerhalb der einzelnen Faktoren innerhalb eines Standorts und Jahres laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Bei den angegebenen Werten handelt es sich um die Elementarform (P, K, Mg), um die Oxidform zu erhalten ($P2O_5$, K_2O , MgO) muss der jeweilige Wert mit den folgenden Faktoren multipliziert werden: $P \times 2,2914 = P2O_5$, $K \times 1,205 = K_2O$, $Mg \times 1,658 = MgO$

1.3.1.3.3 Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium

Mit einer Steigerung der N-Düngung stiegen die N-Gehalte und sanken die P-Gehalte 2018 in Ettlingen signifikant (Tabelle 18). Ein Einfluss auf die K- und Mg-Gehalte wurde nicht beobachtet. Die Auswahl des Ablageortes der Gemengepartner hatte keinen Einfluss auf die Mineralstoffgehalte.

Die Einsaat eines Gemengepartners führte in allen Jahren an allen Standorten zu signifikanten Veränderungen im N-Gehalt. In Trockenjahr 2018 wurde beobachtet, dass in Tachenhausen und Forchheim a.K. keine Gemengevarianze signifikante Unterschiede zur Kontrolle verzeichnete. Im Jahr 2019 ließ sich keine klare Tendenz erkennen. In Tachenhausen hatten nahezu alle legumen Gemengepartner (außer Saat-Luzerne und Mischung II) vergleichbare N-Gehalt wie die Kontrolle. Tendenziell wurden in den beiden Jahren in Ettlingen und Forchheim a.K. höhere N-Gehalte durch den gemeinsamen Anbau mit Sommerwicke erzielt. Ein klarer Einfluss auf den P-Gehalt durch einen

speziellen Gemengepartner wurde nicht beobachtet. Zwar gab es signifikante Unterschiede je nachdem welcher GMP verwendet wurde, doch variierten diese je nach Jahr und Standort. Die Gehalte an K und Mg waren unter ökologischen Bedingungen bei der Einsaat der Saat-Luzerne erhöht. In Ettlingen wurden diese beiden Gehalte 2018 durch den Gemengeanbau mit Sommerwicke signifikant erhöht.

1.3.2 ANGEPASSTE VERSUCHE ZUR IDENTIFIZIERUNG VON POTENZIELLEN GEMENGEPARTNERN IN MAIS: ARTENSCHREIBUNG 2.0

1.3.2.1 Tachenhausen (konventionell)

1.3.2.1.1 Phänologische und ökologische Auswirkungen des Mais-Gemenge-Anbaus

1.3.2.1.1.1 Pflanzenbestand

Im Jahr 2020 wurde der Zielpflanzenbestand des Mais erreicht, 2021 standen bedingt durch einen Hagelscha-

	K									Mg								
	2018					2019				2018					2019			
	ET		TH		FAK		TH		FAK	ET		TH		FAK		TH		FAK
	1,58									0,15								
	1,62									0,15								
	1,69									0,15								
	0,158									0,698								
	1,34	a	1,14	a	0,81	a	0,98	a	0,78	0,13	a	0,11	a	0,13	ab	0,11	ab	0,17
	1,62	a	1,16	a	0,96	bc	1,08	ab	0,79	0,15	a	0,12	ab	0,15	c	0,11	ab	0,15
	1,65	a	1,20	a	0,84	ab	1,10	ab	0,76	0,15	a	0,12	ab	0,13	abc	0,11	ab	0,15
	2,74	b	1,10	a	0,96	c	1,12	ab	0,80	0,24	b	0,10	ab	0,15	bc	0,12	b	0,17
	1,44	a	1,10	a	0,79	a	0,95	a	0,76	0,13	a	0,11	a	0,13	abc	0,10	a	0,15
	-		1,24	a	0,78	a	0,98	a	0,75	-		0,13	b	0,12	a	0,11	ab	0,15
	-		1,16	a	0,84	ab	0,98	a	0,78	-		0,11	a	0,14	ac	0,11	ab	0,15
	1,27	a	1,23	a	0,88	ac	1,26	b	0,83	0,12	a	0,12	ab	0,13	ac	0,12	b	0,15
	1,37	a	1,26	a	0,82	a			-	0,13	a	0,12	ab	0,14	ac			-
							1,06	ab	0,79							0,11	ab	0,16
							1,13	ab	0,87							0,12	b	0,16
							1,02	a	0,82							0,12	ab	0,16
	< ,001	***	0,049	*	< ,001	***	< ,001	***	0,095	< ,001	***	0,005	**	0,003	*	0,001	**	0,147

TABELLE 19: ANGESTREBTER ZIELBESTAND UND PFLANZENANZAHL KURZ VOR DER ERNTE IN TACHENHAUSEN IN DEN VERSUCHSJAHREN 2020 UND 2021.

Variante	Zielbestand		2020	2020	2021	2021
	Mais	GMP	Mais Ernte	GMP Ernte	Mais Ernte	GMP Ernte
	(Kö. m ⁻²)		(Pfl. m ⁻²)			
Kontrolle Mais	8	0	8,2	0	6,5	0
Mais + Kapuzinerkresse	8	4,5	7,3	3,8	4,9	3,8
Mais + Ackerbohne	8	4,5	6,6	vertrocknet	5,1	vertrocknet
Mais + Erbse	8	4,5	6,3	vertrocknet	4,7	vertrocknet
Mais + Sonnenblume	8	2,0	6,3	2,3	6,3	1,1

den zum Erntezeitpunkt nur 6,5 anstatt der angestrebten 8 Pfl. m⁻² (Tabelle 19). Zum anderen lag die Anzahl an Maispflanzen in den Gemenge-Varianten unterhalb des angestrebten Pflanzenbestandes, was sich durch die Saat als Saatgutmischung erklären lässt. Die Kapuzinerkresse war in beiden Jahren mit 3,8 Pfl. m⁻² im Gemenge vertreten, was der angestrebten Pflanzenanzahl sehr nahekommt. Sonnenblumen waren 2020 mit 2,3 Pfl. m⁻² vorhanden und witterungsbedingt 2021 nur 1,1 Pfl. m⁻². Erbse und Ackerbohne waren in beiden Jahren zum Zeitpunkt der Ernte bereits vertrocknet.

1.3.2.1.1.2 Blühangebot

Erbse und Ackerbohne lieferten mit 56 (2020) bzw. 55 (2021) Tagen zwischen Aussaat bis Beginn der Blüte ein frühes, aber kurzes Blühangebot, da es gerade einmal 35 (2020) bzw. 25 Tage (2021) andauerte. Dieses kurze Blühangebot wurde auch unter ökologischen Bedingungen beobachtet (1.3.1.1). Sonnenblume und Kapuzinerkresse boten Blüten von Mitte Juli bis Ende August bzw. Anfang September oder blühten 2021 noch nach der Ernte weiter (Kapuzinerkresse). Bei der Kapuzinerkresse war dies von

der verwendeten Art abhängig. Im Jahr 2020 wurde die Kletternde Kapuzinerkresse (*T. peregrinum*) geprüft. Diese hat, anders als die Große Kapuzinerkresse (*T. majus*), 2021 nach der Ernte keine Blüten mehr ausgebildet. *T. peregrinum* hatte einen sehr filigranen Wuchs.

1.3.2.1.1.3 Pflanzenhöhe

In beiden Jahren wurde in Tachenhausen kein signifikanter Einfluss auf die Maispflanzenhöhe durch den Gemengepartner nachgewiesen.

1.3.2.1.1.4 Bodennitrat-N-Gehalt

Am Standort Tachenhausen wurden im Versuchsjahr 2020 weder nach der Ernte noch zu Vegetationsende signifikante Unterschiede im Bodennitrat-N-Gehalt (0–90 cm) nachgewiesen. Auch 2021 wurde an keinem der beiden Termine ein signifikanter Einfluss auf den Bodennitrat-N-Gehalt durch die Gemengepartner nachgewiesen. Nach der Ernte lagen die Bodennitrat-N-Gehalte bei 20 kg ha⁻¹, lediglich die Maiskontrolle wies Gehalte von 24 kg ha⁻¹ auf. Zum Vegetationsende lagen die Gehalte im Mais unverändert bei 20 kg ha⁻¹.

1.3.2.1.2 Einfluss des Gemengepartners auf die Erträge des Mais-Gemenges

1.3.2.1.2.1 TM-Ertrag

In Tachenhausen wurden 2020 keine signifikanten Unterschiede im Gesamt-Trockenmasseertrag nachgewiesen (Abbildung 26), anders als unter ökologischen Bedingungen (1.3.2.2.1). Die höchsten TM-Erträge hatte die Variante mit Kapuzinerkresse (252 dt ha⁻¹). Die Kontrolle erzielte TM-Erträge von 240 dt ha⁻¹, während die geringsten Erträge bei der Variante mit Sonnenblumen erreicht wurden (224 dt ha⁻¹). Der Anteil der Sonnenblumen am TM-Ertrag betrug 20 %, der Anteil der Ackerbohne lediglich 1,5 %. Kapuzinerkresse und Erbsen wurden nicht mitgeerntet; weil die Erbse zum Erntezeitpunkt schon vertrocknet sowie der Wuchs der Kapuzinerkresse kriechend am Boden war und durch die Erntetechnik nicht erfasst wurde.

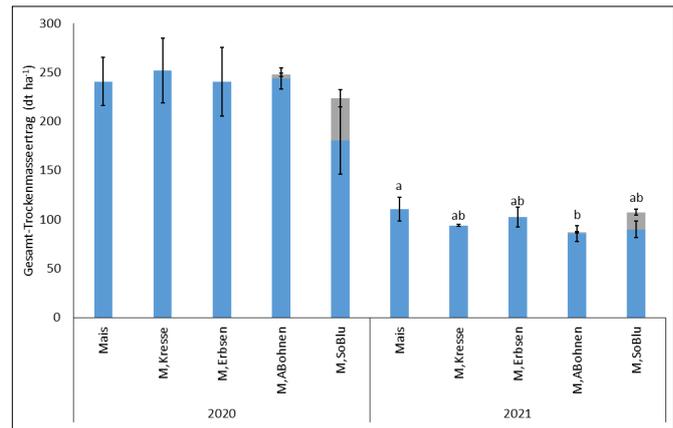


Abbildung 26: Gesamt-Trockenmasseerträge der Mais-Gemenge (dt ha⁻¹) für den Standort Tachenhausen für die Versuchsjahre 2020 und 2021. Die schwarzen Balken geben die Standardabweichung wieder (n = 4). Mittelwerte mit demselben Buchstaben sind laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht signifikant voneinander verschieden. Die Auswertung erfolgte für die einzelnen Jahre getrennt. M,Kresse = Mais + Kapuzinerkresse, M,Erbsen = Mais + Erbsen, M,Abohnen = Mais + Ackerbohnen, M,SoBlu = Mais + Sonnenblumen. Die Gesamt-Trockenmasseerträge wiesen 2020 keine signifikanten Unterschiede auf.

Im Versuchsjahr 2021 erzielte die Kontrolle TM-Erträge von 110 dt ha⁻¹, während die geringsten Erträge bei Mais-Ackerbohnen mit 86 dt ha⁻¹ erreicht wurden (Abbildung 26). Es wurde zwischen diesen Varianten ein signifikanter Unterschied nachgewiesen. Alle anderen Gemengevarianten unterschieden sich nicht signifikant von der Kontrolle. Der Anteil der Sonnenblumen am Gesamt-Trockenmasseertrag lag bei 16,4 %, bei Ackerbohnen 1,3 %. Bei Erbsen und Kapuzinerkresse verhielt es sich gleich wie im Jahr 2020, weshalb diese wieder nicht mitgeerntet wurden.

1.3.2.1.3 Einfluss des Gemengepartners auf die Qualität des Mais-Gemenge-Erntegutes

1.3.2.1.3.1 TM-Gehalt

Die TM-Gehalte 2020 und 2021 lagen in einem silierbaren Bereich. Lediglich das Mais-Sonnenblumen-Gemenge wies in beiden Jahren signifikant niedrigere Gehalte im Vergleich zu reinem Silomais auf (28,2 % und 27,3 %).

1.3.2.1.3.2 Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, Rohasche, Stickstofffreie Extraktstoffe

Die Gemengepartner hatten 2020 keinen Einfluss auf den Gehalt an Rohfett (Abbildung 27). Bei Mais in Kombi-

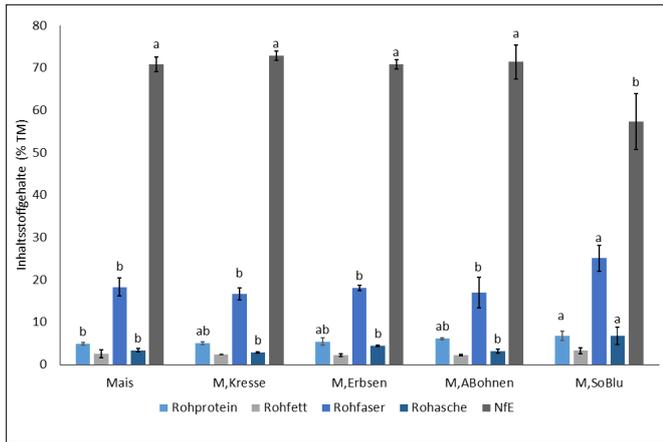


Abbildung 27: Gehalte an Rohprotein, Rohfett, Rohfasern, Rohasche und NfE in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (% TM) für den Standort Tachenhausen im Versuchsjahr 2020. Die Auswertung erfolgte für die einzelnen Parameter getrennt. Mittelwerte innerhalb eines Qualitätsparameters mit demselben Buchstaben sind laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht signifikant voneinander verschieden. Die schwarzen Balken geben die Standardabweichung wieder ($n = 4$). M,Kresse = Mais + Kapuzinerkresse, M,Erbsen = Mais + Erbsen, M,ABohnen = Mais + Ackerbohnen, M,SoBlu = Mais + Sonnenblumen. Die Rohfett-Gehalte wiesen keine signifikanten Unterschiede auf.

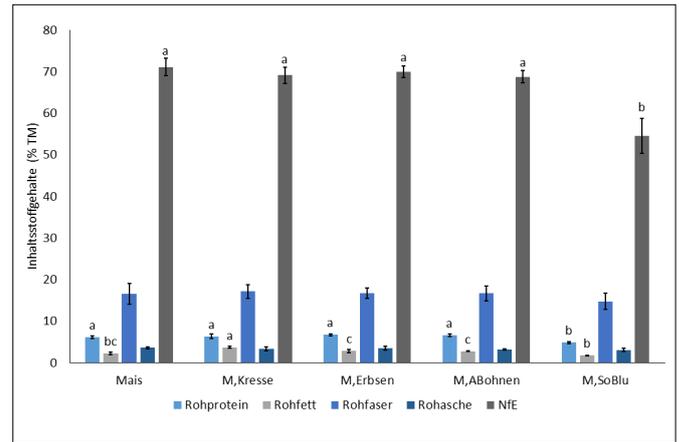


Abbildung 28: Gehalte an Rohprotein, Rohfett, Rohfasern, Rohasche und NfE in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (% TM) für den Standort Tachenhausen im Versuchsjahr 2021. Die Auswertung erfolgte für die einzelnen Parameter getrennt. Mittelwerte innerhalb eines Qualitätsparameters mit demselben Buchstaben sind laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht signifikant voneinander verschieden. Die schwarzen Balken geben die Standardabweichung wieder ($n = 4$). M,Kresse = Mais + Kapuzinerkresse, M,Erbsen = Mais + Erbsen, M,ABohnen = Mais + Ackerbohnen, M,SoBlu = Mais + Sonnenblumen. Die Rohfaser- und Rohasche-Gehalte wiesen keine signifikanten Unterschiede auf.

nation mit Sonnenblumen wurden signifikant höhere Gehalte an Rohfaser und Rohasche im Vergleich zu den anderen Varianten nachgewiesen. Das Erntegut der Variante mit Sonnenblumen hatte zudem signifikant höhere Rohproteingehalte als die Kontrolle, wodurch sich auch die signifikante Abnahme im NfE-Gehalt bei Mais-Sonnenblume im Vergleich zur Kontrolle erklären lässt. Die Rohproteingehalte lagen zwischen 5–6 % TM.

Im zweiten Versuchsjahr 2021 wurden signifikant erhöhte Rohprotein- und Rohfettgehalte für das Mais-Sonnenblumen-Gemenge nachgewiesen, wohingegen der NfE, wie bereits 2020, in dieser Variante signifikant geringer war. Die Rohproteingehalte lagen erneut bei durchschnittlich 6–7 % TM, außer bei Mais-Sonnenblume mit 5 % TM. Bei den Gehalten an Rohfaser und Rohasche wurden 2021 keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen.

1.3.2.1.3.3 Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium

Am Standort Tachenhausen war sowohl 2020, als auch 2021 kein Unterschied im P-Gehalt durch die Gemengepartner nachweisbar (Abbildung 29). Die Gehalte lagen zwischen 0,1–0,2 % TM. Ein signifikant erhöhter Gehalt an Magnesium und Kalium wurde bei Mais in Kombination mit

Sonnenblumen im Vergleich zu den anderen Varianten nur 2020 beobachtet, 2021 unterschieden sich die Gehalte nicht von denen anderer Varianten. Bei den Stickstoffgehalten wies das Mais-Sonnenblume-Gemenge 2020 mit 1,1 % TM signifikant höhere Gehalte als die Kontrolle mit 0,8 % TM auf. Im zweiten Versuchsjahr war ein umgekehrter Trend zu beobachten; Während das Mais-Sonnenblumen-Gemenge Stickstoffgehalte von 0,8 % TM aufwies, hatte die Kontrolle 1,0 % TM. Darauf ließ sich bereits durch den niedrigeren

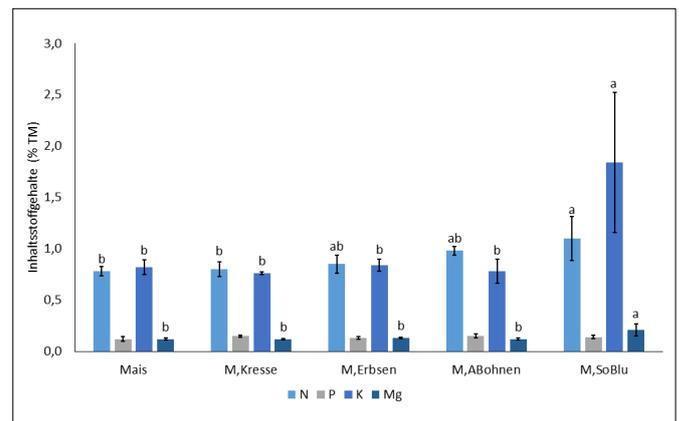


Abbildung 29: Gehalte an Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (% TM) für den Standort Tachenhausen im Versuchsjahr 2020. Die Auswertung erfolgte für die einzelnen Parameter getrennt. Mittelwerte innerhalb eines Qualitätsparameters mit demselben Buchstaben sind laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht signifikant voneinander verschieden. Die schwarzen Balken geben die Standardabweichung wieder ($n = 4$). M,Kresse = Mais + Kapuzinerkresse, M,Erbsen = Mais + Erbsen, M,ABohnen = Mais + Ackerbohnen, M,SoBlu = Mais + Sonnenblumen. Die Phosphor-Gehalte wiesen keine signifikanten Unterschiede auf.



TABELLE 20: ANGESTREBTER ZIELBESTAND UND PFLANZENANZAHL KURZ VOR DER ERNTE IN FORCHHEIM AM KAISERSTUHL IN DEN VERSUCHSJAHREN 2020 UND 2021.

Variante	Zielbestand		2020	2020	2021	2021
	Mais	GMP	Mais Ernte	GMP Ernte	Mais Ernte	GMP Ernte
	(Kö. m ⁻²)		(Pfl. m ⁻²)			
Kontrolle 1 Mais	8	0	6,6	0	8,3	0
Kontrolle 2 Mais	10	0	8,1	0	8,4	0
Mais + Ackerbohne	8	4	6,3	3,7	7,6	1,1
Mais + Erbse	8	4	5,4	2,1	7,7	1,6
Mais + Kapuzinerkresse	8	4	6,4	0,6	8,0	2,5
Mais + Kürbis 1	8	1,6	6,1	1,1	8,0	1,8
Mais + Kürbis 2	8	1,6	6,8	1,0	8,9	1,1
Mais + Sonnenblume	8	2	7,5	0,2	7,9	1,3

Rohprotein- und erhöhten NfE-Gehalt der Kontrolle im Vergleich zum Mais-Sonnenblumen-Gemenge 2020 bzw. die erhöhten Rohprotein- und niedrigere NfE-Gehalte 2021 schließen.

1.3.2.2 Forchheim am Kaiserstuhl (ökologisch)

1.3.2.2.1 Phänologische und ökologische Auswirkungen des Mais-Gemenge-Anbaus

1.3.2.2.1.1 Pflanzenbestand

Der Feldaufgang 2020 war aufgrund der starken Trockenheit und des groben Saatbettes unregelmäßig. Alle Gemengepartner waren aufgelaufen. Im Jahr 2021 war der Boden durch die hohen Niederschläge verschlammte. Der angestrebte Pflanzenbestand in den beiden Maiskontrollen wurde 2020 um 1,4 bzw. 1,9 Pfl. m⁻² nicht erreicht (Tabelle 20). Hingegen wurde in der Kontrolle 1 in 2021 der Bestand um 0,3 Pfl. m⁻² übertroffen, was sich auf den Saat-Aufschlag durch die erwarteten Striegelausfälle zurückführen lässt. Bei Kontrolle 2 wurde mit 1,6 Pfl. m⁻² weniger als vorgesehen – wie bereits 2020 – der gewünschte Zielbestand nicht erreicht. Die Gemengepartner wiesen, anders als unter konventionellen Bedingungen in Tachenhausen, am ökologischen Standort Forchheim a.K. eine geringere Pflanzenanzahl auf. Lediglich bei der Ackerbohne konnte 2020 der angestrebte Bestand nahezu erreicht werden. Kürbis 2 übertraf 2021 den Zielbestand um 0,2 Pfl. m⁻²

1.3.2.2.1.2 Blühangebot

In beiden Jahren wiesen die Erbsen und Ackerbohnen ein frühes Blühangebot auf. Sie kamen in 2022 61 bzw. 50 und in 2021 46 bzw. 57 Tage nach der Aussaat zur Blüte. Allerdings dauerte diese Blüte nur 17 bzw. 21 Tagen. Dies entspricht auch den Beobachtungen unter konventionellen Bedingungen. Die 2021 verwendete Große Kapuzinerkresse (*T. majus*) blühte auch nach der Ernte weiter, hingegen endete die Blüte der 2020 verwendeten Kletternden Kapuzinerkresse (*T. peregrinum*) mit der Ernte. Die filigrane *T. peregrinum* ist nach der Ernte nicht wieder aufgewachsen.



Abbildung 30: Marienkäfer an Ackerbohne im Gemenge mit Mais.

Foto: Caroline Schumann/LTZ

Die Sonnenblume blühte 2020 bis zur Ernte und 2021 bis ca. 1 Woche vor der Ernte.

1.3.2.2.1.3 Pflanzenhöhe

In 2020 wurde kein signifikanter Einfluss auf die Maispflanzenhöhe durch den Gemengepartner nachgewiesen. Im Jahr 2021 wies Mais-Erbse mit 263 cm die höchsten Maispflanzen auf, während Mais-Kürbis 2 die geringste Maishöhe mit 248 cm hatte. Generell unterschied sich keine Variante signifikant in der Maishöhe von den beiden Mais-Kontrollen, die beide 258 cm zu verzeichnen hatten.

1.3.2.2.1.4 Bodennitrat-N-Gehalt

In beiden Versuchsjahren wurden nach der Ernte über die gesamte Beprobungstiefe (0–90 cm) keine Unterschiede im Nitrat-N-Gehalt zwischen den Varianten nachgewiesen. Zu Vegetationsende (Herbst) wurden ebenfalls keine Unterschiede zwischen den Varianten festgestellt.

1.3.2.2.2 Einfluss des Gemengepartners auf die Erträge des Mais-Gemenges

1.3.2.2.2.1 TM-Ertrag

Die Trockenmasseerträge unterschieden sich unter ökologischen Bedingungen nur 2020, im feuchteren und kühleren 2021 konnten keine statistisch nachweisbaren Unterschiede nachgewiesen werden. Dies ist gegenläufig zum konventionellen Anbau. Dort wurden signifikante Unterschiede nur 2021 nachgewiesen (1.3.2.1.2). Allerdings wurde der signifikante Unterschied 2020 nur bei Mais-Kürbis 1 beobachtet, einer Gemenge-Variante, die im konventionellen Anbau nicht geprüft wurde. Im Jahr 2020 ließen sich unter ökologischen Bedingungen die höchsten TM-Erträge bei der Kontrolle 2, Mais mit einer Aussaatstärke von 10 Körnern m^{-2} (127 dt ha^{-1}), nachweisen (Abbildung 31). Die Kontrolle 1 mit 8 Körnern m^{-2} erzielte TM-Erträge von 117 dt ha^{-1} , während die geringsten Erträge bei der Variante mit Kürbis 1 erreicht wurden (87 dt ha^{-1}). Dieses Gemenge war auch die einzige Variante, die signifikant niedrigere TM-Erträge als die Kontrolle aufwies. Im Jahr 2021 lag der Ertrag durchschnittlich bei 105 dt ha^{-1} .

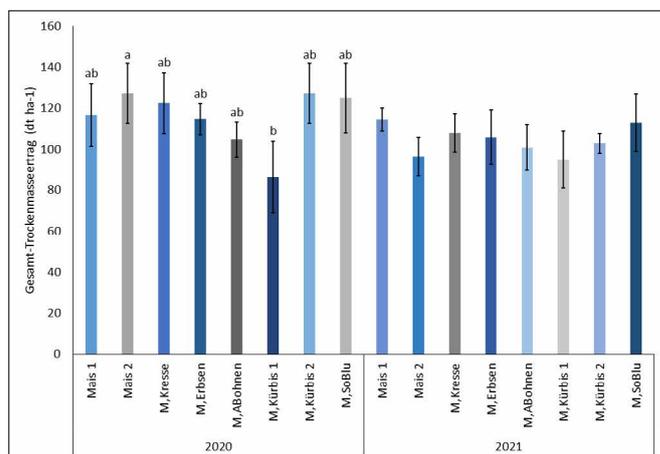


Abbildung 31: Gesamt-Trockenmasseerträge der Mais-Gemenge (dt ha^{-1}) für den Standort Forchheim am Kaiserstuhl der Versuchsjahre 2020 und 2021. Mittelwerte innerhalb eines Jahres mit demselben Buchstaben sind laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht signifikant voneinander verschieden. Die schwarzen Balken geben die Standardabweichung wieder ($n = 4$). Mais 1 = 8 Kö. m^{-2} , Mais 2 = 10 Kö. m^{-2} , M, Kresse = Mais + Kapuzinerkresse, M, Erbsen = Mais + Erbsen, M, Abohnen = Mais + Ackerbohnen, M, Kürbis 1 = Mais + Kürbis 1 (2020: New England Pie, 2021: Red Kuri), M, Kürbis 2 = Mais + Kürbis 2 (2021: One Ball F1, 2021: Green Hokkaido), M, SoBlu = Mais + Sonnenblumen. Die Gesamt-Trockenmasseerträge wiesen 2021 keine signifikanten Unterschiede auf.

1.3.2.2.3 Einfluss des Gemengepartners auf die Qualität des Mais-Gemenge-Erntegutes

1.3.2.2.3.1 TM-Gehalt

Anders als beim TM-Ertrag wurden 2020 beim TM-Gehalt keine signifikanten Unterschiede beobachtet, 2021 hingegen schon. Im Jahr 2020 lagen die TM-Gehalte durchschnittlich bei 35 %. Im zweiten Versuchsjahr betrug der TM-Gehalt durchschnittlich 32 %, lediglich das Mais-Sonnenblumen-Gemenge hatte einen um 6 % (zu Kontrolle 1) bzw. 4 % (zu Kontrolle 2) niedrigeren TM-Gehalt von 26 %.

1.3.2.2.3.2 Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, Rohasche, Stickstofffreie Extraktstoffe

Für die Inhaltsstoffgehalte an Rohprotein, Rohfett, Rohfaser, Rohasche und NfE wurden 2020 keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten nachgewiesen. Der Rohproteingehalt lag zwischen 6–7 % TM. 2021 wurde für den NfE-Gehalt ein signifikanter Unterschied zwischen Mais-Erbse (74 % TM) und Mais-Sonnenblume (67 % TM) ermittelt. Die beiden Varianten unterschieden sich aber nicht von Kontrolle 1 (71 % TM) oder Kontrolle 2 (73 % TM).

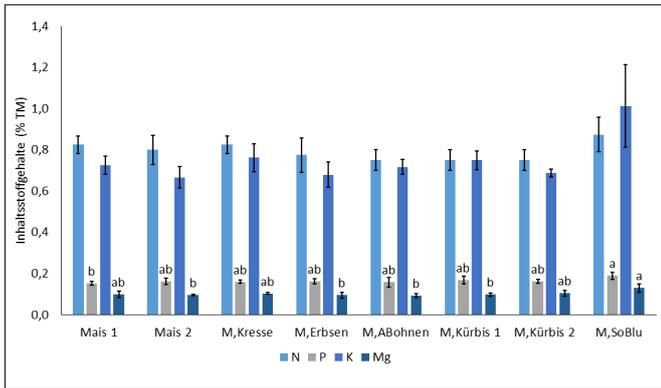


Abbildung 32: Gehalte an Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K) und Magnesium (Mg) in Abhängigkeit des Faktors Gemengepartner (% TM) für den Standort Forchheim am Kaiserstuhl im Versuchsjahr 2021. Die Auswertung erfolgte für die einzelnen Parameter getrennt. Mittelwerte innerhalb eines Qualitätsparameters mit demselben Buchstaben sind laut HSD-Test ($p < 0,05$) nicht signifikant voneinander verschieden. Die schwarzen Balken geben die Standardabweichung wieder ($n = 4$). Mais 1 = 8 Kö. m^{-2} , Mais 2 = 10 Kö. m^{-2} , M,Kresse = Mais + Kapuzinerkresse, M,Erbesen = Mais + Erbsen, M,Abohnen = Mais + Ackerbohnen, M,Kürbis 1 = Mais + Kürbis 1 (Red Kuri), M,Kürbis 2 = Mais+ Kürbis 2 (Green Hokkaido), M,SoBlu = Mais + Sonnenblumen. Die Stickstoff- und Kalium-Gehalte wiesen keine signifikanten Unterschiede auf.

1.3.2.2.3 Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium

Auch bei den Gehalten an Stickstoff, Phosphor, Kalium und Magnesium wurden 2020 keine nachweisbaren Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten beobachtet. Der Stickstoffgehalt lag zwischen 1,0 (Kontrolle 1, Kontrolle 2) und 1,2 % TM (Mais-Erbse). Im zweiten Versuchsjahr wurde bei Mais-Sonnenblume ein signifikant höherer

Phosphorgehalt nachgewiesen. Unter konventionellen Bedingungen ließ sich dieser Unterschied nicht nachweisen. Für den Magnesiumgehalt wurden signifikant höhere Gehalte bei der Mais-Sonnenblumen-Variante gegenüber der Kontrolle 2 nachgewiesen.

1.3.3 UNTERSUCHUNGEN ZUR OPTIMALEN SAATSTÄRKE GEEIGNETER GEMENGEPARTNER IN MAIS

Die Auswertung der TM-Erträge ergab, dass lediglich der Gemengepartner einen Einfluss auf den Ertrag hatte, nicht aber die Saatstärke. Beide Kontrollen (10 und 8 Körner m^{-2}) wiesen keinen statistisch nachweisbaren Unterschied voneinander auf. Bei einer standorttypischen Aussaatstärke von 10 Körner m^{-2} wurden TM-Erträge von 181 dt ha^{-1} erzielt (Abbildung 33). Bei 8 Körner m^{-2} , was der eingesetzten Maisaussaatstärke im Mischanbau mit den Gemengepartnern entspricht, konnten 185 dt ha^{-1} erreicht werden. Beim Einsatz von Saat-Luzerne und Sommerwicke wurden unabhängig von der eingesetzten Saatstärke des Gemengepartners signifikant geringere Erträge im Vergleich zu beiden Kontrollen nachgewiesen. Für die Saat-Luzerne lagen die TM-Erträge zwischen 110 (50 % Saatstärke) und 118 dt ha^{-1} (25 % Saatstärke). Sommerwicke als Gemengepartner erzielte TM-Erträge von 114 (100 % Saatstärke) bis 122 dt ha^{-1} (25 % Saatstärke). Der Einsatz

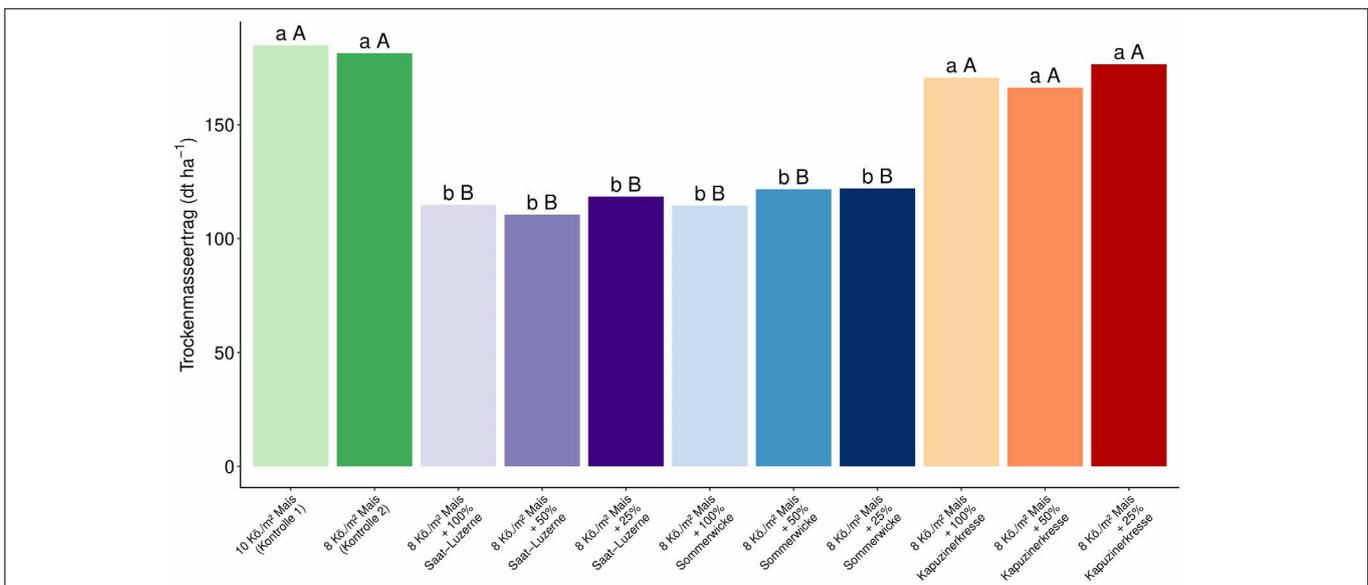


Abbildung 33: TM-Erträge (dt ha^{-1}) für die beiden Kontrollen und die verschiedenen Aussaatstärke-Varianten. Balken mit denselben Kleinbuchstaben geben nicht signifikante Unterschiede im Vergleich mit Kontrolle 1 an, Balken mit denselben Großbuchstaben geben nicht signifikante Unterschiede im Vergleich zu Kontrolle 2 an (Dunnnett-Test, $p \leq 0,05$).

TABELLE 21: GEHALTE AN TROCKENMASSE (TM), ROHPROTEIN (XP), ROHFETT (XL), ROHFASER (XF), ROHASCH (XA), N-FREIE EXTRAKTIONSSTOFFE (NfE), PHOSPHOR (P), KALIUM (K) UND MAGNESIUM (Mg) FÜR DIE BEIDEN KONTROLLE UND DIE VERSCHIEDENEN AUSSAATSTÄRKE-VARIANTEN.

Mais (Kö. m ⁻²)		GMP (%)	TM-Gehalt (%)	XP	XL		XF	XA	NfE	P	K	Mg
						(% TM)						
10	-	(Kontrolle 1)	35,3 ^{aA}	7,97 ^{aA}	2,80 ^{n.s.}	n.s.	16,5 ^{aA}	3,77 ^{aA}	69,0 ^{aA}	0,20 ^{aA}	1,30 ^{aA}	0,12 ^{aA}
8	-	(Kontrolle 2)	33,7 ^{aA}	7,50 ^{aA}	2,17 ^{n.s.}	n.s.	18,3 ^{aA}	3,98 ^{aA}	68,0 ^{aA}	0,17 ^{aA}	1,36 ^{aA}	0,12 ^{aA}
	+100%	Saat-Luzerne	30,0 ^{bA}	8,10 ^{aA}	3,02 ^{n.s.}	n.s.	24,3 ^{bB}	7,27 ^{bB}	57,3 ^{bB}	0,24 ^{bB}	2,32 ^{bB}	0,19 ^{bB}
	+50%		31,3 ^{aA}	8,23 ^{aA}	2,88 ^{n.s.}	n.s.	27,1 ^{bB}	7,38 ^{bB}	54,4 ^{bB}	0,25 ^{bB}	2,87 ^{bB}	0,20 ^{bB}
	+25%		31,0 ^{bA}	8,63 ^{aA}	2,82 ^{n.s.}	n.s.	26,8 ^{bB}	7,13 ^{bB}	57,0 ^{bB}	0,26 ^{aB}	2,40 ^{bB}	0,20 ^{bB}
	+100%	Sommerwicke	33,7 ^{aA}	8,20 ^{aA}	2,59 ^{n.s.}	n.s.	28,0 ^{bB}	6,02 ^{bA}	58,4 ^{bB}	0,22 ^{aA}	1,94 ^{bA}	0,17 ^{aA}
	+50%		32,1 ^{aA}	8,60 ^{aA}	2,80 ^{n.s.}	n.s.	24,6 ^{bB}	6,27 ^{bB}	57,7 ^{bB}	0,25 ^{aB}	1,94 ^{bB}	0,18 ^{bB}
	+25%		33,2 ^{aA}	9,30 ^{aB}	2,97 ^{n.s.}	n.s.	20,9 ^{aA}	6,03 ^{bB}	60,8 ^{bA}	0,22 ^{aA}	1,82 ^{aA}	0,17 ^{bB}
	+100%	Kapuzinerkresse	33,9 ^{aA}	7,73 ^{aA}	2,79 ^{n.s.}	n.s.	16,5 ^{aA}	9,98 ^{aA}	69,0 ^{aA}	0,20 ^{aA}	1,22 ^{aA}	0,13 ^{aA}
	+50%		34,1 ^{aA}	7,73 ^{aA}	3,02 ^{n.s.}	n.s.	17,5 ^{aA}	3,71 ^{aA}	68,0 ^{aA}	0,20 ^{aA}	1,20 ^{aA}	0,12 ^{aA}
+25%	33,5 ^{aA}		7,97 ^{aA}	2,34 ^{n.s.}	n.s.	19,8 ^{aA}	4,00 ^{aA}	65,9 ^{aA}	0,20 ^{aA}	1,30 ^{aA}	0,12 ^{aA}	

Werte mit denselben Kleinbuchstaben geben nicht signifikante Unterschiede innerhalb eines Parameters im Vergleich mit Kontrolle 1 an, Werte mit denselben Großbuchstaben geben nicht signifikante Unterschiede innerhalb eines Parameters im Vergleich zu Kontrolle 2 an (Dunnnett-Test, $p \leq 0,05$).

von Kapuzinerkresse als Gemengepartner hingegen wies zu beiden Kontrollen keine signifikanten Unterschiede auf. Die niedrigsten TM-Erträge mit 166 dt ha⁻¹ wurden durch 50 % Kapuzinerkresse Saatstärke erzielt und die höchsten bei 25 % Saatstärke, mit 177 dt ha⁻¹.

Die Saatstärke hatte auf keinen Qualitätsparameter einen signifikanten Einfluss. Der gewählte Gemengepartner hatte auf alle Parameter einen signifikanten Einfluss, außer auf den XL-Gehalt. Die Unterschiede beim TM-Gehalt sind vernachlässigbar. Unabhängig von Gemengepartner und Saatstärke lagen alle TM-Gehalte in einem silierbaren Bereich zwischen 30,0 und 35,3 % (Tabelle 21). Beim XP-Gehalt wurde der einzige statistisch nachweisbare Unterschied beim Vergleich zwischen Kontrolle 2 (8 Körner m⁻²) und der 25 % Saatstärke Sommerwicke nachgewiesen (Tabelle 21). Die Variante mit Gemengepartner hatte einen signifikant erhöhten XP-Gehalt von 9,30 % TM im Vergleich zu Kontrolle 2 mit 7,50 % TM. Für die XF-Gehalte konnte sowohl ein signifikanter Einfluss durch den Gemengepartner wie auch durch die Interaktion zwischen Gemengepartner und Saatstärke nachgewiesen werden. Nachweisbare Unterschiede wurden für alle Aussaatstärken mit Saat-Luzerne und bei 100 % und 50 % Sommerwicke nachgewiesen. Bei

Verwendung dieser Gemengepartner wurden signifikant höhere XF-Gehalte gemessen, als bei den Kontrollen (16,5 und 18,3 % TM) (Tabelle 21). Bei der Aussaat von 25 % Sommerwicke und bei allen Aussaatstärken der Kapuzinerkresse wurden keine Unterschiede nachgewiesen. Alle Aussaatstärken der Gemengepartner Saat-Luzerne und Sommerwicke hatten signifikant höhere XA-Gehalte im Vergleich zu Kontrolle 1 (Tabelle 21). Die Einsatz der Kapuzinerkresse bewirkte keine Veränderungen. Bei den NfE-Gehalten wurden signifikante Unterschiede nur durch den gewählten Gemengepartner erzielt. Zu Kontrolle 1 mit 69,0 % TM wurden signifikant niedrigere NfE-Gehalte beim Einsatz von Saat-Luzerne und Sommerwicke nachgewiesen, Kontrolle 2 mit 68,0 % TM wies keine signifikanten Änderungen zu 25 % Sommerwicke auf. Kapuzinerkresse wies unabhängig der Kontroll-Variante keine Unterschiede auf.

Signifikant höhere P-Gehalte im Vergleich zu Kontrolle 1 (0,20 % TM) wies nur die Saat-Luzerne in Aussaatstärken von 100 und 50 % auf, während hingegen zu Kontrolle 2 (0,17 % TM) zusätzlich die Saat-Luzerne mit 25 % Aussaatstärke und die Sommerwicke mit 50 % signifikant höhere Gehalte zu verzeichnen hatten (Tabelle 21). Kontrolle 1 erzielte 1,30 % TM Kalium, lediglich die Einsatz von Kapuzinerkresse in

TABELLE 22: FELDAUFGANG (%) UND DIE STANDARDABWEICHUNG IM SAATSTÄRKE-VERSUCH FÜR MAIS UND DIE ENTSPRECHENDEN GEMENGEPARTNER (GMP) IN DEN EINZELNEN VARIANTEN AN DEN STANDORTEN RHEINSTETTEN-FORCHHEIM UND TACHENHAUSEN. GEMESSEN JEWEILS IM 3-BLATTSTADIUM DES MAISES.

Saattechnik	Rheinstetten-Forchheim				Tachenhausen			
	Mais		GMP		Mais		GMP	
1 Sommerwicke	97	± 8	13	± 3	94	± 7	20	± 9
2 Saat-Luzerne	93	± 13	33	± 13	81	± 15	50	± 40
3 Saat-Luzerne	101	± 12	13	± 5	88	± 16	28	± 9
4 Kürbis III	97	± 10	153	± 94	92	± 10	*	
5 Kürbis III	85	± 20	153	± 121	77	± 15	0	± 0

* keine Bonitur, da Handaussaat erst am 27.05.2019 und bis zur Bonitur noch keine Pflanzen aufgelaufen

allen drei Saatstärken und 25 % Sommerwicke unterschieden sich nicht von der Kontrolle 1 (Tabelle 21). Von Kontrolle 2 unterschied sich neben diesen Varianten zusätzlich die 100 % Sommerwicke nicht signifikant. Für den Mg-Gehalt wurden signifikante Einflüsse durch den Gemengepartner und die Interaktion von Gemengepartner mit der Saatstärke nachgewiesen. Beide Kontrollen hatten Mg-Gehalte von 0,12 % TM (Tabelle 21). Außer Kapuzinerkresse in allen Saatstärken und 100 % Sommerwicke wiesen die anderen Partner signifikant erhöhte Mg-Gehalte im Vergleich zu beiden Kontrollen auf.

1.3.4 UNTERSUCHUNGEN ZUR OPTIMALEN SAATTECHNIK VERSCHIEDENER MAIS-GEMENGE

Im Saattechnik-Versuch lief der Mais in allen Varianten innerhalb einer Woche auf. Unabhängig vom eingesetzten Saatverfahren liefen am Standort Rheinstetten-Forchheim Sommerwicken und die Kürbisse nach 16 Tagen auf, die Luzerne nach 17 Tagen. Am Standort Tachenhausen liefen alle Gemengepartner unabhängig der eingesetzten Saattechnik nach 14 Tagen auf.

Der Feldaufgang von Mais und den einzelnen Gemengepartnern betrug an beiden Standorten über 90 %, lediglich in den Kürbis-Varianten 5 lag der Feldaufgang bei 85 % bzw. 77 % (Tabelle 22). Bei den Gemengepartnern war ein relativ niedriger Feldaufgang bei den Kürbissen in Tachenhausen zu beobachten. Während an diesem Standort teilweise nur eine Pflanze auflief, betrug der Aufgang am Standort Rheinstetten-Forchheim in der Drillsaat-Variante 4 und der Einzelkornsaat 5 153 %,

wobei in diesen Varianten hohe Standardabweichungen beobachtet wurden. Die Saat von Sommerwicken mittels Schleuderstreuer verzeichnete am Standort FO und in Tachenhausen einen Feldaufgang von 13 % und 20 % und bei der Saat-Luzerne 33 % bzw. 55 %. Eine Drillsaat von Saat-Luzerne führte ebenfalls geringen Feldaufgängen von 13 % bzw. 28 %.

Die Feldaufgänge mit über 100 % resultieren aus der teilweise nicht steuerbaren Verteilung der Gemengepartner im Bestand. So wird beispielsweise der Kürbis mit 1,6 Pflanzen m⁻² in die Aussaat einberechnet. Wie sich dies dann aber im Gemenge mit Mais an der Lochscheibe verteilt kann nicht gesteuert werden. Da die Einzelkornsämaschine auf 8 Pflanzen m⁻² abgedreht wurde, wurden effektiv 8 Pflanzen m⁻² gesät. Da das Mais- und Kürbis-saatgut vermischt wurde kann es durchaus sein, dass auf einem Quadratmeter mehr als 1,6 Pflanzen gesät wurden und sich so Feldaufgänge von über 100 % ergeben. Um dem entgegen zu wirken hätte der komplette Bestand ausgezählt werden müssen, inkl. der Restsaatgutmenge in den Säaggregaten, da sich dort evtl. durch eine Entmischung mehr Kürbis darin befinden konnte. Zudem kann es bei kleineren Körnern zu einer Doppelbelegung eines Loches kommen.

1.3.5 OPTIMIERUNG DES ANBAUSYSTEMS MAIS-KAPUZINERKRESSE

Bei der Aussaat einer Saatgutmischung ist es wichtig, dass der Gemengepartner nicht zu dominant im Maisbestand vorhanden ist, besonders, wenn er nicht zur Biomassebil-

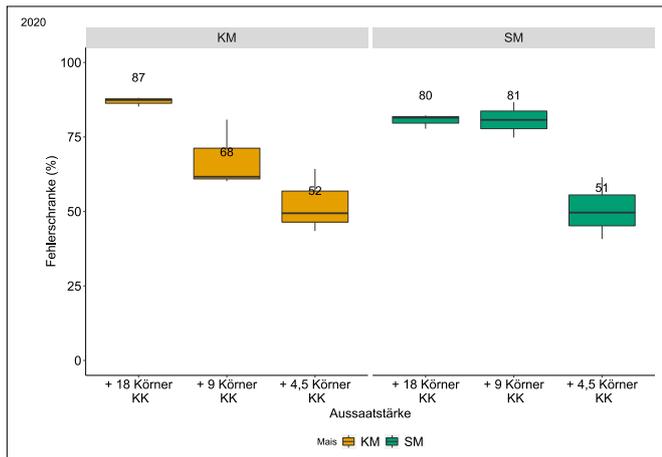


Abbildung 34: Boxplot der Fehlerschranken (%) für die verschiedenen Mischungsvarianten von Kapuzinerkresse mit Silomais (SM; grün) und Körnermais (KM; gelb). Das obere und untere Ende der schwarzen Boxen gibt den höchsten, bzw. niedrigsten Wert des Datensatzes an, die schwarze Linie innerhalb der Box gibt den Median an, das Ende der oberen schwarzen Linie entspricht dem oberen oder 75 % Quartil, das Ende dem unteren oder 25 % Quartil. Die Zahlen geben den Mittelwert der Fehlerschranke an.

dung beiträgt, wie die Kapuzinerkresse. Um das optimale Mischungsverhältnis für Mais und Kapuzinerkresse zu finden, wurde 2020 die Saatstärke eines reinen Kapuzinerkressebestands zu 100 % (18 Kö. m⁻², siehe auch 1.2.2.1), sowie 50 % und 25 % zu Maissaatgut gemischt und mit der betriebsüblichen Aussaateinstellung für Silomais (10 Kö. m⁻²) und Körnermais (8 Kö. m⁻²) ausgesät. 2020 wurde nachgewiesen, dass sowohl im Silo- wie auch im Körnermais, dass das Mischungsverhältnis noch zu stark auf Seiten der Kapuzinerkresse lag (Abbildung 34). Daher wurde 2021 mit einem 1:0,1 Verhältnis aus Mais und Kapuzinerkresse gearbeitet, um einen hohen Maisertrag zu gewährleisten. Zudem wurde durch einen kürzeren Saatabstand der Pflanzen in der Reihe versucht, die zusätzliche Pflanze Kapuzinerkresse m⁻² zu kompensieren („abgesichert“) im Vergleich zum normalen Saatabstand („normal“). Es wurde keine Ausdünnung des Bestandes beobachtet. Für Silomais lag bei normalen Saateinstellungen (10 Kö. m⁻²) die Abweichung zwischen angestrebter und tatsächlicher Pflanzenanzahl bei 10 %, bei der abgesicherten Variante bei 30 %. Beim Körnermais lagen die Abweichungen der normalen und der abgesicherten Saatstärke dicht beieinander. Die negativen Ausreißer können daher zu Stande kommen, dass tlw. keine Kapuzinerkresse gesät wurde, diese aber theoretisch vorhanden sein müsste. Zum anderen kann dies auch daran liegen, dass das Kapuzinerkresse-Saatgut teilweise nicht keimte. Somit muss sowohl bei Silomais wie

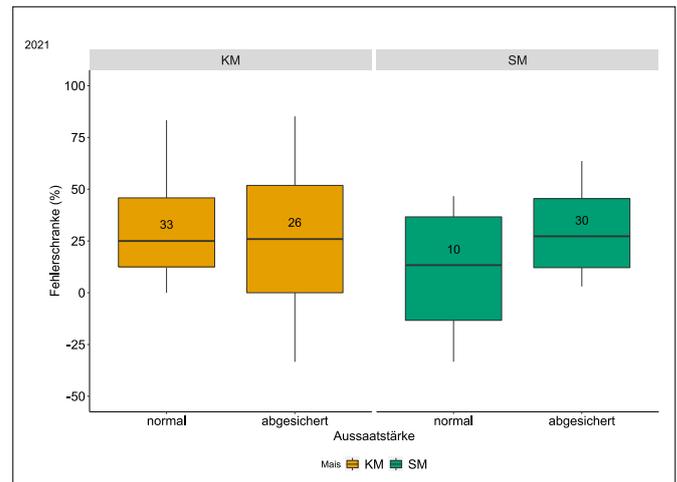


Abbildung 35: Boxplot der Fehlerschranken (%) für die verschiedenen Aussaatstärken des 1:0,1 Mais-Kapuzinerkresse-Gemischs im Silomais (SM; grün) und Körnermais (KM; gelb). Im Silomais entspricht die normale Aussaatstärke 10 Kö. m⁻² und die abgesicherte 11 Kö. m⁻²; im Körnermais 8 Kö. m⁻² und 9 Kö. m⁻². Das obere und untere Ende der schwarzen Boxen gibt den höchsten, bzw. niedrigsten Wert des Datensatzes an, die schwarze Linie innerhalb der Box gibt den Median an, das Ende der oberen schwarzen Linie entspricht dem oberen oder 75 % Quartil, das Ende dem unteren oder 25 % Quartil. Die Zahlen geben den Mittelwert der Fehlerschranke an.

auch bei Körnermais bei einem Mischungsverhältnis von 1:0,1 Mais-Kapuzinerkresse nicht mit einem Ausdünnen der Maisbestände durch die zusätzliche Kapuzinerkresse gerechnet werden. Es können weiterhin die betriebsüblichen Saateinstellungen für Mais vorgenommen werden.

Bei der Anzahl an Kapuzinerkresseblüten wurde im ersten Versuchsjahr nachgewiesen, dass es keinen signifikanten Einfluss hat, ob eine Aussaatstärke der Kapuzinerkresse von 100 %, 50 % oder 25 % gewählt wurde (Tabelle 23). Dies lässt darauf schließen, dass die Saatstärke der Kapuzinerkresse sehr geringgehalten werden und trotzdem noch ein Blühaspekt geschaffen wird. Im zweiten Versuchsjahr wurde nachgewiesen, dass die höchste Blütendichte erzielt wird, wenn sowohl Silo- als auch Körnermais in den „abgesicherten“ Varianten gesät wurden, bzw. wenn mittels Streuer 9 kg ha⁻¹ Kapuzinerkresse ausgebracht wurden. Ein „normaler“ Saatabstand, bzw. 2 kg ha⁻² per Streuer, führten zu < 10 Blüten auf 15 m². Allerdings führen diese „abgesicherten“ Varianten dazu, dass die Chance erhöht wird, einen Bestand zu etablieren, der unvorteilhaft auf Seiten der Kapuzinerkresse liegt (Abbildung 35). Jedoch wurde nachgewiesen, dass sich bei der Silomaisnutzung keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl der Maispflanzen zwischen der Kontrolle und der „normalen“ und

TABELLE 23: ANZAHL AN MAIS- UND KAPUZINERKRESSEPFLANZEN (KK), SOWIE DIE ANZAHL DER KAPUZINERKRESSEBLÜTEN IN DER ERNTEPARZELLE (15 M²) UND DIE PFLANZENHÖHE (CM) JE NACH VARIANTE BEIM SILOMAIS DER JAHRE 2020 UND 2021 IN ABHÄNGIGKEIT DER AUSSAATSTÄRKE DER KAPUZINERKRESSE.

	Anzahl Pflanzen			Anzahl Blüten			Pflanzenhöhe (cm)		
	Mais		KK	Gesamt					
2020									
V1 (Kontrolle)	133	a	-		130	a	-		
V2 (+ 100 %)	35	b	56	a	91	b	49		-
V3 (+ 50 %)	39	b	27	b	59	c	19		-
V4 (+ 25 %)	83	c	28	b	111	d	24		-
p-Wert	<,001	***	0,002	**	<,001	***	0,084		
2021									
V1 (Kontrolle)	147	a			149	a			326
V2 (normal)	137	a	11	a	147	a	4	a	321
V3 (abgesichert)	138	a	13	a	150	a	19	b	310
V4 (+ 2 kg)	140	a	57	b	140	b	22	b	315
V5 (+ 9 kg)	151	b	5	a	151	a	1	a	323
p-Wert	0,004	**	<,001	***	0,010	*	<,001	***	0,191

„abgesicherten“ Varianten ergaben (Tabelle 23). Bei der Nutzung als Körnermais kommt es bei einem „normalen“ Saatabstand zu signifikant weniger Maispflanzen. Auf die Pflanzenhöhe des Maises hatte die Einsaat der Kapuzinerkresse keinen Einfluss (Tabelle 23).

Die Mischungsverhältnisse des ersten Jahres ergaben, dass lediglich unter Beimischung von 25 % des benötigten KK-Saatgutes (V4, Mais-KK-Verhältnis 1:0,45) TM-Erträge erzielt wurden, die sich nicht signifikant von den Trockenmasseerträgen eines reinen Silomaisbestandes unterschieden (Tabelle 25). Die niedrige Keimfähigkeit

der Kapuzinerkresse führte zu einem lückigen Bestand, in dem sich viel Unkraut entwickeln konnte. Im zweiten Versuchsjahr wurde das Mais-Kapuzinerkresse-Verhältnis von 1:0,1 gewählt. Es war nur bei einer erhöhten Pflanzendichte von 110.000 Pflanzen ha⁻¹ eine signifikante Reduktion zu verzeichnen. Durch die erhöhte Aussaatstärke kommt es ebenfalls zu mehr ausgesäten Kapuzinerkresse-Samen und da diese Samen eine niedrige Keimfähigkeit haben auch zu einem lückigeren Bestand, da die Kapuzinerkresse-Samen den Maiskörnern Plätze an der Lochscheibe wegnehmen. Bei dem Mais-Kapuzinerkresse-Verhältnis von 1:0,1 und einem Zielbestand von 100.000 Pflanzen ha⁻¹

TABELLE 24: ANZAHL AN MAIS- UND KAPUZINERKRESSEPFLANZEN (KK), SOWIE DIE ANZAHL DER KAPUZINERKRESSEBLÜTEN IN DER ERNTEPARZELLE (15 M²) UND DIE PFLANZENHÖHE (CM) JE NACH VARIANTE BEIM KÖRNERMAIS DER JAHRE 2020 UND 2021 IN ABHÄNGIGKEIT DER AUSSAATSTÄRKE DER KAPUZINERKRESSE

	Anzahl Pflanzen			Anzahl Blüten			Pflanzenhöhe (cm)		
	Mais		KK	Gesamt					
2020									
V1 (Kontrolle)	86	a	-		71	a	-		-
V2 (+ 100 %)	24	b	32	a	64	b	24		-
V3 (+ 50 %)	58	a	50	b	102	c	29		-
V4 (+ 25 %)	60	a	30	a	89	d	26		-
p-Wert	0,005	**	0,003	**	<,001	***	0,828		
2021									
V1 (Kontrolle)	112	a			112	ab			327
V2 (normal)	93	b	10	ac	102	a	10	a	325
V3 (abgesichert)	105	ab	14	a	117	b	18	b	320
V4 (+ 2 kg)	108	a	38	b	108	ab	23	b	316
V5 (+ 9 kg)	102	ab	4	c	102	a	5	a	313
p-Wert	0,007	**	<,001	***	0,005	**	<,001	***	0,052

TABELLE 25: TM-ERTRAG (DT HA⁻¹), TM-GEHALT (%), BIOGAS- UND METHANPOTENTIAL (L KG⁻¹ OTM) UND DER PROTEINERTRAG (DT HA⁻¹) JE NACH VARIANTE DES SILOMAISES DER JAHRE 2020 UND 2021 IN ABHÄNGIGKEIT DER AUSSAATSTÄRKE DER KAPUZINERKRESSE

	TM-Ertrag	TM-Gehalt		Biogas			Methan		Proteinерtrag	
	(dt ha ⁻¹)	(%)		(l kg ⁻¹ oTM)					(dt ha ⁻¹)	
2020										
V1 (Kontrolle)	174	a	36	a	718	n.s.	366	n.s.	12,0	a
V2 (+ 100 %)	69	c	31	b	717	n.s.	366	n.s.	5,51	b
V3 (+ 50 %)	150	b	36	a	721	n.s.	368	n.s.	10,5	a
V4 (+ 25 %)	162	ab	35	a	721	n.s.	368	n.s.	12,3	a
p-Wert	<,001	***	<,001	***	0,032	*	0,034	*	<,001	***
2021										
V1 (Kontrolle)	203	a	33		710		363		15,6	ad
V2 (normal)	201	a	33		711		363		14,2	abcd
V3 (abgesichert)	176	b	33		713		364		12,1	b
V4 (+ 2 kg)	196	a	32		711		363		12,3	bc
V5 (+ 9 kg)	207	a	34		710		362		14,8	d
p-Wert	0,003	**	0,361		0,669		0,168		0,002	**

können 201 dt ha⁻¹ an Trockenmasse erzielt werden. Auch beeinflusst die Ablage des Kapuzinerkresse-Saatgutes mittels eines Streuers auf der Einzelkornsämaschine die TM-Erträge nicht negativ. Es wurden 196 (V4, + 2 kg ha⁻¹ KK) bzw. 207 dt ha⁻¹ (V5, + 9 kg ha⁻¹ KK) erzielt. Die TM-Gehalte wurden nur im ersten Jahr durch die erhöhte Verunkrautung in V2 signifikant geringer, ansonsten kam es zu keiner Beeinflussung durch die Kapuzinerkresse-Einsaat. Der signifikant niedrigere Proteinерtrag 2020 bei einer 100 % Beimischung (V2, Mais-KK-Verhältnis 1:1,8) wurde durch die starke Verunkrautung des Bestandes mit *C. album* hervorgerufen. Im zweiten Versuchsjahr wurden Proteinерträge von 12,1 bis 15,6 dt ha⁻¹ erzielt, wobei die

Kontrolle die höchsten erzielte und signifikant niedrigere Erträge durch eine Erhöhung der Pflanzenzahl auf 110.000 Pflanzen ha⁻¹ (V3) und bei der Etablierung der KK durch 2 kg ha⁻¹ über einen Streuer (V4) nachgewiesen werden konnten. Auf das Biogas- und Methanpotential wurde nur 2020 ein nachweisbarer Unterschied nachgewiesen, allerdings unterschieden sich die einzelnen Varianten nicht voneinander. Mais-Kapuzinerkresse kann auch im Körnermaisbau von Interesse sein, da kein Gemengepartner ins Erntegut gelangt. So ließ sich für den Kornertrag 2020 beobachten, dass nur ein Mischungsverhältnis von 1:0,45 vergleichbare Erträge zur Kontrolle mit 92 dt ha⁻¹ aufwies (Tabelle 26). Ein Jahr später wurden nach einer

TABELLE 26: KORNERTRAG BEI 14 % KORNFEUCHTE (DT HA⁻¹), TM-GEHALT (%), TKM (G), STÄRKEGEHALT (% ITM) UND PROTEINERTRAG (DT HA⁻¹) JE NACH VARIANTE DES KÖRNERMAISES DER JAHRE 2020 UND 2021 IN ABHÄNGIGKEIT DER AUSSAATSTÄRKE DER KAPUZINERKRESSE.

	Kornertrag	TM-Gehalt		TKM		Methan	Proteinерtrag			
	(dt ha ⁻¹)	(%)		(g)						
2020										
V1 (Kontrolle)	92	a	80	a	288	ab	72,3		8,23	a
V2 (+ 100 %)	46	b	72	b	278	a	71,5		5,36	b
V3 (+ 50 %)	56	b	78	c	296	ab	71,2		5,56	b
V4 (+ 25 %)	83	a	76	c	304	b	71,3		8,65	a
p-Wert	0,002	**	<,001	***	0,017	*	0,343		0,004	**
2021										
V1 (Kontrolle)	133		72		305	ac	74,1	a	11,1	ac
V2 (normal)	132		73		315	a	74,4	a	11,6	a
V3 (abgesichert)	122		71		292	cb	74,1	a	9,35	b
V4 (+ 2 kg)	127		72		278	b	74,5	a	10,3	c
V5 (+ 9 kg)	137		72		285	b	73,2	b	11,4	a
p-Wert	0,058		0,206		<,001	***	0,001	**	<,001	***



Abbildung 36: Mais-Kapuzinerkresse-Bestand, der als Saatgutmischung mittels Einzelkornsaat gesät wurde. Foto: Vanessa Schulz/LTZ

Optimierung des Mischungsverhältnisses bzw. der Aussaattechnik keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen. Die Kornerträge lagen zwischen 122 und 133 dt ha⁻¹. Beim TM-Gehalt wurde, wie bereits beim Silomais, lediglich 2020 ein signifikanter Einfluss nachgewiesen. Während die Kontrolle den höchsten TM-Gehalt hatte, waren alle anderen Varianten niedriger. Auf den Stärkegehalt der Maiskörner hatten die verschiedenen Varianten 2020 keinen Einfluss. Im Jahr 2021 konnte nachgewiesen werden, dass der Einsatz von 9 kg ha⁻¹ Kapuzinerkresse (V5) die Stärkegehalte im Erntegut signifikant um 1 % reduzierte. Im

wachstumsgünstigen 2021 wurden zudem größere Körner gedroschen, was sich in den höheren TKM im Vergleich zu 2020 beobachten ließ. Mit der Kontrolle vergleichbare Proteinerträge wurden 2020 mit 8,65 dt ha⁻¹ nur in V4 (25 % KK) und in 2021 in allen Varianten mit Ausnahme von V3 nachgewiesen.

Bei Erhöhung des Zielpflanzenbestandes auf 90.000 Pflanzen ha⁻¹ waren die Proteinerträge um 16 % niedriger (9,35 dt ha⁻¹).

Bei den Bodennitrat-N-Gehalten zum Vegetationsende im Silomais wurde im ersten Jahr signifikant höhere Gehalte bei einer Beimischung von 18 bzw. 9 Kö. m⁻² beobachtet, nachgewiesen wurden (Tabelle 27). Im Jahr 2020 war in diesen Varianten eine hohe Verunkrautung zu verzeichnen, die sich auf die Entmischung des Saatgutes zurückführen ließ. Im zweiten Versuchsjahr wurden zu Vegetationsende in der obersten Schicht keine Unterschiede nachgewiesen. In der mittleren Schicht wurden bei den beiden Varianten mit Saatgutmischungen (V2 und V3) erhöhte Bodennitrat-N-Gehalte zur Kontrolle gefunden (Tabelle 27). Für V3 zeichneten sich diese erhöhten Gehalte auch in der untersten Schicht ab. Diese Veränderung kann nicht auf mehr Pflanzen und somit sich abbauende Biomasse zurückgeführt werden, da sich die Anzahl an Kapuzinerkressenpflanzen in V2 und V3 nicht signifikant unterschieden (Tabelle 23). Dieser Unterschied wird als zufällig betrachtet.

TABELLE 27: BODENNITRAT-N-GEHALTE (KG HA⁻¹) ZU VEGETATIONSENDE IN DEN EINZELNEN BODENSCHICHTEN (0–30, 30–60 UND 60–90 CM) DER VERSCHIEDENEN MAIS-KAPUZINERKRESSE-VARIANTEN FÜR SILO- UND KÖRNERMAIS IN DEN JAHREN 2020 UND 2021.

	Silomais					Körnermais				
	0–30 cm		30–60 cm		60–90 cm	0–30 cm	30–60 cm		60–90 cm	
2020										
V1	8,08	b	10,32		3,47		4,50	10,40		
V2	23,20	a	27,01		14,04		3,41	10,20		
V3	16,77	ab	33,01		..#		8,93	16,90		
V4	9,64	b	9,89		9,68		4,57	10,60		
p-Wert	0,0014	**	0,0981		0,2860		0,1463	0,3409		
2021										
V1	2,79		6,49	c	6,98	b	2,65	4,58	ab	5,64
V2	5,30		13,06	a	6,60	b	2,27	2,81	b	4,92
V3	3,94		9,83	b	13,93	a	2,65	4,66	ab	7,71
V4	4,95		6,40	c	5,96	b	1,94	3,33	ab	4,84
V5	5,35		8,38	bc	7,48	b	3,97	5,46	a	5,22
p-Wert	0,1820		< ,0001	***	0,0043	**	0,3332	0,0195	*	0,1997

Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze



Abbildung 37: Sicht auf die abwechselnden gemischten Mais-Bohnen- und reinen Hochleistungsmaisreihen.

Foto: Vanessa Schulz/LTZ

Im Körnermais wurden im ersten Versuchsjahr 2020 keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Varianten in den unterschiedlichen Bodenschichten nachgewiesen (Tabelle 27). Im Jahr 2021 unterschied sich V2 mit $2,81 \text{ kg ha}^{-1}$ signifikant von V5 mit $5,46 \text{ kg ha}^{-1}$. Diese Varianten unterschieden sich aber nicht signifikant von der Kontrolle.

Die aufsummierten Bodennitrat-N-Gehalte (0–90 cm) außer in den verworfenen Varianten V2 und V3 aus 2020 lagen im Allgemeinen in einem Bereich, in welchem nicht mit einem Auswaschungsrisiko gerechnet werden muss.

1.3.6 UNTERSUCHUNGEN ZU DEN WIRKUNGEN EINER ALTERNATIVEN PLATZIERUNG DER BOHNE IM MAIS-BOHNEN-GEMENGE

Am Standort Rheinstetten-Forchheim wurden im Gärrest-Versuch (1.3.11) durch die organische Düngung nur geringe Steigerungen des Proteingehaltes im Erntegut und somit des Proteinertes nachgewiesen. Diese waren überwiegend auf die N-Düngung und nicht den zusätzlichen Anbau einer Leguminose zurückzuführen. Teilweise waren zum optimalen Häckseltermin des Maises noch geschlossene Bohnenblüten im Bestand. Um der Bohne mehr Zeit zur Abreife und Aufnahme und Einlagerung von Stickstoff zu geben, sollte das System aus abwechselnden Reihen untersucht werden.

Das Jahr 2020 zeichnete sich ebenfalls wieder durch hohe Temperaturen und eine trockene Witterung aus (Kapitel 1.2.1). Die TM-Erträge der einzelnen Varianten unterschieden sich nicht von denen eines reinen Silomaisbestands mit 185 dt ha^{-1} (Tabelle 29). Der Maisanteil im Bestand lag trotz der Einsaat der Bohne bei $> 74 \%$ (Tabelle 28). Im klimatisch wachstumsgünstigeren 2021 hat keine Mais-Bohnen-Variante höhere TM-Erträge erzielt als die Kontrolle (V1) mit 217 dt ha^{-1} . Werden die signifikant unterschiedlichen Varianten V1 (reiner Bestand P 9911) und V3 (P 9911 und Mais-Bohne) verglichen, kann gezeigt werden, dass 2021 beim Absinken des Maisanteils im Bestand auf 83% geringere TM-Erträge zu verzeichnen waren. Obwohl in beiden Jahren der Anteil an Mais und Bohne in den einzelnen Varianten nahezu gleich war, wurden 2021 signifikante TM-Ertragsunterschiede nachgewiesen. Obwohl in beiden Jahren signifikante Unterschiede in den TM-Gehalten nachweisbar waren, lagen die Gehalte alle in einem für die Silierung geeigneten Bereich. Im trockensten Jahr 2020 wurde durch die Optimierung des Systems keine Erhöhung im Proteinertes verzeichnet. Dies lag an der schnellen Abreife. Im Jahr 2021, mit seiner kühleren und regnerischen Witterung, führte zu einer langsameren Abreife. Allerdings konnten durch die Einsaat der Bohne keine höheren Proteinertes erzielt werden. Die höchsten Erträge lieferte die Kontrolle. Ein reiner Silomaisbestand hat mit $16,3 \text{ dt ha}^{-1}$ signifikant mehr erbracht als die anderen Varianten. Auf das Biogas- und Methanpotential konnte in

TABELLE 28: ANTEIL DER MAIS- UND BOHNENPFLANZEN IM BESTAND (%) JE NACH VARIANTE DER JAHRE 2020 UND 2021 IN ABHÄNGIGKEIT DER VERSCHIEDENEN MAIS-BOHNE-VARIANTEN.

	Anteil Mais (%)		Anteil Bohne (%)	
2020				
V1 (Kontrolle, P 9911)	100	a		
V2 (Kontrolle 2, Mais-Bohne)	74	c	26	a
V3 (P 9911)	84	b	16	b
V4 (SY Orpheus)#	79	bc	19	ab
V5 (Palizi CS)#	80	bc	20	ab
V6 (Mysteri CS)	83	b	17	b
p-Wert	<,001	***	0,007	**
2021				
V1 (Kontrolle, P 9911)	100	a		
V2 (Kontrolle 2, Mais-Bohne)	75	c	25	ac
V3 (P 9911)	83	b	17	bc
V7 (SY Minerva) [¶]	85	b	15	b
V8 (Amalfi CS) [¶]	78	bc	22	a
V6 (Mysteri CS)	81	b	19	b
p-Wert	<,001	***	0,001	**

Auf Grund von Sortenverfügbarkeit # nur 2020, ¶ nur 2021

keinem Jahr eine signifikante Auswirkung nachgewiesen werden.

Der Bodennitrat-N-Gehalt wurde 2020 in keiner Bodenschicht durch keine der Varianten beeinflusst. Im zweiten Versuchsjahr wurde in der obersten Schicht für die V7 mit der Hochleistungsmaissorte Minerva geringere Bodennitrat-N-Gehalte als in der Kontrolle nachgewiesen. In der untersten Schicht konnte nachgewiesen werden, dass ein reiner Maisbestand (V1, P 9911) signifikant höhere Bodennitrat-N-Gehalte hatte, als die Kombination von P9911 mit Mais-Bohne (V3). Das lässt darauf schließen, dass die Stangenbohne, trotz ihrer Möglichkeit zur N-Fixierung Stickstoff aus dem Boden aufnimmt, wenn dieser in ausreichenden Mengen vorhanden ist. In den Varianten V6 und V8 wurde beobachtet, dass hier ebenfalls niedriger Bodennitrat-N-Gehalte vorliegen.

Wie bereits in Kapitel 1.3.5 erwähnt liegen die aufsummierten (0–90 cm) Bodennitrat-N-Gehalte der Varianten in einem Bereich, der kein erhöhtes Auswaschungsrisiko vermuten lässt.

TABELLE 29: TM-ERTRAG (DT HA⁻¹), TM-GEHALT (%), BIOGAS- UND METHANPOTENTIAL (L KG⁻¹ O₂TM) UND DER PROTEINERTRAG (DT HA⁻¹) DER JAHRE 2020 UND 2021 IN ABHÄNGIGKEIT DER VERSCHIEDENEN MAIS-BOHNE-VARIANTEN.

	TM-Ertrag		TM-Gehalt		Biogas		Methan		Proteinерtrag	
	(dt ha ⁻¹)		(%)		(l kg ⁻¹ o ₂ TM)				(dt ha ⁻¹)	
2020										
V1 (Kontrolle, P 9911)	185	ab	31,1	c	719		367		12,9	a
V2 (Kontrolle 2, Mais-Bohne)	193	ab	38,6	a	720		367		13,5	b
V3 (P 9911)	202	a	35,9	ab	721		368		15,6	a
V4 (SY Orpheus)#	187	ab	37,4	ab	721		368		14,5	a
V5 (Palizi CS)#	176	b	37,1	ab	719		367		12,4	
V6 (Mysteri CS)	190	ab	35,5	b	720		368		15,6	
p-Wert	0,040	*	<,001	***	0,658	n.s.	0,661	n.s.	0,076	n.s.
2021										
V1 (Kontrolle, P 9911)	217	a	33,6	abc	711		363		16,3	a
V2 (Kontrolle 2, Mais-Bohne)	163	d	30,4	c	710		362		13,3	b
V3 (P 9911)	200	b	36,6	a	714		364		15,3	b
V7 (SY Minerva) [¶]	188	bc	34,3	ab	714		364		13,8	b
V8 (Amalfi CS) [¶]	177	cd	35,5	ab	706		360		14,3	b
V6 (Mysteri CS)	189	bc	31,8	bc	710		362		14,5	b
p-Wert	<,001	***	0,001	**	0,250	n.s.	0,252	n.s.	0,017	*

Auf Grund von Sortenverfügbarkeit # nur 2020, ¶ nur 2021

TABELLE 30: BODENNITRAT-N-GEHALTE (KG HA⁻¹) ZU VEGETATIONSENDE IN DEN EINZELNEN BODENSCHICHTEN (0–30, 30–60 UND 60–90 CM) DER VERSCHIEDENEN MAIS-BOHNE-VARIANTEN IN DEN JAHREN 2020 UND 2021.

	0–30 cm		30–60 cm	60–90 cm	
2020					
V1 (Kontrolle, P 9911)	8,29		4,31	3,11	
V2 (Kontrolle 2, Mais-Bohne)	10,51		7,44	3,38	
V3 (P 9911)	10,91		6,80	3,31	
V4 (SY Orpheus)#	6,24		6,85	2,92	
V5 (Palizi CS)#	8,86		7,88	2,73	
V6 (Mysteri CS)	6,74		5,19	3,26	
p-Wert	0,2334		0,1231	0,8784	
2021					
V1 (Kontrolle, P 9911)	8,81	a	12,11	8,79	a
V2 (Kontrolle 2, Mais-Bohne)	8,82	a	12,45	8,22	ab
V3 (P 9911)	6,77	ab	9,59	5,59	bcd
V7 (SY Minerva) [¶]	5,36	b	9,56	7,20	abc
V8 (Amalfi CS) [¶]	6,79	ab	8,72	4,56	d
V6 (Mysteri CS)	8,85	a	9,68	4,80	cd
p-Wert	0,0084	**	0,2841	< ,0001	***

1.3.7 UNTERSUCHUNGEN ZUR BESTANDSETABLIERUNG VON IN HERBSTBLÜHMISCHUNGEN GESÄTEM MAIS

Durch die Einsaat von Mais in überjährige Blühmischungsbestände beginnen bereits zu Vegetationsbeginn die ersten Pflanzen zu blühen und schaffen somit ein Nahrungsangebot für Insekten.

Während der Vegetationszeit wurde ein hohes Auftreten von Insekten in den Blühmischungen festgestellt. Die Blüte der überwinterten Arten setzte im zeitigen Frühjahr 2020 ein und dauerte bis weit in den Herbst 2020.

Kleinwüchsige Arten wie Knäul-Glockenblume und Wundklee hatten es schwerer gegenüber dominanteren Arten wie Klee, Koriander, Wilde Möhre, Geruchlose Kamille und Färberkamille. Am Standort Stifterhof war im Jahr 2020 die Bodenbedeckung durch die Blühmischungen zum Zeitpunkt der Aussaat signifikant höher als bei einem reinen Maisbestand (Tabelle 31). So wurde bei der Kontrolle in der praxisüblichen Aussaatvariante erwartungsgemäß kaum eine Bodenbedeckung festgestellt (1,12 %). Trotz einer Strip-Till-Bearbeitung der Blühmischungsvarianten wurden Deckungsgrade (DG) zwischen 34,2 und 41,5 % ermittelt. V4 hatte den höchsten DG, da in dieser Variante

die Aussaatstärke mit 30 kg ha⁻¹ höher lag als bei den anderen beiden Varianten (10 kg ha⁻¹). Auch zeichnete sich V4 durch gut deckende Pflanzen wie bspw. *Brassica carinata* und *Raphanus ssp.* aus, die in dieser Mischung hervorstachen.

Obwohl der Deckungsgrad von HBI in Tachenhausen durchweg höher war, konnte in HBII im Durchschnitt eine höhere Artenvielfalt sowie in der Erfassung am 11.06.2020 ein größeres Blühangebot (Färberkamille, *Anthemis tinctoria*) verzeichnet werden (Abbildung 39). In beiden Blühmischungen wurde eine starke Beeinträchtigung der Maisentwicklung beobachtet. Beide Mischungen zeichneten sich über den gesamten Vegetationszeitraum durch eine erfolgreiche Unkrautunterdrückung aus.

Der Bodendeckungsgrad zur Maisaussaat 2021 am Standort Stifterhof war geringer als im Jahr 2020, aber dennoch konnten in den Varianten mit Blühmischung höhere Deckungsgrade erzielt werden (15,7 bis 18,3 %) als in der Kontrolle 7,33 % (Tabelle 31).

Ein geringeres Wachstum des Maises durch die dominierenden Arten der Blühmischungen wurde am Standort Stifterhof beobachtet. Dort war das Wachstum des in die bestehende Blühmischung gesäten Maises signifikant verzögert (Abbildung 42). So waren V2–4 zum potentiellen

TABELLE 31: DECKUNGSGRAD (DG, %) ZUM ZEITPUNKT DER MAISAUSSAAT IN DER KONTROLLE (V1) UND IN DEN VARIANTEN MIT BEREITS IM HERBST ETABLIERTEN BLÜHMISCHUNGEN (V2–V4).

SE gibt den Standardfehler an. Mittelwerte mit demselben Buchstaben sind nicht signifikant voneinander verschieden (HSD-Test $p \leq 0,05$).

	2020		2021	
V1 (Kontrolle)	1,12	c	7,33	b
V2 (+ Blühmischung I)	34,22	b	15,67	a
V3 (+ Blühmischung II)	37,18	ab	18,33	a
V4 (+ Blühmischung III)	41,49	a	17,67	a
p-Wert	<,001***		<,001***	

Erntetermin der Kontrolle (V1) noch im 6- bis 7-Blattstadium (BBCH 16–17) (Tabelle 32), während hingegen die Kontrolle bereits mit der Abreife begonnen hatte (BBCH 79). Auch wurden deutliche Wachstumsdepressionen beobachtet. Dies konnte vor allem in der Pflanzenhöhe des Mais nachgewiesen werden (Tabelle 32). Während in der Kontrolle V1 die Maispflanzen durchschnittlich 211 cm hoch waren, waren die Pflanzen in den Blühmischungsbeständen in allen Varianten durchschnittlich 60 cm hoch.

Ein vollständig ausgebildeter Kolben ist, neben dem Körnermaisertrag, auch für den Silomaisertrag von Bedeutung.

TABELLE 32: KOLBENAUSPRÄGUNG ENTSPRECHEND BSA NOTENSKALA (1–9, 1 = SEHR GERING AUSGEPRÄGT, 9 = SEHR STARK AUSGEPRÄGT), SOWIE DIE BBCH STADIEN DES MAISES UND DIE PFLANZENHÖHE (CM) IN DER KONTROLLE (V1) UND IN DEN VARIANTEN MIT BEREITS IM HERBST ETABLIERTEN BLÜHMISCHUNGEN (V2–V4) ZUM POTENTIELLEN ERNTETERMIN AM STANDORT STIFTERHOF.

SE gibt den Standardfehler an. Mittelwerte mit demselben Buchstaben sind nicht signifikant voneinander verschieden (HSD-Test $p \leq 0,05$).

	Kolbenausprägung	BBCH		Pflanzenhöhe (cm)	
V1 (Kontrolle)	9	79	a	211	a
V2 (+ Blühmischung I)	1	16	b	299	
V3 (+ Blühmischung II)	1	16	b	298	
V4 (+ Blühmischung III)	1	17	b		
p-Wert		<,001***		<,001***	

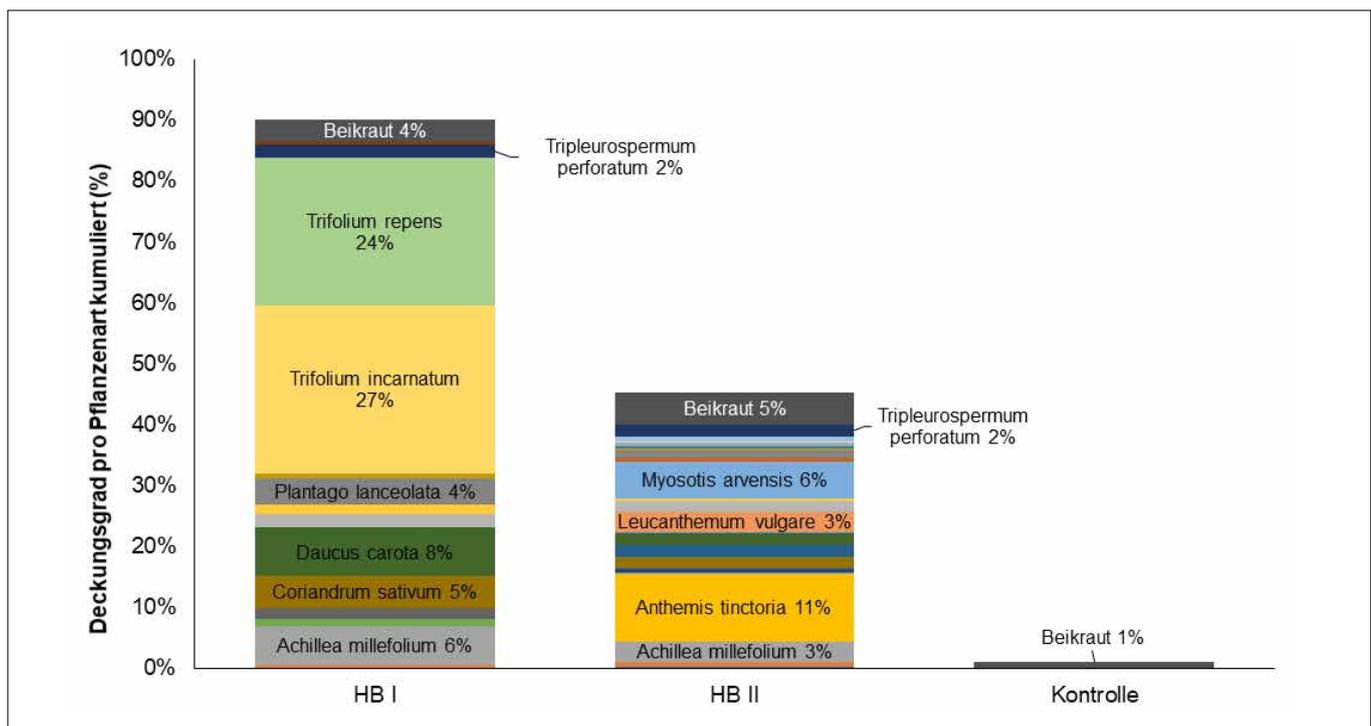


Abbildung 38: Kumulierter Deckungsgrad pro Pflanzenart in den Herbst-Blühmischungsuntersaaten am Standort Tachenhausen 2020.

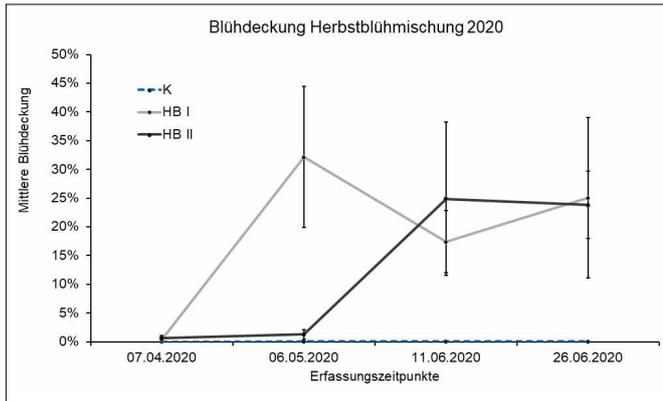


Abbildung 39: Mittlere Blühdeckung in den Herbstblühmischungen (HBI, HBII) und in der Kontrolle (K) über die vier Erfassungszeitpunkte. Dargestellt sind Mittelwerte und Standardabweichung (n = 4).



Abbildung 40: Den Mais überwuchernde Herbstblühmischungen (HB) I (links) und HBII (rechts) am 30.06.2020. Foto: Freya Zettl/HfWU

Zum potentiellen Erntetermin wiesen alle Pflanzen in der Kontrolle (V1) vollständig ausgebildete Kolben auf, während hingegen die Maispflanzen in V2–4 keine bzw. kaum Kolbenansätze ausgebildet hatten (Tabelle 32). Die Anzahl an Maispflanzen in der Ernteparzelle wurde durch die Blühmischungen signifikant verändert, aber nicht in jeder Variante (Abbildung 41).

1.3.8 UNTERSUCHUNGEN ZUR EIGNUNG VON FRÜHJAHRSBLÜHMISCHUNGEN ALS MIKROBLÜHSTREIFEN ZWISCHEN DEN MAISREIHEN

Da die Etablierung von Mais in überjährigen Blühmischungsbeständen mit vielen Schwierigkeiten behaftet ist, stellte sich die Frage, ob eine gemeinsame Aussaat mit dem Mais die Etablierung des Blühangebots durch eine Blühmischung einfacher gestaltet.

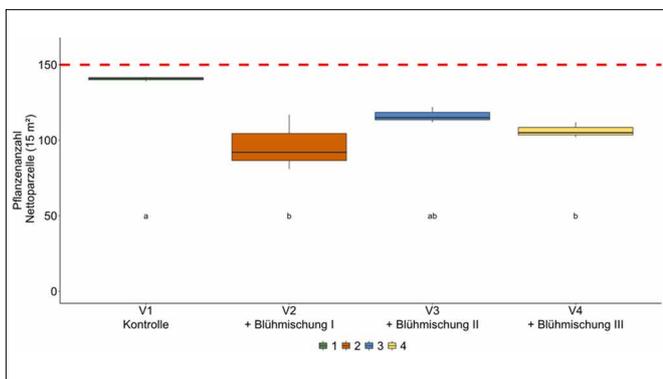


Abbildung 41: Box Plot der Mais-Pflanzenanzahl 2020 in der Nettoparzelle in der Kontrolle (V1) und in den Varianten mit bereits im Herbst etablierten Blühmischungen (V2–V4) am Standort Stifterhof. Die rote, gestrichelte Linie gibt die theoretische Bestandsdichte von 150 Pflanzen in der Nettoparzelle von 15 m² bei einer Aussaatstärke von 10 Maispflanzen m⁻² an. Mittelwerte mit demselben Buchstaben sind nicht signifikant voneinander verschieden (HSD-Test p ≤ 0,05).

Der Saaterfolg lag in Frühjahrsblühmischung I (FBI) im Jahr 2020 bei 24 von 26 Arten und im Jahr 2021 bei 11 von 11 Arten. In Frühjahrsblühmischung II (FBII) liefen im ersten Jahr 23 von 26 Arten auf, im zweiten Jahr waren es 26 von 27 Arten. Die Arten *Stachys recta* (FBI, FBII), *Sanguisorba minor* (FBII), *Valeriana officinalis* (FBI) und *Centaurea jacea* (FBII) konnten sich 2020 nicht etablieren und wurden nicht in die angepassten Blühmischungen für 2021 übernommen. Im Jahr 2021 konnte sich nur die Art *Picris hieracoides* (FBII) nicht etablieren. Besonders dominant vertreten waren die verschiedenen Kamille- und Kleearten, sowie Senf, Raps, Borretsch, Koriander, Spitzwegerich (*Plantago*), Ackerlichtnelke (*Silene*) und Leindotter (Abbildung 43).



Abbildung 42: Pflanzenhöhe der Maispflanzen in der Kontrolle (V1, oben links) und in den Varianten mit bereits im Herbst etablierten Blühmischungen zum potentiellen Erntetermin am 19.08.2020. Als Referenz dient ein 2 m langer Fluchtstab, ein farbiges Segment entspricht 0,50 m. Fotos: Vanessa Schulz/LTZ

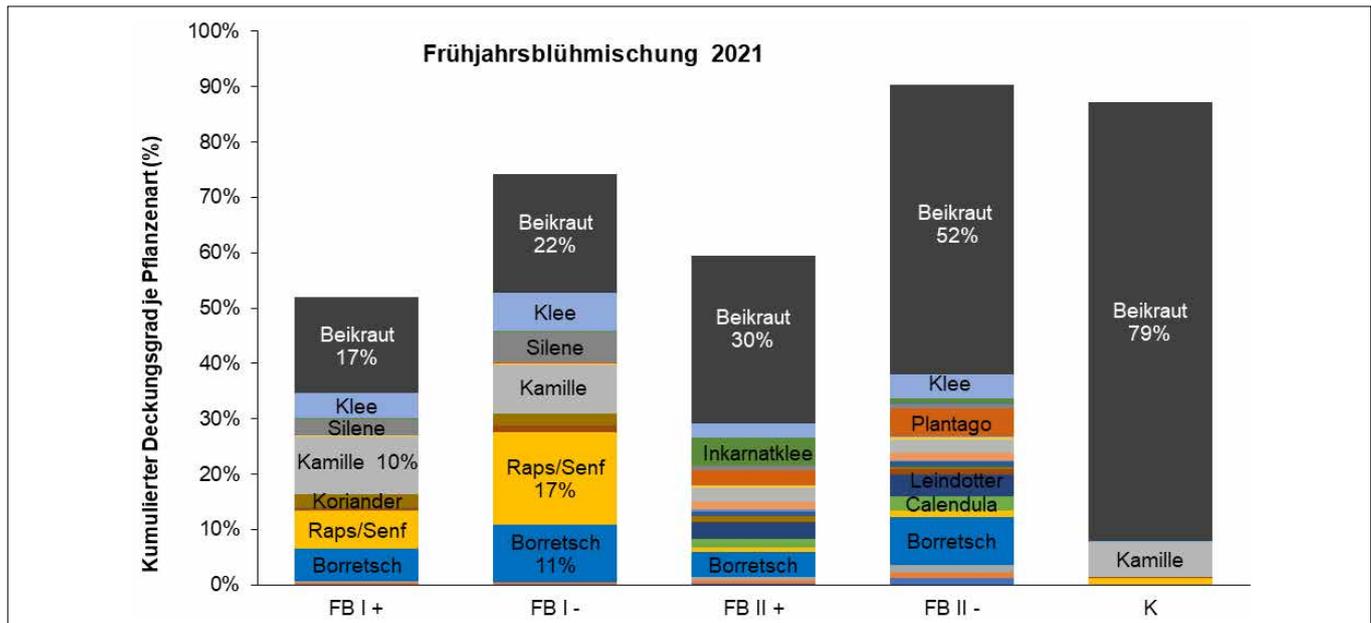


Abbildung 43: Mittlerer Deckungsgrad der ausgesäten Pflanzenarten und Beikräuter in den Frühjahrsblütmischungen Tachenhausen. Pro Variante (K = Kontrolle, FBI/II = Frühjahrsblütmischung I/II, + = mit Reihenbandspritzung, - = ohne Reihenbandspritzung), kumuliert über die drei Erfassungstermine im Jahr 2020 (oben) und 2021 (unten). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird der Anteil einer Art an der Gesamtdeckung erst ab 10 % angegeben. Klee = *Trifolium repens* + *Trifolium pratense*; Kamille = *Tripleurospermum perforatum* + *Matricaria recutita*.

In beiden Jahren unterschieden sich Deckungsgrad und Blühangebot der getesteten Blütmischungsvarianten im Juli am deutlichsten voneinander (Abbildung 44 bis Abbildung 47). Dabei konnte im Jahr 2020 eine besonders hohe Deckung der Arten *Brassica napus* (14%), *Coriandrum sativum* (11%), *Trifolium pratense* (8%) und *Anthemis arvensis* (7%) in FBII beobachtet werden. Im Juli 2021 war eine besonders hohes Blühangebot in FBI zu verzeichnen, dominiert durch die Arten *Brassica napus* (5–9%), *Tripleurospermum perforatum* (3–7%), *Borago officinalis* (3–4%) und *Trifolium pratense* (2–3%).

Die Beikrautdeckung im Parzellenversuch 2020 war sehr gering und die Blütmischungen zeigten keine sichtbare Konkurrenz zum Mais. Allerdings kam es auf dem Praxis-schlag zu einer starken Verunkrautung und der Versuch musste vorzeitig beendet werden. Im Parzellenversuch 2021 war ein hoher Unkrautdruck zu verzeichnen (Abbildung 46). Die unproportional hohe Unkrautdeckung in der Kontrolle im Juli 2021 ist allerdings mit hoher Wahrscheinlichkeit auf einen Erfassungsfehler zurückzuführen. Hier wurde der Deckungsgrad vereinzelter Akkumulationen von kleinen, konkurrenzschwachen Arten wie Vogelknöterich und Kamille überbewertet, da diese Arten im Gegensatz zu Hirsen und Gänsefuß sehr hohe Deckungsgrade in

Bodennähe aufweisen. Wüchsige und konkurrenzstarke Gräser und Weißer Gänsefuß (*Chenopodium album*) traten hingegen primär in den blühenden Untersaaten auf.

Im Trockenjahr 2020 wirkte sich weder die blühende Untersaat noch die Herbizidbehandlung signifikant auf den Mais Trockenmasse-Ertrag aus (Tabelle 33).

TABELLE 33: MITTLERE TROCKENMASSE-ERTRÄGE (DT HA-1) IM REINEN MAIS (KONTROLLE) UND IM GEMENGE MIT FRÜHJAHRSBLÜHMISCHUNG I (FBI) UND II (FBII), MIT (+) UND OHNE (-) REIHENBANDSPRITZUNG IM PARZELLENVERSUCH 2020 (LINKS) UND 2021 (RECHTS).

Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung. Gleiche Kleinbuchstaben symbolisieren nicht-signifikante Unterschiede (Tukey-Kramer, $\alpha \leq 0,05$).

	2020		2021	
	dt ha ⁻¹ TM	Relativ	dt ha ⁻¹ TM	Relativ
Kontrolle	177	a	130	b
FBI -	179	a	100	a
FBII -	223	a	101	a
FBI +	191	a	120	ab
FBII +	199	a	121	ab

- ohne Reihenbandspritzung
+ mit Reihenbandspritzung

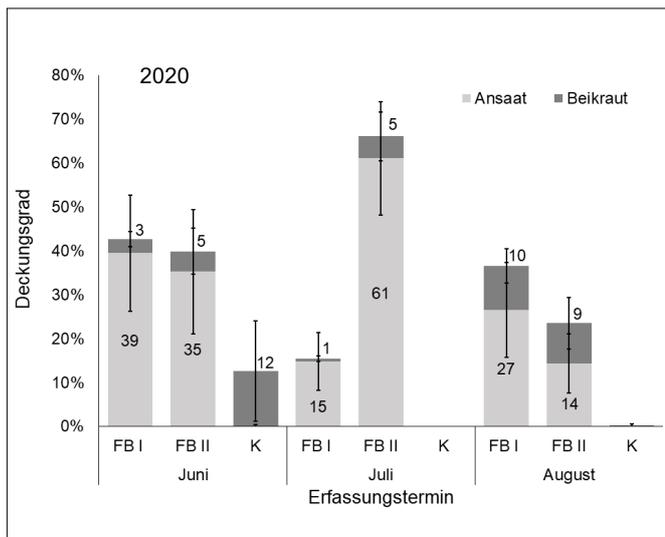


Abbildung 44: Deckungsgrad von Ansaat und Beikräutern in der Mais-Reinkultur (K) und dem Gemenge mit den Blühmischungsvarianten FBI und FBII im Jahr 2020. Dargestellt sind Mittelwert und Standardabweichung (n = 4) pro Erfassungszeitpunkt

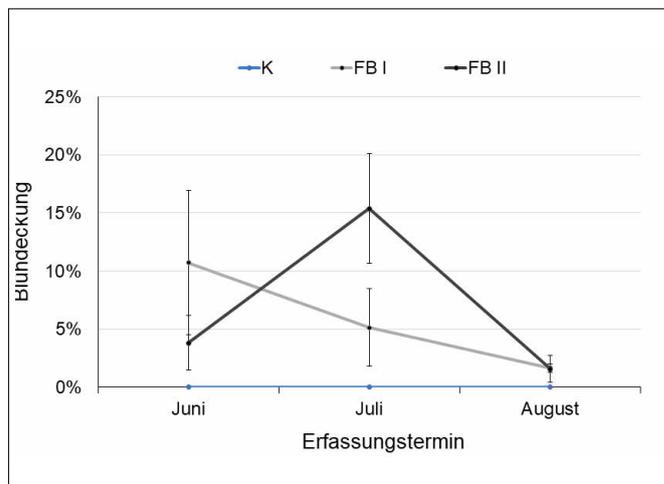


Abbildung 45: Entwicklung der mittleren Blühdeckung in der Kontrolle (K) und im Gemenge mit Frühjahrsblühmischung I und II (FBI, FBII) von Juni bis August 2020.

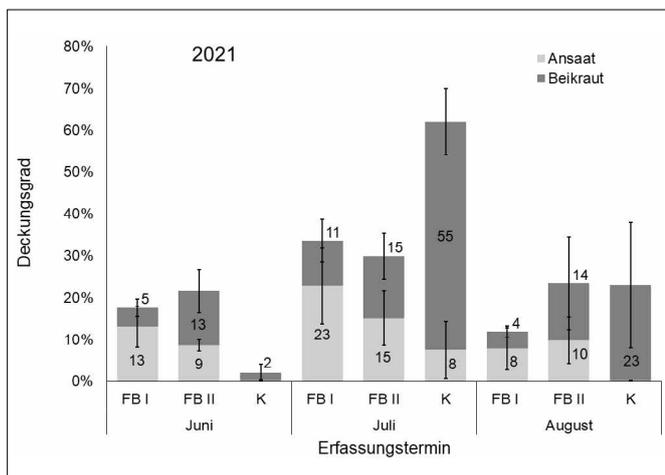


Abbildung 46: Mittlerer Deckungsgrad von Ansaat und Beikräutern in der Mais-Reinkultur (K) und in dem Gemenge mit den Blühmischungsvarianten FBI und FBII im Jahr 2021. Dargestellt ist der Mittelwert und Standardabweichung (n = 4) pro Erfassungstermin.

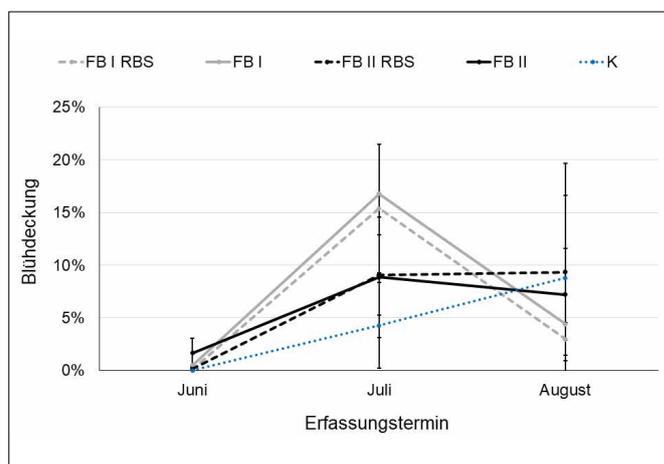


Abbildung 47: Entwicklung der mittleren Blühdeckung in der Kontrolle (K) und im Gemenge mit Frühjahrsblühmischung I und II (FBI, FBII) mit und ohne Reihenbandspritzung (RBS) von Juni bis August 2021.



Abbildung 48: Parzellenversuch zu Mais mit blühender Untersaat (Frühjahrsblühmischung) Tachenhausen 2021.

Foto: Freya Zettl/HfWU

Im Jahr 2021 wurden im gesamten Parzellenversuch nur sehr geringe Maiserträge erzielt. Mögliche Ursachen für die Ertragsreduktion waren starke Hagelschäden im Juni, Drahtwurmbefall und ein hoher Unkrautdruck. Es kam im zweiten Jahr des Weiteren zu signifikanten Ertragseinbußen in den Varianten, in denen die Maisreihen keine Bandapplikation mit einem Maisherbizid erhalten hatten. Die durchschnittliche Ertragsreduktion im Vergleich zur Kontrolle lag hier bei 3 dt ha⁻¹ TM.

Der mittlere Oberflächenabfluss war im Mais-Blühmischungs-Gemenge 2020 tendenziell geringer als im reinen Maisbestand (Kontrolle). Aufgrund der hohen Mess-Variationen wurde jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Varianten festgestellt.

1.3.9 CHEMISCHE UNKRAUTREGULIERUNG VON MAISBESTÄNDEN MIT BLÜHMISCHUNG: HERBIZIDVERSUCH

Da durch die Blühmischung die chemisch-synthetische Unkrautregulierung in Maisbeständen erschwert wird, wurde geprüft, wie verträglich die gängigen Maisherbizide auf die Blühmischungen sind, da diese nach Möglichkeit nicht bekämpft werden sollen.

In keiner der vier Blühmischungen im Jahr 2020 wurden Wirkungslücken von Pflanzenschutzmitteln nachgewiesen. Einige Pflanzenarten waren jedoch robuster als andere und reagierten weniger empfindlich auf die eingesetzten Herbizide (Tabelle 34).

1.3.10 TEILUNG DES MAISSCHLAGES DURCH BLÜHSTREIFEN

In allen Blühstreifen, die bis einschließlich 01.09.2020 ausgesät wurden, hat sich die Deckfrucht (*Sinapis alba*) gut etabliert. In Folge einer späteren Aussaat lief die Deckfrucht nicht auf und der Boden blieb über den Winter unbedeckt. Die fehlende Unkrautunterdrückung führte am Standort Nr. 7 (Aussaat am 08.09.2020) zu einer verstärkten Verunkrautung und einem frühzeitigen Umbruch des Blühstreifens. Auch am Standort Nr. 4 (Aussaat am 26.09.2020) kam es zu einer starken Verunkrautung durch ein Massenaufreten der Quecke (*Elymus repens*) (Abbildung 49).

Über die fünf Flächen wurden insgesamt 40 verschiedene Pflanzenarten in den Blühstreifen nachgewiesen. Davon waren 25 Arten aus der Ansaat und 15 Beikrautarten. Im Mittel wurden in einer Begehung 13 verschiedene angesäte Pflanzenarten mit einer Gesamtdeckung von 43 %

TABELLE 34: PFLANZENARTEN AUS DEN HERBST- UND FRÜHJAHRSBLÜHMISCHUNGEN 2020 MIT VERRINGERTER REAKTION AUF EINZELNE HERBIZID-WIRKSTOFFE (VERÄNDERT NACH KRAUS 2021).

Herbstblühmischung		Frühjahrsblühmischung	
Robuste Pflanzenarten	Wirkstoff(-lücke)	Robuste Pflanzenarten	Wirkstoff(-lücke)
<i>Achillea millefolium</i>	Tritosulfuron	<i>Anthemis arvensis</i>	Dicamba
<i>Anthemis tinctoria</i>	Dicamba	<i>Brassica napus</i>	Dicamba
<i>Calendula officinalis</i>	Bromoxynil	<i>Coriandrum sativum</i>	Tritosulfuron, Dic+Trit, Bromoxynil
<i>Carum carvi</i>	Dicamba	<i>Crepis capillaris</i>	Tritosulfuron
<i>Coriandrum sativum</i>	Dicamba, Dic+Trit, Tritosulfuron, Prosulfuron	<i>Lamium purpureum</i>	Prosulfuron
<i>Crepis biennis</i>	Tritosulfuron	<i>Legousia speculum</i>	Dicamba
<i>Plantago lanceolata</i>	Dicamba, Tritosulfuron, Prosulfuron, Bromoxynil	<i>Matricaria recutita</i>	Dicamba
<i>Trifolium incarnatum</i>	Dicamba, Dic+Trit, Tritosulfuron	<i>Sinapis arvensis</i>	Dicamba, Bromoxynil
		<i>Trifolium repens</i>	Prosulfuron
<i>Tripleurospermum inodorum</i>	Dicamba, Bromoxynil	<i>Tripleurospermum inodorum</i>	Tritosulfuron



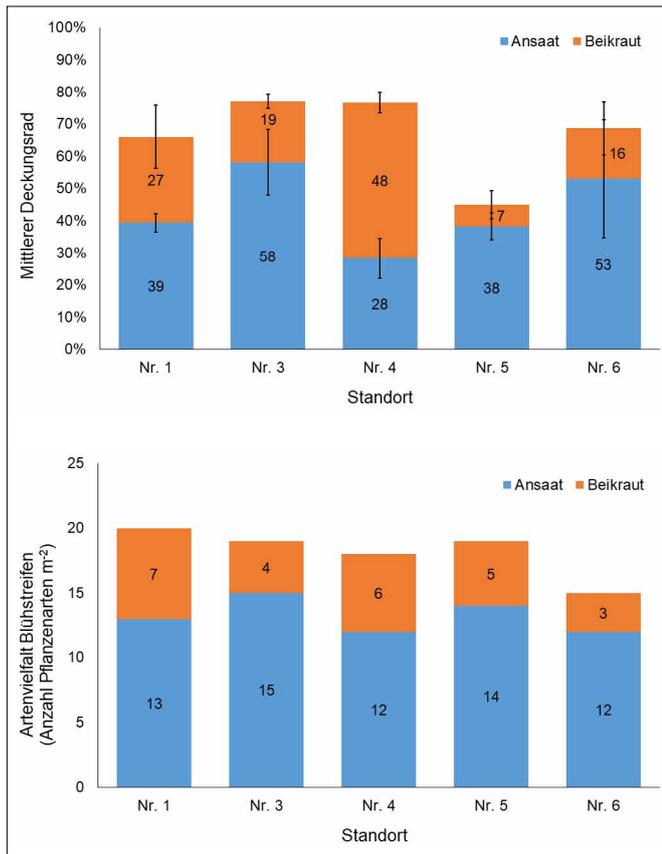


Abbildung 49: Deckungsgrad (oben) und Artenvielfalt (unten) in den Blühstreifenversuchen 2021. Standort Nr. 2 und 7 wurden auf Grund eines Hagelschadens bzw. starker Verunkrautung nicht gewertet.

und fünf Beikrautarten mit einer Deckung von 23 % pro Fläche beobachtet.

Im Frühjahr 2021 war eine verzögerte und teilweise lückige Entwicklung der Blühmischung zu beobachten. Erst ab Anfang Juni stand an allen Standorten ein flächendeckendes Blühangebot zur Verfügung, das in der ersten Junihälfte stark durch die Kornrade (*Agrostemma githago*) dominiert wurde.

1.3.11 EXAKTVERSUCH ZUR ÜBERPRÜFUNG DER STICKSTOFFDÜNGUNG IN MAIS-BOHNENBESTÄNDEN

1.3.11.1 Phänologische und ökologische Auswirkungen des Mais-Bohnen-Anbaus

Auf die Anzahl an Maispflanzen in den Ernteparzellen hatte nur die Kombination aus der Kontrolle (Düngung ja/nein) und dem Jahr einen Einfluss (Tabelle 35). Sowohl



Abbildung 50: Drohnenaufnahme des Düngungsversuchs in Mais-Bohne aus dem Jahr 2021. Foto: LTZ Digitalisierung

innerhalb der Variante Düngung = „ja“, wie auch der Variante Düngung = „nein“ wurde nachgewiesen, dass sich 2021 mit signifikant weniger Maispflanzen von 2019 und 2020 unterschied. Generell kann geschlossen werden, dass ein wärmeres Jahr (2019, 2020) zu mehr Maispflanzen führte, als ein kühleres (2021). Die Differenz beträgt 12 bzw. 15 Maispflanzen in der Ernteparzelle, was auf die Fläche betrachtet 8.000 bzw. 10.500 Pflanzen ha⁻¹ weniger sind.

Im Gegenzug dazu hatte das Jahr keinen signifikanten Einfluss auf die besser an kühlere Temperaturen angepasste Bohne. Auf die Anzahl an Bohnenpflanzen hatten aber die Kombination der Kontrolle x Düngerart sowie die Kontrolle x Menge an ausgebrachtem Stickstoff einen Einfluss. Eine organische Düngung führte zu weniger Bohnenpflanzen. Durch eine 100 % Düngung wuchsen ebenfalls signifikant weniger Bohnen als in den anderen Düngegraden (Tabelle 35). Dass die Art des eingesetzten Düngers einen nicht zu vernachlässigenden Einfluss auf die Anzahl an Bohnenpflanzen hat ließ sich durch signifikante Unterschiede in den Kombinationen aus Kontrolle x Ausbringtechnik x Düngerart und Kontrolle x Düngerart x Stickstoffmenge nachweisen. Bei einer Breitverteilung organischer Düngemittel sowie bei einer organischen Düngung mit 100 % des ermittelten N-Bedarfs ist eine Reduktion in der Anzahl an Bohnenpflanzen zu verzeichnen.

Auf die Pflanzenhöhe des Mais wurde ein signifikanter Einfluss durch die Kontrolle (Düngung ja/nein) und das Jahr nachgewiesen. In heißen, trockenen Jahren (2019, 2020) wurde kein Einfluss auf die Maishöhe beobachtet, und zwar unabhängig davon, ob gedüngt wurde oder nicht. Erfolgte eine Düngung in heißen, trockenen Jahren, wurde

TABELLE 35: EINFLUSS DER KONTROLLE DÜNGUNG (JA/NEIN) IN KOMBINATION MIT DEM JAHR, DER AUSBRINGTECHNIK, DER DÜNGERART SOWIE DER DÜNGEMENGE AUF PFLANZENANZAHL AN MAIS UND BOHNEN IN DER ERNTEPARZELLE (12 M²), SOWIE DIE PFLANZENHÖHE (CM).

	Pflanzenanzahl				Pflanzenhöhe			
	Mais		Bohne		Mais		Bohne	
Kontrolle x								
Jahr								
2019	120		34		255		238	
2020	123		30		245		221	
2021	108		27		304		268	
p-Wert	0,0219	*	0,6612		0,0031	**	0,0123	*
Ausbringtechnik								
Depotdüngung	116		31		268		242	
Breitverteilung	118		30		270		242	
p-Wert	0,7144		0,7660		0,1397		0,9717	
Düngerart								
Organisch	117		30		269		246	
Mineralisch	116		31		268		239	
p-Wert	0,4297		0,0268	*	0,8713		0,4786	
Düngemenge								
0 %	117		31	a	260		236	
25 %	117		30	a	276		247	
50 %	118		31	a	279		249	
100 %	117		27	b	279		249	
p-Wert	0,1795		0,0369	*	0,3603		0,8156	

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind innerhalb eines Parameters zwischen den Kombinationen Kontrolle x Düngemenge laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

ein Höhenzuwachs von 23 (2019) bzw. 17 cm (2020) erreicht (Tabelle 35, Tabelle 36). In kühleren, feuchteren Jahren (2021) hatte es keine Auswirkungen auf die Pflanzenhöhe des Mais, ob gedüngt wurde oder nicht. Innerhalb der Kontrollen Düngung „ja“ und „nein“ konnte beobachtet werden, dass in kühleren Jahren höhere Pflanzenbestände gemessen wurden.

Ebenfalls durch das Jahr beeinflusst war die Höhe der Bohnenpflanzen. Erfolgte eine Düngung wurde wie bereits

beim Mais signifikant höhere Pflanzen gemessen (Tabelle 35, Tabelle 37). Alle anderen Faktoren hatten keinen Einfluss auf das Höhenwachstum der Bohnen.

Das nach dem Abfahren der Kulturpflanze auf dem Acker verbleibende Nitrat-N kann durch Auswaschung einen großen Einfluss auf die Güte der Grundwasservorräte haben. Daher sollten hohe Nitrat-N-Gehalte im Boden durch angepasste Düngungsstrategien vermieden und so die Auswaschungsgefahr verringert werden.

TABELLE 36: EINFLUSS DER KONTROLLE (DÜNGUNG JA/NEIN) UND DES JAHRES INNERHALB AUF DIE HÖHE DER MAISPFLANZEN (CM).

Jahr	Düngung			
	ja	aA	nein	aB
2019	267	aA	244	aB
2020	255	aA	238	aB
2021	311	bA	297	bA
p-Wert = 0,0031				

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Jahren innerhalb einer Ausprägung der Kontrolle laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Mittelwerte mit demselben Großbuchstaben sind zwischen einer Ausprägung der Kontrolle innerhalb eines Jahres laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

TABELLE 37: EINFLUSS DER KONTROLLE (DÜNGUNG JA/NEIN) UND DES JAHRES INNERHALB AUF DIE HÖHE DER BOHNENPFLANZEN (CM).

Jahr	Düngung			
	ja	aA	nein	aA
2019	248	aA	227	aA
2020	221	bA	221	aA
2021	276	cA	260	bA
p-Wert = 0,0123				

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Jahren innerhalb einer Ausprägung der Kontrolle laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Mittelwerte mit demselben Großbuchstaben sind zwischen einer Ausprägung der Kontrolle innerhalb eines Jahres laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.



TABELLE 38: EINFLUSS DER KONTROLLE DÜNGUNG (JA/NEIN), DER AUSBRINGTECHNIK UND DER AUSGEBRACHTEN MENGE AN STICKSTOFF AUF DIE BODENNITRAT-N-GEHALTE IN DER MITTLEREN (30–60 CM) UND UNTERSTEN (60–90 CM) SCHICHT ZUM VEGETATIONSENDE.

Düngung	Ausbringtechnik	Düngemenge	30–60cm		60–90 cm	
nein	-	-	5,44	c	4,13	b
ja	Depotdüngung	25 %	6,44	bc	4,63	b
		50 %	6,97	bc	6,12	b
		100 %	12,96	a	9,68	a
		Breitverteilung	25 %	6,60	bc	4,13
50 %	6,88		bc	5,49	b	
100 %	8,30		b	5,34	b	
p-Wert			0,0433		0,0291	

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind innerhalb eines Parameters zwischen den Kombinationen Kontrolle x Ausbringtechnik x Düngemenge laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

TABELLE 39: EINFLUSS DER KONTROLLE DÜNGUNG (JA/NEIN) IN KOMBINATION MIT DEM JAHR, DER AUSBRINGTECHNIK, DER DÜNGERART SOWIE DER GEDÜNGTEN N-MENGE AUF DIE BODENNITRAT-N-GEHALTE (KG HA⁻¹) FÜR DIE SCHICHTEN 0–30 CM, 30–60 CM UND 60–90 CM JEWEILS NACH DER ERNTE UND ZU VEGETATIONSENDE.

	Nach Ernte			Vegetationsende							
	0–30 cm	30–60 cm	60–90 cm	0–30 cm	30–60 cm	60–90 cm					
Kontrolle x											
Jahr											
2019	4,19	3,43	4,64	2,40	4,84	4,52					
2020	2,26	2,48	2,62	9,47	4,73	3,57					
2021	2,52	3,18	5,13	7,47	10,62	6,97					
p-Wert	0,2267	0,2390	0,1262	0,0250	*	< ,0001		0,0740			
Düngetechnik											
Depotdüngung	3,44	4,04	4,45	6,30	6,85	5,28					
Breitverteilung	2,55	2,55	3,81	7,33	6,61	4,76					
p-Wert	0,2782	0,1492	0,0310	*	0,4124	0,1501		0,1544			
Düngerart											
Organisch	3,06	2,76	4,20	6,78	6,78	4,84					
Mineralisch	2,93	3,30	4,05	6,85	6,37	5,20					
p-Wert	0,9787	0,7055	0,5811	0,8560	0,9821	0,8909					
Menge											
0 %	2,12	b	2,02	b	3,52	b	6,52	5,44	b	4,13	b
25 %	2,49	b	2,57	b	4,07	b	6,72	6,52	b	4,38	b
50 %	3,25	b	3,24	b	4,56	ab	6,58	6,93	b	5,81	b
100 %	5,86	a	6,30	a	5,58	a	8,02	10,63	a	7,53	a
p-Wert	0,0313	*	0,0252	*	0,0270	*	0,0816	0,0010	***	0,0056	**

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind innerhalb eines Parameters zwischen den Kombinationen Kontrolle x Düngemenge laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

Nach der Ernte wurden die Bodennitrat-N-Gehalte in der obersten (0–30 cm) und mittleren (60–90 cm) Bodenschicht durch die ausgebrachte N-Menge signifikant beeinflusst. Wenn 100 % des errechneten N-Bedarfs gedüngt wurden, war nach der Ernte der Bodennitrat-N-Gehalt in diesen Schichten signifikant erhöht. In der obersten Schicht waren noch 5,86 kg ha⁻¹ Nitrat-N vorhanden, während ohne Düngung nur 2,12 kg ha⁻¹ nachgewiesen wurden (Tabelle 39). In der mittleren Bodenschicht waren noch 6,30 kg ha⁻¹ unter

der höchsten Düngengebe und 2,02 kg ha⁻¹ ohne Düngung verfügbar. Zudem war in der mittleren Bodenschicht ein Einfluss durch die Kontrolle dahingehend nachweisbar, dass durch eine Düngung die Werte anstiegen, was in der obersten Schicht nicht nachweisbar war.

In der untersten Schicht wurden zusätzlich zur Menge des ausgebrachten N-Düngers signifikante Unterschiede durch die Ausbringtechnik nachgewiesen. Durch eine De-

TABELLE 40: MITTLERE TM-ERTRÄGE (DT HA⁻¹) ÜBER DIE VERSUCHSJAHRE IN ABHÄNGIGKEIT DER DÜNGUNG ZU MAIS-BOHNE; DÜNGERAUSBRINGTECHNIK (DEPOTDÜNGUNG, BREITVERTEILUNG), ART DES VERWENDETEN DÜNGERS (ORGANISCH, MINERALISCH) UND MENGE AN AUSGEBRACHTEM STICKSTOFF (0 %, 25 %, 50 % UND 100 %).

Die graue Zeile unterhalb der Erträge gibt die Anzahl an Überladewägen ha⁻¹ (ÜW) an, die benötigt werden, um das Material abzufahren (Annahme: Überladewagen á 30 m³, Dichte Häcksel bei Transport 340 kg m⁻³, TM-Gehalt bei Ernte 30 %). Unterhalb 5,5 ÜW ha⁻¹ werden die Ertragsunterschiede als relevant betrachtet.

N-Menge %	Depotdüngung		Breitverteilung	
	organisch	mineralisch	organisch	mineralisch
0	135			
	4,4 Überladewägen ha ⁻¹ (ÜW)			
25	160	155	158	162
	5,2 ÜW ha ⁻¹	5,1 ÜW ha ⁻¹	5,2 ÜW ha ⁻¹	5,3 ÜW ha ⁻¹
50	166	167	161	172
	5,4 ÜW ha ⁻¹	5,5 ÜW ha ⁻¹	5,3 ÜW ha ⁻¹	5,6 ÜW ha ⁻¹
100	167	171	178	168
	5,5 ÜW ha ⁻¹	5,6 ÜW ha ⁻¹	5,8 ÜW ha ⁻¹	5,5 ÜW ha ⁻¹

potdüngung waren die Bodennitrat-N-Gehalte signifikant erhöht im Vergleich zu einer breitflächigen Verteilung. Eine korrekte Beprobung bei einer Depotdüngung kann sich als schwierig gestalten, da zum einen die Frage besteht, ob bei der Beprobung nur in das Depotband beprobt wird, nur daneben oder was das ideale Beprobungs-Verhältnis Depot: Nicht-Depot ist. Zudem kommt als verzerrender Faktor noch hinzu, wenn auch Einstiche in das Depotband erfolgen sollen, dabei unweigerlich die Gefahr besteht Maisstoppeln mitzubeprobieren. Bei der Stickstoffmenge konnte beobachtet werden, dass wie bereits in der obersten und mittleren Schicht mit einer steigende N-Düngung die Nitrat-N-Gehalte anstiegen (Tabelle 39).

Zum Vegetationsende wurden in der obersten und mittleren Schicht nur signifikante Unterschiede durch die Kombination der Kontrolle und dem Jahr nachgewiesen werden. Wenn zum Vegetationsende feuchtere Bedingungen vorlagen und damit eine erhöhte Mineralisation der Erntereste, wurden höhere Nitrat-N-Gehalte nachgewiesen. Auf diesen Jahresfaktor kann allerdings durch Düngemaßnahmen kein Einfluss genommen werden.

Daneben wurde in der mittleren Schicht ein Einfluss der Düngung nachgewiesen. Ab einer Düngung in Höhe von 100 % des N-Bedarfs wurden signifikant erhöhte Nitrat-N-Gehalte nachgewiesen, die bei 10,6 kg ha⁻¹ lagen (Tabelle 39). Auch in der untersten Schicht war nur bei einer 100 %

N-Düngung ein signifikanter Anstieg zu verzeichnen. Auf die mittlere und unterste Bodenschicht konnte zudem ein Einfluss durch die Kombination Kontrolle x Ausbringtechnik x N-Menge nachgewiesen werden (Tabelle 38). In der mittleren Schicht hatte die 100 % N-Düngung sowohl bei einer Depotdüngung, wie auch bei einer Breitverteilung signifikant erhöhte Bodennitrat-N-Gehalte im Vergleich zur Kontrolle. Wobei sich die Breitverteilungsvarianten nicht signifikant von einer 25 % und 50 % Depotdüngung unterschieden. In der untersten Schicht wies lediglich die 100 % Depotdüngung mit 9,7 kg ha⁻¹ N einen signifikant erhöhten Bodennitrat-N-Gehalte im Vergleich zur Kontrolle und allen anderen Düngevarianten auf.

1.3.11.2 TM-Erträge und Qualität des Erntegutes des Mais-Bohnen-Gemenges

Auf den TM-Ertrag des Mais-Bohnen-Erntegutes konnten kein statistisch nachweisbarer Einfluss durch die Ausbringungstechnik (Depotdüngung oder Breitverteilung), die Art des verwendeten Düngers (organisch oder mineralisch), die ausgebrachte Menge oder durch das Jahr nachgewiesen werden. Allerdings wurde nachgewiesen, dass eine Düngung einen relevanten Einfluss auf den TM-Ertrag aufwies (Tabelle 40). Wenn keine Düngung erfolgte, wurden TM-Erträge von 135 dt ha⁻¹ erzielt. Ein N-Düngung steigerte diese Erträge um bis zu 42 dt ha⁻¹ (Breitverteilung, organisch, 100 %).

TABELLE 41: EINFLUSS DER KONTROLLE DÜNGUNG (JA/NEIN) UND DES JAHRES AUF DIE TROCKENMASSEGEHALTE (%).

Jahr	Düngung			
	ja		nein	
2019	34,4	bA	33,2	aA
2020	36,7	aA	34,0	aB
2021	30,2	cA	29,1	bA

p-Wert = 0,0016

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Jahren innerhalb einer Ausprägung der Kontrolle laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden. Mittelwerte mit demselben Großbuchstaben sind zwischen einer Ausprägung der Kontrolle innerhalb eines Jahres laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

Durch eine optimale Versorgung mit 100 % der laut DüV zulässigen auszubringenden Stickstoffmenge konnten unabhängig von der eingesetzten Ausbringtechnik und des verwendeten Düngers hohe TM-Erträge erzielt werden. Diese lagen in einem Bereich von 167 dt ha⁻¹ bei einer organischen Depotdüngung bis 178 dt ha⁻¹ bei einer organischen Breitverteilung. Wird die Düngemenge um die Hälfte reduziert, kommt es bei der Breitverteilung zu einer Verschiebung; werden nur 50 % der zulässigen N-Menge ausgebracht, erzielt die mineralische Breitverteilung höhere Erträge (172 dt ha⁻¹) als die mineralische Depotdüngung (161 dt ha⁻¹). Eine 50 %ige-N-Düngung führte bei der Ausbringung organischer Düngemittel ebenfalls zu relevant geringeren Erträgen, wenn ein Depot angelegt wurde (166 dt ha⁻¹). Werden nur noch 25 % des ermittelten N-Bedarfs dem Bestand zugeführt, sind die Mindererträge relevant, unabhängig der Düngetechnik und Düngerart.

Auf den TM-Gehalt hatte nur das Jahr und ob eine Düngung erfolgte (ja/nein) einen signifikanten Einfluss (Tabelle 41). Es wurde beobachtet, dass in heißen, trockenen Jahren (2019, 2020) der TM-Gehalt deutlich höher lag als in kühleren und feuchteren Jahren (2021) (Tabelle 41). Eine Düngung führt in diesen warmen Jahren zu signifikant höheren TM-Gehalten. Jedoch lagen alle TM-Gehalte in einem silierbaren Bereich.

Für den XP-Ertrag wurde neben dem Faktor Düngung (ja/nein) ein signifikanter Einfluss durch die ausgebrachte N-Menge nachgewiesen. Düngegaben in Höhe von 50 % und 100 % unterschieden sich sowohl signifikant voneinander, wie auch von der 25 % Düngung und dem Ausbleiben der

Düngung (Tabelle 41). Bei einer 100 % N-Düngung konnten mit 13,6 dt ha⁻¹ nahezu doppelt so hohe XP-Erträge erzielt werden, als ohne Düngung.

Für die in der Milchviehfütterung relevanten Parameter GE und ME wurden signifikante Einflüsse nachgewiesen. Die GE wurde signifikant durch die ausgebrachte Düngemenge und die Kombination aus Düngerart und Düngemenge beeinflusst. Mit steigender Düngemenge steigt auch die GE signifikant an, wobei es keinen Unterschied macht, ob 50 % oder 100 % ausgebracht werden (Tabelle 42). Bei der Kombination aus Düngerart und Düngermenge wurde nachgewiesen, dass lediglich die 25 % mineralische Düngung und die Kontrolle signifikant niedrigere GE-Gehalte aufwiesen. Im Durchschnitt wurden GE von 18 MJ kg⁻¹ erzielt (Tabelle 43). Es konnte keine Vorzüglichkeit der verwendeten Düngerarten (organisch, mineralisch) in den verschiedenen N-Stufen nachgewiesen werden. Auf die metabolisierbare Energie hatte lediglich das Jahr in Kombination mit der Düngungskontrolle (Düngung ja/nein) einen signifikanten Effekt. Zusammenfassend gilt, dass in einem heißen, trockenen Jahr eine Düngung zu einer höheren ME führt, als in einem kühlen, feuchten Jahr. Sonst wurden durch keinen Faktor oder Faktorkombination Auswirkungen auf die ME nachgewiesen. Die NEL wurde nicht durch die verschiedenen Faktoren/-kombinationen beeinflusst (Tabelle 42). Die Gehalte lagen alle in einem Bereich zwischen 6,18 und 6,79 MJ kg⁻¹ oTM.

Auf das Biogas- und Methanpotential wurde kein signifikanter Einfluss durch das Düngemanagement nachgewiesen (Tabelle 42). Die potentielle Ausbeute lag für Biogas zwischen 710 und 720 l kg⁻¹ oTM und für Methan zwischen 362 und 367 l kg⁻¹ oTM. Der Methangehalt wurde durch Jahr, Düngerart und die Kombination aus Düngerart und Düngemenge signifikant beeinflusst. Der Methangehalt liegt bei allen Varianten bei 51 % (Tabelle 42).

1.3.12 Praxisversuch zur Überprüfung der Stickstoffdüngung in Mais-Bohnen-Beständen

Auf einer langjährig organisch gedüngten Fläche betrug die Erträge des mit 100 % N gedüngten Mais-Bohnen-Bestandes am Standort Ostrach 143 dt ha⁻¹, während die

TABELLE 42: EINFLUSS DER KONTROLLE DÜNGUNG (JA/NEIN) IN KOMBINATION MIT DEM JAHR, DER AUSBRINGTECHNIK, DER DÜNGERART SOWIE DER GEDÜNGTEN N-MENGE AUF TM-ERTRAG (DT HA⁻¹), TM-GEHALT (%), XP-ERTRAG (DT HA⁻¹), GE, ME UND NEL (MJ KG⁻¹ OTM), BIOGAS- UND METHANPOTENTIAL (L KG⁻¹ OTM) UND DEM METHANGEHALT (%).

	TM-Ertrag	TM-Gehalt	XP-Ertrag		GE		ME	NEL	Biogas	Methan	Methan-gehalt
Kontrolle x											
Jahr											
2019	150,39	33,78	10,06		18,21		11,14	6,79	713,44	364,14	51,04
2020	145,55	35,35	9,36		18,27		10,95	6,68	719,91	367,43	51,04
2021	154,38	29,65	9,50		18,31		10,32	6,18	709,78	362,28	51,04
p-Wert	0,1816	0,0005	0,3916		0,5961		0,0492	0,8984	0,7680	0,0776	0,0270
Düngetechnik											
Depotdüngung	148,91	32,87	9,97		18,28		10,80	6,53	714,57	364,72	51,04
Breitverteilung	151,31	32,98	9,31		18,24		10,81	6,57	714,18	364,51	51,04
p-Wert	0,6673	0,9207	0,0865		0,4320		0,9905	0,7485	0,9618	0,9611	0,5329
Düngerart											
Organisch	149,71	32,56	9,58		18,25		10,77	6,52	714,80	364,84	51,04
Mineralisch	150,51	33,30	9,70		18,28		10,83	6,59	713,95	364,40	51,04
p-Wert	0,9653	0,1034	0,8183		0,6848		0,7369	0,6704	0,5901	0,5882	0,0347
Menge											
0 %	134,71	32,09	7,84	c	18,19	c	10,67	6,47	714,64	364,75	51,04
25 %	158,65	33,83	9,29	c	18,28	bc	10,90	6,61	715,28	365,08	51,04
50 %	166,65	33,95	11,47	b	18,34	ab	10,94	6,66	713,95	364,40	51,04
100 %	171,20	33,52	13,56	a	18,38	a	10,96	6,66	713,10	363,93	51,04
p-Wert	0,1617	0,4127	0,0112		0,0499		0,6011	0,0919	0,3905	0,3901	0,5329

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind innerhalb eines Parameters zwischen den Kombinationen Kontrolle x Düngemenge laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

TABELLE 43: EINFLUSS DER KONTROLLE (DÜNGUNG JA/NEIN), DER DÜNGERART UND DER AUSGEBRACHTEN MENGE AN STICKSTOFF AUF DIE GE (MJ KG⁻¹ OTM).

Düngung	Düngerart	Düngemenge		
nein	-	-	18,19	c
ja	Depotdüngung	25 %	18,29	ab
		50 %	18,32	ab
		100 %	18,34	ab
	Breitverteilung	25 %	18,27	bc
		50 %	18,36	ab
		100 %	18,43	a
p-Wert = 0,0201				

Mittelwerte mit demselben Kleinbuchstaben sind zwischen den Kombinationen Kontrolle x Düngerart x Düngemenge laut HSD-Test ($p \leq 0,05$) nicht voneinander verschieden.

Kontrolle (Maisreinbestand mit 100 % N-Düngung) 179 dt ha⁻¹ brachte (Tabelle 44). Eine reduzierte N-Düngung auf 50 % des N-Bedarfs erzielte im Mais-Bohnen-Bestand TM-Erträge von 133 dt ha⁻¹. Ohne Düngung lagen die

Erträge bei 129 dt ha⁻¹. Die TM-Gehalte befanden sich in einer Spanne von 37 % (100 % Mais-Bohne) bis 41 % (Silomaisreinbestand). Die Analyse des Erntematerials ergab, dass durch eine Reduzierung der organischen Düngung in Mais-Bohnen-Beständen auf Standorten mit einer langjährigen organischen Düngung die Qualitätsparameter des Erntematerials in einem vergleichbaren Bereich lagen (Tabelle 44). In der Tendenz waren bei Mais-Bohne in allen Düngegraden die Parameter P, K, Mg, XP, XF und XA höher als in reinem Mais. Die Gehalte an XL und NfE dagegen waren niedriger. Bei einer Versorgung des Mais-Bohnen-Bestandes mit 100 % des benötigten Düngedarfs wies der Bestand XP-Gehalte von 9,4 % TM auf, während die Mais-Kontrolle 8,1 % TM hatte. Wurde den Mais-Bohnen-Beständen keine organische Düngung zugeführt, konnten XP-Gehalte von 8,8 % TM erreicht werden, während bei einer 50 % Düngung 8,1 % TM nachgewiesen wurden. Die XP-Erträge waren im Vergleich zur Mais-Kontrolle (14,5 dt ha⁻¹) um 8 %, 26 % und 21 % reduziert.

TABELLE 44: ON-FARM ERGEBNISSE DER TM-ERTRÄGE, TM-GEHALT, DIE GEHALTE DER QUALITÄTSPARAMETER P, K, Mg, XP, XL, XF, XA UND NfE UND DER XP-ERTRAG FÜR EINEN REINEN SILOMAISBESTAND MIT 100 % DES ORGANISCHEN DÜNGEBEDARFS SOWIE FÜR MAIS-BOHNE-BESTÄNDE MIT 100 %, 50 % UND 0% DES ORGANISCHEN DÜNGEBEDARFS.

Es handelt sich um einjährige Daten aus 2019 vom Standort Ostrach.

Kultur	Düngebedarf	TM-Ertrag	TM-Gehalt	P	K	Mg	XP	XL	XF	XA	NfE	XP-Ertrag
Mais	100%	179	41	0,22	0,75	0,12	8,1	2,9	12,8	2,8	73,4	14,5
Mais-Bohne	100%	143	37	0,29	0,98	0,16	9,4	2,7	18,9	3,9	65,1	13,4
Mais-Bohne	50%	133	38	0,27	0,93	0,16	8,1	2,3	17,3	3,6	68,7	10,8
Mais-Bohne	0%	129	39	0,27	0,91	0,17	8,8	2,1	17,6	3,4	68,1	11,4

1.3.13 NACHFRUCHTWIRKUNG VON MAIS-STANGENBOHNE IN ÖKOLOGISCHEM WINTERWEIZEN

Die gemittelten Erträge lagen bei der Vorfrucht Mais zwischen 47,2 (Sorte Aristaro) und 54,1 dt ha⁻¹ (Sorte Royal) und bei der Vorfrucht Mais-Bohne zwischen 46,7 (Sorte Aristaro) und 55,0 dt ha⁻¹ (Sorte Royal) bei 86 % TM (Abbildung 51). Bei der Vorfrucht Mais-Bohne lagen tendenziell die Sorte Royal und die Sortenmischung Tawi höher, während bei der Vorfrucht Mais die Sorte Aristaro und die Sortenmischung Arowi zu höheren Kornträgen tendierte. Auf Grund des geringen Probenumfangs lässt sich dieser Effekt statistisch nicht belegen.

Die Bodennitrat-N-Gehalte wiesen im Winterweizen tendenziell höhere Gehalte auf, wenn die Vorfrucht Mais-Bohne war (Abbildung 52). Um den Zeitpunkt der Aussaat des Winterweizens am 19.10.2018 wurden unter Mais-Bohne 51,3

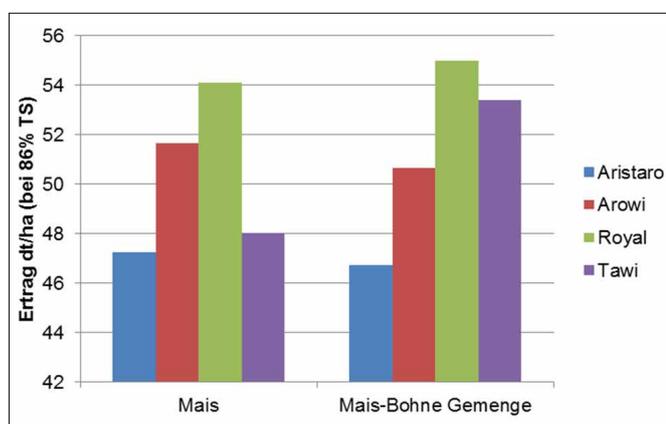


Abbildung 51: Vergleich der Kornträge von vier Winterweizensorten (Aristaro, Royal) bzw. -mischungen (Arowi, Tawi) nach der Vorfrucht Mais bzw. Mais-Bohne am Standort Hochburg

kg ha⁻¹ nachgewiesen, während die Vorfrucht Mais 43,8 kg ha⁻¹ Nitrat-N hinterließ. Um den Zeitpunkt der Blüte des Weizens waren die geringsten Nitrat-N-Gehalte im Boden; 6,5 kg ha⁻¹ in den Varianten mit Mais als Vorfrucht, 9,5 kg ha⁻¹ bei Mais-Bohne. Bei der Nachernte-Beprobung am 02.08.2019 wurden wieder höhere Nitrat-N-Gehalte nachgewiesen. 38,3 kg ha⁻¹ in der Mais-Vorfrucht und 65,50 kg ha⁻¹ in der Mais-Bohnen-Vorfrucht. An allen drei Terminen wurde beobachtet, dass Mais-Bohne als Vorfrucht höhere Nitrat-N-Gehalte im Boden zurückließ. Allerdings waren diese Werte nicht signifikant.

1.3.14 ÖKONOMISCHE BETRACHTUNG DES MAIS-GEMENGE-ANBAUS

Die ökonomische Betrachtung des Mais-Gemenge-Anbaus erfolgt auf Basis der Saatgutkosten, da dies der einzige Faktor sind, der sich vom reinen Maisanbau unterscheidet. Dazu wurden Stangenbohne, Kapuzinerkresse, Ackerboh-

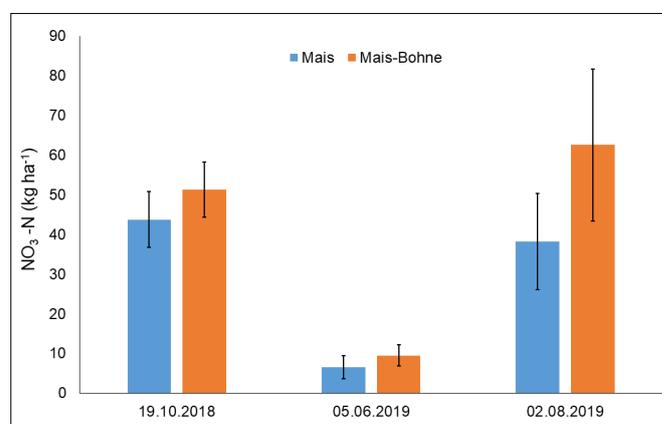


Abbildung 52: Aufsummierte Bodennitrat-N-Gehalte in 0-90 cm Tiefe im ökologischen Winterweizen mit Vorfrucht Mais und Mais-Bohne an drei Terminen. Die schwarzen Balken geben die Standardabweichung wieder.

TABELLE 45: BEISPIELHAFTE SAATGUTKOSTEN FÜR DIE ERFOLGVERSPRECHENDSTEN MAIS-GEMENGE IM KONVENTIONELLEN UND ÖKOLOGISCHEN ANBAU, BASIEREND AUF DEN SAATGUTPREISEN VON 2021.

Saatgutbedarf ohne Berücksichtigung von Aufschlägen für Keimfähigkeit, im ökologischen Anbau 10 % Saatgutaufschlag zum Ausgleich von Striegelausfällen.

			Bedarf	Kosten		Kosten	Bedarf	Kosten		Kosten	Gesamtkosten
	Mischungsverhältnis	Zielbestand (Pflanzen ha ⁻¹)	Mais (Körner ha ⁻¹)	Mais (Euro EH ⁻¹)	(EH ha ⁻¹)	Mais (Euro ha ⁻¹)	GMP (Körner ha ⁻¹)	GMP (Euro kg ⁻¹)	TKM (g)	GMP (Euro 10.000 Korn ⁻¹)	Mais-Gemenge (Euro ha ⁻¹)
konventionell											
Mais		80.000	80.000	88,00	1,6	140,80					141
MaBo*	1:0,5	120.000		145,00	2,4	348,00					348
MaKK	1:0,5	120.000	80.000	88,00	1,6	140,80	40.000	22,00	125	27,50	251
MaSoBlu	1:0,25	100.000	80.000	88,00	1,6	140,80	20.000	3,48	70	2,44	146
MaAB	1:0,5	120.000	80.000	88,00	1,6	140,80	40.000	0,77	280	2,16	149
MaErb	1:0,5	120.000	80.000	88,00	1,6	140,80	40.000	0,70	255	1,79	148
ökologisch											
Mais		80.000	88.000	105,00	1,8	189,00					189
MaBo*	1:0,5	120.000		187,00	2,6	486,20					486
MaKK	1:0,5	120.000	88.000	105,00	1,8	189,00	44.000	204,00	127	259,08	1329
MaSoBlu	1:0,25	100.000	88.000	105,00	1,8	189,00	22.000	4,02	69	2,77	195
MaAB	1:0,5	120.000	88.000	105,00	1,8	189,00	44.000	1,32	233	3,08	203
MaErb	1:0,5	120.000	88.000	105,00	1,8	189,00	44.000	1,21	253	3,06	202

EH = Einheit, 50.000 Körner

* Mais-Bohne bereits als fertige Saatgutmischung zu 50.000 Körner verfügbar (2/3 Mais, 1/3 Bohne; 8:4)

ne, Erbse und Sonnenblume als die vielversprechendsten Gemengepartner ausgewählt. Diese ermöglichen sowohl eine gemeinsame Aussaat als Saatgutmischung, als auch eine mechanische bzw. chemisch-synthetische Beikrautregulierung.

Unter konventionellen Bedingungen liegen die Saatgutkosten eines reinen Silomaisbestandes bei 141 Euro ha⁻¹, im Ökolandbau bei 189 Euro ha⁻¹ (Tabelle 45). Durch die Beimischung der Gemengepartner erhöhen sich die Saatgutkosten. Im ökologischen Anbau wurde aufgrund der Verluste bei der mechanischen Beikrautregulierung ein Aufschlag von 10 % auf den Saatgutbedarf von Mais und Gemengepartner gegeben.

Im konventionellen Anbau stellt das Mais-Bohnen-Gemenge (MaBo) die teuerste Alternative dar, mit Saatgutkosten in Höhe von 348 Euro ha⁻¹. Unter ökologischen Bedingungen ist der Anbau von Mais-Kapuzinerkresse (MaKK) die teuerste Alternative mit Preisen von über 1.000 Euro ha⁻¹. Das Saatgut der ökologisch erzeugten Kapuzinerkresse ist sehr teuer. Zum Vergleich: im konventionellen Anbau fallen für

Mais- und Kapuzinerkressesaatgut 251 Euro ha⁻¹ an. Auch um Mais mit Bohnen unter ökologischen Bedingungen zu etablieren, muss mit knapp 2,5-mal höheren Saatgutkosten pro Hektar gerechnet werden im Vergleich zum reinen Maisanbau. Die Aufwertung der Maisbestände durch Ackerbohne (MaAB), Erbsen (MaErb) und Sonnenblumen (MaSoBlu) bietet sowohl für den konventionellen, als auch den ökologischen Anbau eine Möglichkeit. Das zusätzlich benötigte Gemengepartner-Saatgut erhöht auf die Fläche bezogen den Saatgutpreis nur geringfügig.

1.4 Diskussion

Mais ist mit einem negativen Image behaftet. Dies begründet sich durch die teilweise großen Anbauflächen und dem vermuteten geringen Wert für die Insektenfauna. Allerdings kann besonders im Spätsommer der Mais eine Pollenquelle für Insekten zur Verfügung stellen. Zwar ist der Nährwert des Pollens nicht so hoch wie der des Nektars, besonders aber in den Trachtlücken kann Maispollen eine wichtige Nahrungsquelle für Insekten darstellen (Rosenkranz, 2009). Auch sind in Maisbeständen immer wieder große

Blattlauskolonien anzutreffen. Diese schädigen den Mais kaum bis gar nicht, dienen aber für räuberisch lebende Insekten ebenfalls als Nahrung. Nach der Getreideernte bieten Maisbestände zudem einen Rückzugsort bis in den Herbst hinein. Von Vorteil ist ebenfalls, dass Mais überwiegend insektizidfrei bewirtschaftet wird (Freier, 2008).

Da Mais alleine allerdings nicht über die gesamte Vegetationsperiode den Insekten als Nahrungsgrundlage dienen kann, stellt der Gemengeanbau mit Blühpflanzen eine Option zur ökologischen Aufwertung der Bestände dar. Ein wichtiger Aspekt beim Gemengeanbau ist die Förderung von Insekten durch die Schaffung von Habitaten und Nahrungsquellen. Dazu muss zum einen sichergestellt werden, dass die untersuchten Gemengepartner für die heimischen Insekten von Interesse sind und auf der anderen Seite sollten die Gemengepartner auf Grund ihres Blühverhaltens in der Lage sein, die Trachtlücken zu schließen. Die beiden großen Trachtlücken sind zum einen die Lücke zu Beginn des Jahres, die bis zum Vegetationsbeginn der Kulturpflanzen besteht sowie die zweite Trachtlücke, je nach Region und Jahr, ab Mitte Juni, wenn die Grünlandschnitte enden/ die Blüte der Kulturpflanzen abgeschlossen ist, die bis ins Spätjahr andauert (September/Okttober) (Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, 2019).

Um diese Lücken zu schließen, ist es von entscheidender Bedeutung, dass die gewählten Gemengepartner für die heimische Insektenfauna von Interesse sind. So ergaben Literaturstudien, dass Luzerne für 29 Wildbienenspezies und Hummeln eine Pollenquelle ist, während Sommerwicken und Kürbisse von Wild- und Honigbienen sowie Hummeln bestäubt werden (McGregor, 1976; Westrich, 1989; Schindler & Schumacher, 2007). Die Kapuzinerkresse wird zusätzlich dazu noch von Schwebfliegen besucht (Comba et al., 1999). Die Blüte der Stangenbohnen lockt eine Vielzahl an verschiedenen Insekten an; Wildbienen, Schmetterlinge, Fliegen und Käfer können an ihr beobachtet werden (Kingha et al., 2012). Sonnenblumen und Erbsen werden von Vertretern der Hymenoptera (Hautflügler), Lepidoptera (Schmetterlinge), Diptera (Zweiflügler) und Coleoptera (Käfer) besucht (Ali et al., 2015; Saboor Naeem et al., 2016). Auf Grund der Blütenmorphologie werden Ackerbohnen überwiegend von Vertretern der Gattung



Abbildung 53: Extraflorale Nektarien (= dunkle Punkte) an Ackerbohnen.

Foto: Caroline Schumann/LTZ

Bombus befliegen (Beyer et al., 2021). Honigbienen (*Apis mellifera*) nutzen die extrafloralen Nektarien (Stoddard & Bond, 1987). Es konnte vereinzelt beobachtet werden, dass die gelben Blüten der Kürbisse den Maiszünsler (*Ostrinia nubilalis*) anlocken. Daher ist, falls der Anbau von Mais-Kürbis-Gemengen erfolgt, im Herbst nach der Ernte das Mulchen der Maisstoppeln unumgänglich.

Um die oben erwähnten Trachtlücken zu decken, müssen die Gemengepartner ein möglichst langes Blühangebot zur Verfügung stellen. Die Versuche zu verschiedenen Gemengepartnern (Kapitel 1.2.2 und Kapitel 1.2.3) wiesen nach, dass durch nahezu alle Gemengepartner ein zusätzliches Blühangebot zu verschiedenen Zeiten geschaffen werden konnte. Der Steinklee bildete eine Ausnahme, da er im Schatten des Maisbestandes nicht zur Blüte kommt (Ogle et al., 2008). Die frühen Blühphasen von Luzerne, Sommerwicke, Ackerbohne und Erbse sind in der Lage die Juni-Trachtlücke zu schließen, allerdings nur für einen kurzen Zeitraum. Die Stangenbohne ist als Trachtpflanze nahezu uninteressant auf Grund ihrer späten Blüte, die teilweise erst zwei Wochen vor der Ernte des Silomais beginnt. Kapuzinerkresse und Kürbisse boten trotz ihrer späten Blüte den positiven Effekt, dass diese in der Lage sind selbst nach der Ernte weiter zu blühen bzw. wieder neue Blüten auszutreiben, anders als die Stangenbohne, deren Blütenorgane mit geerntet werden (Abbildung 54).

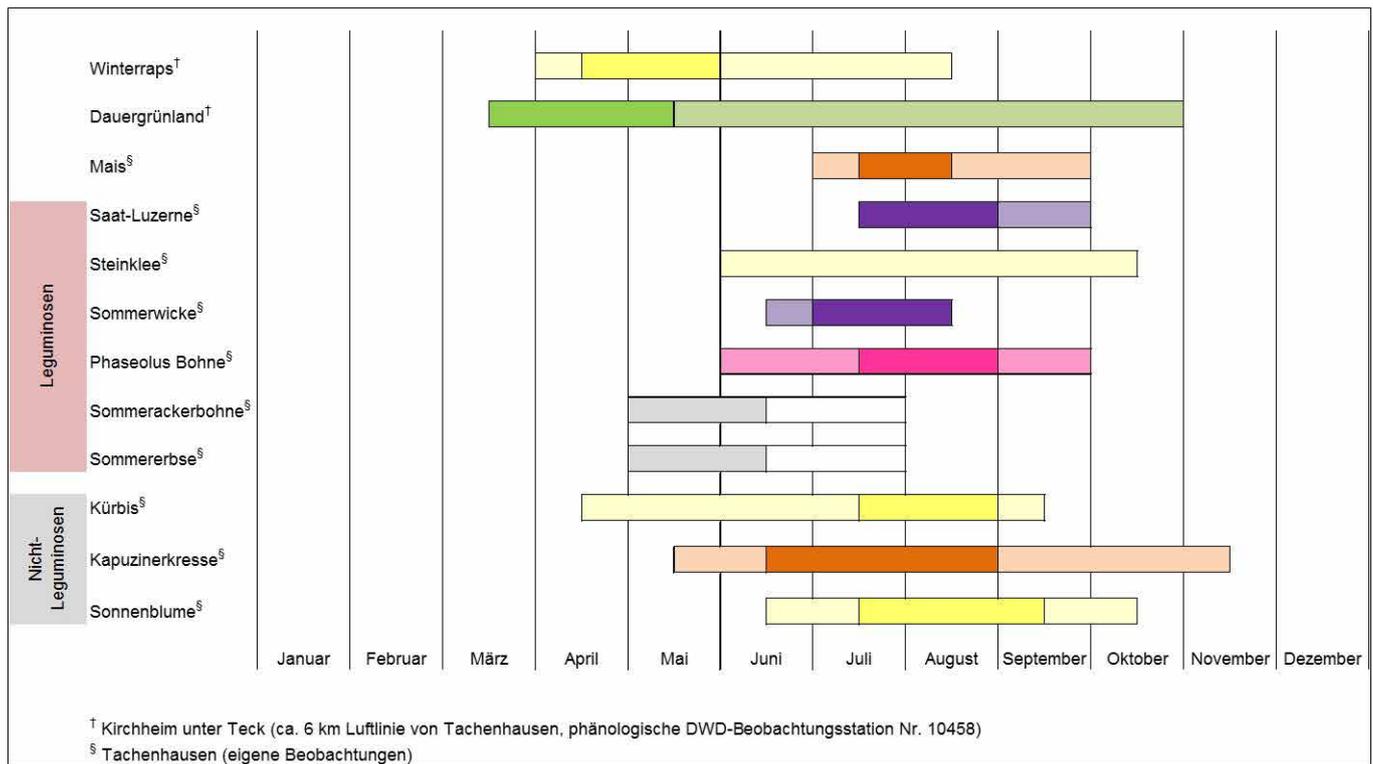


Abbildung 54: Blühzeitraum der einzelnen legumen und nicht-legumen Gemengepartner im Vergleich zu Winterraps, Dauergrünland und der Referenzfrucht Mais am Standort Tachenhausen. Die farbigen Balken geben die Blühfarbe wieder. Die tatsächlich beobachteten Blühzeiträume sind in intensiver Farbe dargestellt, die theoretischen in transparenter Farbe. Ab ca. Mitte Mai variiert das Angebot an Blüten im Grünland in Abhängigkeit der Schnittermine (Heu, Silage) und der -häufigkeit.

Der Aspekt der Praxistauglichkeit ist von großer Bedeutung für die Akzeptanz von Silomais-Gemengen in der Landwirtschaft sowie für eine erfolgreiche Etablierung. Dazu gehört, dass Aussaat und Beikrautregulierung mit den verfügbaren Verfahren erfolgen können.

Die Gemengepartner, die sich als am praxistauglichsten herausstellten, waren sowohl unter konventionellen als auch ökologischen Bedingungen Bohnen, Ackerbohne, Erbse und Sonnenblumen, weil sie ein für heimische Insekten interessantes Blühangebot in dem angestrebten Zeitraum schafften. Zusätzlich ist für den konventionellen Anbau noch das Gemenge von Mais-Kapuzinerkresse eine Option. Unter ökologischen Bedingungen ist dieses Gemenge keine Alternative bzw. kommt nur bei stark reduzierten Aussaatstärken in Betracht, da die Saatgutpreise für ökologisch erzeugtes Kapuzinerkressesaatgut über 1.000 Euro ha⁻¹ betragen. Stangenbohne, Ackerbohne, Erbse, Sonnenblume und Kapuzinerkresse ermöglichen eine gemeinsame Aussaat mit dem Mais als Saatgutmischung, wodurch nur eine Überfahrt notwendig ist und keine Umbaumaßnahmen

(bspw. zusätzlicher Streuer auf Einzelkornsäugerät) erfolgen müssen. Diese Gemengepartner ermöglichen sowohl eine chemisch-synthetische Beikrautregulierung als auch eine Mechanische. Eine angepasste Beikrautregulierung ist von entscheidender Bedeutung für das Gelingen des Mais-Gemenge-Anbaus. So hatte der Anbau von Mais mit Steinklee oder Saat-Luzerne in Ettlingen 2018 einen Unkrautanteil (überwiegend aus Weißem Gänsefuß (*Chenopodium album*) von 10,8 bzw. 12,5 %. Redwitz und Gerowitz (2014) wiesen bereits nach, dass Felder, die einen hohen Maisanteil in der Fruchtfolge haben, ein hohes Potential zu einer starken Verunkrautung mit Weißem Gänsefuß vorweisen. Daher ist es auf jeden Fall notwendig ein angepasstes Unkrautmanagement durchzuführen. Wobei unter ökologischen Bedingungen beobachtet wurde, dass gerade filigrane Gemengepartner wie Saat-Luzerne und Steinklee das Verschüttet werden beim Hacken nicht gut vertragen. Hier waren wieder die erwähnten Partner Stangenbohne, Ackerbohne, Erbse, Sonnenblume und Kapuzinerkresse eine interessante Alternative, da eine Herbizidapplikation möglich ist und das Verschüttet werden beim Hacken toleriert wird.

Die Aussaatstärke des Gemengepartners muss ebenfalls angepasst werden. Dem Landwirt muss bewusst sein, dass durch zusätzliche Pflanzen auf dem Feld eine Konkurrenz für den Mais hinsichtlich der Nährstoffe und des Wassers eintritt. Daher sollten bei der Flächenwahl von vornherein Flächen, auf denen es bereits beim reinen Maisanbau zu Wasser- oder Nährstoffmangel kommen kann, ausgeschlossen werden. Dann sollte die Saatstärke des Gemengepartners so angepasst werden, dass ein Maximum an Biodiversität erzielt werden kann, mit einem Minimum an Gemengepartner-Einsatz. Für Mais-Bohne gilt das System 8:4 Mais: Bohnen-Körner pro m² mittlerweile als etabliertes System. Dieses Verhältnis kann auch auf Ackerbohne, Erbse und Kapuzinerkresse übertragen werden. Dies führt zu keinen signifikanten Effekten auf die TM-Erträge. Für Sonnenblumen-Gemenge sollte die Aussaatstärke auf 8:2,5 reduziert werden. Mais-Sonnenblumen-Gemenge wies einen niedrigeren TM-Gehalt zum Erntezeitpunkt auf und zudem wurde nachgewiesen, dass Sonnenblumen die Gehalte an Rohfasern im Erntegut erhöhen, was sowohl bei der Verfütterung als auch der Biogasproduktion hinderlich sein kann. Bei der Kapuzinerkresse kann alternativ auch mit 10:1 Mais: Kapuzinerkresse-Körner pro m² gearbeitet werden. Dies führt zu TM- und Biogaserträgen, die sich nicht von einem reinen Silomaisbestand unterscheiden und zudem ist die Qualität des Erntegutes mit dem von reinem Mais vergleichbar. Wenn mittels Streuer bei der Maisaussaat oder nach der Aussaat ein feinsämiger Gemengepartner ausgebracht werden soll (bspw. Saat-Luzerne), sollte die Aussaatstärke maximal 25–33 % der Saatstärke entsprechen, die zur Etablierung eines reinen Luzernebestandes benötigt wird. Dies führt zu mit Silomais vergleichbaren Erträgen und Qualitäten.

Der Aussaattermin wird (wenn eine Saatgutmischung verwendet wird) durch den standorttypischen Aussaattermin von Silomais bestimmt. Daher dauert es auch eine gewisse Zeit, bis sich ein Blühangebot durch den Gemengepartner entwickelt. Daher sind Mais-Gemenge, die als Saatgutmischung gesät werden eher dafür geeignet, die spätere Trachtlücke im Jahr zu schließen. Um die erste Trachtlücke im Jahr zu schließen, wäre die Möglichkeit einer Etablierung von Mais via Strip-Till in einen überjährigen Blühmischungsbestand denkbar (Glemnitz et al., 2018; von

Redwitz et al., 2019). Dadurch wird in den niederschlagsreichen Wintermonaten eine Bodenbedeckung erzielt, die der Wassererosion entgegenwirken kann und die Infiltration erhöht. Es werden Überwinterungsmöglichkeiten für Insekten geschaffen und Artenmischungen bieten zudem den Vorteil, dass die unterschiedlichen Wurzeldurchmesser und Durchwurzelungstiefen ein ausgewogenes Porensystem hinterlassen. Im Frühjahr entwickelt sich zeitig ein Nahrungsangebot für Insekten. Die dazu durchgeführten Versuche in Tachenhausen und am Stifterhof zeigten allerdings die Grenzen des Systems auf. Bei einer solchen Etablierung kann die Blühmischung eine zu starke Konkurrenz für den Mais sein, was sich in den beobachteten Wachstumsdepressionen und Ertragsausfällen auswirkte. Phieler und Böttcher (2021) wiesen in zehnjährigen Versuchen zwar nach, dass im Herbst gesäte Zwischenfrüchte etliche Vorteile zu bieten haben (Erosionsschutz, Reduktion der Verdunstung, erhöhte Infiltration), wiesen aber ebenfalls nach, dass das System seine Grenzen dort hat, wo die Zwischenfrüchte im Winter nicht abfrieren und mit Beginn der Vegetationsperiode weiterwachsen und so eine Wasser Konkurrenz für die nachfolgende Hauptkultur darstellen. Genau dies ist der Fall im System von Strip-Till-Mais in überjährige Herbstblühmischungen. Wenn die Zwischenfrucht bzw. Herbstblühmischung im Frühjahr weiterwächst, hat sie negative Auswirkungen auf den Wasserhaushalt (Phieler und Böttcher, 2021). Dieser Ansatz konnte auch von Gentsch (2019) bestätigt werden; um eine Wasser Konkurrenz in der Hauptfrucht zu vermeiden, müssen Zwischenfrüchte abfrierend sein. Auch Bodner (2013) wies für die Trockenstandorte in Österreich nach, dass eine winterharte Zwischenfrucht wie Grünroggen zu signifikanten Mindererträgen bei der Nachfrucht Zuckerrüben führte. Er konnte diese Einbußen auf die Wasser Konkurrenz in Extremjahren mit sehr geringen Winterniederschlägen und einer folgenden Trockenperiode in der Hauptfrucht zurückführen. Zwar lagen die Winterniederschläge (September bis März) in den im Projekt durchgeführten Versuch an beiden Standorten im Bereich des langjährigen Mittels (Tachenhausen 380 mm, Stifterhof 408 mm), aber während der Vegetationssaison (April bis August) kam es 2020 in Tachenhausen zu einem Niederschlagsdefizit von 76 mm und am Standort Stifterhof von 192 mm. Die regnerische erste Sommerhälfte 2021 bot zwar

ausreichend Niederschläge, aber die kühlen Temperaturen/ fehlende Wärme führte zu dazu, dass der Mais sich sehr langsam entwickelte. Die Blühmischung aus heimischen Arten kam mit der Witterung besser zurecht, was zu einem massereichen und maisunterdrückenden Wachstum führte. Zudem benötigen schwerere Böden, wie dies der Fall an den Standorten Stifterhof und Tachenhausen ist, länger, um ihre Bodenspeicher wieder aufzufüllen. Bei nicht ausreichenden Niederschlägen im Winter kann dies zu einer erheblichen Wasser Konkurrenz für den Mais führen. Zwar können Zwischenfrüchte durch Schneeakkumulation, verringerte Verdunstung usw. ihren Wasserverbrauch kompensieren, allerdings ist dies nur möglich, wenn die Winterniederschläge auch ausreichend hoch sind. Das unterschiedliche Füllvermögen der Bodenwasserspeicher je nach Bodenart mag auch der Grund sein, warum von Redwitz et al. (2019) keine Ertragsunterschiede in ihren Versuchen mit überjährigen Mikrobühstreifen im Mais fanden. Im Berliner Umland dominieren sandige Böden, deren Bodenwasserspeicher schnell wieder aufgefüllt ist, sodass der vorangegangene Wasserverbrauch weniger ins Gewicht fällt. Zudem wurden die Blühmischungen ebenfalls als Streifen angelegt, zwischen die im Frühjahr der Mais gesät wurde. Dies reduzierte ebenfalls die Konkurrenz, da in den späteren Maisreihen keine/nur wenige Wurzeln der Blühmischung vorhanden waren.

Dennoch werden überjährige Blühmischungen für die Insektenbiodiversität und die Biodiversität an sich als vorteilhaft angesehen. Eine praktikablere Alternative ist die Etablierung von überjährigen Blühstreifen im Herbst des Vorjahres der Maisaussaat und die Saat des Mais rechts und links dieser Streifen. Durch eine durchdachte Positionierung im Feld werden die erosionsvermeidende Wirkung (durch Hanglängenverkürzung) und die biodiversitätsfördernde Wirkung (durch Biotopvernetzung) gegenüber einer Randlage potentiell erhöht. Zudem hat die Trennung von Mais und Blühstreifen den Vorteil, dass das Risiko eines Ertragsverlustes stark reduziert wird. Weiterhin kann die Auswirkung auf die Biodiversität durch Blühstreifen auf maximal 10 % der Maisfläche mit der Biodiversität im Mais-Bohnen-Gemengeanbau, welcher ebenso mit einem bis zu 10 %igen Ertragsverlust einhergehen kann, in Vergleich gesetzt werden.

In den Praxisversuchen ließen sich die Blühstreifen, unter Verwendung der praxisüblichen Technik, problemlos etablieren. Eine Mischung aus überjährigem Saatgut und Deckfrucht, in einem Verhältnis von 1:1 wirkte sich tendenziell positiv auf die Unkrautunterdrückung aus. Ein weiterer Vorteil der Deckfrucht ist, dass sie im Herbst ein zusätzliches Blühangebot darstellt. Der geringe Saaterfolg in den Blühstreifenversuchen (vgl. Kapitel 1.3.10) der Deckfrucht in Folge einer späten Aussaat war vermutlich auf die geringe Niederschlagsmenge im September und Oktober 2020 zurückzuführen. Aufgrund des späten Blühbeginns und der geringen Blütendiversität, empfiehlt sich eine Anpassung der Blühmischungszusammensetzung. Die Untersuchungen der Herbstuntersaaten können hierbei als Vorlage dienen. So könnte z. B. der Anteil an Inkartaklee, der in den Herbstuntersaaten bereits im April ein großflächiges Blühangebot darstellte, deutlich angehoben werden. Das vergleichsweise hohe Unkrautunterdrückungspotenzial der Herbstuntersaaten (2019/2020) wurde u. a. durch die hohe Saatstärke (35 kg ha^{-1}) begünstigt. Es kann dementsprechend empfehlenswert sein, die Saatstärke in den Blühstreifen auf mindestens 25 kg ha^{-1} zu erhöhen.

Verallgemeinert kann gesagt werden, dass auf Flächen, in deren Nähe viele Habitatmöglichkeiten und Strukturelemente sind, es eher notwendig ist die späte Trachtlücke durch gemeinsam gesäte Mais-Gemenge zu schließen. In Regionen mit wenig Überwinterungsmöglichkeiten sollte nach Möglichkeit eine überjährige Blühmischung in die Maisbestände integriert werden.

Die Düngung von Mais-Gemengen, insbesondere Gemenge mit Leguminosen, wurde bisher noch nicht umfassend erforscht. Während Mais teilweise sehr hohe N-Düngegaben erhält, sind Leguminosen auf Grund ihrer Symbiose mit Rhizobien (= Knöllchenbakterien) in der Lage, Luftstickstoff zu fixieren. Eine N-Düngung ist in der Familie der Schmetterlingsblütler, zu denen Leguminosen gehören, daher nicht notwendig. Generell sollte sich die N-Düngung am Bedarf des Mais orientieren. Zwar führt eine Düngung bei Bohnen dazu, dass sich weniger Knöllchen bilden und somit die Stickstofffixierung reduziert wird oder ausbleibt. Dennoch muss darauf geachtet werden, dass dem Mais genügend Stickstoff zur Verfügung steht,

da dieser den Hauptanteil der Biomasse bildet (Kapitel 1.3.1.2 und 1.3.2.1.2). Reinprecht et al. (2020) wiesen in ihrem N-Düngungsversuch in Stangenbohnen nach, dass eine Düngung zu einer verzögerten Blüte und Reife der Bohne führte, jedoch erhöhte sich die Pflanzenhöhe. Eine Entwicklungsverzögerung der Bohnen durch die Düngung wurde nicht nachgewiesen, auch wenn am Standort Rheinstetten-Forchheim der Zeitpunkt der Bohnenblüte teilweise mit dem Maishäckseln zusammenfiel. Da der Häckseltermin am Standort Rheinstetten-Forchheim Ende August war, ist die Bohnenblüte als zu spät anzusehen, um einen deutlichen Mehrwert für die Insektenfauna zu schaffen. Eine Tendenz zu höheren Bohnenpflanzen zwischen gedüngten und ungedüngten Varianten wurde beobachtet, diese war aber nicht signifikant (Kapitel 1.3.11.1). Das Jahr hatte dabei einen größeren Einfluss. Kühlere und feuchtere Jahre führten zu einem stärkeren Bohnenwachstum. Im Jahr 2021 führte die feuchtere Witterung im Allgemeinen in allen Versuchen zu höheren TM-Erträgen als in den Vorjahren. Daher sollten Mais-Gemenge, auch wenn diese eine Leguminose als Partner enthalten, eine N-Düngung erhalten. Die Versuche zur Identifizierung von potenziellen Gemeengepartnern (Kapitel 1.3.1.2) und zur Überprüfung der Stickstoffdüngung in Mais-Bohnen-Beständen (Kapitel 1.3.11.2) wiesen nach, dass bei Mais-Gemengen eine N-Düngung in Höhe von 50 % der DüV ausreichend ist. Es konnten vergleichbare TM-Erträge wie in den 100 % gedüngten Varianten nachgewiesen werden. Dies lässt sich aber überwiegend auf die flache Produktionsfunktion des Mais zurückführen. Mais ist in der Lage auch mit weniger Stickstoff vergleichbare TM-Erträge zu erzielen, wie unter einer vollen Bedarf Düngung laut DüV. Langjährige Versuche von Mokry (2021) haben gezeigt, dass oberhalb von 140 bis 160 kg ha⁻¹ N im Mais keine Mehrerträge eintreten. Es wird eine Halbierung der N-Düngegaben empfohlen.

Eine andere Studie konnte beobachten, dass wenn Stangenbohnen zum ersten Mal auf einer Fläche angebaut werden, es durch die fehlenden Rhizobien dazu kommen kann, dass keine zufriedenstellende Knöllchenbildung einsetzt. Auf solchen, erstmalig in den Stangenbohnenanbau genommenen Böden können nur durch eine Impfung mit den entsprechenden Rhizobien hohe Erträge erzielt werden. Hingegen wurde nachgewiesen, dass auf Böden,

in denen durch vormaligen Stangenbohnenanbau bereits autochthone Rhizobien vorhanden sind, die Beimpfung des Saatgutes zum Ausbleiben der Knöllchenbildung führt. Für hohe Erträge ist dann unter diesen Bedingungen eine N-Düngung notwendig (Vargas et al., 2000). Diesen Punkt gilt es weiter im Auge zu behalten; auf den Versuchsflächen der hier erläuterten Versuche wurde bisher kein Stangenbohnenanbau in großem Umfang durchgeführt. Daher ist es fraglich, ob autochthone Stangenbohnen-Bakterien im Boden vorhanden waren. Dennoch wurden hohe Erträge erzielt, ohne Impfung, aber mit Düngung.

Ein Transfer des fixierten Luftstickstoffs von der Leguminose zum Mais und somit ein Düngeeffekt wird als gering angesehen. Generell ist die Fixierung von Luftstickstoff ein komplexer Mechanismus, dem zahlreiche Enzyme zu Grunde liegen. Er wird durch eine Vielzahl an Faktoren beeinflusst (Temperatur, pflanzenverfügbarer Stickstoff, Wasserhaushalt, Entwicklungsstatus der Pflanze, Kohlenstoffverfügbarkeit). Von der Saat bis zur Blüte steigt die N₂-Fixierungsleistung an und sinkt danach wieder ab. Mit Eintreten der Reife stoppt die N₂-Fixierung (Peña-Cabriales et al., 1993). Die ausbleibende Erhöhung des Proteingehaltes im Erntegut (Kapitel 1.3.1.3, 1.3.6 und 1.3.11.2) lässt sich auf die ungünstigen Temperaturen am Standort Rheinstetten-Forchheim zurückführen. Rheinstetten-Forchheim liegt im BKR 121 Rheinebene und Nebentäler, welche sich durch hohe Temperaturen auszeichnet. Die Fixierung von Luftstickstoff durch Knöllchenbakterien kann nur in einem bestimmten Temperaturbereich optimal erfolgen. So beträgt für Phaseolus-Bohnen die Minimum-Lufttemperatur für die Fixierung 4 °C, während der Optimumbereich sich von 19–35 °C erstreckt. Oberhalb eines Bereiches von 30–44 °C stellen die Knöllchenbakterien die Fixierung ein, insbesondere während der Blüte; aber auch hohe Bodentemperaturen von über 28 °C beeinflussen die N-Fixierung negativ (Liu et al., 2011, Hungria & Kaschuk, 2014). Zu hohe Temperaturen führen zum Unterbrechen der Blüte bzw. zum Blütenabwurf (Porch & Jahn, 2001). Ohne diese Reproduktionsorgane kann kein Stickstoff eingelagert werden. Dieser Temperatureffekt ist besonders in den Jahren 2018–2020 nicht zu vernachlässigen. Dass trotz optimalerer Temperaturen für das Bohnenwachstum 2021 keine erhöhten Proteingehalte messbar waren

(Kapitel 1.3.6), legt daher den Schluss nahe, dass der Bohnenanteil im Mais-Bohnen-Gemenge zu gering ist, um die Rohproteingehalte in relevanter Form zu verändern. Studien aus Norddeutschland und Großbritannien, die erhöhte Rohproteingehalte nachwiesen, prüften Mais: Bohnen-Saatgutmischungsverhältnisse von 8:6 bzw. 7,5:5 und 5:5, was zu einem Mais: Bohne-Anteil von 57:43 %, 60:40 % und 50:50 % führte (Dawo et al., 2007; Fischer et al., 2020). In den hier aufgeführten Versuchen wurde ein Saatgutverhältnis von 8 Mais: 4,5 Bohnen geprüft, was 64 % Mais und 36 % Bohnen entspricht. Damit lag in unseren Versuchen das Mischungsverhältnis deutlich auf Seiten des Maises. Andere Silomais-Gemenge konnten höhere Rohproteingehalte erreichen, was sich aber nicht immer auf die Gemengepartner zurückführen ließ. In Ettlingen im Jahr 2018 ließ sich der erhöhte Gehalt auf die starke Verunkrautung (> 50 %) mit Weißem Gänsefuß zurückführen. Gänsefuß kann, je nach Pflanzenalter, Stickstoffgehalte in Höhe von 1,75–5,27 % erzielen, was 10,9–32,9 % Rohprotein entspricht (Qasem & Hill, 1995; Gqaza et al., 2013). Ansonsten waren kaum Änderungen in den Inhaltsstoffgehalten nachweisbar. Die TM-Gehalte lagen in einem optimalen Bereich zur Silierung von 30–40 % (Wurth, 2017). Dass sich die Gehalte von Rohprotein, - fett, - fasern, - asche und den N-freien Extraktstoffen nur in sehr wenigen Ausnahmen von reinem Silomais unterschieden, erklärt, dass die Biogas- und Methanpotential, sowie die fütterungsrelevanten Parameter GE, ME und NEL ebenfalls im selben Bereich wie reiner Silomais lagen. Lediglich die bereits erwähnten niedrigeren TM-Gehalte und höheren Rohfaser- und Rohproteingehalte bei Mais-Sonnenblumen-Gemenge sind zu beachten, da Mais-Sonnenblume als ein mögliches Silomais-Gemenge betrachtet wird. Die Veränderungen sind im Einklang mit Ergebnissen von Gholami-Yangije et al. sowie der North Dakota State University (Gholami-Yangije et al., 2019; North Dakota State University, 2021a, 2021b). Mit fast 1/5 Sonnenblumen-Anteil im Mais-Gemenge-Erntegut (20 % in 2020 bzw. 16,4 % in 2021) in Tachenhausen lässt sich der niedrige TM-Gehalt des Mais-Sonnenblumen-Gemenges von 28,2 und 27,3 % erklären. Auch konnte die North Dakota State University nachweisen, dass reine Sonnenblumensilage höhere Rohproteingehalte erzielen kann als reiner Silomais. Dies deckt sich mit den Rohproteingehalten in Tachenhausen;

im Jahr 2020 wurde ein höherer Sonnenblumen-Anteil nachgewiesen und ein höherer Rohproteingehalt in Mais-Sonnenblume als in reinem Mais, im Jahr 2021 war sowohl der Sonnenblumen-Anteil als auch der Rohproteingehalt geringer als im reinen Mais.

Aus Sicht der Biodiversität sollten, wenn die späten Trachtlücken im Jahr geschlossen werden sollen, Mais-Gemenge gewählt werden. Praktikabilität, Erträge und Ökonomie verweisen auf Ackerbohne, Erbse und Sonnenblume (sowie Kapuzinerkresse im konventionellen Anbau). Soll die frühe Trachtlücke im Jahr geschlossen werden, empfiehlt sich die Integration von überjährigen Blühstreifen in der Fläche. Die TM-Erträge unterscheiden sich bei durchdachter Bestandführung nicht von reinem Silomais. Die Qualität des Erntegutes lag bei den empfohlenen Alternativen im Bereich von reinem Silomais.

2 Einfluss der Applikation von Biostimulanzien (pflanzenwachstumsfördernde Mikroorganismen) auf das Wachstum von Mais-Bohnen-Gemenges

2.1 Einleitung

Im Zuge des Klimawandels wird in Baden-Württemberg mit mittel- und langfristigen Schwankungen der Witterung von Jahr zu Jahr und auch innerhalb eines Jahres zu rechnen sein. Dies hat einen direkten Einfluss auf das Auftreten und die Frequenz von Schaderregerpopulationen. Wärmeliebende Unkräuter, die Ausbreitung von Schädlingen und Krankheiten sowie krankheitserregenden Bakterien und Pilzen werden vom Klimawandel begünstigt. Mit einem verstärkten Auftreten von vektorübertragenen Krankheiten durch saugende Insekten ist bei Pflanzen zu rechnen. Die Wahrscheinlichkeit von Gewittern, Starkregen und Hagelschlag wird steigen und damit die Vulnerabilität gegenüber Pflanzenschäden. Pflanzenbauliche Anpassungsstrategien umfassen den verstärkten Anbau von z. B. Maissorten, die hitze- und trockenheitstoleranter sind. Gerade bei einer möglichen Zunahme von Reihenkulturen wie Mais muss die Ausbreitung der bivoltinen (d. h. zwei Generationen pro Jahr) Maiszünlerrasse und die Zunahme des Auftretens wärmeliebender Schädlinge wie z. B. Schnellkäfer (Elateridae) besonders beachtet werden. Beim Mais wird das auch zu Verschiebungen bei den Entwicklungs- und Reifegruppen führen, um die Kulturen vor den negativen Auswirkungen des Trockenstresses zu schützen (Flaig, 2013).

Pflanzen entziehen über ihre Wurzeln dem Boden Wasser und essentielle Nährstoffe, die sie für ein gesundes Wachstum benötigen. Sie stehen dafür über das Wurzelsystem in direktem Austausch mit der sie umgebenden Rhizosphäre, in der neben Nährstoffen auch eine Vielzahl an bodenbürtigen Pilzen, Bakterien, Viren und anderen Mikroorganismen (MO) vorkommen. Diese Mikroorganismen können vielfältige Wechselwirkungen mit Pflanzen eingehen und beeinflussen nicht nur die Kulturpflanzen, sondern das gesamte Ökosystem. Etliche dieser Mikroorga-

nismen können als Pathogene Pflanzen schädigen, indem sie z. B. Krankheiten oder als Parasiten Pflanzenschäden verursachen. In Folge werden die Pflanzen im Wachstum geschwächt und anfälliger für negative Umwelteinflüsse.

Andererseits gehen Pflanzen aber auch oft eine mutualistische (d. h. wechselseitige) Beziehung mit den sie umgebenden Mikroorganismen ein, von denen beide Seiten langfristig profitieren. Bestimmte bodenbürtige Pilze sind dafür bekannt, das Pflanzen- und Wurzelwachstum zu fördern, die Widerstandsfähigkeit von Pflanzen zu erhöhen, vorhandene Nährstoffe besser pflanzenverfügbar und die Pflanzen insgesamt stresstoleranter zu machen. Hierzu gehören z. B. Mykorrhiza-Pilzarten wie *Rhizophagus irregularis* (früher *Glomus intraradices*), die eine obligate Symbiose (= lebensnotwendiges Zusammenspiel) mit den Pflanzenwurzeln eingehen sowie opportunistische Pflanzensymbionten, wie Arten der Gattung *Trichoderma* spp. (u. a. *Trichoderma atrobrunneum*) (Strack et al., 2001; Harman et al., 2004). *Trichoderma atrobrunneum* ist ein freilebender Schimmelpilz der Abteilung der Schlauchpilze, der weitverbreitet ist und aufgrund seiner antagonistischen Wirkung auf phytophage (= pflanzenfressende) Pilze bereits in mehreren biologischen Präparaten eingesetzt wird. Dieser Pilz kann, wie Mykorrhiza-Pilze, ebenfalls Pflanzenwurzeln besiedeln, die meisten Arten sind dabei aber auf die ersten ein bis zwei Zellschichten der Wurzeln beschränkt (Harman, 2006; Harman et al., 2004).

Ein funktionierendes Wurzelsystem ist essentiell für eine gesunde Pflanzenentwicklung, gute Fruchtbildung und damit optimale landwirtschaftliche Erträge. Klepper und Kaspar (1994) und Feuerstein (2015) machten in ihren Studien die Bedeutung der Wurzelforschung als eine neue Aufgabe für die Pflanzenzüchtung deutlich und zeigten Möglichkeiten auf, wie sich das Wurzelwachstum in einem sog. Rhizotron beobachten lässt. Das ist ein spezielles experimentelles Anzuchtsystem als Wurzelraum einer Pflanze, um ökologische Prozesse wie Stoffumsätze oder Mykorrhizierung der Wurzeln sichtbar zu machen. Rhizotrone ermöglichen die Anzucht von Einzelpflanzen unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus, um den Einfluss bestimmter Faktoren (z. B. Mykorrhiza-Pilze) auf die gesamte Pflanze, von der Wurzel bis zum Spross,

untersuchen zu können. Schönberger (2021) berichtet über die Entwicklung von Mykorrhiza in Mais, die über Wurzelhaare und Rhizodermis in die Wurzelrinde einwächst und als Wasserleiter in der Wurzel wirkt.

In den im Folgenden dargestellten Untersuchungen stand die Erfassung der Wirkung von Mykorrhiza-Pilzen auf das Wachstum, den Ertrag und die Pflanzengesundheit in Mais-Bohnen-Gemengen im Vordergrund. Weiterhin sollte das Applikationsverfahren unter Feldbedingungen geprüft werden. Bei den eingesetzten handelsüblichen Produkten handelte es sich entweder um eine Mischung aus Mykorrhiza-Pilzen mit pflanzenwachstumsfördernden Bodenbakterien, welche unter anderem für Maiskulturen entwickelt wurde, sowie ein Trichoderma-Produkt, das vorwiegend im GaLa-Bau, der Baumpflege und Grünlandbewirtschaftung eingesetzt wird. Im Folgenden werden diese beiden Komponenten einheitlich als Mikroorganismen (MO) bezeichnet. Durch die Verwendung dieser Produkte wurde die Relevanz der Untersuchungen für den praktischen Landbau gewährleistet.

2.1.1 VERSUCHSFRAGEN

Die Landesregierung hat sich im Rahmen des Biodiversitätsstärkungsgesetzes bis 2030 das Ziel gesetzt, die Anwendung chemisch-synthetischer Mittel um 40 bis 50 % zu senken. Der Biologische Pflanzenschutz spielt eine zentrale Rolle. Ziele sind u.a. nachhaltige, integrierbare Anwendungsverfahren von natürlichen Gegenspielern von Schadorganismen im Acker-, Garten- und Obstbau und alternative Produkte wie Grundstoffe, Low-Risk Produkte und Biostimulanzien für die Praxis zu prüfen und weiterzuentwickeln. Zu stärken ist weiterhin die biologische Bekämpfung, um den vielfach sehr effektiven Einsatz gegen Schädlinge im geschützten Anbau auf das Freiland und gegen Krankheitserreger und Unkräuter auszudehnen. Erfolgreiche, bereits in der Praxis etablierte Verfahren sind der Schlupfwespeninsatz gegen den Maiszünsler, die Anwendung von *Bacillus thuringiensis*-Präparaten zur Bekämpfung von Schadschmetterlingen oder die Applikation eines Pilz-Gegenspielers zur Sclerotinia-Bekämpfung. Daher sind praxisrelevante, pflanzenbauliche Verfahren (z. B. Bodenbearbeitung, Fruchtfolge, Sortenwahl) zu entwickeln und in der Praxis zu etablieren, die unter

anderem über eine Förderung von Gegenspielern bzw. eine verbesserte Vitalität der Pflanzen das Schadpotenzial von Krankheiten, Schädlingen und Unkräutern reduzieren.

Es stellt sich die Frage, ob selektierte bodenbürtige Pilze mit wachstumsfördernden Bakterien das Maiswachstum positiv beeinflussen und zur Pflanzenschutzmittel-Reduktion beitragen können. Im Rahmen der Freiland-Untersuchungen von 2018 bis 2021 wurden insgesamt drei MO-Präparate angewandt, die alle für den Mais-Anbau geeignet waren. In den Untersuchungen wurden die MO-Präparate „Wilhelms Best“ der Firmen Wilhelms GmbH Cloppenburg (2018) und H. Bröring GmbH & Co. KG (2019), „Aktiv“ der Fa. Premier Tech Agriculture (2019, 2020, 2021) und „Avengelus“ der Fa. MycoSolutions AG (2020, 2021) geprüft.

Zusätzlich wurden in den Jahren 2019, 2020 und 2021 Rhizotron-Versuche (d. h. Untersuchungen im Wurzelkasten) im Gewächshaus durchgeführt, um die Entwicklung des Wurzelsystems von Maispflanzen mit Zusatz des MO-Produktes „Aktiv“, zwei Formulierungen des Produktes „Avengelus“ sowie des MO-Präparates „Xilon®“ der Fa. Kwizda Agro anschaulich darzustellen und die Besiedlung des Maiswurzelsystems mit Mykorrhiza-Pilzen unter kontrollierten Bedingungen zu dokumentieren.

Es wurden folgende Versuchsfragen im Rahmen dieser Untersuchungen bearbeitet:

- Findet eine Besiedlung der Wurzeln mit den MO-Präparaten in der Applikation statt?
- Welchen Einfluss haben die ausgewählten MO-Präparate auf das Pflanzenwachstum und den Ertrag?
- Wie unterscheidet sich die Besiedlungsrate der Wurzeln in Abhängigkeit von den ausgewählten MO-Präparaten an zwei ausgewählten Untersuchungsstandorten?

2.2 Versuchsanlage

2.2.1 FREILANDVERSUCHE

2.2.1.1 Standortbeschreibung

Die Untersuchungen zu den MO-Präparaten wurden in zwei unterschiedlichen Boden-Klimaräumen (BKR) durchge-

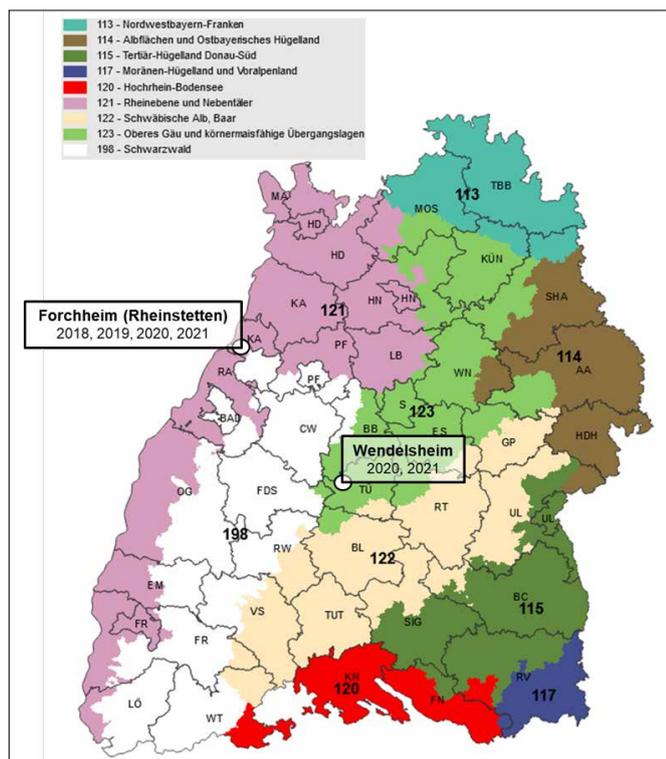


Abbildung 55: Lage der beiden Versuchsstandorte in den Boden-Klima-Räumen Baden-Württembergs, mit Angabe der Untersuchungsjahre.

führt. Sie fanden in allen Versuchsjahren (2018 bis 2021) am Standort Rheinstetten-Forchheim statt sowie in 2020 und 2021 am Standort Wendelsheim, der als P-Mangelstandort charakterisiert ist (Abbildung 55).

2.2.1.1.1 Versuchsjahr 2018

Es wurden zwei Varianten geprüft:

Variante 1: Mais-Bohnen-Gemenge ohne MO-Produkt;

Variante 2: Mais-Bohnen-Gemenge mit MO-Produkt.

Bodenbearbeitung, Düngung und Pflanzenschutz erfolgten nach guter fachlicher Praxis für einen Silomais-Reinbestand.

Von der Firma Wilhelms GmbH wurde das für Mais entwickelte Produkt „Wilhelms Best“ bestehend aus dem Bodenhilfsstoff Mykorrhizapilz *Rhizopagus irregularis* (3.000 Einheiten g^{-1}) und verschiedenen pflanzenwachstumsfördernden Bodenbakterien (PGPB, Plant Growth Promoting Bacteria) (3×1.010 koloniebildende Einheiten g^{-1}) bezogen. Bei den Bodenbakterien handelte es sich um eine Mischung aus *Azotobacterchroococcum*, *Bacillus velezensis*, *Bacillus amyloliquefaciens*, *Bacillus pumilus*, *Paraburkholderia phyto-firmans* und *Stenotrophomonas rhizophila*

Das Produkt der Firma Wilhelms GmbH war in 2018 für den ökologischen Landbau zugelassen. Es war beim Forschungsinstitut für den biologischen Landbau in der Betriebsmittelliste für den ökologischen Landbau gelistet (FiBL, 2020). Ausgesät wurde die Maissorte „Figaro“ sowie die Bohnensorte „WAV 512“ von der KWS. Die Aussaatstärke im Gemenge betrug acht Körner Mais m^{-2} und vier Körner Bohnen m^{-2} . Für die Feldaussaat wurden pro Parzelle 246 g Maissaatgut und 201 g Bohnensaatgut mit 3 g „Wilhelms Best“ Pulver inokuliert, durchmischt und ausgebracht. Das inokulierte Saatgut wurde in den Bandkopf der Parzellensämaschine Hege 80 eingefüllt. Auf eine gleichmäßige Vermischung wurde geachtet. Das Saatgut wurde auf die standorttypische Tiefe für Mais abgelegt.

Die erste Aussaat am Standort Rheinstetten-Forchheim erfolgte im Mai 2018 und eine zweite Aussaat erfolgte am 24.05.2018 (KW 21) am selben Standort. Die Bohnen der ersten Aussaat reagierten mit Wachstumsdepressionen und Spritzschäden auf die eingesetzten Herbizide (Spectrum und Stomp). Deshalb wurde der Versuch nochmals ausgesät und um die freiabblühende Maissorte „Gelber Badischer Landmais“ (GBL) erweitert. Der GBL wurde nur einzeln

TABELLE 46: STANDORTPARAMETER DER PFLANZENBAULICHEN VERSUCHE; HÖHE ÜBER DEM MEERESSPIEGEL, TEMPERATUR IM JAHRESMITTEL, JAHRESNIEDERSCHLAG, BODEN-KLIMA-RAUM

BK Tabelle 1: Standortparameter der pflanzenbaulichen Versuche; Höhe über dem Meeresspiegel, Temperatur im Jahresmittel, Jahresniederschlag, Boden-Klima-Raum (BKR), Bodenart, Bewirtschaftungsform und die dort durchgeführten Versuche (langjährige Klimadaten entsprechen dem Zeitraum 1961–1990).

	Höhe ü. NN (m)	Temperatur Jahresmittel (°C)	Jahresniederschlag (mm)	BKR	Bodenart	Bewirtschaftung
Rheinstetten-Forchheim	116	10,3	771	121 Rheinebene und Nebentäler	IS	Konv.
Wendelsheim	380	8,8	839	123 Oberes Gäu und körnermaisfähige Übergangslagen	tL	Konv.

geprüft, nicht in Kombination mit Bohnen. Es wurde ungebeiztes Saatgut verwendet. Bei der zweiten Aussaat erfolgte ebenfalls eine Herbizidanwendung (Spectrum und Stomp), wobei die Bohnen keine Unverträglichkeiten zeigten. Nach der Ernte wurde aus jeder Parzelle eine Mais-wurzelmischprobe zur Bestimmung der Besiedlungsrate mit den Mykorrhiza-Pilzen gezogen.

2.2.1.1.2 Versuchsjahr 2019

2019 wurden zusätzlich auch Silomais-Reinbestände in die Versuchsanlage mit aufgenommen und im jeweiligen Vergleich zu den Mais-Bohnen-Gemengen untersucht. Ein-gesetzt wurden diesmal zwei verschiedene MO-Produkte:

- **Variante 1:** Mais-Reinbestand, Kontrolle (ohne MO)
- **Variante 2:** Mais-Bohnen-Gemenge, Kontrolle (ohne MO)
- **Variante 3:** Mais-Reinbestand mit MO-Produkt „Wilhelms Best“
- **Variante 4:** Mais-Bohnen-Gemenge mit MO-Produkt „Wilhelms Best“
- **Variante 5:** Mais-Reinbestand mit MO-Produkt „Aktiv®“
- **Variante 6:** Mais-Bohnen-Gemenge mit MO-Produkt „Aktiv®“

Es wurde, wie bereits im Versuchsjahr 2018, das Produkt „Wilhelms Best“ (s.o.) verwendet, das in 2019 von der Firma H. Bröring GmbH & Co. KG in Dinklage bezogen wurde. Zusätzlich wurde in 2019 das Produkt „Aktiv®“ der Firma Premier Tech Agriculture mit Sitz in Kanada verwendet. Dieses Produkt enthält den Bodenhilfsstoff Mykorrhiza-Pilze *Rhizophagus irregularis* (syn. *Glomus intraradices*) (6.400 Einheiten g⁻¹).

Das Produkt war auch 2019 für den ökologischen Landbau genehmigt und gelistet (s.o.). Das Produkt „Aktiv®“ der Firma Premier Tech Agriculture mit Sitz in Kanada hat nach der VO (EG) Nr. 834/2007 vom 28.06.2007 eine europäische Positiv-Listung und Kennzeichnung (siehe ECOCERT, n.d.). Eine zusätzliche FiBL-Listung wurde deshalb nach Auskunft der Firma nicht angestrebt.

Verwendet wurden dieselben Mais- bzw. Bohnensorten, wie bereits in 2018. Die Aussaatstärke und die Mischungsverhältnisse des Saatgutes waren wie folgt:

1) Mais-Reinbestand: 260 g Mais pro Variante, d.h. 9,5 Körner m⁻².

2) Mais-Bohnen-Gemenge: 216 g Mais zu 176 g Bohnen pro Variante, d.h. acht Körner Mais zu vier Körner Bohnen m⁻².

Je Variante wurde für die Feldaussaat 2 g des Produkts „Wilhelms Best“ und 4 g des Produkts „Aktiv“ vorab mit dem Saatgut inokuliert, befeuchtet, durchmischt und anschließend ausgesät. Das inokulierte Saatgut wurde in den Bandkopf der Parzellensämaschine Hege 80 eingefüllt, wobei auf eine gleichmäßige Vermischung geachtet wurde. Der Reihenabstand betrug 0,75 m und das Saatgut wurde auf die standorttypische Tiefe für Mais abgelegt. Die Aussaat erfolgte am 06.05.2019 am Standort bei trockener Witterung.

Die N-Düngung richtete sich nach dem Bedarf eines Silomais-Reinbestandes und wurde über ALZON 46 (46 % N) abgedeckt. Im Voraufbau erfolgte ein Herbizideinsatz mit Spectrum Plus, auf das die Bohnen keine Unverträglichkeiten zeigten.

2.2.1.1.3 Versuchsjahre 2020 und 2021

Der Freilandversuche wurden in den Versuchsjahren 2020 und 2021 sowohl am Standort Rheinstetten-Forchheim als auch Wendelsheim durchgeführt. An beiden Standorten wurde der Versuch mit identischen Varianten als zweifaktorieller, dreifach wiederholter randomisierter Parzellenversuch angelegt.

N-Düngung, Herbizid-Aufwandmenge sowie Aussaat erfolgten nach guter fachlicher Praxis. Die mineralische N-Düngung richtete sich jeweils nach dem N-Bedarf eines reinen Silomaisbestandes am jeweiligen Standort und erfolgte vor der Aussaat. Die Herbizid-Behandlung wurde im Voraufbau an beiden Standorten durchgeführt.

In den Versuchsjahren 2020 und 2021 wurden zwei MO-Präparate („Aktiv“ und „Avangelus“) in gleicher Versuchsanordnung an den Standorten Rheinstetten-Forchheim sowie Wendelsheim untersucht. Es wurden insgesamt sechs Varianten im Mais-Reinbestand bzw. Mais-Bohnen-Gemenge an beiden Standorten untersucht, wobei jeweils

TABELLE 47: ÜBERSICHT ÜBER VARIANTEN, SAATSTÄRKEN VON MAIS UND BOHNE SOWIE INOKULATIONSMEGEN DER MO-PRÄPARATE, DIE SOWOHL AM STANDORT RHEINSTETTEN-FORCHHEIM ALS AUCH WENDELSHEIM VERWENDET WURDEN.

Variante	Mais (Körner m ⁻²)	Bohne (Körner m ⁻²)	MO-Produkt (mg m ⁻²) ¹
1 Mais Kontrolle	8	-	-
3 Mais mit Avengelus	8	-	4
5 Mais mit ptAgtiv	8	-	0,3
2 Mais-Bohne Kontrolle	8	4,5	-
4 Mais-Bohne mit Avengelus	8	4,5	4
6 Mais-Bohne mit ptAgtiv	8	4,5	0,3

¹ Am Standort Rheinstetten-Forchheim wurde in 2021 das MO-Produkt „Avengelus“ über ein separates Düngefach als Unterfuß-Applikation ausgebracht und neben dem Saatgut abgelegt. Für die Gesamtfläche wurden 0,9 kg des Produkts benötigt.

zwei verschiedene MO-Präparate eingesetzt wurden im Vergleich zu einer unbehandelten Kontrollvariante (Tabelle 47). Beim Silomais wurde die Sorte „Figaro“ (Züchter: KWS, TKM: 333 g) und bei den Bohnen die Sorte „WAV 612“ (Züchter: van Waveren, TKM: 201 g) verwendet. Der Reihenabstand des Mais betrug 75 cm.

Das MO-Präparat „tAgtiv[®]“ wurde von der Firma Premier Tech Agriculture mit Sitz in Kanada bezogen. Dieses Produkt enthält den Bodenhilfsstoff Mykorrhiza-Pilz *Rhizoglyphus irregularis* (syn. *Glomus intraradices*) (6.400 Einheiten g⁻¹) und wird als 2-Komponenten-Pulver geliefert, das vor Anwendung mit dem Saatgut einheitlich durchmischt werden muss. Das Produkt „Agtiv[®]“ hat nach der VO (EG) Nr. 834/2007 vom 28.06.2007 eine europäische Positiv-Listung und Kennzeichnung (ECOCERT, n.d.). Eine FiBL-Listung wurde nach Auskunft der Firma in 2020 nicht zusätzlich

angestrebt. Das MO-Präparat „Avengelus[®]“ mit dem Nützlingspilz *Trichoderma atroviride* wurde von der Firma MycoSolutions AG mit Sitz in der Schweiz bezogen. Es handelt sich hierbei um ein Granulat und besteht aus > 1 x 10⁸ KBE ml⁻¹ (KBE = koloniebildende Einheit) des Pilzes *Trichoderma atroviride* (vormals *harzianum*) T-720 (Anteil 0,5 %) sowie Maisgranulat (Anteil 66 %) und Wasser (Anteil 33,5 %). Das Maisgranulat bildet die Trägersubstanz und ist nach Angaben des Herstellers vollständig organisch abbaubar. Das Produkt ist als Düngemittel nach Düngerverordnung, DüV, identifiziert (Abbildung 56).

Für die Aussaat am Standort Rheinstetten-Forchheim wurden in 2020 beide MO-Produkte < 24 h vor der Aussaat je nach Variante mit dem Mais bzw. dem Mais-Bohnen-Gemenge den Produkt-Empfehlungen entsprechend vermischt (Tabelle 47) und bis zur Aussaat am nächsten



Abbildung 56: Die in den Feldversuchen verwendeten MO-Präparate. Links: Mykorrhiza-Präparat „ptAgtiv“ (schwarz) mit zugehöriger Bakterienmischung (weiß); Mitte: mit „ptAgtiv“ vermengtes Maissaatgut; rechts: Trichoderma-Präparat „Avengelus“

Fotos: links und rechts: Christine Dieckhoff/LTZ, Mitte: Mareile Zunker/LTZ



Abbildung 57: Unterschiedlicher Aufwuchs der Pflanzen an den Versuchsstandorten Rheinstetten-Forchheim und Wendelsheim im Versuchsjahr 2020 in Abhängigkeit von der gewählten Aussaattechnik. Links: Standort Rheinstetten-Forchheim, lückig aufgelaufenes Saatgut in einzelnen Parzellen (vorwiegend in Varianten mit *Trichoderma*-Produkt). Rechts: Standort Wendelsheim, gleichmäßiges Auflaufen der Pflanzen. Fotos: Swane Rodewald/LTZ

Tag kühl und trocken gelagert. Ausgesät wurde mittels betriebsüblicher Einzelkornsämaschine. Hier liefen die Pflanzen in einigen Parzellen, vorwiegend jene mit dem *Trichoderma*-Präparat, sehr schlecht auf (Abbildung 57, links). Dies lag vermutlich an der Granulatstruktur des Präparats in Verbindung mit der gewählten Aussaattechnik. Bei der Ausbringung des Saatgut-Mikroorganismen-Granulates wurden vorwiegend *Trichoderma*-Granulatkörner anstelle des Saatguts an der Lochscheibe angesaugt, was eine Ablage des Saatguts verhindert hat. Zudem war die Entmischung von Saatgut und Granulat in den Säckästen problematisch. Durch diese Entmischung kam es zur vorwiegenden Ablage der *Trichoderma*-Granulatkörner. In 2021 wurde daher am Standort Rheinstetten-Forchheim die Aussaattechnik angepasst und das Granulat über einen auf der Einzelkornsämaschine aufgebauten Granulatstreuer (0,9 kg Präparat für die Gesamtfläche plus 1 kg Puffer) als Unterfußband, parzellengenau, ca. 4 cm neben der Mais- bzw. Mais-Bohnenreihe abgelegt.

Am Standort Wendelsheim kam in beiden Versuchsjahren eine Bandkopf Sämaschine mit pneumatischem Verteilsystem zum Einsatz, bei der das *Trichoderma*-Granulat getrennt über einen separaten Bandkopf neben dem Saatgut in den entsprechenden Parzellen abgelegt wurde. Hier kam es zu einem gleichmäßigen Auflaufen aller Varianten, da das Granulat nicht über die Säscheibe abgelegt wurde und zu einem Verdrängen des Saatguts in derselben führte (Abbildung 57, rechts). Am Standort Wendelsheim wurde

aufgrund der vorhandenen Sätechnik nur die Varianten mit dem Produkt „Aktiv“ < 24 h vorher präpariert. Die abgewogenen Mengen des Granulat-Produkts „Avengelus“ wurden am Tag der Aussaat in einen separaten Bandkopf zur Unterfußdüngung gefüllt und in den Varianten 3 und 4 parzellengenau 4–5 cm neben dem Saatkorn in derselben Bodentiefe abgelegt. Trotz adäquater Aussaattechnik kam es am Standort Wendelsheim 2021 zu einem stellenweise lückigen Auflaufen des Saatguts. Auf der Versuchsfläche wurde bei der Aussaat eine stellenweise starke Bodenverdichtung beobachtet, wodurch das Saatgut dort nicht tief genug in den Boden abgelegt werden konnte und in Folge sehr schlecht aufief.

Am Standort Wendelsheim traten sowohl in 2020 als auch 2021 jeweils ein paar Wochen vor Ernte Wildschweinschäden auf. An beiden Standorten erfolgte die Ernte mit einem Parzellenhäcksler, über den auch die automatische Ertragserfassung erfolgte. Geerntet wurden jeweils die Pflanzen in den zwei Mittelreihen jeder Parzelle.

2.2.1.2 Datenerhebung

Zur Ernte wurden der Trockenmasseertrag und der Trockenmassegehalt bestimmt.

Zur Bestimmung der Besiedlungsrate mit den Mykorrhizapilzen wurden im Anschluss an die Ernte des oberirdischen Pflanzenmaterials an beiden Standorten parzellengenau

Mischproben der Maiswurzeln aus den Varianten 1, 2, 5, und 6 gezogen (Kontrolle Mais/Mais-Bohne, „Aktiv[®]“ Mais/Mais-Bohne). Es wurden keine Proben aus den Varianten 3 und 4 (*Trichoderma*-Präparat) gezogen, da es sich bei *Trichoderma* nicht um autochthone arbuskuläre Mykorrhiza-Pilze (AMP) handelt. D.h. es erfolgt keine intrazelluläre Besiedelung der Maiswurzeln durch *Trichoderma atrobrunneum*, wie dies bei Mykorrhiza-Pilzen der Fall ist (Abbildung 58). Im Rahmen der Gewächshausversuche wurde eine mit *Trichoderma* behandelte Wurzelprobe auf eine mögliche Besiedelung mit Mykorrhiza-Pilzen untersucht. Von Herstellerseite gab es zwischenzeitlich Erkenntnisse darüber, dass Wechselwirkungen unterschiedlicher Pilzarten, wie Mykorrhiza mit *Trichoderma* in der Rhizosphäre auftreten können

In 2019 wurde einmalig der Einfluss der MO-Präparate auf das Pflanzenwachstum visuell erfasst.

Während der Vegetationsperioden in 2020 und 2021 wurden an beiden Standorten Bonituren der Pflanzenhöhe durchgeführt.

2.2.1.2.1 Bonitur des Wurzelmaterials

Eine geeignete Methode zur Beurteilung der Besiedelung durch autochthone arbuskuläre Mykorrhiza-Pilze (AMP) in Wirtspflanzenwurzeln ist die Ermittlung der Mykorrhizierungsrate. Dazu wurde eine repräsentative Feinwurzelanzahl der zu untersuchenden Wurzelmischproben entnommen. Die gewaschenen Wurzeln wurden in 1 cm lange Stücke zerkleinert. Aus jedem Wurzelabschnitt, bevorzugt feine Endwurzeln und laterale Wurzeln, wurden Proben entnommen, die entweder in AFE-Lösung nach Gerlach (1969) oder in 70 % Ethanol fixiert wurden. Die anschließende Bleichung und Färbung der Wurzeln erfolgte modifiziert nach Phillips und Hayman (1970) mit einer Trypan-Blau-Lösung.

Der Besiedelungsgrad ist der prozentuale Anteil besiedelter Wurzeln einer Wurzelprobe aus 100 Wurzelabschnitten von je einem Zentimeter Länge (Slide-Methode nach Giovannetti und Mosse, 1980). In Anlehnung an Trouvelot et al. (1986) wurden je Mischprobe zufällig ausgewählte 30 Feinwurzelstücke von je 1 cm Länge mikroskopisch

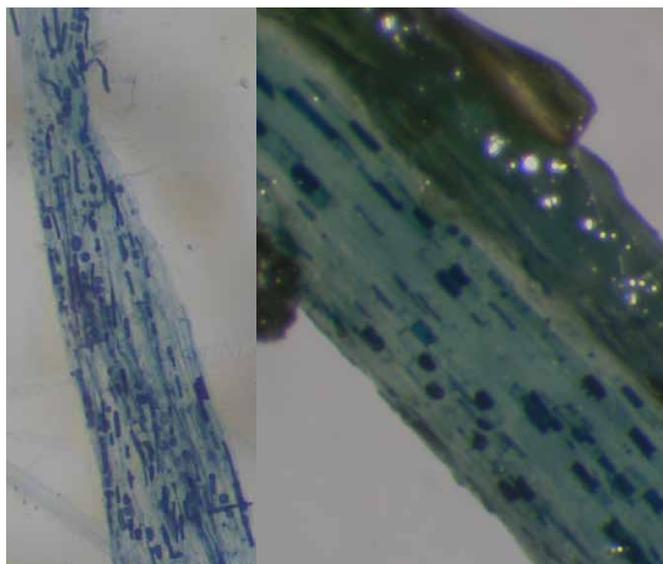


Abbildung 58: Wurzelbesiedlung mit dem Nützlingspilz *Trichoderma atrobrunneum* Produkt „Avengelus“ Fa. MycoSolutions, 40-fache Vergrößerung.

Fotos: Mareile Zunker/LTZ

(Vergrößerung 40x) auf die Besiedelung mit endotropher Mykorrhiza (Myzel, Arbuskeln und Vesikel) bonitiert. Die Häufigkeit der Endomykorrhiza ergibt sich aus dem prozentualen Anteil der Feinwurzeln mit Strukturen von Endomykorrhiza-Pilzen. Das Ausmaß der Besiedelung dieser Feinwurzeln durch Endomykorrhiza-Pilze wird als die Intensität der Endomykorrhiza in Prozent beschrieben (Feldmann und Idczak, 1992).

Bei den blau gefärbten Strukturen handelt es sich um Mykorrhizamyzel und Hyphen. Die kreisrunden Punkte sind Vesikel, Orte des Stoffaustausches (Abbildung 59).

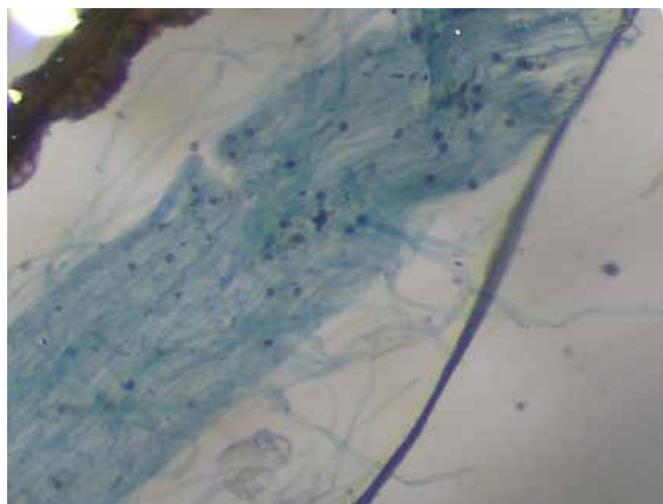


Abbildung 59: Wurzelbesiedlung mit dem Mykorrhiza-Pilz *Rhizophagus irregularis* (syn. *Glomus intraradices*) Produkt „Aktiv[®]“; 40-fache Vergrößerung.

Foto: Mareile Zunker/LTZ

2.2.2 GEWÄCHSHAUSVERSUCHE

Ergänzend zu den Freilandversuchen wurden in 2020 und 2021 jeweils ein Pflanzcontainer- und Wurzelkasten (sog. Rhizotron-) Versuch im geschützten Anbau mit dem Ziel angelegt, die Wurzelfrischmassen in einem abgeschlossenem Containermedium unter kontrollierten Bedingungen vollständig und gezielter auf eine Besiedlung mit Mykorrhizapilzen im Vergleich zum Freilandversuch zu untersuchen.

2.2.2.1 Versuche im Pflanzcontainer

In dem Versuch von 2020 wurden insgesamt sechs 90 l Container mit Einheitserde befüllt, wobei die Hälfte der Container als Mais-Reinkultur (je zehn Maiskörner) und die andere Hälfte als Mais-Bohnen-Gemenge (je zehn Maiskörner plus zehn Bohnen) ausgesät wurde. Jeweils ein Container Mais-Reinkultur und Mais-Bohnen-Gemenge wurde dann mit dem Produkt „Aktiv“ bzw. „Avengelus“ behandelt. Die Inokulationsmengen entsprachen den für Herstellerangaben zur Aufwandmenge auf Ackerflächen und waren entsprechend auf die Containerfläche berechnet worden. Die verbleibenden zwei Container dienten als Kontrolle.

In 2021 wurden acht 90 l Container entsprechend wie in 2020 angesetzt. Neben der unbehandelten Kontrolle wurden die Produkte „Aktiv“, „Avengelus“ in einer Flüssigformulierung sowie das neu hinzugekommene Produkt „XILON®“. Dieses breitenwirksame Bodenfungizid der Fa. Kwizda Agro wurde zur Behandlung von Ölsaaten und Mais entwickelt, basierend auf dem Trichoderma asperellum-Stamm T34. Beide Versuchsreihen wurden im Forschungsgewächshaus am Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) durchgeführt. In 2020 wurde die Entwicklung des Wurzelsystems einer Maispflanze im Rhizotron über die Zeit dokumentiert.

2.2.2.1.1 Datenerhebung/Ernte und Ziehung der Wurzelproben

Zur Ernte der Container-Versuche wurden jeweils die Frischmasse sowie die Wurzelmasse erfasst. Hierzu wurde für das Mais-Bohnen-Gemenge die oberirdische Gesamt-

Frischmasse (Stängel und Blätter) sowie die Wurzelmasse erfasst. Bei den Pflanzen im Gemenge mit Bohne wurde das oberirdische Frischmassematerial pro Container erfasst, weil das Mais- und Bohngemenge nicht mehr voneinander getrennt werden konnte. Bei den Maispflanzen in Reinkultur erfolgte dies für jede Pflanze einzeln. Es wurde eine Bestimmung des Trockenmassegehalts der Proben durchgeführt.

Aus den Wurzelballen wurden jeweils stichprobenartig Feinwurzeln entnommen, um diese im Anschluss im Labor hinsichtlich des Besiedlungsgrads der Wurzeln durch inokulierte und durch autochthone arbuskuläre Mykorrhizapilze (AMP, Mikroskopie) untersucht.

2.2.2.2 Versuche im Rhizotron

Für diese Wurzelversuche wurden in 2020 und 2021 zwei sog. Rhizotrone verwendet, um die Entwicklung des Wurzelsystems von mit Mykorrhizapilzen beimpften Maispflanzen im Vergleich zu Kontrollpflanzen anschaulich darzustellen und zu untersuchen.

2.2.2.2.1 Versuchsdurchführung

Um ein von Licht ungestörtes Wurzelwachstum zu ermöglichen, wurde vor eine durchsichtigen Beobachtungsplatte zusätzlich eine abschließende Verdunkelungsplatte gesetzt, die die Wurzeln vor Tageslicht schützt (Abbildung 60, Abbildung 61). Das Rhizotron (L 1,50 x B 0,60 m) besteht aus den folgenden Bauteilen:

- a. äußere Standfüße;
- b. Beobachtungsseite (Plexiglasplatte);
- c. Verdunkelungsplatte (von außen auf Plexiglasscheibe eingeschoben, um Wurzelwachstum an der Scheibe im Dunkeln zu ermöglichen);
- d. Dunkelseite;
- e. Versteifungsstreben;
- f. Rhizotronrahmen (schwarze Profile).

Es wurden in jedem Rhizotron-Versuch jeweils zehn Maiskörner mit dem MO-Präparat „Aktiv“ (2020) bzw. 2 Formulierungen des MO-Präparats „Avengelus“ (Granulat und Flüssigformulierung) sowie des MO-Präparats „Xilon“

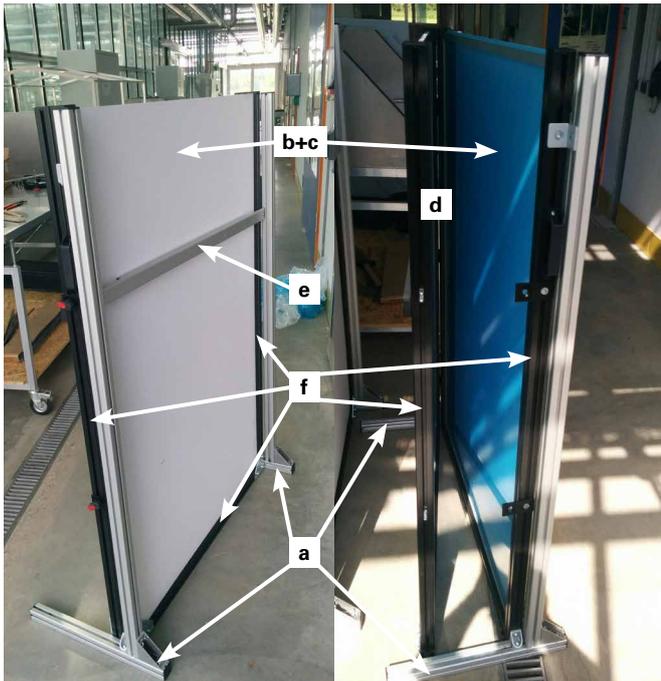


Abbildung 60: Gesamtansicht der Rhizotron-Bauteile. Erläuterungen der einzelnen Bauteile, s. Text. Fotos: Matthias Inthachot/LTZ

(2021) in einem Wurzelkasten inokuliert, im Substratspalt des Rhizotrons eingesät und einer unbehandelten Kontrollvariante gegenübergestellt.

2.2.2.2 Datenerhebung

Die Pflanzen wurden wie unter 2.2.2.1.1 beschrieben geerntet und weiterverarbeitet.

2.3 Ergebnisse

2.3.1 FREILANDVERSUCHE

2.3.1.1 Versuchsjahr 2018

2.3.1.1.1 Ertrag

Am ersten Standort (Schlag Nr. 10) hatten sich die Bohnen trotz der unverträglichen Herbizid-Anwendung noch ausreichend entwickelt, wenngleich sie keinen nennenswerten Bohnenansatz (Hülsen) bildeten. Bei der Variante mit MO ergab sich ein durchschnittlicher minimaler Minderertrag von 3 % ($4,8 \text{ dt ha}^{-1}$) in der Trockenmasse gegenüber der unbehandelten Kontrolle. Der Einsatz von MO führte hinsichtlich des Ertrages zu keinem Unterschied (Tabelle 48).



Abbildung 61: Durchwurzelung der unbehandelte Maisvariante im Rhizotron-Versuch nach Entfernung der Verdunkelungsplatte beim Abbau des Versuchs.

Foto: Mareile Zunker/LTZ

Am zweiten Standort (Schlag Nr. 14) entwickelte sich, bedingt durch die späte Aussaat und die extrem hohen Temperaturen mit nahezu keinem Niederschlag in 2018, das Mais-Bohnen-Gemenge trotz Bewässerung nicht ausreichend. Die Erträge in den jeweiligen Behandlungen mit MO-Präparaten waren geringer gegenüber den unbehandelten Varianten bei beiden Maissorten unabhängig

TABELLE 48: EINFLUSS DER INOKULATION MIT MIKROORGANISMENPRÄPARATEN (MO-PRODUKTEN) AUF DIE MITTLEREN GESAMT-TROCKENMASSEERTRÄGE DER MAIS-BOHNEN-GEMENGE IN DEN VARIANTEN AM ERSTEN STANDORT.

Dargestellt sind die Mittelwerte mit Standardfehler, N=3.

Variante	Trockenmasseertrag (dt ha^{-1})
Mais-Bohnen-Gemenge ohne MO-Produkt	163 ± 5
Mais-Bohnen-Gemenge mit MO-Produkt	159 ± 14

TABELLE 49: EINFLUSS DER INOKULATION MIT MIKROORGANISMENPRÄPARATEN AUF DEN MITTLEREN GESAMT-TROCKENMASSEERTRAG (DT HA⁻¹) DES MAIS-BOHNEN-GEMENGES SOWIE DER REINKULTUR MIT DER SORTE „GELBER BADISCHER LANDMAIS“ AM ZWEITEN STANDORT (SCHLAG NR. 14) AM STANDORT RHEINSTETTEN-FORCHHEIM IN 2018.

Variante	ohne MO	mit MO	Differenz
„Figaro“ (Gemenge)	214	181	33,4 (15,6 %)
„Gelber Badischer Landmais“ (Reinkultur ohne Bohnen)	170	163	6,7 (4,0 %)

davon, ob es sich um das Gemenge oder die Reinkultur handelte (Tabelle 49).

Die freiabblühende Maissorte „Gelber Badischer Landmais“ war im Ertrag deutlich niedriger (-20,9 % oder 44,8 dt ha⁻¹) als die Hybridsorte „Figaro“ und wies auch eine geringere Standfestigkeit auf. Zusätzlich war sie durch den parasitischen Brandpilz Maisbeulenbrand (*Ustilago maydis*) befallen. Eine Infektion wird durch Stressfaktoren wie trockene Witterung und Temperaturen zwischen 26 und 34°C gefördert, wie sie 2018 auftraten.

2.3.1.1.2 Ermittlung der Besiedlungsrate der Maiswurzeln mit Mykorrhizapilzen

Zur Bewertung der Wirkung des in 2018 ausgewählten Bodenhilfsstoffes „Wilhelms Best“ wurde der Mykorrhizierungsgrad an den Maiswurzeln der Pflanzen aus behandeltem Saatgut im Vergleich zur Kontrolle untersucht. Eine wesentliche Voraussetzung durch inokulierte Mykorrhizapilz-Produkte eine gesicherte Förderung des Wurzel- und Sprosswachstums von Maispflanzen zu erzielen, ist der Nachweis einer Wurzelbesiedlung mit endotrophen vesikulär arbuskulären Mykorrhiza-Pilzen.

Die prozentuale Besiedlungsrate bei der mit Mykorrhizapilzen inokulierten Variante war sehr gering (Tabelle 50). Auch die autochthone, im Boden vorhandene Besiedlung mit Mykorrhiza-Pilzen in der Kontrollvariante lässt auf eine geringe symbiontische Leistung der MO schließen. Die Wirksamkeit der Pilze konnte unter den geprüften Standort-

TABELLE 50: PROZENTUALE BESIEDLUNGS-RATE VON MAISWURZELN DURCH EIN INOKULIERTES MYKORRHIZA-PRODUKT UND DURCH AUTOCHTHONE ARBUSKULÄRE MYKORRHIZA-PILZE IN DER KONTROLL-VARIANTE AM STANDORT RHEINSTETTEN-FORCHHEIM IM VERSUCHSJAHRE 2018

Mittelwert, n=30

Variante	Besiedlungsrate (%)
Kontrolle ohne MO-Produkt	0,93
Kontrolle mit MO-Produkt	6,03

und Wachstumsbedingungen nicht nachgewiesen werden. Die geringe Wurzelbesiedlung mit den Mikroorganismen führte zu keinen Wachstums- und Ertragserhöhungen.

2.3.1.2 Versuchsjahr 2019

2.3.1.2.1 Ertrag

In Silomaisreinkultur ergaben sich bei den Varianten mit MO jeweils durchschnittliche Mehrerträge von 7,7 % beim Produkt „Wilhelms Best“ bzw. 0,7 % beim Produkt „Aktiv“ gegenüber der Kontrollvariante ohne MO-Zugabe, die jedoch statistisch nicht signifikant waren ($t = 1,003$, $p = 0,336$ bzw. $t = 0,090$, $p = 0,930$). Im Mais-Bohnen-Gemenge ergaben sich in beiden Varianten mit Zugabe von Mikroorganismen durchschnittliche Mindererträge von -6,4 % beim Produkt „Wilhelms Best“ bzw. -8,5 % beim Produkt „Aktiv“ gegenüber der Kontrollvariante ohne Inokulation mit MO. Auch diese Differenzen waren

TABELLE 51: MITTLERE GESAMT-TROCKENMASSEERTRÄGE (DT HA⁻¹) IN MAISREINKULTUR UND IM MAIS-BOHNEN-GEMENGE FÜR DIE DREI BEHANDLUNGSVARIANTEN AM STANDORT RHEINSTETTEN-FORCHHEIM IM VERSUCHSJAHRE 2019 (GEMITTELT JEWEILS ÜBER DIE DREI WIEDERHOLUNGEN).

Dargestellt sind die Mittelwerte ± Standardfehler.

Variante	Maisreinkultur	Mais-Bohnen-Gemenge
Kontrolle (ohne MO-Produkt)	156 ± 5	154 ± 9
Mit Produkt „Wilhelms Best“	168 ± 9	144 ± 13
Mit Produkt „Aktiv“	157 ± 8	141 ± 3

TABELLE 52: DURCHSCHNITTLICHE NÄHRSTOFFGEHALTE (% TM) DES ERNTEMATERIALS JE VARIANTE. IN DER GRAVIMETRISCHEN QUALITÄTSANALYSE WURDEN PHOSPHOR (P), STICKSTOFF (N), ROHPROTEIN- UND STÄRKEGEHALTE (JEWEILS % TM) BESTIMMT.

Variante	Phosphor (P)	Stickstoff (N)	Rohprotein	Stärke
Kontrolle- Reinkultur	0,47 ± 0,02	1,30 ± 0,06	7,98 ± 0,24	28,37 ± 1,18
Kontrolle- Gemenge	0,46 ± 0,03	1,33 ± 0,03	8,53 ± 0,29	29,80 ± 2,46
„Wilhelms Best“- Reinkultur	0,44 ± 0,03	1,27 ± 0,09	7,87 ± 0,45	30,87 ± 1,77
„Wilhelms Best“- Gemenge	0,46 ± 0,02	1,30 ± 0,06	7,96 ± 0,25	29,53 ± 1,19
„Aktiv“- Reinkultur	0,43 ± 0,02	1,20 ± 0,00	7,70 ± 0,01	27,23 ± 1,17
„Aktiv“- Gemenge	0,50 ± 0,03	1,33 ± 0,03	8,51 ± 0,12	27,37 ± 2,58

statistisch nicht signifikant ($t = 1,285$, $p = 0,223$ bzw. $t = 0,832$, $p = 0,422$) (Tabelle 51). Dieser Minderertrag lässt sich, unabhängig von der Zugabe von Mikroorganismen, u.a. mit dem geringen Anteil an Mais-Biomasse m^{-2} im Mais-Bohnen-Gemenge gegenüber der Maisreinkultur erklären. Interessant ist, dass bei Zugabe des MO-Produktes „Aktiv“ zum Mais-Bohnen-Gemenge der Minderertrag mit -10,3 % gegenüber der Maisreinkultur tendenziell geringer ausfiel als dies der Fall war bei Zugabe von „Wilhelms Best“ (-14,2 %).

2.3.1.2.2 Qualitätsanalysen

Die Qualitätsanalyse des Erntematerials von 2019 ergab keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Phosphor-, Stickstoff-, Rohprotein- oder Stärkegehalte in Abhängigkeit von dem Einsatz von MO-Produkten (P: $t = -1,12$, $p = 0,280$; N: $t = -1,42$, $p = 0,177$; Rohprotein: $t = -0,72$, $p = 0,486$; Stärke: $t = -0,42$, $p = 0,679$), der jeweiligen Variante (P: $t = -0,33$, $p = 0,749$; N: $t = 0,26$, $p = 0,800$; Rohprotein: $t = 1,01$, $p = 0,330$; Stärke: $t = 0,31$, $p = 0,760$) und der Interaktion

von MO-Produkten und jeweiliger Variante (P: $t = 1,52$, $p = 0,150$; N: $t = 1,03$, $p = 0,320$; Rohprotein: $t = 0,49$, $p = 0,320$; Stärke: $t = -0,36$, $p = 0,727$) (Tabelle 52).

2.3.1.2.3 Ermittlung der Besiedelungsrate der Maiswurzeln mit Mykorrhiza-Pilzen

Im Vergleich zum Vorjahr war der Mais im Versuchsjahr 2019 in den Kontrollvarianten der Mais-Reinkultur mit 16,3 % bzw. im Gemenge mit 26,6 % signifikant geringer mit autochthonen, im Boden vorhandenen Mykorrhiza-Pilzen besiedelt wie im Vergleich zu den Varianten mit MO (Abbildung 62, Abbildung 63). Der geringe Besiedlungsgrad in der Kontrolle lässt auf eine geringe symbiontische Leistung der MO an dem Standort schließen. Die Besiedlungsrate bei den beiden mit Mykorrhiza-Pilzen inokulierten Varianten („Wilhelms Best“ 55,3 % und „Aktiv“ 76,6 %) war im Vergleich zur Kontrolle und zum Vorjahr signifikant erhöht. Im Mais-Bohnen-Gemenge wurden die höchsten signifikanten Besiedlungsraten („Wilhelms Best“ 60,6 % und „Aktiv“ 78,5 %) im Vergleich zur Kontrolle (26,6 %)

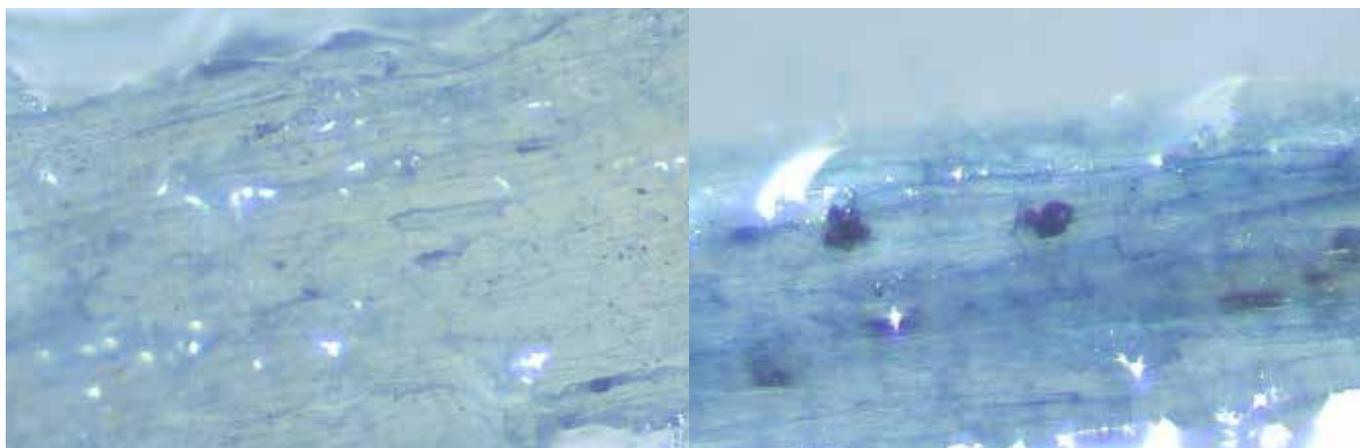


Abbildung 62: Wurzelbilder mit verschieden stark ausgeprägter Mykorrhizierung. Links: Kontrollvariante mit schwach autochthonen Mykorrhizapilz-Strukturen, rechts: Sporenbildung durch inokulierte Mykorrhiza-Pilze.

Fotos: Mareile Zunker/LTZ

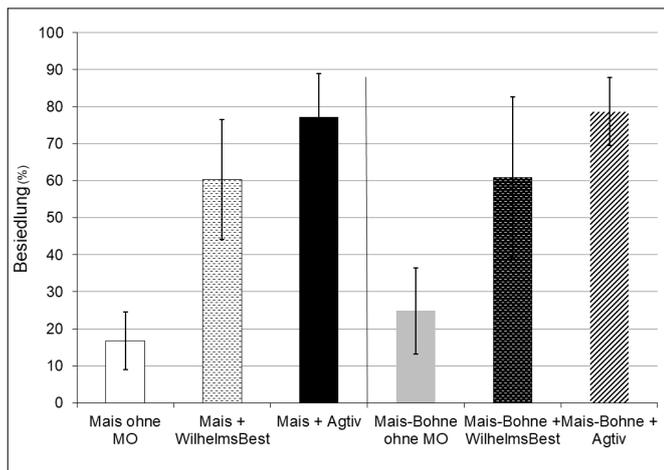


Abbildung 63: Prozentuale Besiedlungsrate von Maiswurzeln einzeln und im Gemenge mit Bohnen durch zwei inokulierte Mykorrhizapilz-Produkte im Vergleich zu im Boden vorhandenen autochthonen Mykorrhiza-Pilzen in der Kontrollvariante am Standort Rheinstetten-Forchheim im Versuchsjahr 2019. Dargestellt sind die Mittelwerte \pm Standardabweichung, $n = 30$.

ermittelt. Das kanadische Produkt „ptAktiv“ zeigte die höchste Besiedlungsrate im Vergleich zum Produkt „Wilhelms Best“.

2.3.1.3 Versuchsjahre 2020 und 2021

2.3.1.3.1 Bodenanalysen

Im Versuchsjahr 2020 waren am Standort Rheinstetten-Forchheim die Nitrat-N-Gehalte in einer Tiefe von 0–30 cm in den einzelnen Varianten im Vergleich zwischen vor der Aussaat und nach der Ernte nicht signifikant verschieden voneinander ($F_{5,24} = 1,3235$, $p = 0,2878$, Tabelle 53, oben). Die Nitrat-N-Gehalte in einer Tiefe von 30–60 cm waren nach der Ernte hingegen signifikant erhöht im Vergleich zu den Proben, die vor der Aussaat gezogen wurden ($F_{1,24} = 4,97$, $p = 0,0354$). Dies war jedoch unabhängig von den Varianten ($F_{5,24} = 1,313$, $p = 0,2919$), trotz der hohen Werte in den Varianten mit dem Produkt „Avengelus“. Die erhöhten Nitrat-N-Gehalte in diesen Varianten gehen auf jeweils einen Extremwert der drei Wiederholungen zurück (Einzelwerte der Wiederholungen in der Reinkultur: 9, 6, 66 kg ha⁻¹ und in dem Mais-Bohnen-Gemenge: 6, 7, 17 kg ha⁻¹). Der P-Gehalt am Standort Rheinstetten-Forchheim war nach der Ernte signifikant niedriger gegenüber den Werten in den Parzellen vor der Aussaat ($F_{1,24} = 21,01$, $p < 0,001$). Einen signifikanten Unterschied zwischen den Varianten gab es dabei nicht ($F_{5,24} = 0,821$, $p = 0,5472$).

Am Standort Wendelsheim waren die Nitrat-N-Gehalte bereits in der ersten gezogenen Bodenschicht von 0–30 cm signifikant niedriger gegenüber den Gehalten, die vor der Aussaat gemessen wurden ($F_{1,24} = 142,56$, $p < 0,0001$, Tabelle 54, oben). Im Durchschnitt war der Gehalt nach der Ernte um 33 ± 7 kg ha⁻¹ niedriger im Vergleich zu vor der Aussaat. Diese Reduzierung war unabhängig von der Variante ($F_{5,24} = 0,52$, $p = 0,7558$). Auch in einer Tiefe von 30–60 cm war der Nitrat-N-Gehalt signifikant reduziert an diesem Standort ($F_{1,24} = 42,95$, $p < 0,0001$), was wiederum unabhängig von der Variante war ($F_{5,24} = 0,56$, $p = 0,7277$). Dasselbe trifft auch auf den P-Gehalt am Standort Wendelsheim zu (Zeitpunkt: $F_{1,24} = 12,77$, $p = 0,001$, Interaktion mit Variante: $F_{5,24} = 1,27$, $p = 0,3096$).

Phosphor ist ein elementares Nährelement und wichtig für das Pflanzenwachstum. Es wird von den Pflanzen überwiegend als im Wasser gelöstes Phosphation (H₂PO₄⁻) aufgenommen. Die am Standort Rheinstetten-Forchheim ermittelten P-Gehalte ergaben die Gehaltsklassen C bis D (10–20 bzw. 21–34 mg 100 g⁻¹ Boden), d.h. die Böden sind ausreichend mit dem Nährstoff versorgt. Der Boden am Standort Wendelsheim hingegen ist mit < 5 mg P 100 g⁻¹ Boden) in die Gehaltsklasse A einzuordnen und somit arm an löslichen Phosphaten.

Die Unterschiede in den Nitrat-N-Gehalten an den beiden Standorten sind v.a. in den Bodentypen und damit unterschiedlichen Bodenverhältnissen begründet. Der Standort Rheinstetten-Forchheim zeichnet sich durch einen leicht- bis mittelschweren Boden mit hohem Sandanteil aus. Dadurch kommt es zu einer vermehrten Auswaschung des wasserlöslichen Nitrat-N aus dem Boden (Tabelle 53). An diesem Standort kam es kaum zu einem N-Entzug aus dem Boden. Vielmehr reicherte sich im Verlauf der Vegetationsperiode der Nitrat-N-Gehalt in der tiefergelegenen Schicht an. Der N-Bedarf des Silomais scheint vorwiegend aus der N-Düngung zu Beginn abgedeckt und nicht aufgenommener Stickstoff anschließend in der tieferen Bodenschicht abgelagert worden zu sein. Dies spricht für eine allgemein gute Nährstoffversorgung des Bodens an diesem Standort. Am Standort Wendelsheim hingegen war ein schwerer Boden zu finden, mit einem entsprechend höheren Nitrat-N-Gehalt aufgrund der ge-

TABELLE 53: MITTELWERTE DER GEHALTE VON STICKSTOFF (NO₃-N, KG HA⁻¹) UND PHOSPHOR (P₂O₅, MG 100 G⁻¹ BODEN) AUS DEN BODENPROBEN, DIE VOR DER AUSSAAT BZW. NACH DER ERNTE AUS DEN VERSCHIEDENEN VARIANTEN GEZOGEN WURDEN (GEMITTELT JEWEILS ÜBER DREI STICHPROBEN) FÜR DEN STANDORT RHEINSTETTEN-FORCHHEIM IN DEN VERSUCHSJAHREN 2020 (OBEN) UND 2021 (UNTEN).

Dargestellt sind die Mittelwerte. Der N-Gehalt wurde jeweils in den Tiefen 0–30 cm und 30–60 cm bestimmt.

		Vor Aussaat			Nach Ernte		
		NO ₃ -N		P ₂ O ₅	NO ₃ -N		P ₂ O ₅
		0–30 cm	30–60 cm		0–30 cm	30–60 cm	
Mais-Reinkultur	ohne MO	3,33	1	20,67	3	4	19,33
	mit Avengelus	4	1	22	6	27	17,67
	mit ptAgtiv	4,33	1	22,67	5	5	17,67
Mais-Bohne-Gemenge	ohne MO	3,67	1	21	2,67	3	19
	mit Avengelus	4,67	2	20,33	5,33	10	17,33
	mit ptAgtiv	7,67	1,67	24,33	3	3,33	18,67

		Vor Aussaat			Nach Ernte		
		NO ₃ -N		P ₂ O ₅	NO ₃ -N		P ₂ O ₅
		0–30 cm	30–60 cm		0–30 cm	30–60 cm	
Mais-Reinkultur	ohne MO	8,33	6,33	14	7,67	7,67	14,67
	mit Avengelus	6,33	5	14,33	9,67	6,33	15
	mit ptAgtiv	7,33	6,67	15,67	5,67	7,33	15,33
Mais-Bohne-Gemenge	ohne MO	6,67	6	17	4,67	6,33	16,67
	mit Avengelus	6,67	6,67	14,33	7,67	9,67	13,33
	mit ptAgtiv	7,33	5,33	19,33	5,67	9,33	17

TABELLE 54: MITTELWERTE DER GEHALTE VON STICKSTOFF (NO₃-N, KG HA⁻¹) UND PHOSPHOR (P₂O₅, MG 100 G⁻¹ BODEN) AUS DEN BODENPROBEN, DIE VOR DER AUSSAAT BZW. NACH DER ERNTE AUS DEN PARZELLEN GEZOGEN WURDEN (GEMITTELT JEWEILS ÜBER DREI STICHPROBEN) FÜR DEN STANDORT WENDELSHEIM IN DEN VERSUCHSJAHREN 2020 (OBEN) UND 2021 (UNTEN).

Dargestellt sind die Mittelwerte. Der N-Gehalt wurde jeweils in den Tiefen 0–30 cm und 30–60 cm bestimmt.

		Vor Aussaat			Nach Ernte		
		NO ₃ -N		P ₂ O ₅	NO ₃ -N		P ₂ O ₅
		0–30 cm	30–60 cm		0–30 cm	30–60 cm	
Mais-Reinkultur	ohne MO	53	9,33	2,67	15,33	3,67	1,44
	mit Avengelus	55,67	14,67	3,33	22,67	3,67	2,77
	mit ptAgtiv	46,33	11	2	22,67	5,33	2,07
Mais-Bohne-Gemenge	ohne MO	49,33	11,67	3,33	16,67	5,33	1,53
	mit Avengelus	47,67	12,33	2,67	13,67	4,33	1,63
	mit ptAgtiv	49,67	12,67	3	13,67	3,67	2,5

		Vor Aussaat			Nach Ernte		
		NO ₃ -N		P ₂ O ₅	NO ₃ -N		P ₂ O ₅
		0–30 cm	30–60 cm		0–30 cm	30–60 cm	
Mais-Reinkultur	ohne MO	75,67	36,67	3,33	17	12,67	3,67
	mit Avengelus	54,33	58	2,33	14,67	6,67	2,8
	mit ptAgtiv	75,67	45	2,33	12,67	5	1,83
Mais-Bohne-Gemenge	ohne MO	71,33	37	2,67	16,67	14,33	3,07
	mit Avengelus	60	31,67	2,33	12	3,33	3,1
	mit ptAgtiv	74	33	2	15,33	11,33	2,03

ringeren Auswaschung. Der N-Entzug über die beiden gemessenen Tiefen 0–30 cm und 30–60 cm betrug in allen Varianten an diesem Standort ca. 2/3 der vor der Aussaat bestimmten Gehalte.

Im Versuchsjahr 2021 waren am Standort Rheinstetten-Forchheim weder die Nitrat-N-Gehalte in den beiden Tiefen noch der P-Gehalt signifikant voneinander verschieden in den Beprobungen vor der Aussaat und nach der Ernte (N 0–30cm: $F_{1,24} = 0,09$, $p = 0,766$; N 30–60cm: $F_{1,24} = 4,1$, $p = 0,054$; P: $F_{1,24} = 0,26$, $p = 0,612$). Auch die Anbauform und die MO-Behandlung hatten keinen Einfluss auf die Gehalte an diesem Standort (Tabelle 53, unten).

Am Standort Wendelsheim waren die Nitrat-N-Gehalte in allen Parzellen in beiden Tiefen signifikant reduziert nach der Ernte (N 0–30 cm: $F_{1,24} = 134,48$, $p < 0,0001$, N 30–60: $F_{1,24} = 45,11$, $p < 0,0001$). Die P-Gehalte unterschieden sich in den Parzellen nicht zwischen vor der Aussaat und nach der Ernte ($F_{1,24} = 0,88$, $p = 0,357$), waren aber unabhängig vom Zeitpunkt der Probennahme in den Parzellen mit der „Agtiv“-Behandlung signifikant niedriger gegenüber den unbehandelten Kontroll-Parzellen ($F_{2,24} = 8,28$, $p = 0,002$) (Tabelle 54, unten). Da letzteres bereits in der Probe vor der Aussaat festzustellen war, ist diese Beobachtung auf das Versuchsdesign und nicht auf die Behandlung selbst zurückzuführen.

2.3.1.3.2 Pflanzenwachstum

In 2020 und 2021 entwickelten sich die aufgelaufenen Maispflanzen an beiden Standorten insgesamt gut über den Versuchszeitraum. In Rheinstetten-Forchheim waren die Pflanzen in 2021 signifikant höher gewachsen und stärker im Durchmesser als in 2020 (Höhe: $F_{1,631} = 9,99$, $p = 0,001$; Durchmesser: $F_{1,631} = 34,05$, $p < 0,0001$). Die Anbauform hatte ebenso wie die Behandlung mit einem MO-Präparat in keinem der Versuchsjahre einen Einfluss auf die Pflanzenhöhe ($F_{1,631} = 0,0$, $p = 0,99$, $F_{2,631} = 0,37$, $p = 0,693$) (Abbildung 64). Der Pflanzendurchmesser hingegen war über beide Jahre schwach signifikant stärker in den Mais-Reinkulturen im Vergleich zum Mais-Bohnen-Gemenge ($F_{1,631} = 4,34$, $p = 0,038$). Ein Einfluss der MO-Präparate auf den Pflanzendurchmesser gab es nicht ($F_{2,631} = 1,89$, $p = 0,152$).

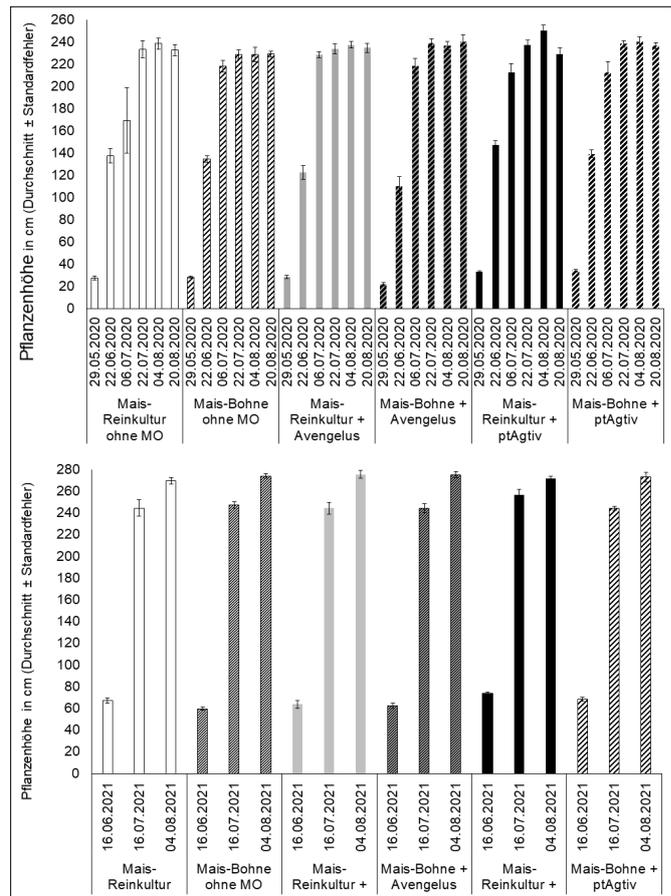


Abbildung 64: Entwicklung der durchschnittlichen Pflanzenhöhe (cm ± Standardfehler) in den sechs Varianten über die sechs bzw. drei Boniturtermine am Standort Rheinstetten-Forchheim in den Versuchsjahren 2020 (oben) und 2021 (unten).

In Wendelsheim waren die Pflanzen in 2021 ebenfalls signifikant höher gewachsen und stärker im Durchmesser als in 2020 (Höhe: $F_{1,636} = 6,62$, $p = 0,010$; Durchmesser: $F_{1,636} = 54,47$, $p < 0,0001$) (Abbildung 65). Aber es gab keine signifikanten Unterschiede in der Pflanzenhöhe und dem Durchmesser der Pflanzen in Abhängigkeit von der Anbauform (Höhe: $F_{1,636} = 0,01$, $p = 0,945$; Durchmesser: $F_{2,636} = 3,27$, $p = 0,071$) oder dem MO-Präparat (Höhe: $F_{2,636} = 0,31$, $p = 0,724$; Durchmesser: $F_{2,636} = 0,78$, $p = 0,458$) in 2020 oder 2021. Dies trifft auch auf einen Vergleich dieser Faktoren zwischen den beiden Versuchsjahren zu.

2.3.1.3.3 Ertrag

Im Versuchsjahr 2020 waren am Standort Rheinstetten-Forchheim die Erträge in den Parzellen mit dem Trichoderma-Produkt „Avengelus“ signifikant niedriger gegenüber den Erträgen in der Kontrollvariante ($p_{adj} = 0,003$) sowie in Parzellen mit dem Produkt „Agtiv“ ($p_{adj} = 0,001$) ($F_{2,12}$



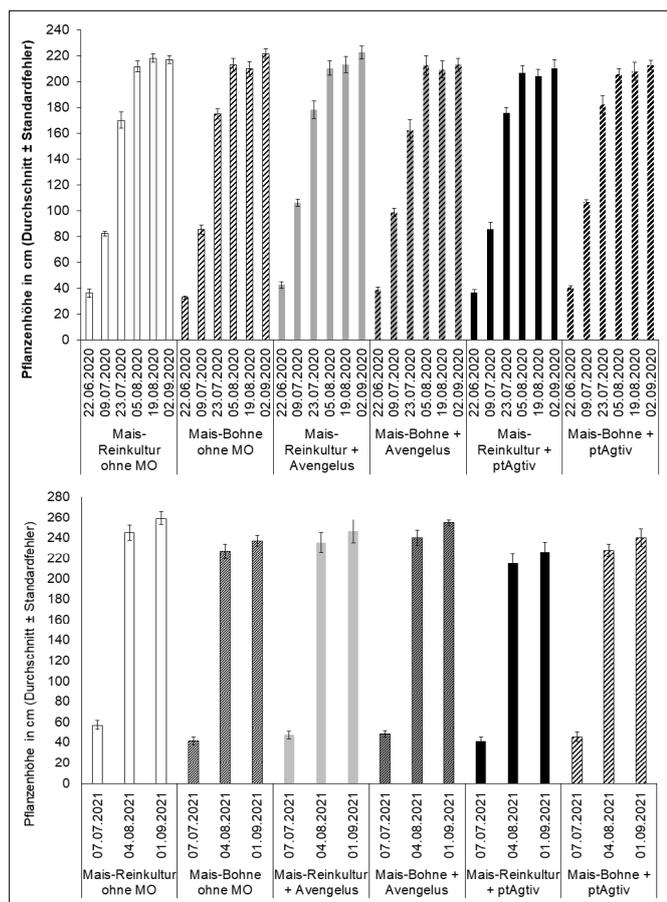


Abbildung 65: Entwicklung der durchschnittlichen Pflanzenhöhe (cm ± Standardfehler) in den sechs Varianten über die sechs bzw. drei Boniturtermine am Standort Wendelsheim in den Versuchsjahren 2020 (oben) und 2021 (unten).

= 12,79, $p = 0,001$, Tabelle 55). Die Anbauvariante (Mais-Reinkultur, Mais-Bohne-Gemenge) hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Erträge ($F_{1,12} = 0,18$, $p = 0,680$) ebenso wenig wie in Interaktion mit der MO-Präparat-Gabe ($F_{2,12} = 0,399$, $p = 0,684$). Am Standort Wendelsheim gab es keine signifikanten Unterschiede in den Erträgen in Abhängigkeit von der Anbauvariante ($F_{1,12} = 0,08$, $p = 0,786$), der Gabe eines MO-Präparates ($F_{1,12} = 0,29$, $p = 0,753$) oder der Interaktion davon ($F_{2,12} = 2,93$, $p = 0,092$). Ein Vergleich der Erträge in den verschiedenen Varianten an beiden Standorten in dem Jahr 2020 lässt jedoch nur bedingt auf die Wirksamkeit der MO-Produkte schließen. Die deutlich niedrigeren Erträge in den Varianten mit dem Trichoderma-Präparat „Avengelus“ am Standort Rheinstetten-Forchheim waren das Resultat des, bereits beschriebenen, lückigen Auflaufens der Saatpflanzen in den Varianten 3 und 4. Am Standort Wendelsheim war eine der Wiederholungen der Variante 4 (Mais-Bohne-Gemenge mit „Avengelus“) am stärksten von einem Wildschwein-Schaden betroffen.

Im Versuchsjahr 2021 waren die Erträge am Standort Rheinstetten-Forchheim allgemein im Mais-Bohne-Gemenge signifikant geringer im Vergleich zur Mais-Reinkultur ($F_{1,12} = 8,59$, $p = 0,012$). Dies war jedoch unabhängig von

TABELLE 55: MITTLERE GESAMT-TROCKENMASSEERTRÄGE (DT HA⁻¹) DER MAIS-REINKULTUR UND DES MAIS-BOHNEN-GEMENGES FÜR DIE INSGESAMT SECHS VARIANTEN (GEMITTELT JEWEILS ÜBER DIE DREI WIEDERHOLUNGEN) AN DEN STANDORTEN RHEINSTETTEN-FORCHHEIM UND WENDELSHEIM IN 2020.

Dargestellt sind die Mittelwerte ± Standardfehler. Unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanzen laut Tukey's HSD ($p \leq 0,05$).

	Rheinstetten-Forchheim		Wendelsheim	
	Mais-Reinkultur	Mais-Bohne-Gemenge	Mais-Reinkultur	Mais-Bohne-Gemenge
ohne MO	135 ± 49 ^a	149 ± 11 ^a	127 ± 12 ^a	106 ± 17 ^a
mit Avengelus	57 ± 7 ^b	42 ± 4 ^b	120 ± 16 ^a	91 ± 12 ^a
mit Agtiv	142 ± 19 ^a	165 ± 10 ^a	94 ± 21 ^a	135 ± 13 ^a

TABELLE 56: MITTLERE GESAMT-TROCKENMASSEERTRÄGE (DT HA⁻¹) DER MAIS-REINKULTUR UND DES MAIS-BOHNEN-GEMENGES FÜR DIE INSGESAMT SECHS VARIANTEN (GEMITTELT JEWEILS ÜBER DIE DREI WIEDERHOLUNGEN) AN DEN STANDORTEN RHEINSTETTEN-FORCHHEIM UND WENDELSHEIM IN 2021.

Dargestellt sind die Mittelwerte ± Standardfehler. Unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanzen laut Tukey's HSD ($p \leq 0,05$).

	Rheinstetten-Forchheim		Wendelsheim	
	Mais-Reinkultur	Mais-Bohne-Gemenge	Mais-Reinkultur	Mais-Bohne-Gemenge
ohne MO	188,87 ± 9,9 ^a	162,26 ± 6,5 ^a	115,44 ± 55,6 ^a	89,22 ± 15,1 ^a
mit Avengelus	184,39 ± 4,5 ^a	172,39 ± 5,1 ^a	86,67 ± 36,4 ^a	101,69 ± 20,8 ^a
mit Agtiv	174,67 ± 11,3 ^a	156,72 ± 7,7 ^a	51,43 ± 13,1 ^a	60,82 ± 11,7 ^a



TABELLE 57: MITTELWERTE DER GEHALTE (% TM) DER PFLANZENINHALTSSTOFFE PHOSPHOR (P), STICKSTOFF (N), STÄRKE (ST) UND ROHPROTEIN (XP) IN DEN VARIANTEN DER MAIS-REINKULTUR UND DES MAIS-BOHNEN-GEMENGES AN DEN STANDORTEN RHEINSTETTEN-FORCHHEIM (OBEN) UND WENDELSHEIM (UNTEN) IM VERSUCHSJAHR 2020.

Dargestellt sind die Mittelwerte \pm Standardfehler. Unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanzen laut Tukey's HSD ($p \leq 0,05$) an. Tukey's HSD ($p \leq 0,05$).

		P		N		Stärke		Rohprotein	
Mais-Reinkultur	ohne MO	0,51 \pm 0,06	a	1,50 \pm 0,30	a	19,28 \pm 5,32	a	9,43 \pm 1,79	a
	mit Avengelus	0,66 \pm 0,02	b	1,58 \pm 0,03	ab	29,53 \pm 3,37	a	9,73 \pm 0,22	ab
	mit Agtiv	0,48 \pm 0,04	a	1,23 \pm 0,03	ac	27,8 \pm 3,26	a	7,73 \pm 0,22	ac
Mais-Bohne-Gemenge	ohne MO	0,50 \pm 0,01	a	1,40 \pm 0,00	a	26,00 \pm 2,02	a	8,83 \pm 0,23	a
	mit Avengelus	0,66 \pm 0,02	b	1,87 \pm 0,12	ab	22,87 \pm 1,69	a	11,67 \pm 0,79	ab
	mit Agtiv	0,50 \pm 0,02	a	1,27 \pm 0,09	ac	28,67 \pm 1,11	a	8 \pm 0,40	ac

		P		N		Stärke		Rohprotein	
Mais-Reinkultur	ohne MO	0,35 \pm 0,04	a	0,93 \pm 0,03	a	35,30 \pm 0,38	a	6,20 \pm 0,20	a
	mit Avengelus	0,39 \pm 0,04	a	1,00 \pm 0,00	a	37,60 \pm 4,21	a	6,17 \pm 0,59	a
	mit Agtiv	0,37 \pm 0,05	a	1,03 \pm 0,03	a	32,77 \pm 2,92	a	6,60 \pm 0,38	a
Mais-Bohne-Gemenge	ohne MO	0,36 \pm 0,06	a	1,13 \pm 0,09	b	34,83 \pm 1,23	a	6,87 \pm 0,59	b
	mit Avengelus	0,39 \pm 0,04	a	1,23 \pm 0,09	b	34,73 \pm 2,33	a	7,80 \pm 0,45	b
	mit Agtiv	0,42 \pm 0,02	a	1,17 \pm 0,07	b	33,73 \pm 0,78	a	7,33 \pm 0,38	b

der MO-Behandlung, die keinen Einfluss auf die Erträge hatte ($F_{2,21} = 1,43$, $p = 0,277$) (Tabelle 56). In Wendelsheim hatten weder die Anbauform noch die MO-Behandlung einen Einfluss auf die Erträge ($F_{1,12} = 0,001$, $p = 0,981$; $F_{2,12} = 1,36$, $p = 0,295$). Eine Erklärung dafür könnte u.a. die zum Zeitpunkt der Ernte starke Verunkrautung sein, die sich aufgrund des erwähnten lückigen Auflaufens ausbildete.

Von einem statistischen Vergleich der beiden Standorte über die Versuchsjahre 2020 und 2021 wurde abgesehen, da dieser aufgrund der genannten Probleme mit Aussaattechnik und Bodenbearbeitung nicht repräsentativ wäre.

2.3.1.3.4 Qualitätsanalysen

Im Versuchsjahr 2020 waren am Standort Rheinstetten-Forchheim die Phosphorgehalte (P) des Ernteguts in den Varianten mit dem Trichoderma-Präparat signifikant höher im Vergleich zu den Varianten ohne MO bzw. mit „Agtiv“ ($F_{2,12} = 17,49$, $p < 0,001$) (Tabelle 57). Dies war unabhängig von der Anbauform (Reinkultur oder Gemengeanbau) ($F_{2,12} = 0,13$, $p = 0,8766$). Die Stickstoffgehalte (N) ebenso wie die Rohproteingehalte (XP) waren nur signifikant höher bei Zugabe des Trichoderma-Präparats im Vergleich zum

Produkt „Agtiv“, aber nicht im Vergleich zur Kontrolle (N: $F_{2,12} = 5,75$, $p = 0,0178$; XP: $F_{2,12} = 5,82$, $p = 0,0171$). Auch hier hatte die Anbauform jeweils keinen Einfluss (N: $F_{2,12} = 1,09$, $p = 0,3681$; XP: $F_{2,12} = 1,20$, $p = 0,3355$). Die Stärkegehalte (ST) unterschieden sich nicht signifikant zwischen den Varianten ($F_{2,12} = 1,65$, $p = 0,2335$) bzw. zwischen den Varianten unter Berücksichtigung der Anbauform ($F_{2,12} = 2,31$, $p = 0,1414$).

Am Standort Wendelsheim wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Varianten in Bezug auf die Phosphorgehalte ($F_{2,12} = 0,552$, $p = 0,590$) sowie die Stärkegehalte ($F_{2,12} = 0,766$, $p = 0,486$) (Tabelle 57) gemessen. Die Anbauform unter Berücksichtigung der Behandlungen hatte jeweils keinen Einfluss (P: $F_{2,12} = 0,163$, $p = 0,851$; ST: $0,331$, $p = 0,725$). Die Behandlung des Saatguts, ob mit oder ohne MO-Produkten, hatte keinen Einfluss auf die Stickstoffgehalte sowie die Rohproteingehalte (N: $F_{2,12} = 1,05$, $p = 0,380$; XP: $F_{2,12} = 0,86$, $p = 0,447$). Allerdings unterschieden sich die N- bzw. XP-Gehalte jeweils signifikant zwischen den beiden Anbauformen (N: $F_{1,12} = 14,45$, $p = 0,003$; XP: $F_{1,12} = 10,15$, $p = 0,008$). Das heißt, unabhängig von der Behandlung mit MO-Produkten hatten Pflanzen im Mais-Bohnen-Gemenge einen grundsätzlich höheren

TABELLE 58: MITTELWERTE DER GEHALTE (% TM) DER PFLANZENINHALTSSTOFFE PHOSPHOR (P), STICKSTOFF (N), STÄRKE (ST) UND ROHPROTEIN (XP) IN DEN VARIANTEN DER MAIS-REINKULTUR UND DES MAIS-BOHNEN-GEMENGES AN DEN STANDORTEN RHEINSTETTEN-FORCHHEIM (OBEN) UND WENDELSHEIM (UNTEN) IM VERSUCHSJAHR 2021.

Dargestellt sind die Mittelwerte \pm Standardfehler. Unterschiedliche Buchstaben zeigen Signifikanzen laut Tukey's HSD ($p \leq 0,05$) an.

		P	N	Stärke	Rohprotein
Mais-Reinkultur	ohne MO	0,40 \pm 0,03	1,07 \pm 0,03	31,13 \pm 4,17	-
	mit Avengelus	0,40 \pm 0,03	1,13 \pm 0,03	31,93 \pm 1,68	-
	mit Agtiv	0,48 \pm 0,01	1,20 \pm 0,06	38,00 \pm 2,65	-
Mais-Bohne-Gemenge	ohne MO	0,48 \pm 0,02	1,30 \pm 0,58	36,10 \pm 1,56	-
	mit Avengelus	0,46 \pm 0,03	1,23 \pm 0,03	35,77 \pm 2,53	-
	mit Agtiv	0,44 \pm 0	1,23 \pm 0,03	27,00 \pm 3,65	-

		P	N	Stärke	Rohprotein
Mais-Reinkultur	ohne MO	0,34 \pm 0,04	1,13 \pm 0,28	28,39 \pm 10,05	6,93 \pm 1,89
	mit Avengelus	0,30 \pm 0,04	1,10 \pm 0,17	31,90 \pm 2,79	6,67 \pm 1,04
	mit Agtiv	0,38 \pm 0,01	1,17 \pm 0,07	35,03 \pm 3,27	7,13 \pm 0,43
Mais-Bohne-Gemenge	ohne MO	0,30 \pm 0,04	1,33 \pm 0,28	31,00 \pm 4,62	8,03 \pm 1,70
	mit Avengelus	0,31 \pm 0,01	1,10 \pm 0	40,17 \pm 1,55	6,67 \pm 0,03
	mit Agtiv	0,35 \pm 0,02	1,57 \pm 0,22	31,87 \pm 3,59	9,80 \pm 1,46

Stickstoff- bzw. Rohproteingehalt im Vergleich zu den Pflanzen in Mais-Reinkultur am Standort Wendelsheim.

In 2021 hatte am Standort Rheinstetten-Forchheim weder die Anbauform noch die Art der MO-Behandlung einen Einfluss auf den Phosphorgehalt der Pflanzen ($F_{1,12} = 3,11$, $p = 0,103$; $F_{2,212} = 0,799$, $p = 0,472$) (Tabelle 58). Die Stickstoff-Gehalte der Pflanzen waren signifikant erhöht im Gemenge im Vergleich zur Reinkultur ($F_{1,12} = 12,1$, $p = 0,005$). Sie unterschieden sich aber nicht signifikant voneinander in Abhängigkeit von der MO-Behandlung ($F_{2,12} = 0,4$, $p = 0,679$). Pflanzen im Mais-Bohnen-Gemenge, die mit „Agtiv“ behandelt worden waren, hatten signifikant geringere Stärkegehalte im Vergleich zu den unbehandelten Gemenge-Pflanzen ($F_{2,12} = 4,82$, $p = 0,029$). In Reinkultur war ebenfalls ein Unterschied zur Kontrolle feststellbar, der allerdings nicht signifikant war.

Am Standort Wendelsheim gab es für keine der gemessenen Pflanzeninhaltsstoffe signifikante Unterschiede zwischen den MO-Behandlungen an sich (P: $F_{2,12} = 1,69$, $p = 0,225$; N: $F_{2,12} = 0,99$, $p = 0,398$; ST: $F_{2,12} = 0,78$, $p = 0,479$; XP: $F_{2,12} = 0,99$, $p = 0,401$) oder in Abhängigkeit von der Anbauform (P: $F_{2,12} = 0,45$, $p = 0,649$; N: $F_{2,12} = 0,42$, $p = 0,668$; ST: $F_{2,12} = 0,63$, $p = 0,55$; XP: $F_{2,12} = 0,55$, $p = 0,593$).

2.3.1.3.5 Ermittlung der Besiedelungsrate der Maiswurzeln mit Mykorrhiza-Pilzen

Im Versuchsjahr 2020 war am Standort Rheinstetten-Forchheim die Besiedlung der Maiswurzeln mit Mykorrhiza-Pilzen in den Varianten mit dem Produkt „Agtiv“ im Vergleich zur jeweiligen Kontrollvariante signifikant erhöht ($F_{1,356} = 109,323$, $p < 0,001$, Abbildung 66). Die Anbauvariante (Mais-Reinkultur bzw. Mais-Bohne-Gemenge) hatte dabei keinen Einfluss ($F_{1,356} = 3,06$, $p = 0,081$). Am Standort Wendelsheim war ebenfalls eine signifikant höhere Besiedelungsrate der mit dem Produkt „Agtiv“ behandelte Maiswurzeln zu beobachten ($F_{1,356} = 76,17$, $p < 0,001$). Der Besiedlungsgrad in den Varianten mit „Agtiv“ war hier zudem signifikant höher im Mais-Bohnen-Gemenge im Vergleich zur Mais-Reinkultur ($F_{1,356} = 6,883$, $p = 0,009$). Die geringen Besiedlungsgrade in den Kontrollvarianten an beiden Standorten lässt auf eine geringe symbiontische Leistung der autochthonen, im Boden vorhandenen MO schließen. Diese geringe symbiotische Leistung konnte durch die Behandlung des Saatguts mit dem Produkt „Agtiv“ an beiden Standorten erhöht werden.

Im Versuchsjahr 2021 gab es am Standort Rheinstetten-Forchheim keine Unterschiede in den Besiedlungsgra-

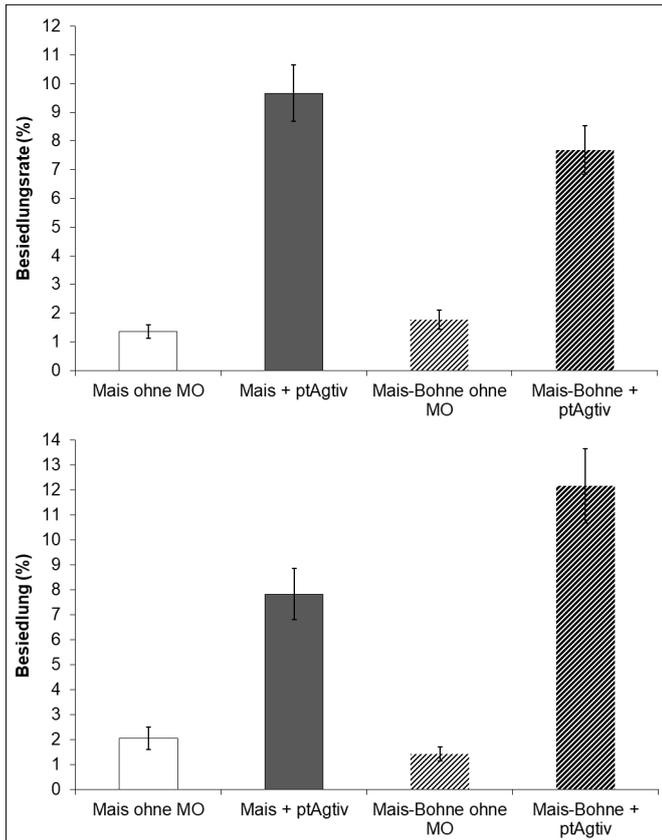


Abbildung 66: Prozentuale Besiedelungsrate (%) von Maiswurzeln einzeln und im Gemenge mit Bohnen durch das MO-Präparat „Agtiv“ im Vergleich zu im Boden vorhandenen, autochthonen Mykorrhiza-Pilzen in der Kontrollvariante (ohne MO) an den Standorten Rheinstetten-Forchheim (oben) und Wendelsheim (unten) in 2020. Dargestellt sind die Mittelwerte \pm Standardfehler, $n = 90$.

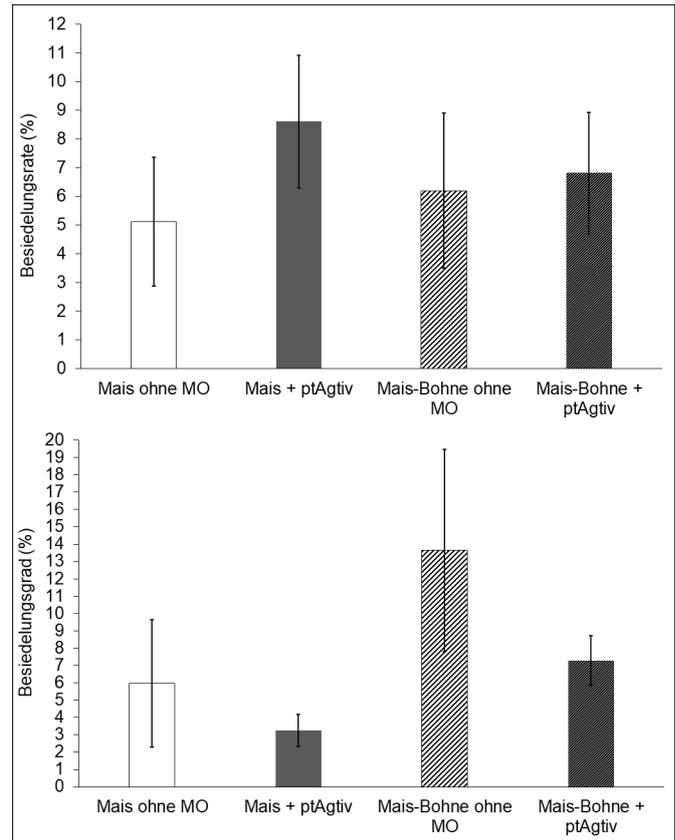


Abbildung 67: Prozentuale Besiedelungsrate (%) von Maiswurzeln einzeln und im Gemenge mit Bohnen durch das MO-Präparat „Agtiv“ im Vergleich zu im Boden vorhandenen, autochthonen Mykorrhiza-Pilzen in der Kontrollvariante (ohne MO) an den Standorten Rheinstetten-Forchheim (oben) und Wendelsheim (unten) in 2021. Dargestellt sind die Mittelwerte \pm Standardfehler, $n = 30$.

den in Abhängigkeit von der Anbauform ($F_{1,8} = 0,02$, $p = 0,885$) oder der MO-Behandlung ($F_{1,8} = 0,76$, $p = 0,409$) (Abbildung 68, Abbildung 66). Am Standort Wendelsheim gab es ebenfalls keine signifikanten Unterschiede in den Besiedelungsgraden ($F_{1,8} = 2,71$, $p = 0,138$; $F_{1,8} = 0,26$, $p = 0,624$) (Abbildung 67). Auffällig ist, dass die Besiedelung mit autochthonen Mykorrhiza-Pilzen in den unbehandelten Parzellen in beiden Anbauformen höher war als in den mit „Agtiv“ behandelten Parzellen.

2.3.2 GEWÄCHSHAUSVERSUCHE

2.3.2.1 Versuchsjahr 2020 und 2021

2.3.2.1.1 Pflanzencontainer-Versuche

Im Container-Versuch von 2020 war die Besiedelung der Maiswurzeln mit Mykorrhiza-Pilzen (Produkt „Agtiv“) signifikant höher im Vergleich zur Kontrollvariante ($F_{1,116}$

$= 164,4$, $p < 0,001$, Abbildung 68 oben). Darüber hinaus hatten Maiswurzeln in der mit „Agtiv“ inokulierten Variante im Mais-Bohnen-Gemenge einen signifikant höheren Besiedelungsgrad als in der Mais-Reinkultur ($F_{1, 116} = 147$, $p < 0,001$).

In dem Vergleich der Kontrollvarianten mit den Trichoderma-Varianten gab es eine signifikante Interaktion zwischen der Anbauvariante und der Inokulationsvariante (mit oder ohne Produkt) ($F_{1,116} = 8,15$, $p = 0,005$) (Abbildung 68, unten). Maiswurzeln der Mais-Reinkultur ohne MO waren insgesamt stärker mit Mykorrhiza-Pilzen besiedelt verglichen mit den anderen drei Varianten. In den beiden Varianten mit dem Produkt „Avengulus“ waren mehr Pilzstrukturen in den Maiswurzeln des Mais-Bohnen-Gemenges zu finden als in den Wurzeln der Mais-Reinkultur.

Das Pflanzenmaterial war in den Varianten des Pflanzencontainer-Versuchs innerhalb der Anbauvarianten (Mais-

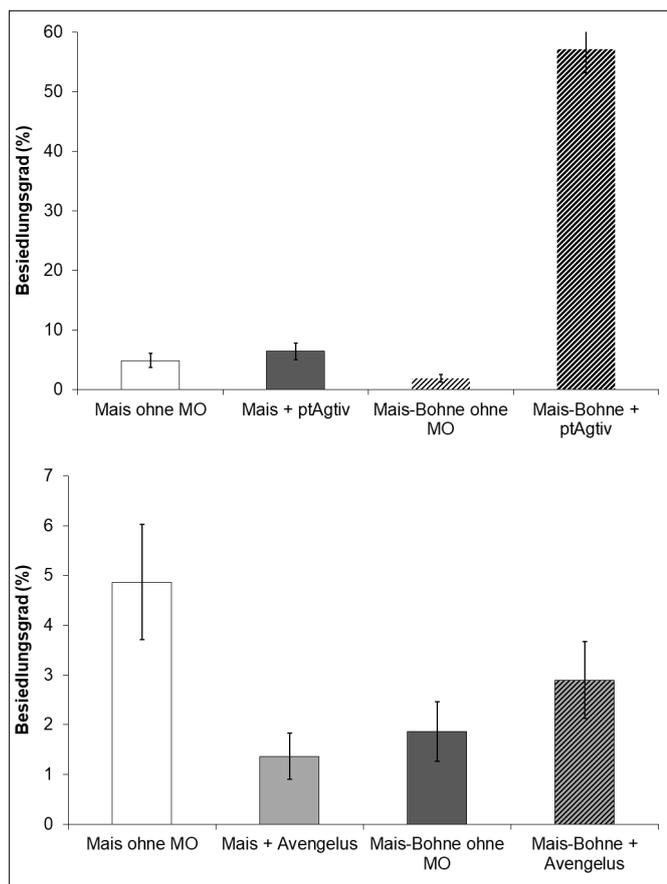


Abbildung 68: Prozentuale Besiedelungsrate von Maiswurzeln einzeln und im Gemenge mit Bohnen durch das MO-Präparat „Aktiv“ (oben) und „Avengelus“ (unten) im Vergleich zu im Boden vorhandenen, autochthonen Mykorrhiza-Pilzen in der Kontrollvariante (ohne MO) an dem Pflanzcontainer-Versuch im Forschungsgewächshaus des Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) in 2020. Die Kontrollvarianten (ohne MO) in den Abbildungen a) und b) sind die gleichen, man beachte die unterschiedlichen Skalierungen der beiden y-Achsen. Dargestellt sind die Mittelwerte ± Standardfehler, n = 30..

Reinkultur oder Mais-Bohnen-Gemenge) vergleichbar (Tabelle 59). Maispflanzen im Gemenge wiesen jedoch allgemein eine 35 und 60 % kleinere Pflanzenlänge im Vergleich zu Pflanzen der Mais-Reinkultur auf. Die Pflan-

zen der Kontrolle hatten hierbei den geringsten Höhenzuwachs innerhalb der drei Gemenge-Varianten. Diese Wachstumsdepression lässt sich vermutlich vorwiegend auf den Bohnenanteil zurückführen. Die Maispflanzen konkurrierten nicht nur mit den Bohnenpflanzen um den begrenzten Raum im Kübel, sondern wurden zudem von den Ranken der Bohnenpflanzen eng umschlungen, so dass gewisse Zugkräfte auf die Pflanzen gewirkt haben müssen, die das Höhenwachstum beeinflusst haben könnten.

Maispflanzen im Gemenge hatten einen mehr als doppelt so hohen Besiedelungsgrad gegenüber den unbehandelten Maispflanzen.

Eine sehr geringe Besiedelung war auch bei den beiden *Trichoderma*-Produkten zu beobachten (Abbildung 69). In dem Vergleich der Kontrollvarianten mit den *Trichoderma*-Varianten waren Letztere insgesamt stärker besiedelt, wobei die Granulat-Formulierung in der Besiedelungsintensität über der Flüssig-Formulierung lag. In den beiden Varianten mit den *Trichoderma*-Produkten waren abermals mehr Pilzstrukturen in Maiswurzeln des Mais-Bohnen-Gemenges zu finden als in den Wurzeln der Mais-Reinkultur.

Das Pflanzenmaterial war hinsichtlich TM-Gehalt und Pflanzenlänge in den Varianten des Pflanzcontainer-Versuchs innerhalb der Anbauvarianten (Mais-Reinkultur oder Mais-Bohnen-Gemenge) vergleichbar miteinander, wie dies bereits in dem Container-Versuch von 2020 zu beobachten war (Tabelle 59, Tabelle 60). Auch waren die Pflanzen im Gemenge erneut kleiner im Wuchs im Vergleich zu den Pflanzen in Reinkultur.

TABELLE 59: TROCKENMASSEGEHALT (%) SOWIE LÄNGE DES OBERIRDISCHEN PFLANZENMATERIALS (IN CM) AUS DEM KÜBEL-VERSUCH IM GEWÄCHSHAUS MIT DEN ZWEI MO-PRÄPARATEN UND JEWEILS EINER KONTROLLE.

Der Versuch wurde mit Mais-Reinkultur sowie Mais-Bohne-Gemenge am 13.05.2020 angesetzt. Angegeben sind jeweils Mittelwerte ± Standardfehler mit Ausnahme der TM (%) des Mais-Bohne-Gemenges, da die Trennung der Einzelpflanzen voneinander aufgrund der engen Verwachsung mit den Bohnenpflanzen nicht möglich war.

		Mais-Reinkultur		Mais-Bohne-Gemenge	
		TM (%)	Länge oberirdisch (cm)	TM (%) *	Länge oberirdisch (cm)
Kübel-Versuch	ohne MO	6,38 ± 0,05	163 ± 6,05	8,89	102 ± 3,43
	mit Avengelus	6,71 ± 0,09	149 ± 13,23	8,52	110 ± 5,61
	mit Agtiv	6,56 ± 0,11	148 ± 10,41	8,66	110 ± 8,15

* TS (%) der Gemenge-Varianten jeweils als Gesamtprobe pro Kübel analysiert



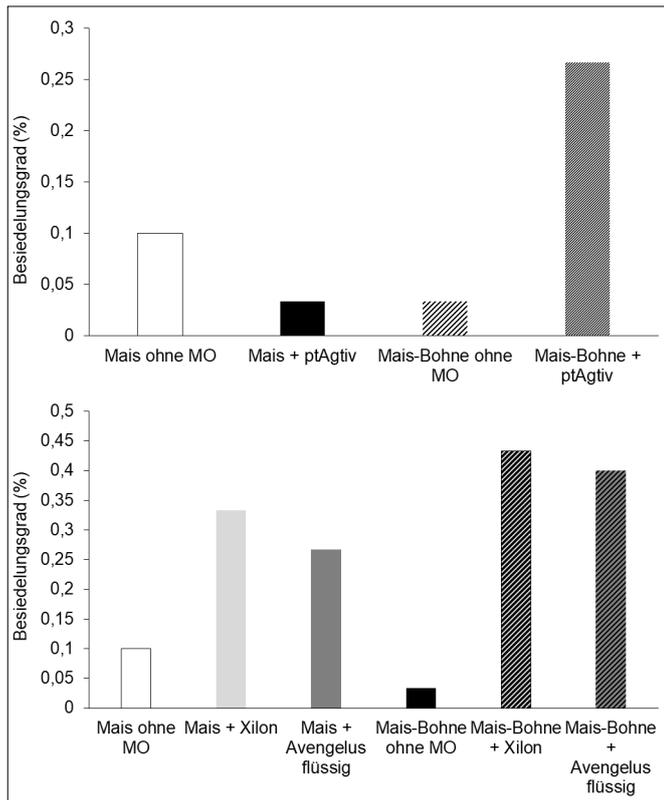


Abbildung 69: Prozentuale Besiedelungsrate von Maiswurzeln einzeln und im Gemenge mit Bohnen durch das MO-Präparat „Agtiv“ (oben) und zwei Trichoderma-Produkte „Xilon“ und „Avengelus“ (Flüssigformulierung) (unten) im Vergleich zu im Boden vorhandenen, autochthonen Mykorrhiza-Pilzen in der unbehandelten Kontrollvariante (ohne MO) an dem Pflanzcontainer-Versuch im Forschungsgewächshaus des Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ) im Jahr 2021. Die Kontrollvarianten (ohne MO) in den beiden Abbildungen sind die gleichen.

2.3.2.1.2 Rhizotron-Versuch

Die visuellen Bonituren der Entwicklung des Wurzelsystems von zehn mit dem MO-Präparat „Agtiv“ inokulierten

Maispflanzen im Vergleich zur Kontrolle in zwei getrennten Rhizotronen in 2020 ergab am Tag 10 nach Keimung eine schnellere erste Wurzelentwicklung bis 20 cm Wurzeltiefe. Am Tag 15 waren die ersten Seitenwurzeln bis 50 cm Wurzeltiefe ausgebildet. Diese Unterschiede waren ab Tag 19 mit der Ausbildung der ersten Hauptwurzel in 75 cm Wurzeltiefe und ab Tag 23 erste Hauptwurzeln in 1,25 m Wurzeltiefe nicht mehr visuell sichtbar. Ab Tag 28 war das Substratvolumen des gesamten Rhizotrons in 1,50 m Wurzeltiefe vollständig von allen Maispflanzen durchwurzelt.

In 2019 wurde bei der Bonitur der Maiswurzeln der Anteil mykorrhizierter Wurzeln erfasst (d.h. mykorrhiziert ja-nein), wobei 80 % der Wurzeln mykorrhiziert waren, die mit dem MO-Präparat „Agtiv“ behandelt wurden. Im Vergleich dazu waren nur 50 % der Wurzeln in der Kontrolle besiedelt. Bei der Mykorrhizierung der Wurzeln in der Kontrolle ist davon auszugehen, dass es sich hierbei um bereits in der verwendeten Einheitserde enthaltene Mykorrhiza-Pilze handelte.

Bei dem in 2020 angelegten Rhizotronversuch wurde der Besiedlungsgrad der Maiswurzeln mit Mykorrhiza-Pilzen ermittelt. Es zeigte sich, dass Maiswurzeln von Saatgut, das mit dem MO-Präparat „Agtiv“ behandelt wurde, einen signifikant höheren Besiedlungsgrad im Vergleich zur Kontrolle hatten ($F_{1,58} = 33,9, p < 0,001$). Insgesamt lag der durchschnittliche Besiedlungsgrad in Verbindung mit dem Produkt „Agtiv“ bei $17,1 \pm 2,13 \%$ und in der Kontrolle bei $3,6 \pm 0,92 \%$ (Abbildung 70).

TABELLE 60: TROCKENMASSEGEHALT (%) SOWIE LÄNGE DES OBERIRDISCHEN PFLANZEN-MATERIALS (IN CM) AUS DEM CONTAINER-VERSUCH IM GEWÄCHSHAUS MIT DREI MO-PRÄPARATEN, „AGTIV“, „XILON“ UND „AVENGELUS“ (FLÜSSIGFORMULIERUNG) UND JEWEILS EINER UNBEHANDELTEN KONTROLLE.

Der Versuch wurde mit Mais-Reinkultur sowie Mais-Bohne-Gemenge am 12.05.2021 angesetzt. Angegeben sind jeweils Mittelwerte \pm Standardfehler mit Ausnahme der TS (%) des Mais-Bohne-Gemenges, da die Trennung der Einzelpflanzen voneinander aufgrund der engen Verwachsung mit den Bohnenpflanzen nicht möglich war.

	Mais-Reinkultur		Mais-Bohne-Gemenge	
	TM (%)	Länge oberirdisch (cm)	TM (%) *	Länge oberirdisch (cm)
ohne MO	9,08 \pm 0,9	167,6 \pm 6,2	10,544868	126,3 \pm 6,9
mit Xilon	9,06 \pm 0,2	173,1 \pm 6,4	10,621848	136,6 \pm 8,7
mit Avengelus flüssig	10,03 \pm 0,3	136,3 \pm 5,4	10,642574	125,3 \pm 4,7
mit ptAgtiv	9,05 \pm 0,3	175,2 \pm 6,6	10,087535	113,1 \pm 5,5

* TM-Gehalt (%) der Gemenge-Varianten jeweils als Gesamtprobe pro Container analysiert

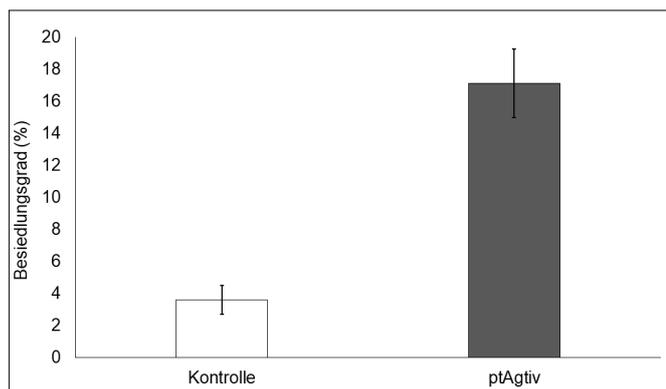


Abbildung 70: Prozentuale Besiedlungsgrade von Maiswurzeln in Reinkultur durch da MO-Präparat „Agtiv“ im Vergleich zu der Kontrollvariante (ohne MO) im Rhizotronversuch in dem Jahr 2020. Angesetzt wurde der Versuch im Gewächshaus am Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ), Karlsruhe im Mai 2020.

Mit Hinblick auf die Trockenmassegehalt konnte kein Unterschied zwischen Pflanzen, die mit „Agtiv“ behandelt wurden und den Pflanzen der dazugehörigen Kontrolle festgestellt werden. Kontrollpflanzen zeigten jedoch einen um 11 % geringeren Höhenzuwachs gegenüber der MO-Variante (Tabelle 61).

TABELLE 61: TROCKENMASSEGEHALT (%) SOWIE LÄNGE DES OBERIRDISCHEN PFLANZENMATERIALS (IN CM) AUS DEM RHIZOTRONVERSUCH IM GEWÄCHSHAUS IN 2020.

Der Versuch wurde – im Vergleich mit Mais-Reinkultur als Kontrollvariante – mit dem MO-Präparat „Agtiv“ im Mai 2020 angesetzt. Angegeben sind Mittelwerte \pm Standardfehler.

	TM (%)	Länge oberirdisch (cm)
ohne MO	7,48 \pm 0,20	117 \pm 2,81
mit Agtiv	7,41 \pm 0,15	132 \pm 2,38

In 2021 wurde ein Rhizotron-Versuch mit zwei Trichoderma-Präparaten, „Avengelus“ (Granulat und Flüssigformulierung) und „Xilon“, sowie einer unbehandelten Kontrolle durchgeführt (Abbildung 71). Die Besiedelung der Wurzeln in den behandelten Varianten war insgesamt sehr gering, jedoch konnte ein fast doppelt so hoher Besiedelungsgrad bei Wurzeln mit der Flüssigformulierung des MO-Präparats „Avengelus“ im Vergleich zur Granulat-Variante festgestellt werden. Bei den Trockenmassen sowie Sproßlängen bei der Ernte konnten keine Unterschiede festgestellt werden (Tabelle 62). Der Besiedelungsgrad der Wurzeln durch das MO-Präparat „Xilon“ war um mehr als 50 % geringer im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Trockenmassen

TABELLE 62: TROCKENMASSEGEHALT (%) SOWIE LÄNGE DES OBERIRDISCHEN PFLANZENMATERIALS (IN CM) UND DES UNTERIRDISCHEN WURZELMATERIALS AUS DEM RHIZOTRONVERSUCH IM GEWÄCHSHAUS.

Der Versuch wurde – im Vergleich mit Mais-Reinkultur als Kontrollvariante – mit zwei Formulierungen des MO-Präparates „Avengelus“ im Juni 2021 angesetzt. Angegeben sind Mittelwerte \pm Standardfehler.

	TM (%)	Länge oberirdisch (cm)
ohne MO	9,58 \pm 0,3	183,45 \pm 2,6
mit Avengelus	10,15 \pm 0,1	178,9 \pm 3,4
mit Avengelus flüssig	9,91 \pm 0,5	184,13 \pm 4,6

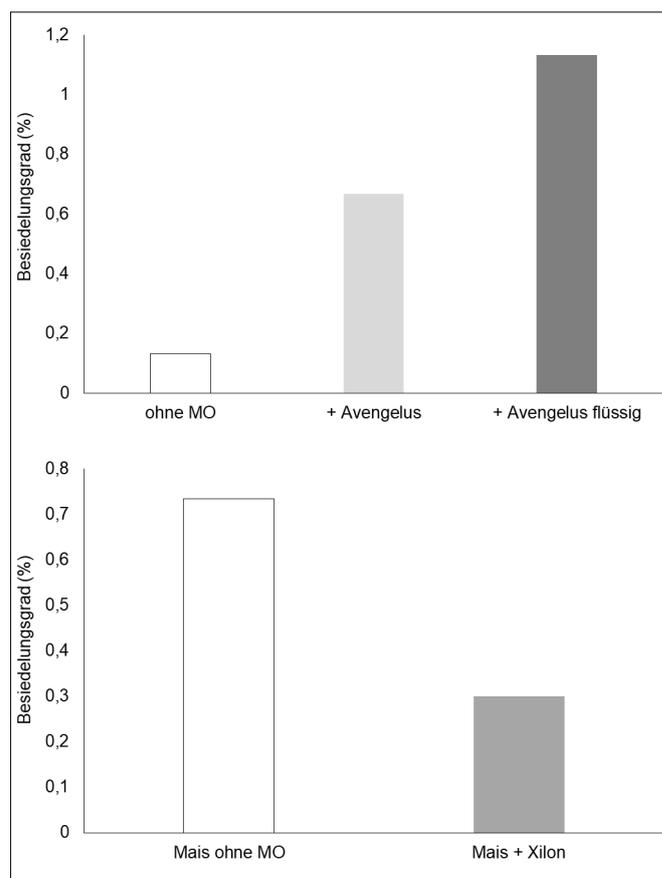


Abbildung 71: Prozentuale Besiedlungsgrade (in %) von Maiswurzeln in Reinkultur durch zwei Formulierungen des MO-Präparates „Avengelus“ im Vergleich zu der Kontrollvariante (ohne MO) (oben) und durch das MO-Präparat „Xilon“ im Vergleich zur Kontrollvariante (ohne MO) (unten) im Rhizotron-Versuch in 2021. Angesetzt wurde der Versuch im Gewächshaus am Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe im Juni 2021.

liegen hierfür nicht vor. Die unbehandelten Maispflanzen waren mit einer durchschnittlichen Erntehöhe von 157,7 \pm 7,9 cm kleiner im Vergleich zu den mit „Xilon“ behandelten Pflanzen (176 \pm 4,1 cm) (Abbildung 72).

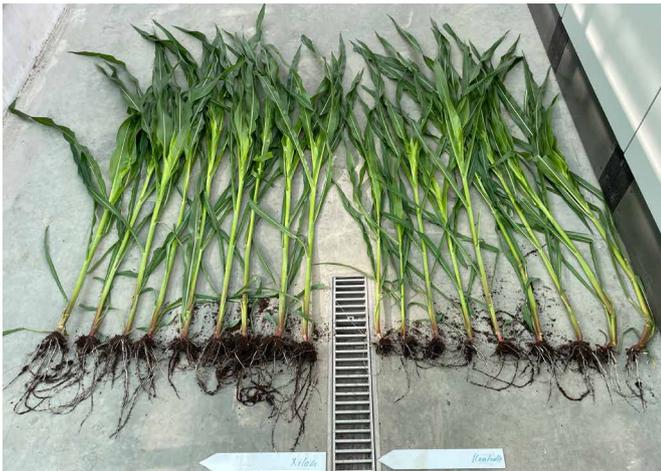


Abbildung 72: Wurzelwachstum der mit „Xilon“ (*Trichoderma asperellum*-Stamm T34) behandelten Maisvariante (links) im Vergleich zur Kontrolle (rechts), 30 Tage nach Aussaat aus dem Rhizotron-Versuch im Juli 2021 im Forschungsgewächshaus des Landwirtschaftlichen Technologiezentrums Augustenberg.

Foto: Mareile Zunker/LTZ

2.4 Diskussion

Eine hohe biologische Aktivität durch beispielsweise eine vielfältige Interaktion von Bodenmikroorganismen ist zur Aufrechterhaltung der Bodenfunktionen wichtig (Marschner & Dell, 1994). Aus Tonmineralen, Sandkörnern und Humuskolloiden können besonders Mikroorganismen, wie z. B. Pilze, poröse und gleichzeitig stabile Aggregate und Mittelporen im Boden bilden. Ist der Boden mikrobiologisch verarmt, können seine Wasseraufnahme- und Speicherfähigkeit daher zurückgehen (Beisecker et al., 2020, Beste, 2022). Es wurden an beiden Versuchsstandorten, Rheinstetten-Forchheim und Wendelsheim, vorab keine Untersuchungen zum Artenscreening vorhandener Mikroorganismenpopulationen, zur Bodenstruktur sowie zum Bodengefüge durchgeführt. Die im Jahr 2020 am Standort Rheinstetten-Forchheim ermittelten P-Gehalte ergaben eine ausreichende P-Versorgung. Im Versuchsjahr 2020 waren am Standort Rheinstetten-Forchheim die Phosphorgehalte des Ernteguts in den Varianten mit dem *Trichoderma*-Präparat signifikant höher im Vergleich zu den Varianten ohne MO bzw. mit „Aktiv“.

Die praxisüblichen Düngergaben in Rheinstetten-Forchheim und Wendelsheim können die Leistungsfähigkeit der Mykorrhiza und Bakterien in Bezug auf die Phosphormobilisierung und Stickstoffauswaschung beeinträchtigt haben. Nach Beste (2022) und Lehmann et al. (2003)

werden ab- und umbaubare C-Substanzen in unterschiedlichen pflanzenverfügbaren Formen für das Bodenleben gebraucht. Statt einer mineralischen Düngung sollten in weiterführenden Untersuchungen qualitativ hochwertige, humusaufbauende, organische Düngemittel geprüft werden.

2.4.1 BESIEDELUNG MIT MYKORRHIZA-PILZ

Durch den Nachweis der Besiedlungsrate mit Mykorrhizapilzen an Maiswurzeln konnte grundsätzlich in den vier Untersuchungsjahren sowohl in den Rhizotron- und Pflanzcontainer-Versuchen unter Gewächshausbedingungen als auch an zwei Freiland-Standorten ein sehr intensiver Kontakt mit der Pflanzenwurzel hergestellt werden. Das spricht für den Aufbau einer intakten Symbiose in der Rhizosphäre, eine erhöhte Stoffwechselintensität, die Nutzung von Wurzelasscheidungen als Nahrungsquelle sowie für eine Strukturstabilität durch eine mechanische Verbauung der Bodenteilchen. Allerdings schwankten die Ergebnisse innerhalb der Versuchsjahre und Varianten stark. Zum Teil konnte die Besiedlung zur Ernte nicht mehr in hoher Dichte nachgewiesen werden. Die Besiedlung korrelierte nicht mit den Erträgen, Inhaltsstoffen oder Nährstoffgehalten im Boden. Mögliche Ursachen dafür könnten in der Leistungsfähigkeit des isolierten Mykorrhiza-Stammes *Rhizophagus irregularis*, deren enthaltenen Vermehrungseinheiten (d. h. Sporenanzahl von 6.400 Einheiten g⁻¹) oder am Mischungsverhältnis mit den verschiedenen koloniebildenden Bakterieneinheiten in KbE gelegen haben. Das würde die deutlichen Unterschiede der beiden *Trichoderma*-Produkte „Avengelus®“ mit dem Nützlingspilz *Trichoderma atrovirideum* und „Xilon®“ *Trichoderma asperellum*, T34, im Gewächshausversuch erklären. Entscheidender dabei ist jedoch die Konkurrenzfähigkeit der Produkte mit dem Mikrobiom an den Freiland-Standorten Rheinstetten-Forchheim und Wendelsheim.

Im Vergleich zu 2018 war der Mais 2019 in den Kontrollvarianten der Mais-Reinkultur mit 16,3 % bzw. im Gemenge mit 26,6 % signifikant geringer mit autochthonen, im Boden vorhandenen Mykorrhiza-Pilzen besiedelt im Vergleich zu den beiden inokulierten Produkten. 2020 waren an den Standorten Rheinstetten-Forchheim und Wendelsheim die Besiedlung der Maiswurzeln mit Mykorrhiza-Pilzen in den Varianten mit dem Produkt „Aktiv“ signifikant höher

im Vergleich zur jeweiligen Kontrollvariante. Der Besiedlungsgrad in den Varianten mit „Aktiv“ war in dem Mais-Bohnen-Gemenge zudem signifikant höher im Vergleich zur Mais-Reinkultur. Die geringen Besiedlungsgrade in den Kontrollvarianten an beiden Standorten lässt auf eine geringe symbiotische Leistung der autochthonen, im Boden vorhandenen MO schließen. Diese geringe symbiotische Leistung konnte durch die Behandlung des Saatguts mit dem Produkt „Aktiv“ an beiden Standorten erhöht werden.

Im Container-Versuch von 2020 war die Besiedlung der Maiswurzeln mit „Aktiv“-behandelten Mykorrhiza-Pilzen signifikant höher im Vergleich zur Kontrollvariante. Darüber hinaus hatten Maiswurzeln in der mit „Aktiv“ inokulierten Variante im Mais-Bohnen-Gemenge einen signifikant höheren Besiedlungsgrad als in der Mais-Reinkultur.

2.4.2 EINSATZ WACHSTUMSSTIMULIERENDER BAKTERIEN

Über die im Produkt „Aktiv“ enthaltenen Bodenbakterien, *Bacillus amyloliquefaciens* und *B. subtilis* sowie *B. pumilus*, als Gemeine Heubazillen bezeichnet, sind grundsätzlich eine sehr kurze Wirkungsdauer, oft nur über wenige Tage, bekannt. Eine Applikation zur Aussaat war vermutlich für eine langanhaltende bakterielle Wirkung aufgrund der biologischen Abbauprozesse nicht ausreichend. Bei einigen MO-Präparaten mit Bakterien, wie z. B. „Micosat“, wird eine wiederholte regelmäßige Anwendung über den gesamten Vegetationszeitraum empfohlen (Volpato et al., 2019; Giovannetti, 2022). Und für Präparate wie z. B. „Serifel“, „Serenade“, „Taegro“ und „Amylo-X WG“, welche die o.g. Bakterien enthalten und im Salatanbau im geschützten Anbau gegen *Botrytis* zugelassen sind, wird eine Kombination und eine Abfolge mit anderen Fungiziden empfohlen (NüPA GmbH Beratungsorganisation Nützlingseinsatz, Pflanzengesundheit, Anbausysteme, n.d.).

2.4.3 FREILANDVERSUCHE IN RHEINSTETTEN-FORCHHEIM 2018–2021 UND WENDELSHEIM 2020–2021

Die Wirkung der MO im Maisanbau wurde hier erstmals im Freiland geprüft. Es lagen bisher zu ackerbaulichen

Kulturen keine Erfahrungen mit diesen Präparaten vor. Versuchsergebnisse liegen mit anderen, sog. erikoiden, MO-Präparaten im Heidelbeeranbau vor. Dort wurde durch erikoide Mykorrhiza die Jungpflanzenentwicklung und die Triebanzahl signifikant im Vergleich zur unbehandelten Variante erhöht (Zunker et al., 2017).

Die im Projekt „Biofactor“ (www.biofactor.info) untersuchten Biostimulanzien umfassten pilzliche und bakterielle Isolate, für die positive Nachweise zur Förderung des Wurzelwachstums und nährstoffmobilisierende Eigenschaften dokumentiert waren. In 30 % der 1.100 Versuchsvarianten waren positive Effekte von durchschnittlich 10 % nachweisbar. Bei Ackerbaukulturen zeigten besonders nicht-mikrobielle Produkte Schutzwirkungen unter Stress. Sie waren unter besseren Wachstumsbedingungen aber meist wirkungslos (Neumann, 2022).

Ein direkter Vergleich zwischen den beiden Versuchsjahren 2018/19 im Mais war nur bedingt möglich, da der Versuchsplan für 2019 basierend auf den Ergebnissen und Erfahrungen des ersten Versuchsjahres 2018 angepasst wurde. So wurde nur 2018 die Maissorte „Gelber Badischer Landmais“ in Reinkultur jeweils mit und ohne MO angebaut. Es zeigte sich, dass diese Sorte allgemein ertragsärmer und zudem eine geringere Standfestigkeit im Vergleich zur Silomaisorte „Figaro“ aufwies. Mit Hinblick auf den Anbau in einem Mais-Bohnen-Gemenge ist diese Sorte somit weniger geeignet, da damit zu rechnen ist, dass die Maispflanzen der Zuglast der Bohnenpflanzen nicht standhalten können.

Die vorgenommene Beimpfung des Saatgutes in den vier Versuchsjahren mit den MO erwies sich als ein geeignetes Inokulationsverfahren. Eine Mykorrhizierung der Wurzeln wurde in allen vier Versuchsjahren nachgewiesen und war höher in den behandelten Varianten im Vergleich zur Kontrolle. Daraus kann geschlossen werden, dass es sich nicht nur um eine Besiedelung der Wurzeln durch autochthone (im Boden bereits vorhandene) Pilze gehandelt hat. Trotzdem konnte die Wirksamkeit der verwendeten Mykorrhizapilz-Produkte unter den geprüften Standort- und Wachstumsbedingungen in keinem der beiden Versuchsjahre im Mais-Bohnen-Gemenge nachgewiesen werden. Im Versuchsjahr 2018 wurde eine geringe Wurzelbesiedlung mit den inokulierten MO

bonitiert, die zu keinen Ertragserhöhungen im Vergleich zum Kontrollbestand führten. Und auch die überdurchschnittlich starken Besiedlungsraten im Versuchsjahr 2019 im Vergleich zu 2018 förderten nicht das Pflanzenwachstum, den Ertrag oder den in der Pflanze enthaltenen Anteil an Phosphor und stickstoffhaltigen Verbindungen. Ursachen hierfür könnten die hohe Konkurrenz mit den bereits im Boden vorhandenen autochthonen Mykorrhizapilzen sein und die ausreichende Nährstoffversorgung am Standort Rheinstetten-Forchheim, der keinen Mangel an Makro- und Mikronährstoffen aufwies. Die extremen Witterungsbedingungen (hohe Temperaturen und Trockenheit, zu wenig Niederschläge) in beiden Versuchsjahren könnten sich ebenfalls negativ auf die MO ausgewirkt haben.

Die Bedeutung der Mykorrhiza ist besonders deutlich auf nährstoffarmen Standorten, während die Leistung der Mykorrhiza bei intensiver Nährstoffzufuhr über die Düngung, in erster Linie von Phosphat, zurückgedrängt wird (Ebert, 2019). Über Ertragssteigerungen von 4 bis 30 % und Resistenzen gegen Pilzkrankheiten durch ein mykorrhizahaltiges Biodüngemittel im Mais berichten Masoero et al. (2018). Die Vertriebsfirma Bröring stellte nach eigenen Aussagen in Parzellenversuchen 2019/20 im Mais eine durchschnittliche Erhöhung des TM-Ertrages um 3 t ha⁻¹ und des Stärkegehaltes um 3,25 % durch den Einsatz von „Aktiv“[®] Mykorrhiza sowie die Einsparung von Unterfußdünger fest.

In Silomaisreinkultur ergab sich 2019 bei den Varianten mit MO jeweils durchschnittliche Mehrerträge von 7,7 % beim Produkt „Wilhelms Best“ bzw. 0,7 % beim Produkt „Aktiv“ gegenüber der Kontrollvariante ohne MO-Zugabe, die jedoch statistisch nicht signifikant waren. Die Qualitätsanalyse des Erntematerials von 2019 bis 2021 ergab keine signifikanten Unterschiede innerhalb der Phosphor-, Stickstoff-, Rohprotein- oder Stärkegehalte in Abhängigkeit von dem Einsatz von MO-Produkten.

2.4.4 EIGNUNG DER AUSSAATTECHNIK FÜR DAS IMPFVERFAHREN MIT MO

Die Wahl der Aussaattechnik für das Impfverfahren mit MO hat einen großen Anteil an einer erfolgreichen Aus-

bringung von MO im Feld. Der 2018/19 in Rheinstetten-Forchheim eingesetzte Bandkopf der Parzellensämaschine Hege 80 erwies sich als geeignete Aussaattechnik für das Impfverfahren mit MO. Die 2020 eingesetzte Einzelkornsaatmaschine mit vier Einzelsaattanks über die das Saatgut in den Versuchspartellen abgelegt wurde, war ebenfalls ein geeignetes Verfahren für Saatgut, das mit Mykorrhizapilz-Produkten inokuliert war. Die verwendeten MO-Produkte wurden vor der Aussaat mit dem Mais bzw. dem Mais-Bohnen-Gemenge vermischt und zur Aussaat in die Saattanks der Monosem Saatmaschine gefüllt. Das Produkt „Aktiv“, ein 2-Komponentenpulver, wurde hierbei im Vergleich zum Trichoderma-Präparat problemlos abgelegt. Das Produkt „Avengelus“ hingegen war ein grobkörniges Granulat, das sich für die Applikation von behandeltem Saatgut in Verbindung mit der Einzelkornsaat nicht eignete. Die Trichoderma-Granulatkörner wurden anstelle des Saatguts an der Lochscheibe angesaugt, was eine Ablage des Mais-/Mais-Bohnen-Saatguts verhindert hat. Alternativ kann es aber auch zu einer Entmischung von Saatgut und Trichoderma-Präparat in den Säkästen gekommen sein. Dadurch kam es zur vorwiegenden Ablage der Trichoderma-Granulatkörner. In 2021 wurde daher das Granulat über einen auf der Einzelkornsämaschine aufgebauten Granulatstreuer parzellengenau als Unterfußband ausgebracht. Am Standort Wendelsheim kam 2020/21 eine Bandkopf Saatmaschine mit pneumatischem Verteilsystem zum Einsatz, bei der das Trichoderma-Granulat getrennt über ein Düngefach neben dem Saatgut in den entsprechenden Partellen im Boden neben dem Maiskorn abgelegt wurde. Hier kam es zu einem gleichmäßigen Auflaufen aller Varianten, da das Granulat nicht über die Säscheibe abgelegt wurde und zu einem Verdrängen des Saatguts in derselben führte.

2.4.5 RHIZOTRON-VERSUCH 2020

Die visuellen Bonituren der Entwicklung des Wurzelsystems von „Aktiv“-inokulierten Maispflanzen im Vergleich zur Kontrolle in zwei getrennten Rhizotronen ergab am Tag 10 nach Keimung eine schnellere erste Wurzelentwicklung bis 20 cm Wurzeltiefe. Am Tag 15 waren die ersten Seitenwurzeln bis 50 cm Wurzeltiefe zuerst ausgebildet. Diese Unterschiede waren ab Tag 19 mit der Ausbildung

der ersten Hauptwurzel in 75 cm Wurzeltiefe und Tag 23 erste Hauptwurzeln in 1,25 m Wurzeltiefe nicht mehr visuell sichtbar. Ab Tag 28 war das Substratvolumen des gesamten Rhizotrons in 1,50 m Wurzeltiefe vollständig von allen Maispflanzen durchwurzelt. Es zeigte sich, dass Maiswurzeln von Saatgut, das mit dem MO-Präparat „ptAktiv“ behandelt wurde, einen signifikant höheren Besiedlungsgrad im Vergleich zur Kontrolle hatten. Kontrollpflanzen zeigten einen um 11 % geringeren Höhenzuwachs gegenüber der MO-Variante.

3 Zusammenfassung

3.1 Pflanzenbau

Der Gemengeanbau kann einen wertvollen und kostengünstigen Beitrag zur ökologischen Aufwertung von Silomaisbeständen leisten. Eine wohldurchdachte Anlage sichert vergleichbare TM-Erträge und Qualitäten im Vergleich zu reinem Silomaisanbau. Zu beachten sind die folgenden Aspekte:

- Auswahl des Feldes: keine Felder die zu Starkverunkrautung neigen, keine Felder die zu Wassermangel neigen,
- Blühaspekt; die Gemengepartner müssen für die heimischen Insekten von Interesse sein,
- Kosten; das zusätzliche Gemengepartner-Saatgut sollte in einem akzeptablen Kostenrahmen liegen,
- Aussaattechnik
 - eine Überfahrt (Saatgutmischung mit ähnlicher Saatgutmorphologie und TKM der Gemengepartner wie Mais, damit es zu keiner Entmischung kommt oder zusätzlicher Streuer auf Einzelkornsämaschine)
 - zweite Überfahrt (auch kleinere, feinsämige Gemengepartner können nach der Maisaussaat in den Maisbestand gestreut werden; Zu beachten ist die Verträglichkeit des Gemengepartners gegenüber Maisherbiziden oder einer mechanischen Unkrautregulierung),
- Saatstärke: zu hohe Saatstärken rufen erhöhte Kosten hervor und können zu Konkurrenz um Wasser und Nährstoffe. Zudem können zu hohe Saastärken zu Problemen mit der gängigen Aussaattechnik sowie dem Abstand der Pflanzen in der Reihe führen,

- Saattermin:
 - Trachtlücke Frühjahr: überjährige Blümmischungen und Mais kombinieren
 - Trachtlücke Spätjahr: gemeinsame Saat mit Mais
- N-Düngung: am Mais orientiert, da dieser den Hauptanteil der Biomasse bildet, aber die N-Düngung kann bei 50–5 % des DüV-Bedarfs für Silomais liegen.

Aus diesen Gründen können die folgenden Gemengeoptionen empfohlen werden:

- Mais-Ackerbohne: 8:4 Körner m⁻²
- Mais-Erbse: 8:4 Körner m⁻²
- Mais-Kapuzinerkresse (nur konventionell): 8:4 oder 10:1 Körner m⁻²
- Mais-Sonnenblume: 8:2,5 Körner m⁻²
- Mais-Stangenbohne: 8:4 Körner m⁻²
- Überjährige, artenreiche Blühstreifen im Maisschlag (max. 10 % der Fläche)

Durch die Integration dieser Alternativen kann mit betriebsüblichen Mitteln und geringem Aufwand ein Blühangebot geschaffen werden, das den heimischen Insekten Nahrung und Habitatstrukturen anbietet.

3.2 Pflanzenwachstumsfördernde Mikroorganismen

Die Wirkung von selektierten bodenbürtigen Mykorrhizapilzen mit wachstumsfördernden Bakterien auf das Wachstum, den Ertrag und die Pflanzengesundheit im Maisanbau und im Mais-Bohnen-Gemenge im Freiland wurde im Zeitraum 2018 bis 2021 als Beitrag zur Ertragssicherung erstmals untersucht. Mehrere MO-Handelsprodukte (Mischung aus endotrophen Mykorrhiza-Pilzen mit pflanzenwachstumsfördernden Bodenbakterien und zwei *Trichoderma*-Produkte) wurden in Hinblick auf eine Praxiseignung und Förderung des Wachstums, des Ertrages und der Pflanzengesundheit geprüft. Alle Produkte waren für den Mais-Anbau grundsätzlich geeignet. Das *Trichoderma*-Granulat „Avengelus“, wurde für die Baumsanierung entwickelt und bei Mais erstmals eingesetzt. Die Granulatstruktur dieses Präparates führte 2020 zu nicht gleichmäßigen Saatgutablagen am Standort Rheinstetten-Forchheim, da das Produkt auf Basis von Pilzgerste zu grobkörnig für die Aussaattechnik formuliert

war und zu lückigen Beständen in den Parzellen führte. Die Applikation von behandeltem Saatgut in Verbindung mit der Einzelkornsaat war für alle Produkte, ausgenommen für das Granulat „Avengelus“, geeignet. Im Jahr 2021 erfolgte die Applikation dieses Produktes erfolgreich als Unterfußablage während der regulären Maissaat. Die Wahl der Aussaattechnik war für eine erfolgreiche Ausbringung von MO im Feld entscheidend. Die Beimpfung des Saatgutes mit den MO-Präparaten erwies sich als geeignetes Applikationsverfahren.

Durch den Nachweis der Besiedlungsrate mit Mykorrhiza-Pilzen an Maiswurzeln konnte grundsätzlich in den vier Jahren sowohl in den Rhizotron- und Pflanzcontainer-Versuchen unter Gewächshausbedingungen als auch an zwei Freiland-Standorten (Rheinstetten-Forchheim, Wendelsheim) eine intakte Symbiose in der Rhizosphäre und eine erhöhte Stoffwechselintensität festgestellt werden. Die Ergebnisse schwankten innerhalb der Versuchsjahre und Varianten stark. Die Besiedlung korrelierte nicht mit den Erträgen, Inhaltsstoffen oder Nährstoffgehalten im Boden. Mögliche Ursachen dafür könnten an der vorhandenen autochthonen Besiedlung des Bodens, in der geringen Leistungsfähigkeit des Mykorrhiza-Stammes *Rhizophagus irregularis*, an der Anzahl von Vermehrungseinheiten (Einheiten g^{-1}) oder am Mischungsverhältnis mit den verschiedenen koloniebildenden Bakterieneinheiten (KbE) gelegen haben. Es traten deutliche Unterschiede der beiden *Trichoderma*-Produkte „Avengelus“ mit dem Nützlingspilz *Trichoderma atrobrunneum* und „Xilon®“ *Trichoderma asperellum*, T34 im Gewächshaus auf. Das könnte insgesamt zu einer geringen Konkurrenzfähigkeit der Produkte mit dem Mikrobiom an den Freiland-Standorten Rheinstetten-Forchheim und Wendelsheim geführt haben. Eine einmalige Applikation der verschiedenen Bakterien zur Aussaat war vermutlich für eine langanhaltende bakterielle Wirkung aufgrund der biologischen Abbauprozesse nicht ausreichend. Bei weiterführenden Untersuchungen sollten Bakterien wiederholt und regelmäßig über den gesamten Vegetationszeitraum eingesetzt werden.

Die extremen Witterungsbedingungen 2018/19 (hohe Temperaturen und Trockenheit, zu wenig Niederschläge) führten zu geringen Erträgen mit geringen Besiedlungsdichten von

Mykorrhiza. Der Nährstoffanalyse am Standort Rheinstetten-Forchheim ergab eine ausreichende P-Versorgung und keinen Mangel an Makro- und Mikronährstoffen. Die praxisüblichen Düngergaben in Rheinstetten-Forchheim und Wendelsheim können zusätzlich die Leistungsfähigkeit der Mykorrhiza-Pilze und Bakterien in Bezug auf die Phosphormobilisierung und Stickstoffauswaschung beeinträchtigt haben. Statt einer mineralischen Düngung sollten in weiterführenden Untersuchungen organische Düngemittel geprüft werden.

Zusätzlich wurde die Entwicklung des Wurzelsystems von Mais mit Zusatz verschiedener MO-Präparate im *Rhizotron* unter kontrollierten Bedingungen im Gewächshaus untersucht. Die visuellen Bonituren der Entwicklung des Wurzelsystems von „Aktiv“ inokulierten Maispflanzen im Vergleich zur Kontrolle in zwei getrennten *Rhizotronen* ergab am Tag 10 nach Keimung eine schnellere erste Wurzelentwicklung bis 20 cm Wurzeltiefe. Das setzte sich bis zu den ersten Hauptwurzeln in 1,25 m Wurzeltiefe fort. „Aktiv“-behandelte Maiswurzeln wiesen einen signifikant höheren Besiedlungsgrad im Vergleich zur Kontrolle auf. Kontrollpflanzen zeigten einen um 11 % geringeren Höhenzuwachs gegenüber der MO-Variante. Die selbst gebauten *Rhizotrone* erwiesen sich als geeignete Wurzelkästen für detaillierte Wurzeluntersuchungen im geschützten Anbau.

Die Konsortien, d.h. die geeigneten Gemeinschaften von unterschiedlichen MO und ihren Eigenschaften, die auch nach der Ausbringung im Boden erhalten bleiben, ist eine weiterführende Aufgabe der Forschung. Die während der Aussaat eingebrachten Organismen im Mikrobiom des Bodens auf zwei Standorten in vier Jahren (2018–2021) waren nicht konkurrenzfähig genug, um sich dort erfolgreich durchsetzen zu können und um signifikante positive Wirkungen auf das Wachstum, den Ertrag und die Pflanzengesundheit zu erzielen. Weiterführende Untersuchungen sollten vorab ein Artenscreening auf vorhandene Mikroorganismenpopulationen des Mikrobioms im Boden beinhalten, um Produkte gezielter auswählen zu können.

4 Literatur

- Ali, H., Owayss, A. A., Khan, K. A., & Alqarni, A. S. (2015). Insect visitors and abundance of four species of Apis on Sunflower *Helianthus annuus* L. in Pakistan. *Acta Zool. Bulgarica*, 67, 235–240.
- Beste, A. (2022, January 27). *Bodenstrukturförderung und Humusaufbau im Klimawandel – Boden selbst bewerten* [Vortrag]. Seminar Ökologischer Gemüsebau.
- Beyer, N., Kirsch, F., Gabriel, D., & Westphal, C. (2021). Identity of mass-flowering crops moderates functional trait composition of pollinator communities. *Landscape Ecology*, 36(9), 2657–2671.
- Bodner, G. (2013). Hydrologische Effekte des Zwischenfruchtanbaus im Trockengebiet. *Innovation – Das Magazin Für Die Landwirtschaft*, 2, 18–20.
- Comba, L., Corbet, S. A., Hunt, L., & Warren, B. (1999). Flowers, nectar and insect visits: Evaluating British plant species for pollinator-friendly gardens. *Annals of Botany*, 83(4), 369–383.
- Dawo, M. I., Wilkinson, J. M., Sanders, F. E., & Pilbeam, D. J. (2007). The yield and quality of fresh and ensiled plant material from intercropped maize (*Zea mays*) and beans (*Phaseolus vulgaris*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(7), 1391–1399.
- Ebert, G. (2019). *Biostimulanzen: Natürliche Wirkstoffe für gesundes Pflanzenwachstum*. Ulmer Verlag.
- ECOCERT. (n.d.). *INPUTS.BIO - Suitable products for Organic Farming*. Retrieved 5 March 2020, from <http://ap.ecocert.com/intrants/fournisseur.php?id=1737>
- Feldmann, F., & Idczak, E. (1992). 18 Inoculum Production of Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi for Use in Tropical Nurseries. In J. R. Norris, D. J. Read, & A. K. Varma (Eds.), *Methods in Microbiology* (Vol. 24, pp. 339–357). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0580-9517\(08\)70101-6](https://doi.org/10.1016/S0580-9517(08)70101-6)
- Feuerstein, U. (2015). Wurzelforschung—Eine neue Aufgabe für die Pflanzenzüchtung. Die Wurzel, die bekannte Unbekannte. *Sonderheft Ökologischer Landbau Ohne Pflug II*, 80–84.
- FiBL. (2020). *Betriebsmittelliste für den ökologischen Landbau in Deutschland*. <https://www.betriebsmittelliste.de/de/bml-startseite.html>
- Fischer, J., Böhm, H., & He , J. (2020). Maize-bean intercropping yields in Northern Germany are comparable to those of pure silage maize. *European Journal of Agronomy*, 112, 125947. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2019.125947>
- Flaig, H. (2013). *Anpassungsstrategie Baden-Württemberg an die Folgen des Klimawandels – Fachgutachten für das Handlungsfeld Landwirtschaft*. 210.
- Freier, B. (2008). *Mais als grüne Brücke* [Deutsches Maiskomitee e.V. (DMK)]. https://www.maiskomitee.de/web/upload/pdf/service/Mais_als_Gruene_Bruecke_Sprechertext.pdf
- Gentsch, N. (2019). Fruchtfolge profitiert von Zwischenfrüchten. *Innovation - Das Magazin Für Die Landwirtschaft*, 2, 6–7.
- Gerlach, D. (1969). *Botanische Mikrotechnik*. Georg Thieme Verlag.
- Gholami-Yangije, A., Pirmohammadi, R., & Khalilvandi-Behroozyar, H. (2019). The potential of sunflower (*Helianthus annuus*) residues silage as a forage source in Mohabadi dairy goats. *Veterinary Research Forum*, 10(1), 59–65. <https://doi.org/10.30466/vrf.2019.34318>
- Giovannetti, G. (2022). [Personal communication].
- Giovannetti, M., & Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 489–500.
- Glemnitz, M., von Redwitz, C., Berger, G., & Hoffmann, J. (2018). Mais mit Mikro-Blühstreifen ökologisch aufwerten. *Mais*, 2, 84–88.
- Gqaza, B. M., Njume, C., Goduka, N. I., & George, G. (2013). Nutritional assessment of *Chenopodium album* L.(Imbikicane) young shoots and mature plant-leaves consumed in the Eastern Cape Province of South Africa. *International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering*, 53(19), 97–102.

- Harman, G. E. (2006). Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopathology*, 96(2), 190–194.
- Harman, G. E., Howell, C. R., Viterbo, A., Chet, I., & Lorito, M. (2004). *Trichoderma* species—Opportunistic, avirulent plant symbionts. *Nature Reviews Microbiology*, 2(1), 43–56.
- Kingha, B. M. T., Fohouo, N. T., Ngakou, A., & Bruuml, D. (2012). Foraging and pollination activities of *Xylocopa olivacea* (Hymenoptera, Apidae) on *Phaseolus vulgaris* (Fabaceae) flowers at Dang (Ngaoundere-Cameroon). *Journal of Agricultural Extension and Rural Development*, 4(10), 330–339.
- Klepper, B., & Kaspar, T. C. (1994). Rhizotrons: Their development and use in agricultural research. *Agronomy Journal*, 86(5), 745–753.
- Lehmann, J., Pereira da Silva, J., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., & Glaser, B. (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil*, 249(2), 343–357.
- Leiser, W. L. (2021). Ein erfolgreiches Duo. *BWagrar*, 23–26.
- Liu, Y., Wu, L., Baddeley, J. A., & Watson, C. A. (2011). Models of biological nitrogen fixation of legumes. *Sustainable Agriculture Volume 2*, 883–905.
- Marschner, H., & Dell, B. (1994). Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil*, 159(1), 89–102.
- Masoero, G., Rotolo, L., Gasco, L., Zoccarato, I., Schiavone, A., De Marco, M., Meineri, G., Borreani, G., Tabacco, E., Della Casa, G., Faeti, P. M., Chiarabaglio, C., Lanzanova, S., Locatelli, S., & Aleandri, R. (2018). Symbiotic corn can improve yield, reduce mycotoxins, and preserve nutritive value. In *Agricultural Research Updates*. Nova Science Publishers, Inc.
- McGregor, S. E. (1976). *Insect pollination of cultivated crop plants* (Vol. 496). Agricultural Research Service, US Department of Agriculture Washington, DC.
- Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz. (2019, October). *Bienenweidekatalog—Verbesserung der Bienenweide und des Artenreichtums*. <https://mlr.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/m-mlr/intern/dateien/publikationen/Bienenweide-Katalog.pdf>
- Mokry, M. (2021). Düngungsversuche zu Mais – N- und P-Wirkung von Wirtschaftsdünger sowie mineralischem Dünger im Systemvergleich. *Informationen für die Pflanzenproduktion*, 96.
- Neumann, G. (2022). Biostimulanzien: Projekt Bioeffector—Was ist dran? *Wochenblatt Magazin*, 02.
- North Dakota State University. (2021a, May 13). *Sunflower Silage*. NDSU Agriculture and Extension. <https://www.ag.ndsu.edu:8000/agriculture/ag-hub/ag-topics/crop-production/crops/sunflowers/sunflower-silage>
- North Dakota State University. (2021b, September 8). *Harvesting Sunflowers for Silage*. NDSU Agriculture and Extension. <https://www.ag.ndsu.edu:8000/agriculture/ag-hub/ag-topics/crop-production/crop-pest-report/plant-science/harvesting-sunflowers-silage-09/08>
- NüPA GmbH Beratungsorganisation Nützlingseinsatz, Pflanzengesundheit, Anbausysteme. (n.d.). *Info Gemüse* (No. 01; p. 3).
- Ogle, D., St John, L., & Tilley, D. (2008). Plant guide for yellow sweetclover (*Melilotus officinalis* (L.) Lam.) and white sweetclover (*M. alba* Medik.). *USDA-Natural Resources Conservation Service, Idaho Plant-Materials Center, Aberdeen, United Kingdom*.
- Pekrun, C., & Hubert, S. (2016). Anbautipps für Mais-Stangenbohnen-Gemenge. *Biogas Journal*, 16–18.
- Pekrun, C., Hubert, S., & Schmidt, W. (2013). Unkrautkontrolle in Mais-Stangenbohnen-Gemengen. *Mitteilungen Der Gesellschaft Für Pflanzenbauwissenschaften*, 25, 245–246. <https://www.gpw.uni-kiel.de/de/jahrestagung/tagungsbaende/tagungsband-2013>
- Pekrun, C., Hubert, S., Zimmermann, C., Rössler, A., & Schmidt, W. (2013). Ertragsbildung von Mais-Stangenbohnen-Gemengen in Abhängigkeit von der Standraumverteilung und Saattechnik. *Mitteilungen Der Gesellschaft Für Pflanzenbauwissenschaften*, 25, 243–244.

- Peña-Cabriales, J. J., Grageda-Cabrera, O. A., Kola, V., & Hardarson, G. (1993). Time course of N₂ fixation in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant and Soil*, 152(1), 115–121.
- Phieler, M., & Böttcher, F. (2021). Zwischenfrüchte sind keine Wasserräuber. *Top Agrar*, 7, 60–66.
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), 158–161.
- Porch, T. G., & Jahn, M. (2001). Effects of high-temperature stress on microsporogenesis in heat-sensitive and heat-tolerant genotypes of *Phaseolus vulgaris*. *Plant, Cell & Environment*, 24(7), 723–731. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3040.2001.00716.x>
- Qasem, J. R., & Hill, T. A. (1995). Growth, development and nutrient accumulation in *Senecio vulgaris* L. and *Chenopodium album* L. *Weed Research*, 35(3), 187–196. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1995.tb02032.x>
- Redwitz, C. v., & Gerowitt, B. (2014). Welche Faktoren fördern das Auftreten von *Chenopodium album* auf norddeutschen Maisflächen? *Julius-Kühn-Archiv*, 443, 165.
- Reinprecht, Y., Schram, L., Marsolais, F., Smith, T. H., Hill, B., & Pauls, K. P. (2020). Effects of Nitrogen Application on Nitrogen Fixation in Common Bean Production. *Frontiers in Plant Science*, 11, 1172. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.01172>
- Rosenkranz, P. (2009). Maispollen als wertvolle Proteinquelle. *mais*, 1(36), 2.
- Saboor Naeem, S. A., Sohail, K., Dad, R., & Shah, B. (2016). Insect pollinators and their relative abundance on pea (*Pisum sativum*) at Peshawar. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4, 112–117.
- Schindler, M., & Schumacher, W. (2007). Auswirkungen des Anbaus vielfältiger Fruchtfolgen auf wirbellose Tiere in der Agrarlandschaft (Literaturstudie). *Schriftenreihe Des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL*, 147.
- Schönberger, H. (2021). Wurzel und Boden als Team. *Topagrar Online*, 2. <https://www.topagrar.com/acker/aus-dem-heft/wurzel-und-boden-als-team-12459007.html>
- Stoddard, F. L., & Bond, D. A. (1987). The pollination requirements of the faba bean. *Bee World*, 68(3), 144–152.
- Strack, D., Fester, T., Hause, B., & Walter, M. H. (2001). Die arbuskuläre Mykorrhiza: Eine unterirdische Lebensgemeinschaft. *Biologie in Unserer Zeit*, 31(5), 286–295.
- Sukhbaatar, K., Hubert, S., & Müller-Lindenlauf, M. (2019). Auf dem Felde, eng umschlungen. *BWagrar*, 18–19.
- Trouvelot, A., Kough, J. L., & Gianinazzi-Pearson, V. (1986). Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthode d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae*, 217–221.
- Vargas, M. A. T., Mendes, I. C., & Hungria, M. (2000). Response of field-grown bean (*Phaseolus vulgaris* L.) to *Rhizobium* inoculation and nitrogen fertilization in two Cerrados soils. *Biology and Fertility of Soils*, 32(3), 228–233. <https://doi.org/10.1007/s003740000240>
- Volpato, S., Masoero, G., Mazzinelli, G., Balconi, C., Locatelli, C., Lanzanova, S., Ardigò, A., Giovannetti, G., & Nuti, M. (2019). Spectroscopic and foliar pH Model for Yield prediction in a Symbiotic Corn Production. *Journal of Agronomy Research*, 2(3), 1–18. <https://doi.org/10.14302/issn.2639-3166.jar-19-3089>
- von Redwitz, C., Glemnitz, M., Hoffmann, J., Brose, R., Verch, G., Barkusky, D., Saure, C., Berger, G., & Bellingrath-Kimura, S. (2019). Microsegregation in Maize Cropping—A Chance to Improve Farmland Biodiversity. *Gesunde Pflanzen*, 71(2), 87–102. <https://doi.org/10.1007/s10343-019-00457-7>
- Westrich, P. (1989). *Die Wildbienen Baden-Württembergs, 1: Allgemeiner Teil: Lebensräume, Verhalten, Ökologie und Schutz*. Ulmer.
- Wurth, W. (2017). *Optimaler Erntezeitpunkt für Silomais bestimmen Wilhelm Wurth* – Google-Suche. LAZBW. https://www.google.de/search?source=hp&ei=Qmj7WZLMEKlb6QSagb6YBA&q=Optimaler+Erntezeitpunkt+f%C3%BCr+Silomais+bestimmen+Wilhelm+Wurth&oeq=Optimaler+Erntezeitpunkt+f%C3%BCr+Silomais+bestimmen+Wilhelm+Wurth&gs_l=psy-ab.3...1044.1044.0.1885.2.1.0.0.0.104.104.0j1.1.0....0...1.1.64.psy-ab..1.0.0.0...0.XHFjMCAc9Q

Zunker, M., Reißig, A., & Schneller, H. (2017). Mykorrhiza-Bodenhilfsstoffe in Kulturheidelbeeren. Erste Ergebnisse der Erprobung von zwei ericoiden Mykorrhiza-Isolaten an Kulturheidelbeeren *Vaccinium corymbosum* (Amerikanische Heidelbeere) am Landwirtschaftlichen Technologiezentrum Augustenberg (LTZ). *Deutsche Baumschule*, 11.

