

1. Kurzdarstellung (in Alltagssprache)

1.1 Ausgangssituation und Bedarf

Knapper und teurer werdende Ressourcen (vor allem Phosphat) und die Anforderung einer nachhaltigen Wirtschaftsweise erfordern neue Konzepte in der Pflanzenernährung. mykorrhizierte Bodenhilfsstoffe verbessern Bodenleben, Nährstoffverfügbarkeit und Trockentoleranz deutlich, sie wirken sich somit positiv auf die Pflanzenentwicklung und –gesundheit aus. Mithilfe verfügbarer Maschinen (Mikrogranulatstreuer) bzw. deren Anpassung sollte ein Verfahren entwickelt werden, mykorrhizierte Bodenhilfsstoffe punktgenau und exakt dosiert im Boden abzulegen, so dass eine optimale Mykorrhizierung der Kulturpflanzen unter möglichst geringen Kosten erzielt wird. Dazu werden Feldversuche in den Kulturen Mais (Körnermais, Bio), Soja (ebenfalls Bio, Ausbringung in Kombination mit Rhizobien) und Kartoffeln (konventionell) angelegt. Der Einsatz der Bodenhilfsstoffe soll in einem Arbeitsgang zur Aussaat/Pflanzung erfolgen.

An erster Stelle im Projekt stand die Praxisorientierung: Die Technik zur Mykorrhiza-Anwendung musste effektiv und unkompliziert im landwirtschaftlichen Betriebsablauf integriert werden. Dafür war die Kooperation mit den beteiligten Landwirten eine wichtige Voraussetzung. Vorversuche seit zwei Anbauperioden hatten vielversprechende erste Ergebnisse bringen können zu: Kornertrag im Mais (bio) sowie Kartoffelknollenertrag (konventionell) bei reduzierter mineralischer P- und N-Düngung.

1.2 Projektziel und konkrete Aufgabenstellung (Titel des Projektes max. 150 Zeichen)

Projekttitle: Verfahrenstechnik zur nachhaltigen Anwendung mykorrhizierter Bodenhilfsstoffe im Feldanbau von Soja, Körnermais und Kartoffeln (AMF-Agri).

Aufgabenstellung: Verfahrensentwicklung in der wirtschaftlichen Anwendung mykorrhizierter Bodenhilfsstoffe in landwirtschaftlichen Kulturen zur Ressourcenschonung durch Förderung von Bodenleben und Pflanzengesundheit bei reduziertem, bzw. ohne mineralischen Düngereinsatz.

Das Ziel ist damit die Erprobung und Optimierung eines Anbauverfahrens für ein ressourcenschonendes und effizientes Nährstoffmanagement im konventionellen und im ökologischen Landbau.

1.3 Mitglieder der OG

Institut für Pflanzenkultur e. K. Solkau

Biolandhof Cordts Molden

Landwirtschaftlicher Betrieb Trumann Groß Gaddau

Leibniz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V. (IGZ), Prof. Dr. Philipp Franken



1.4 Projektgebiet

29465 Schnega OT Solkau

29465 Schnega, OT Molden

29496 Waddewitz, OT Groß Gaddau

14979 Großbeeren

1.5 Projektlaufzeit und Dauer

18.5.2016-15.2.2019

1.6 Budget (Gesamtvolumen und Fördervolumen)

Gesamtausgaben 401.300 €

Fördervolumen 200.650 €

1.7 Ablauf des Verfahrens

	2016												2017												2018												2019		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2		
1. Vorbereiten des Inokulums; Institut für Pflanzenkultur (IFP)	■	■										■	■	■										■	■	■													
2. Qualitätsprüfung des Inokulums; Quantifizierung der Mykorrhiza; IFP/ IGZ Franken		■											■													■													
3. Einrichten der Maschinen zur Aussaat u. Pflanzung; Cordts/Trumann/IFP			■	■									■	■												■	■												
4. Anlage der Feldversuche; Cordts/Trumann/IFP				■	■								■	■												■	■												
5. Anlage von parallelen Topfversuchen im Gewächshaus; IFP				■	■	■	■	■																			■	■	■	■									
6. Feldbonituren und Wurzeluntersuchungen zur Mykorrhizierung; IFP				■	■	■	■	■																			■	■	■	■									
7. Untersuchungen zur Quantifizierung der Mykorrhizaaktivität; IGZ Franken				■	■	■	■	■																			■	■	■	■									
8. Versuchsernte mit Erntebonitur; Cordts/Trumann/IFP								■	■	■																													
9. Versuchsauswertung und Dokumentation; IFP										■	■	■																											

1. Entwicklung und Optimierung einer für den Einsatz im Mikrogranulatstreuer geeigneten Formulierung des Trägersubstrats für die Mykorrhiza.
2. Quantifizierung des Mykorrhizagehalts im Versuchsinokulum mit Hilfe von qPCR unter Einsatz spezifischer Primerpaare.
3. Pflanz- bzw. Drillmaschine und Mikrogranulatstreuer sind aufeinander abzustimmen. Die Dosierung muß entsprechend der Substratformulierung programmiert und die optimale Ablage ins Saatband erreicht werden.
4. Der Versuchsumfang beträgt in jeder Kultur pro Jahr 4 Varianten in 4 Wiederholungen mit einer Parzellengröße von 600 m². Geplant ist neben der Mykorrhiza-Gabe auch der Einsatz von Elicitoren.
5. In begleitenden Topfversuchen wird, zur Optimierung der Aufwandmenge im Feld, die Wirkung der Zugabe von Mykorrhiza in Kombination mit Elicitoren an Einzelpflanzen genauer untersucht.
6. Bonitierungen zu Pflanzenwachstum, Pflanzengesundheit, Blüheigenschaften, Schoten-, Kolben- und Knollenansatz; Wurzeluntersuchungen zur Mykorrhizierung, Quantifizierung mit der Methode Trouvelot.
7. Quantifizierung der Mykorrhizaaktivität durch q RT-PCR mit Primerpaaren für Phosphattransporter des direkten und des Mykorrhiza-Aufnahmeweges.
8. Bonitierung von Korn- bzw. Knollenertrag, Vermarktungsfähigkeit, Inhaltsstoffgehalt, Größensortierung, Knollengesundheit.

1.8 Zusammenfassung der (erwarteten) Ergebnisse (in Deutsch und Englisch max. 200 Wörter, 1.200 Zeichen)

Das Projekt AMF-Agri hatte zum Ziel, im Rahmen wettbewerbsfähiger Ackerbauwirtschaftssysteme, ein effizientes und ressourcenschonendes Nährstoffmanagement zu unterstützen. Die automatisierte und gezielte Applikation von Mykorrhiza im Feld erwies sich als funktional, um die Nährstoffaufnahme in und das Wachstum der (Mais-) Pflanzen unter gleichen Nährstoffverfügbarkeiten/Düngungen zu stärken. Aus Nachhaltigkeitsaspekten ist dies wünschenswert, da mit dieser Methode Nährstoffe verstärkt in der pflanzlichen Biomasse gebunden werden, und dadurch weniger in die Atmosphäre entweichen oder ins Grundwasser oder Oberflächengewässer ausgewaschen werden. Aus wirtschaftlicher Sicht sind höhere Nährstoffgehalte in den Kulturpflanzen und verbessertes Wachstum die Voraussetzung für Landwirte, um die durch die Mykorrhiza-Applikationen zusätzlich entstehenden Kosten kompensieren zu können. Vor allem in den Maisversuchen wurde eine teilflächen-spezifische Wirkung der ausgebrachten Mykorrhiza festgestellt. Die Wirksamkeit war besonders unter ungünstigen Bodenbedingungen verstärkt und führte zu einer geringeren Ertragsstreuung in den mykorrhizierten Varianten

Für eine folgende Produktentwicklung muss die Anwendungssicherheit des Inokulums verbessert werden. Dazu ist möglichst ein mit Trägermaterial fertig gemischtes und Mikrostreuer geeignetes Granulat zu entwickeln, das eine gleichmäßige Mykorrhiza-Konzentration gewährleistet und sicher stellt, dass es nicht zu Entmischung während der Ausbringung kommt.

The aim of the AMF-Agri project was to support efficient and resource-saving nutrient management within the framework of competitive arable farming systems. The automated and targeted application of mycorrhiza in the field proved to be functional in order to strengthen nutrient uptake and growth in (maize) plants with the same nutrient availability/fertilization. This is desirable from the point of view of sustainability, as this method binds nutrients in the plant biomass to a greater extent and thus reduces the escape into the atmosphere or the leaching into groundwater or surface water. From an economic point of view, higher nutrient contents in the crop plants and improved growth are the prerequisites for farmers to be able to compensate for the additional costs arising from mycorrhiza applications. Particularly in the maize trials, a site-specific effect of the mycorrhiza applied was determined. The efficacy was increased especially under unfavourable soil conditions and led to a lower yield variability in the mycorrhizal variants.

For a subsequent product development, the application of the inoculum must be improved. For this purpose, a granulate suitable for microspreaders should be developed, which guarantees a uniform mycorrhiza concentration and ensures that segregation does not occur during application.

2. Eingehende Darstellung

2.1 Verwendung der Zuwendung

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

	Planung im Geschäftsplan	Abweichungen
OG-Mitglied IFP	<p>1. Bereitstellung eines für die Versuchszwecke geeigneten Inokulums, Auswahl des Trägersubstrats, Test zur Ausbringungseignung, Qualitätsuntersuchung Sporengelalt MPN Test.</p> <p>2. Einrichten und Abstimmen der Maschinen zur Aussaat/Pflanzung der Versuchskulturen. Bestimmung der Mykorrhizaablage und Testläufe.</p> <p>3. Versuchsfeldanlage und Bonitierungen zu Pflanzenwachstum, Pflanzengesundheit, Blüheigenschaften, Schoten-, Kolben- und Knollenansatz; Wurzeluntersuchungen zur Mykorrhizierung, Quantifizierung mit der Methode Trouvelot.</p> <p>4. Aufstellung von begleitenden Topfversuchen zur Bestimmung der optimalen Mykorrhiza-Aufwandmenge sowie der Wirksamkeit von Elicitoren in unterschiedlicher Konzentration, Bonitierungen und Wurzeluntersuchungen zur Mykorrhizierung.</p> <p>5. Versuchsernte mit Bonitierung von Korn- bzw. Knollenertrag, Vermarktungsfähigkeit, Inhaltsstoffgehalt, Größensortierung, Knollengesundheit.</p> <p>6. Öffentlichkeitsarbeit, Versuchsauswertung und Dokumentation.</p>	Keine Abweichungen
OG-Mitglied Cordts	Jährlicher Feldversuch mit vier Varianten in vier Wiederholungen auf jeweils 1 ha in den Kulturen Soja und Körnermais: Bereitstellung der Versuchsfläche und des Versuchssaatguts, Bereitstellen und Einrichten der Maschinen, Versuchsanlage, -pflege, -ernte, Erntebonitur.	Aufgrund des Bewilligungszeitpunktes konnte die Versuchsanlage der Feldversuche in 2016 nicht im Rahmen des Projektes erfolgen. Dafür wurden im Versuchsjahr 2016 zwei Feldversuche bei den OG-Mitgliedern genutzt, die bereits angelegt waren, Kosten für die Anlage werden dementsprechend nicht im Projekt geltend gemacht. Für den fehlende dritten Feldversuch in der Kultur Soja wird im Spätsommer 2016 ein Versuch zur Auswirkung der Mykorrhizierung von Zwischenfrüchten auf die Hauptkultur angelegt. Änderungen an den Arbeitspaketen ergeben sich nicht weiter, nur die untersuchte Kultur ändert sich von Soja zu Zwischenfrucht.
OG-Mitglied Trumann	Jährlicher Feldversuch mit vier Varianten in vier Wiederholungen auf 1 ha in der Kultur Speisekartoffeln: Bereitstellung der Versuchsfläche und des Versuchspflanzguts, Bereitstellen und Einrichten der Maschinen, Versuchsanlage, -pflege, -ernte, Erntebonitur.	Aufgrund des Bewilligungszeitpunktes konnte die Versuchsanlage der Feldversuche in 2016 nicht im Rahmen des Projektes erfolgen. Dafür wurden im Versuchsjahr 2016 zwei Feldversuche bei den OG-Mitgliedern genutzt, die bereits angelegt waren, Kosten für die Anlage werden dementsprechend nicht im Projekt geltend gemacht.

<p>OG-Mitglied IGZ</p>	<p>1a. Im Phytokammerversuch werden die Sorten von Kartoffeln und Körnermais, die in dem Projekt verwendet werden, angezogen und inokuliert. Nach der Ernte wird über Färbung und Abschätzung der Besiedelung der Wurzeln die Mykorrhiza quantifiziert. Über Ermittlung der Phosphoraufnahme und über Messungen der Photosynthese-Aktivität kann die die Mykorrhiza-Aktivität abgeschätzt werden.</p> <p>1b. Aus geerntetem Wurzelmaterial wird DNA extrahiert. Über PCR mit den Pilz-spezifischen Primer- Paaren kann die Mykorrhizierung quantifiziert werden.</p> <p>1c. Aus dem Wurzelmaterial wird ebenfalls RNA extrahiert und cDNA synthetisiert. Aus den weitgehend bekannten Genomsequenzen wird versucht Primer-Paare für Phosphattransporter(Pt)-Gene abzuleiten. In PCR Experimenten muss dann überprüft werden, ob die bisher bekannten Mykorrhiza-regulierten Pt Gene auch in den vorliegenden Sorten durch die Symbiose reguliert sind. Über Real-Time PCR kann dann in dem Wurzelmaterial die Mykorrhiza-Aktivität quantifiziert werden. Alternativ dazu können auch Gene für ein Kupfer-bindendes Protein herangezogen werden, die sich in der Vergangenheit in verschiedenen anderen Pflanzenarten als für die Quantifizierung geeignet gezeigt haben.</p> <p>2a. Während des Feldversuchs werden über Fluoreszenzmessungen die Photosynthese-Aktivität ermittelt. Biomassen werden bei der Ernte ermittelt und über Bestimmung der Phosphor Menge die Phosphoraufnahme kalkuliert.</p> <p>2b. Wurzeln aus Kartoffeln und Körnermais werden nach der Ernte sofort in flüssigen Stickstoff eingefroren und im tiefgefroren Zustand zum IGZ transportiert. DNA und RNA werden extrahiert und die RNA in cDNA umgeschrieben. Über real-time PCR mit den vorher etablierten Primer-Paaren werden Mykorrhiza und Mykorrhiza-Aktivität quantifiziert.</p>	<p>In die Versuchsanlagen wurden anstatt der Chlorophyllfluoreszenzmessung und Phosphattransporterexpressionstudien Kompartimente in den Boden eingebracht die die Quantifizierung der pilzlichen Biomasse im Boden erlauben, da sich dies als besseres Merkmal für die Wachstumsantwort und Nährstoffaufnahme in den Topfversuchen herausgestellt hatte.</p> <p>In gleicher Weise wie für Mais sollte der Kartoffelfeldversuch ausgewertet werden. Es wurden Kompartimente ins Feld zur Quantifizierung der Bodenbesiedelung des Pilzes eingebracht und Wurzeln geerntet. Jedoch verhinderte das Auftreten von Blattpathogenen eine sinnvolle Beprobung und Nährstoffbilanzierung der Pflanzen. In den nur spärlich beprobbaren Wurzeln konnte keine nennenswerte Mykorrhizierung festgestellt und aus den Kompartimenten keine pilzliche Biomasse ausgewaschen werden.</p>
<p>Laufende Zusammen- arbeit</p>	<p>Die Firma Institut für Pflanzenkultur e.K. und ihre Vertriebsgesellschaft Inoq GmbH sowie die kooperierenden Landwirte verfügen über gute Kontakte zu Funktionsträgern und Multiplikatoren der Landwirtschaftskammer Niedersachsen: Markus Mücke (Fachberater ökolog. Landbau), Jürgen Pickny (Kartoffel Spezialberatung), Andreas Scholvin (Versuchsleiter Bio Kartoffel). Ebenfalls zum Versuchs- und Beratungsring für ökologischen Landbau Niedersachsen Ökoring e.V. und zur regionalen Erzeuger- und Vermarktungsgemeinschaft Wendenknolle w. V.. Unser Projektansatz findet dort großes Interesse – wir werden diesen Kontakt über</p>	<p>Keine Abweichungen</p>

	<p>die gesamte Projektlaufzeit intensiv weiterführen, über die Versuchsergebnisse kontinuierlich berichten und einen ausführlichen Erfahrungsaustausch mit den angeschlossenen Landwirten führen.</p> <p>Die Firma Inoq präsentiert sich mit ihren Mykorrhiza-Produkten regelmäßig auf überregionalen Messen (IPM, GaLa Bau). Die Projektpräsentation ist bei erfolgversprechenden Versuchsergebnissen vorgesehen. Die Ausweitung der Messepräsentation auf den Agrarbereich (DLG-Feldtage, Tarmstedt, Potato Europe) ist beabsichtigt.</p> <p>Einmal jährlich wird ein Projekt - Feldtag organisiert, zu dem Vertreter von LWK, Mitglieder regionaler Erzeugergemeinschaften und Versuchs- und Beratungsringe sowie Fachpresse und Hochschuleinrichtungen eingeladen werden. Weiterhin können zur Übertragung der Ergebnisse in die Praxis einschlägige Fachblätter wie Land & Forst und LOP genutzt werden, dies hatte in der Vergangenheit mit anderen Projekten bereits gute Resonanz.</p> <p>Zu den Ergebnissen der begleitenden Untersuchung am Leibnizinstitut Großbeeren/Erfurt (Entwicklung neuer Methoden zur Quantifizierung der Mykorrhizaaktivität) ist eine wissenschaftliche Publikation vorgesehen.</p>	
--	---	--

2.1.2 Darstellung der wichtigsten finanziellen Positionen

Ausgaben Institut für Pflanzenkultur e.K	
Personalausgaben	235.447,32 €
Reisekosten	755,75 €
Material und Bedarfsmittel	17.585,11 €
Summe	253.788,18 €
Ausgaben Michael Cordts	
Aufwandentschädigungen und Nutzungskosten bei Unternehmen der Urproduktion	23.453,35 €
Summe	23.453,35 €
Ausgaben Bernd Trumann	
Aufwandentschädigungen und Nutzungskosten bei Unternehmen der Urproduktion	11.994,50 €
Summe	11.994,50 €
Ausgaben Leibnitz-Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau Großbeeren/Erfurt e.V.	
Personalausgaben	93.007,86 €
Reisekosten	701,76 €
Material und Bedarfsmittel	6.257,14 €
Summe	99.966,76 €
Ausgaben für die Zusammenarbeit	
Personal	27.525,00 €
Bewirtschaftung von Gebäuden, Grundstücken und Räumen	240,00 €
Reisekosten	160,11 €
Summe	27.925,11 €
Gesamtsumme	200.340,41 €

2.2 Detaillierte Erläuterung der Situation zu Projektbeginn

2.2.1 Ausgangssituation + Aufgabenstellung:

Knapper und teurer werdende Ressourcen (vor allem Phosphat) und die Anforderung einer nachhaltigen Wirtschaftsweise erfordern neue Konzepte in der Pflanzenernährung. Mykorrhizierte Bodenhilfsstoffe verbessern Bodenleben, Nährstoffverfügbarkeit und Trockentoleranz deutlich, sie wirken sich somit positiv auf die Pflanzenentwicklung und –gesundheit aus. Mithilfe verfügbarer Maschinen (Mikrogranulatstreuer) bzw. deren Anpassung sollte ein Verfahren entwickelt werden, mykorrhizierte Bodenhilfsstoffe punktgenau und exakt dosiert im Boden abzulegen, so dass eine optimale Mykorrhizierung der Kulturpflanzen unter möglichst geringen Kosten erzielt wird. Dazu werden Feldversuche in den Kulturen Mais (Körnermais, Bio), Soja (ebenfalls Bio, Ausbringung in Kombination mit Rhizobien) und Kartoffeln (konventionell) angelegt. Der Einsatz der Bodenhilfsstoffe soll in einem Arbeitsgang zur Aussaat/Pflanzung erfolgen.

Doch an erster Stelle im Projekt stand die Praxisorientierung: Die Technik zur Mykorrhiza-Anwendung muss effektiv und unkompliziert im landwirtschaftlichen Betriebsablauf integriert werden. Dafür war die Kooperation mit den beteiligten Landwirten eine wichtige Voraussetzung. Vorversuche seit zwei Anbauperioden hatten vielversprechende erste Ergebnisse bringen können zu: Kornertrag im Mais (bio) sowie Kartoffelknollenertrag (konventionell) bei reduzierter mineralischer P und N-Düngung. Zu Beginn des Projekts war nicht klar, welche Parameter am besten geeignet sind, um ein Monitoring der Mykorrhizasymbiose im Feld durchzuführen. Außerdem standen keine Werkzeuge zur Verfügung, um auf dem Hintergrund der indigenen Population an Mykorrhizapilzen, einen neu eingeführten Mykorrhizapilzstamm zu verfolgen. Daraus resultierte folgende Aufgabenstellung im Projekt:

- Formulierung des Inokulums: Ein geeignetes Trägermaterial zur gleichmässigen und problemlosen Ausbringung per Mikrogranulatstreuer mit hochkonzentrierter und vitaler Mykorrhiza für niedrige Aufwandmengen muss entwickelt werden.
- Technische Umsetzung an der Drill- bzw. Pflanzmaschine: Für die Ablage des mykorrhizierten Bodenhilfsstoffs ins Saatband, bzw. in den Kartoffeldamm zur Pflanzung, muss eine Gerätekombination gefunden und aufeinander abgestimmt werden.
- Dosierung und Ablage: Das Ziel ist eine möglichst geringe Aufwandmenge des mykorrhizierten Bodenhilfsstoffs bei gleichzeitig guter Mykorrhizierung der Versuchspflanzen durch eine optimale Ablage zum Saatkorn im Saatband bzw. zur Pflanzkartoffel im Damm zu erreichen.
- Einsatz in Hauptfrüchten: Versuchsanlagen sind in Soja, Körnermais und Speisekartoffeln geplant. In Soja wird die Kombination der Zugabe von Mykorrhiza und Rhizobien im Feld erprobt.
- Einsatz von Elicitoren: In Topf- und Feldversuchen wird die Auswirkung von Mykorrhizzazugabe in Kombination mit der Anwendung von Elicitoren in unterschiedlicher Konzentration und Art der Ausbringung untersucht.
- Beurteilung der Mykorrhizaaktivität: Mit Hilfe neuer PCR-Verfahren (q PCR, q RT PCR) werden Methoden entwickelt die schnell den Gehalt an Mykorrhiza im Bodenhilfsstoff und die Mykorrhizaaktivität in der Pflanze erfassen. Überprüfung und Entwicklung von Methoden zur Quantifizierung der pilzlichen Biomasse im Feld
- Überprüfung von phänotypischen (pilzliche Biomasse), physiologischen (Chlorophyllfluoreszenz) und molekularen (Phosphattransporter-genexpression) als geeignete Parameter zum Monitoring der Mykorrhizasymbiose im Feld
- Etablierung einer molekularen Methode (Polymerasekettenreaktion mit spezifischen Primerpaaren) zur Verfolgung und Quantifizierung eines eingeführten Mykorrhizapilzstamms

2.3 Ergebnisse der OG in Bezug auf

- 2.3.1 Wie wurde die Zusammenarbeit im Einzelnen gestaltet (ggf. Beispiele wie die Zusammenarbeit sowohl organisatorisch als auch praktisch erfolgt ist)?**
- 2.3.2 Was war der besondere Mehrwert bei der Durchführung des Projekts als OG**
- 2.3.3 Ist eine weitere Zusammenarbeit der Mitglieder der OG nach Abschluss des geförderten Projektes vorgesehen?**

Es erfolgten im Projekt insgesamt sechs Projekttreffen der OG, im Wechsel beim IFP oder beim IGZ. Die Treffen wurden allen OG-Mitgliedern rechtzeitig angekündigt, es erfolgte eine Einladung mit Tagesordnung sowie nach dem Treffen ein Protokoll mit offenen Punkten, verantwortlichen Personen und Terminen. Auf jedem Treffen wurde der Stand aller Arbeitspakete jedes OG-Mitglieds in Vorträgen vorgestellt sowie bei Bedarf offene Fragen im Detail abgestimmt. Während der Wachstumsperiode wurden die Feldversuche im Rahmen der Projekttreffen bereist.

Die Kommunikation für die Zusammenarbeit der OG lief stets sachlich, offen und ohne Konflikte. Dazu mag auch die Erfahrung des IFP als Projektkoordinator beigetragen haben sowie die Tatsache, daß teilweise zwischen den OG-Mitgliedern bereits vor Projektbeginn gute Beziehungen bestanden (IFP-IGZ, IFP-Cordts, Cordts-Trumann).

Ein besonderer Mehrwert dieser Projektkonstellation ist sicherlich die enge Zusammenarbeit mit den landwirtschaftlichen Betrieben. Idealerweise erfolgt so eine direkte Kommunikation zwischen dem Koordinator, den Wissenschaftlern und den landwirtschaftlichen Betriebsleitern. Dies bringt für alle Beteiligten Vorteile, da Fehlentwicklungen vermieden werden, bzw. Lösungen passgenau auf die Bedürfnisse der Praxis zugeschnitten werden können. Dies erscheint auch im Rückblick ideal. Einzig ist manchmal die Möglichkeit der Landwirte, einen ganzen Tag z.B. für ein Projekttreffen einzusetzen zu bestimmten Arbeitsspitzenzeiten begrenzt. Dem wurde durch gute und flexible Terminabsprachen entgegengewirkt, bzw. wann immer möglich die Treffen in die räumliche Nähe der beiden landwirtschaftlichen OG-Mitglieder gelegt.

Eine weitere Zusammenarbeit ist geplant und bereits begonnen, die vier OG-Mitglieder arbeiten in einem neuen EIP Agri-Projekt seit 5.2.2019 zusammen. IFP und IGZ haben gleichzeitig noch andere Projekte, in denen sie zusammenarbeiten (Marie-Curie Action ITN BestPass, Marie-Curie Action ITN MiRa), IFP und die beiden landwirtschaftlichen Betriebe ebenfalls (Marie-Curie Action ITN BestPass, Eurostars Mycosign).

2.4 Ergebnisse des Innovationsprojektes

2.4.1 Zielerreichung

Das Ziel des Projekts war, die gezielte und wirtschaftliche Anwendung mykorrhizierter Bodenhilfsstoffe in den landwirtschaftlichen Kulturen Körnermais, Soja und Kartoffeln zu ermöglichen. Zu diesem Zweck entwickelt die OG:

- Ein für die Versuchskulturen geeignetes Inokulum mit hochkonzentrierter und vitaler Mykorrhiza für niedrige Aufwandmengen mit passendem Trägermaterial zur gleichmässigen Ausbringung per Mikrogranulatstreuer.
- Ein anbautechnisches Verfahren, das effektiv und unkompliziert zum landwirtschaftlichen Anbau der Versuchskulturen passt und die mykorrhizierten Bodenhilfsstoffe punktgenau und exakt dosiert im Boden ablegt.
- Zur Qualitätskontrolle Verfahren zur Beurteilung der Mykorrhizaaktivität unter kontrollierten Bedingungen und im Feld sowie die Etablierung eines molekularen Markers zur Verfolgung der eingesetzten Mykorrhizapilze.

Um das Ziel zu erreichen, wurden am Institut für Pflanzenkultur (IFP) Gewächshausversuche, und in Kooperation mit den landwirtschaftlichen Projektpartnern Feldversuche mit einem Versuchsumfang von 1 ha pro Kultur und Jahr - angelegt. Aufgabe des wissenschaftlichen Projektpartners Institut für Gemüse und Zierpflanzenbau (IGZ) war die Methoden-Entwicklung zur Inokulumqualität und Mykorrhizaaktivität.

Versuchskultur Körnermais

In der Projektlaufzeit wurden vier Feldversuche zum Mykorrhiza Einsatz im Anbau von Körnermais bio durchgeführt (V575 2016, V698 2016/2017, V750/2017, V805 2018). Versuchsbetrieb für alle Versuche war der Biolandhof Cordts in Schnega/Molden im nordöstlichen Niedersachsen. Der Betrieb hat seinen Sitz im Göhrde-Drawehn-Höhenzug in der norddeutschen Übergangszone vom subatlantischen zum subkontinentalen Klima mit im Mittel 550 mm Jahresniederschlag. Die Versuchsböden waren durchweg lehmiger Sand mit 25-30 Bodenpunkten die Grundnährstoffe überwiegend in Gehaltsklasse C der pH zwischen 5,4 und 5,9.

Vorrucht war Dinkel (V575/V698/V750) und Winterroggen (V805) mit nachfolgendem Zwischenfruchtgemenge terra life öko in allen Versuchen. Die Grundbodenbearbeitung erfolgte in V575 ,V698 und V750 mit der Spatenmaschine, zu V805 wurde gepflügt. Gedüngt wurde einheitlich zu allen Versuchen mit Champost 10 t/ha und Bio HTK 4 t/ha.

Ausgesät wurde mit pneumatischer Einzelkorndrille Amazone ED10, 50 cm Reihenabstand und folgenden Sorten und Saatstärken:

Tabelle 1: Maissorten und Aussaatstärken im Projekt AMF Agri

Versuch	Sorte	Aussaatstärke [Körner/ha]
V575	Pioneer P 75.000	90.000
V689/V750	Farmfire	90.000
V805	Kwinns	85.000

Die Feldpflege erfolgte mechanisch mit Striegel und Reihenhacke. Beregnet wurde bei Bedarf intensiv mit Beregnungsmaschine/Kreisregner.

Eingesetztes Mykorrhizapilz-Inokulum (AMF):

Die im Projekt verwendeten Inokula wurden eigens für die Projekt-Versuche im IFP entwickelt. Die Mykorrhiza Produktion bzw. Vermehrung erfolgte im halboffenen System im Gewächshaus an ausgewählten Mutterpflanzen nach Beimpfung aus Vorkultur. Die Grundlage aller Versuchs-Inokula ist Wurzelpulver von vermahlenden Feinwurzeln der Vermehrungspflanzen. Die Qualitätsbestimmung erfolgt standardisiert als MPN – Test im Gewächshaus. Ermittelt wird die Anzahl der infektiösen Einheiten (mycorrhizal units oder MU) pro Volumen. Die Stärke der Wurzelbesiedelung (Mykorrhizierung im Inokulum/Mykorrhizierung der Versuchspflanzen im Feld) wurde in allen Arbeitsschritten im Projekt standardisiert nach der Methode Trouvelot gemessen. Im Mais wurden mehrere Mykorrhizapilz-Gattungen in unterschiedlicher Mischung eingesetzt. Die Mykorrhiza Konzentration, d. h. die Anzahl der MU pro Fläche bzw. Saatkorn sowie das Trägermaterial wurden ebenfalls variiert (s. Tab. 2).

Tabelle 2: Entwickelte Inokula mit Trägermaterial und ausgebrachter Mykorrhizakonzentration

Versuch	Mykorrhizapilze	Trägermaterialien	Aufwandmengen [kg/ha]	Mykorrhizaeinheiten (MU) /Saatkorn Mais
V575	<i>Rhizophagus irregularis</i>	Sand/ Vermiculite	AMF1: 15 AMF2: 5 AMF3: 10 AMF4: 10	AMF1: 7.200 AMF2: 2.400 AMF3: 4.800 AMF4: 4.800
V689	<i>Rhizophagus irregularis</i>	Blähton 0,5-2 Dichte 345 g/l	170	AMP1: 153 AMP2: 458
V750	<i>Rhizophagus irregularis</i> ; <i>Funneliformis mosseae</i>	Blähton 0,5-2	31	3.590
V805	<i>Rhizophagus irregularis</i> QS69; <i>Rhizophagus irregularis</i> MA 1; <i>Funneliformis mosseae</i> ; <i>Funneliformis caledonius</i>	Blähton 0,5-2	13	688

Ausbringung des Inokulums zur Maisaussaat (V575, V750, V805):

Die als Wurzelpulver entwickelten Versuchs-Inokula wurden sehr sorgfältig mit den verwendeten Trägermaterialien (s. Tab. 2) per Hand vorgemischt und mit aufgesatteltem Mikrogranulatstreuer mit der Maisaussaat in einem Arbeitsgang ausgebracht. Die Ablage erfolgte direkt in das Saatband auf Ablagetiefe der Saatkörner.



Abb. 1: Versuchsanlage in V575 mit Abdreprobe am aufgesatteltem Mikrogranulatstreuer (li.) sowie veränderter Zuführung des Granulats zum Saatband (re.).

Ausbringung des Inokulums zur Zwischenfrucht vor Körnermais (V698)

Unmittelbar vor der Aussaat der Zwischenfruchtmischung terra life öko (DSV) wurde das vorgemischte Inokulum auf Trägermaterial Blähton (s. Tab. 2) mit einer pneumatischen Drillmaschine in das fertig vorbereitete Saatbett eingedrillt. Der zusätzliche Arbeitsgang wurde durchgeführt um die Ablagetiefe exakt einzustellen und ein unmittelbares Bedecken des ausgebrachten (UV-empfindlichen) Inokulums zu gewährleisten. Die Zwischenfruchtsaat und das Inokulum zusammen in der (Eintank-) Drillmaschine entmischen sich mit der Folge ungleichmäßiger Ausbringung.

Einsatz von Elicitor

In V750 und V805 wurden Elicitor zur Verbesserung der Mykorrhizaaktivität eingesetzt. Die Ausbringung erfolgte mit der Feldspritze bei wüchsiger Witterung im zwei-Knoten-Stadium (BBCH32):

Tabelle 3: Elicitor und Aufwandmengen in den Versuchen im Körnermais

Versuch	Elicitor	Konzentration	Spritzung [l/ha]
V750	D (+)-Xylose	100 ppm (10 g/100 l)	450
V805	Maltose	100 ppm	500

Versuchsanlage

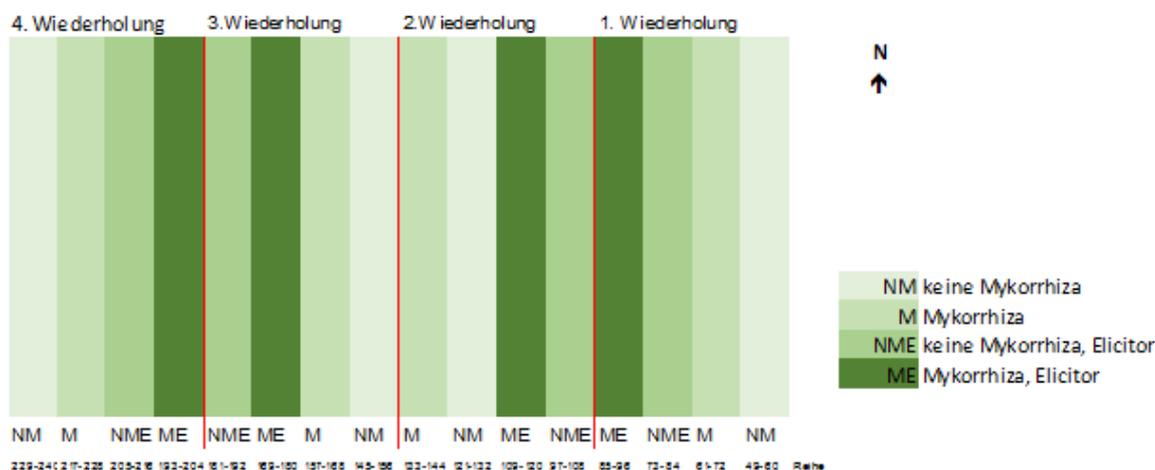


Abb. 2: Versuchsplan in V805 auf Schlag Reicherts Keil, Parzellengröße 6x100 m

Die Versuche V750 und V805 wurden identisch in vier Wiederholungen als Streifenanlage mit GPS-Technik eingedrillt (6x100 m Parzellengröße, s. Abb. 2 u. 3). Der Zwischenfruchtversuch (V689) war dagegen großflächiger mit drei Parzellen zu je 1,5 ha angelegt. V575 war als Vorversuch konzipiert, ebenfalls in Streifenanlage.



Abb.3: Versuchsanlage der Streifenversuche mit RTK-Signal

Ausbringungstechnik

Die Resultate der Ausbringung per Mikrogranulatstreuer waren unterschiedlich:

In V 575 erwies sich Vermiculite als ungeeignetes Inokulum-Trägermaterial zur exakten Dosierung und Ablage der Mykorrhiza in die Saatreihe. Geplant war die Ausbringung einer Mykorrhiza Konzentration in vierfacher Wiederholung. Durch die schlechten Flieseigenschaften des Materials war eine gleichmäßige Dosierung über den Mikrogranulatstreuer nicht möglich. Zusätzlich kam es zu Staubeentwicklung während der Ausbringung unter Feld-Bedingungen. Inokulum-Staub haftete sowohl an der Behälterwand als auch in den Zuleitungen zum Säschar und an diesem selbst. Ob und wieviel Inokulum in die Saatreihe abgelegt werden konnte, ließ sich letztlich nur vermuten, so dass die weiteren Ergebnisse aus V575 hier im Vergleich der Versuche nicht weiter dargestellt werden.

In V750 und V805 wurde mit Blähton der Körnung 0,5 – 2 ein Mikrogranulatstreuer geeignetes Trägermaterial für das Inokulum gefunden. In der feinporigen Struktur des Blähtons kleben die feinen Partikel des Wurzelpulvers an. Die Staubeentwicklung ist deutlich reduziert und das Inokulum haftet nicht an Maschinenteilen an. Zur exakteren Ablage ins Saatband wurden die Zuleitungsrohre mit Schlauchabschnitten zum Säschar verlängert (s. Abb. 2 rechts). Abdreihproben zeigten gleichmäßige und exakte Verteilung des Granulats in den Saatreihen über die gesamte Arbeitsbreite der Drillmaschine.

In V689 (Inokulierung zur Zwischenfrucht) ließ sich das Inokulum auf Trägermaterial Blähton 0,5 – 2 ebenfalls exakt und gleichmäßig mit dem Drillverfahren (aber zusätzlicher Arbeitsgang erforderlich) in die Fläche bringen.

Kornertrag

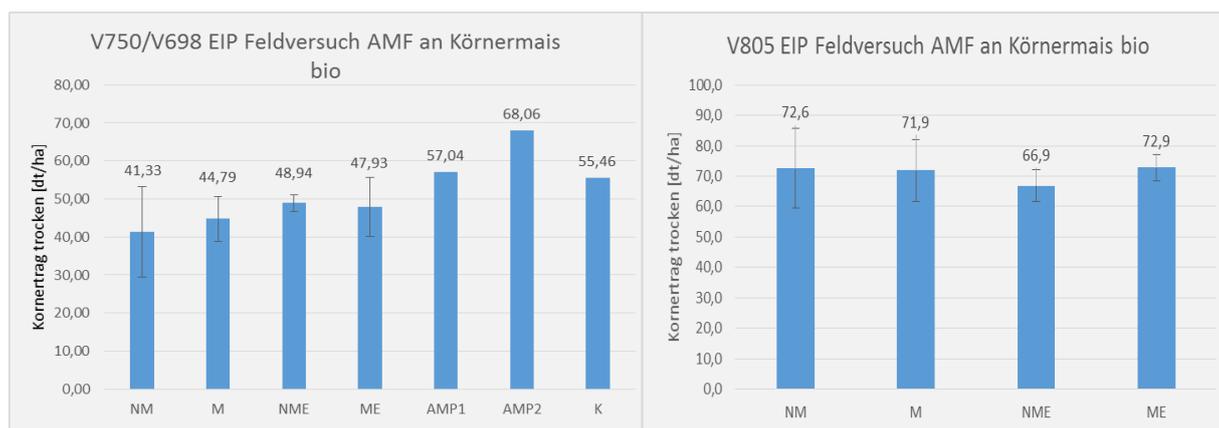


Abb. 4: Kornerträge der Versuchsvarianten aus V698, V750 und V805

NM nicht mykorrhiziert, M mykorrhiziert, NME nicht mykorrhiziert Elicitoren, ME mykorrhiziert Elicitoren, AMP1 (Tab.2), AMP2 (S. Tab.2), K Kontrolle

Die Ergebnisse zum Kornertrag sind im Vergleich der Versuche uneinheitlich. Während mit dem 2017 eingesetzten Versuchsinokulum (V750/V805) deutliche Ertragszuwächse erzielt wurden, ist im Versuch 2018 keine Kornertragssteigerung zu sehen (s. Tab. 4). In beiden Jahren fällt die deutlich größere Streuung der Ertragsresultate in den Wiederholungen der Kontrolle im Vergleich zu den Wiederholungen der mykorrhizierten Varianten auf (s. Abb. 4).

Tab. 4: Ertragssteigerungen in Abhängigkeit zur ausgebrachten Mykorrhizakonzentration im Feld

Versuch	Variante	MU/Saatkorn Mais	Steigerung Kornertrag zur Kontrolle [%]
V750	M	3.590	8
V750	ME	3.590	16
V805	M	688	-1
V805	ME	688	0,4
V698	AMP1	153	3
V698	AMP2	458	23

Der Elicitoreinsatz brachte 2017 (V750) deutlichen Ertragszuwachs, dagegen 2018 (V805) kaum Ertragssteigerung. Der höchste Ertragszuwachs bei im Vergleich niedriger Mykorrhiza-Konzentration wurde in V698 über die Inokulierung der Zwischenfrucht vor Mais mit dem Inokulum von 2017 erreicht (s. Abb.4. u. Tab. 4)

Mykorrhizierung

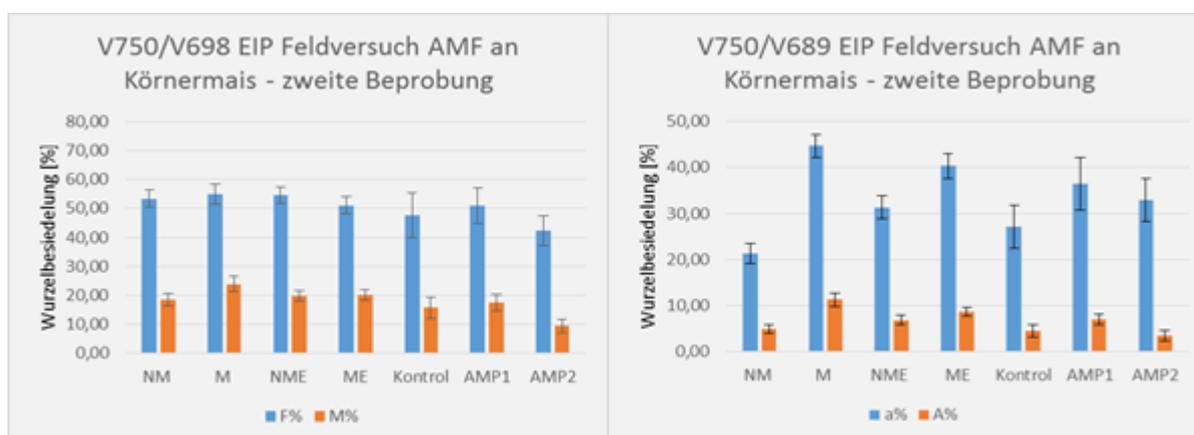


Abb. 5: Ergebnisse zur Mykorrhizierung von Körnermais bio im Feld aus V698 und V750

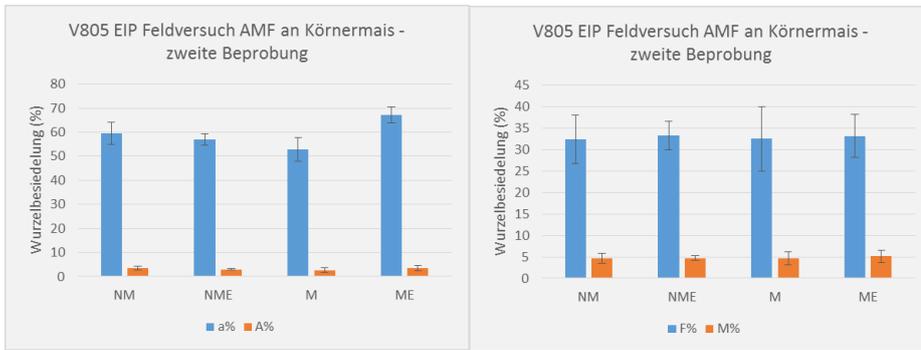


Abb. 6: Ergebnisse zur Mykorrhizierung von Körnermais bio im Feld aus V805

Legende: F%: Häufigkeit der Mykorrhiza im Wurzelsystem, M%: Intensität der Mykorrhizierung in den Wurzeln, a% Häufigkeit der Arbuskel in der Wurzel, A% Häufigkeit der Mykorrhiza im Wurzelsystem.

Die Wurzeln der Untersuchungspflanzen sind in allen Varianten inklusive der Kontrollen mittel bis gut mykorrhiziert. In V805 war im Gegensatz zu V750/V689 die Intensität der Arbuskel (a%, A%) in den mykorrhizierten Varianten nicht gesteigert. Die Kontrollen in V805 waren trotz Rückumstellung zum Pflug noch gut mykorrhiziert.

Diskussion

Die Feldversuche haben gezeigt, dass es möglich ist, Mais unter Praxisbedingungen im Feld am Versuchsstandort zu mykorrhizieren. Mit dem entwickelten Ausbringungsverfahren konnte eine exakte und genau dosierte Ablage erzielt werden. Das Verfahren Ausbringung per Mikrogranulatstreuer ins Saatband ist unkompliziert und ohne zusätzlichen Arbeitsgang in den Ablauf der Maisbestellung zu integrieren. Kritisch zu sehen, ist noch das aufwändige Untermischen des Inokulum-Konzentrats in das Trägermaterial. Die Formulierung eines einsatzfertigen Granulats ist zu entwickeln.

Die Stärke der Mykorrhizierung und damit auch deren Ertragswirksamkeit hängen nach den Versuchsergebnissen in der Ausbringung zur Aussaat besonders von der Mykorrhiza-Qualität (Pilzzusammensetzung und Anzahl MU/Volumen Inokulum) ab. Mit steigender MU-Konzentration im Inokulum war die Mykorrhizierung verbessert, mit ebenfalls verbessertem Korntrag. Nach erfolgreicher Mykorrhizierung bewirkt der Elicitor eine zusätzliche deutliche Ertragssteigerung (s. Tab. 4).

In allen Versuchen war die Ertragsstabilität in den Wiederholungen der mykorrhizierten Varianten verbessert (s. Abb. 4). Das zeigt, dass Mykorrhiza besonders unter teilflächig suboptimalen Standortbedingungen ertragsstabilisierend wirkt. Die Ergebnisse der Einzelpflanzenuntersuchungen durch den Projektpartner IGZ in V750 bestätigen das (s. Abb. 7).

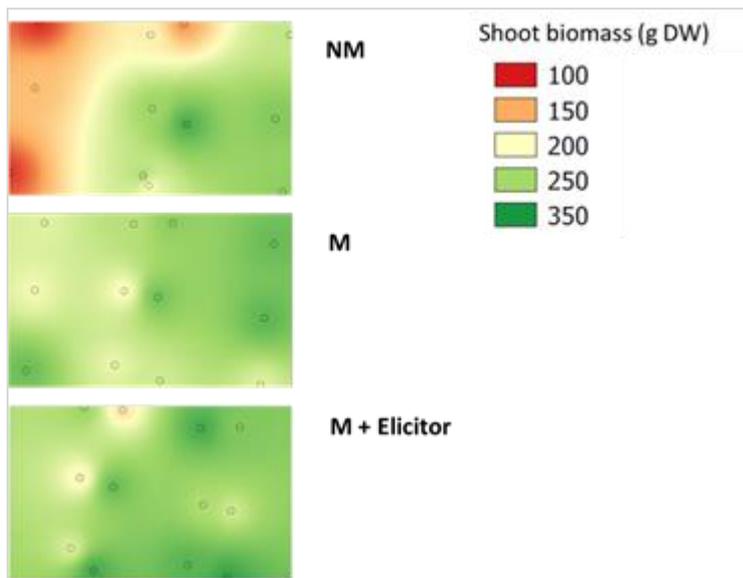


Abb. 7: Die oberirdische Biomasseentwicklung in räumlicher Verteilung von V750 für nicht inokulierte (NM), für inokulierte und für inokulierte (M) Maispflanzen plus Elicitor-Applikation (M+E) geerntet am 5. September 2017. Die Flächen sind deckungsgleich in räumlichen Koordinaten (1 ha in der Fläche). Die Punkte zeigen den Ort der Beprobung.

Unter optimaler Bestandsführung wie in V805 (mit intensiver Beregnung in 2018 und knapp über sieben Tonnen/ha Kornertrag unter Bio-Bedingungen!) bewirkt die Mykorrhiza im Mittel wenig Ertragszuwachs, jedoch war auch hier der Effekt der teilflächenspezifischen Ertragsstabilisierung deutlich zu sehen (s. Abb. 4 u. Abb. 8): Betrachtet man die vierte Wiederholung auf dem vergleichsweise leichtesten Bodenabschnitt in der Versuchsfläche isoliert, ist hier eine deutliche Kornertragsteigerung zu sehen (+ 34 % in der Variante ME im Vergleich zur Kontrolle).

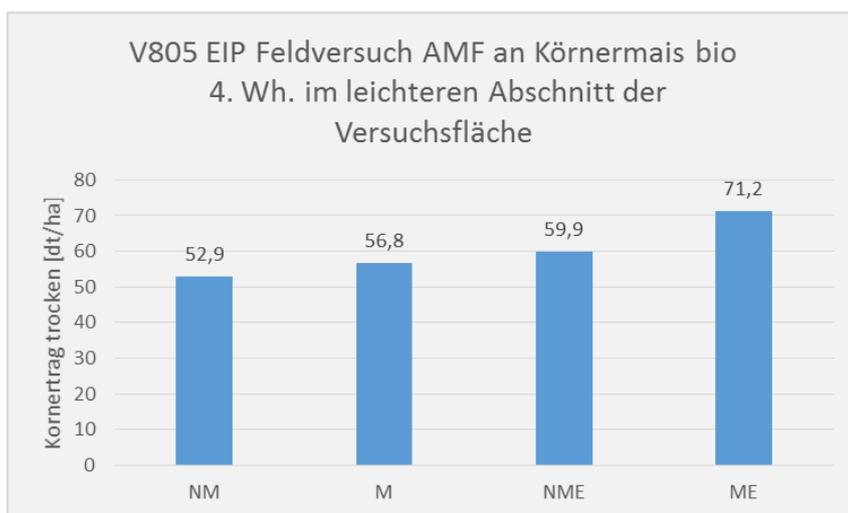


Abb. 8: Kornerträge aus V805 in der vierten Wiederholung

Die Mykorrhizierungsergebnisse zeigen eine starke natürliche Mykorrhiza in der Kontrolle. Der Grund liegt in der langjährigen pfluglosen (seit 2018 Rück-Umstellung zum Pflug, V805) Bio-Bewirtschaftung der Flächen. Anhand der Begleit-Untersuchungen durch das IGZ war jedoch zu sehen, dass, auch bei guter natürlicher Mykorrhiza, durch die zugesetzte Mykorrhiza das extraradikuläre Mycel, und damit einhergehend die Wachstumseffizienz pro verfügbarer Phosphatmenge gesteigert wurden (s. Abb. 9). Die ausgewählten Pilzstämme der zugeführten Mykorrhiza waren somit sehr effektiv in ihrer wachstumsfördernden Wirkung.

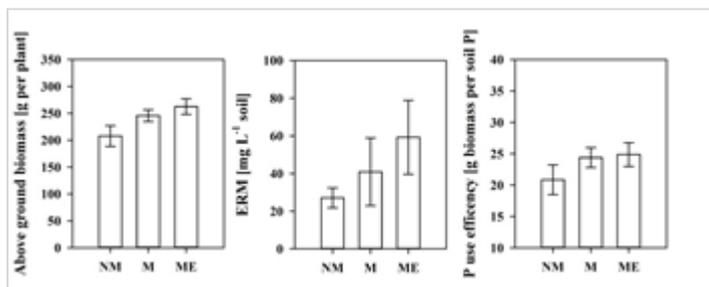


Abb. 9: Pflanzenbiomasse (links), die Masse an extraradikulärem Myzel (ERM, Mitte) und die Wachstumseffizienz je im Boden verfügbarer Phosphatmenge (rechts) für nicht inokulierte (NM), für inokulierte und für inokulierte Maispflanzen plus Elicitor-Applikation (ME) geerntet in V750

Im Versuchvergleich fällt das Ergebnis aus V698 besonders auf. Hier wurde über die erfolgreiche Inokulierung der Zwischenfruchtmischung vor dem Mais mit relativ niedrig konzentrierter Mykorrhiza die größte Steigerung im Kornertag erzielt. Die Etablierung ausgewählter Mykorrhizastämme im Feld über die Zwischenfrucht scheint als Methode zur gezielten Mykorrhizierung der Hauptfrucht demnach unter wirtschaftlichen, aber auch verfahrenstechnischen Gesichtspunkten sehr vielversprechend zu sein. Der im Versuch durchgeführte zusätzliche Arbeitsgang zur Ausbringung der Mykorrhiza in den Boden lässt sich durch eine Aussaat der Zwischenfrucht mit einer Zwei-Tank-Drillmaschine vereinfachen. Zur weiteren Verbesserung der Wirtschaftlichkeit (sparsamer Einsatz des teuren Mykorrhiza-Konzentrats, bei gleichzeitig möglichst großer Wachstumsförderung) sind Versuche mit coatiertem Saatgut z. B. eines Mischungspartners im Zwischenfruchtgemenge sinnvoll.

In den Projektversuchen wurde noch mit größeren Mengen Inokulum-Konzentrat/Fläche gearbeitet (1 – 2 l/ha). Das war nötig, um die angestrebte Mykorrhizakonzentration (MU/Saatkorn Mais) zu erreichen und so untersuchen zu können, in welcher Konzentration zu Mais ausgebracht werden muss, um Effekte unter den Versuchsbedingungen zu erzielen. Aus den Versuchsergebnissen ist zu sehen, dass bei Ausbringung mit der Aussaat die Inokulum-Gabe eine mindestens im unteren vierstelligen Bereich liegende Anzahl von MU/Saatkorn erreichen muss (V750). Damit dies wirtschaftlich vertretbar wird, ist ein hoch infektiöses Mykorrhiza-Konzentrat erste Voraussetzung.

Aktuelles Wurzelpulver der Produktion Inoq erreicht 550 Mio MU/100 ml. Mit einer Dosierung von 100 ml Konzentrat/ha werden mit bei einer Mais-Aussaatstärke von 90.000 Körnern/ha 6.111 MU/Saatkorn ausgebracht. Die reinen Inokulum-Kosten betragen in diesem Fall 180 €/ha (Inokulum-Konzentrat). Bezogen auf Anbaubedingungen wie in V750 mit knapp über 4 t Kornertag/ha in der Kontrolle müssen bei aktuell 380 €/t Marktpreis Körnermais Bioland (netto ab Hof/Quelle M. Cordts 2019) 6 dt, oder 14,5 % Mehrertrag erzielt werden, um grob kostendeckend zu sein. Die Versuchsvariante ME hat das in V750 überschritten.

Für das aktuelle, hoch angereicherte Inokulum scheint der break-even bezogen auf Bio-Körnermais Anbau erreicht, auch unter kurzfristiger rein ertragsbezogener Sichtweise. Weitere Versuche müssen dies bestätigen. Die Übertragbarkeit auf den konventionellen Anbau ist zu prüfen.

Versuchskultur Soja

In der Projektlaufzeit wurden zwei Feldversuche zum Mykorrhiza Einsatz im Anbau von Soja bio durchgeführt (V751 2017, V804 2018). Versuchsstandort war, wie in den Maisversuchen, der Biolandhof Cordts in Schnega/Molden. Die Versuchsböden waren durchweg lehmiger Sand mit 25-30 Bodenpunkten die Grundnährstoffe alle in Gehaltsklasse C, der pH 5,6 in beiden Versuchen.

Vorfrucht war Schnittlauch (V751) und Körnermais (V805). Kein Anbau von Zwischenfrüchten. Die Grundbodenbearbeitung erfolgte in V751 mit der Spatenmaschine, zu V804 wurde gepflügt. Gedüngt wurde in V751 mit 20 m³/ha Kompost, zu V804 keine Düngung.

Ausgesät wurde mit pneumatischer Einzelkorndrille Amazone ED, 50 cm Reihenabstand und folgenden Sorten und Saatstärken:

Tabelle 5: Sojasorten und Aussaatstärken im Projekt AMF Agri

Versuch	Sorte	Aussaatstärke [Körner/ha]
V751	Taifun 3	680.000
V804	ES Commandor	720.000

Die Rhizobien Biodoz Soja stabilise (De Sangosse) wurden mit 400 g/ha eingesetzt. Ausgebracht wurde mit aufgesatteltem Mikro-Granulatstreuer zur Aussaat ins Saatband, in Kombination mit dem Versuchsinokulum; Trägermaterial Blähton, Körnung 0,5 – 2 mm.

Die Feldpflege erfolgte rein mechanisch mit Striegel und Reihenhacke. Beregnet wurde bei Bedarf intensiv mit Beregnungsmaschine/Kreisregner.

Eingesetztes Inokulum:

Die im Projekt verwendeten Inokula wurden eigens für die Projekt-Versuche im IFP entwickelt. Die Mykorrhiza Produktion bzw. Vermehrung erfolgte im halboffenen System im Gewächshaus an ausgewählten Mutterpflanzen nach Beimpfung aus Vorkultur. Die Grundlage aller Versuchs-Inokula ist Wurzelpulver von vermahlenden Feinwurzeln der Vermehrungspflanzen. Die Qualitätsbestimmung erfolgt standardisiert als MPN – Test im Gewächshaus. Ermittelt wird die Anzahl der infektiösen Einheiten (mycorrhizal units oder MU) pro Volumen. Die Stärke der Wurzelbesiedelung wurde in allen Arbeitsschritten im Projekt (Mykorrhizierung im Inokulum/Mykorrhizierung im Feld) standardisiert nach der Methode Trouvelot gemessen. Im Projekt wurden mehrere Mykorrhizapilz-Gattungen in unterschiedlicher Mischung eingesetzt. Die Mykorrhiza Konzentration, d. h. die Anzahl der MU pro Fläche bzw. Saatkorn wurden variiert, das Trägermaterial war in beiden Versuchen identisch. (s. Tab. 6).

Tabelle 6: Entwickelte Inokula mit Trägermaterial und ausgebrachter Mykorrhizakonzentration

Versuch	Mykorrhizapilze	Trägermaterialien	Aufwandmengen [kg/ha]	Mykorrhizaeinheiten (MU) /Saatkorn Soja
V751	<i>Rhizophagus irregularis</i> ; <i>Funneliformis mosseae</i>	Blähton 0,5-2 Dichte 345 g/l	31	475
V804	<i>Rhizophagus irregularis</i> QS69; <i>Rhizophagus irregularis</i> MA 1; <i>Funneliformis mosseae</i> ; <i>Funneliformis caledonius</i>	Blähton 0,5-2	12,5	83

Ausbringung des Inokulums zur Sojaussaat (V751, V804):

Die als Wurzelpulver entwickelten Versuchsinokula wurden sehr sorgfältig mit dem verwendeten Trägermaterial Blähton und den Rhizobien per Hand vorgemischt und mit aufgesatteltem Mikrogranulatstreuer mit der Sojaussaat in einem Arbeitsgang ausgebracht. Die Ablage erfolgte direkt in das Saatband auf Ablagetiefe der Saatkörner.

Einsatz von Elicitoren:

In V751 und V804 wurden Elicitoren zur Verbesserung der Mykorrhizaaktivität eingesetzt. Die Ausbringung erfolgte mit der Feldspritze bei wüchsiger Witterung zur Ausprägung der Seitensprosse vor der Blüte(ca. BBCH25):

Tabelle 7: Elicitoren und Aufwandmengen in den Soja-Feldversuchen

Versuch	Elicitor	Konzentration	Spritzung [l/ha]
V751	D (+)-Xylose	100 ppm (10 g/100 l)	450
V804	Maltose	100 ppm	500



Abb. 10: Versuchsanlage zu V804 am 06.05.2018 (li), Elicitor-Spritzung am 23.06.2018 (re)

Versuchsanlage

Die Versuche V751 und V804 wurden identisch in vier Wiederholungen als Streifenanlage mit GPS-Technik eingedrillt (6x100 m Parzellengröße, s. Abb. 11 u. 3).

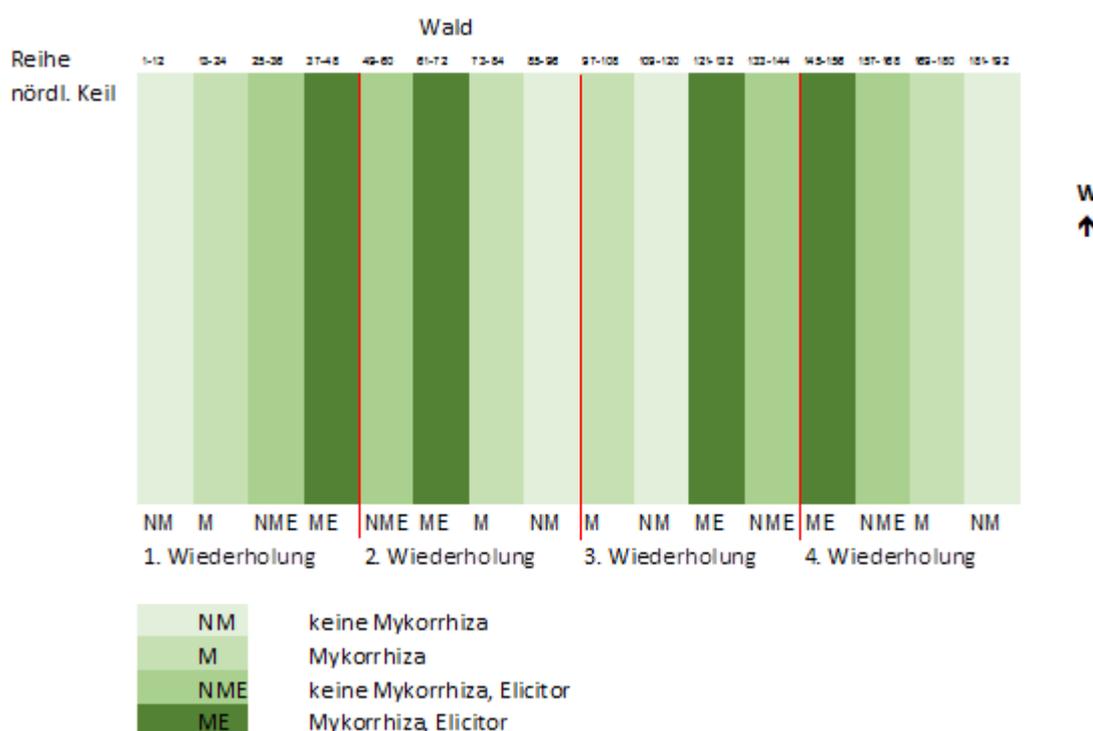


Abb. 11: V804
Versuchsplan auf
Schlag
Schriebeneitz,
Parzellengröße
6x100 m

V Versuchsergebnisse

Ausbringungstechnik

In V751 und V804 funktionierte die Ausbringung mit Trägermaterial Blähton 0,5 – 2 analog zu den Maisversuchen V750 und V805 ebenfalls hervorragend. Das Inokulum haftet, auch in Verbindung mit dem zugemischtem Rhizobienpräparat, nicht an Maschinenteilen des Granulatstreuers sowie der Zuführung zum Säschar an. Die Ablage des Granulats war exakt und über die Arbeitsbreite gleichmäßig verteilt.

Dass die Ausbringungstechnik exakt war, wurde im Verlauf der Pflanzenentwicklung auch mit dem bloßen Auge sichtbar, denn die in der Mischung mit ausgebrachten Rhizobien entwickelten sich kräftig (s. Abb.12).



Abb. 12: Vitale (im Anschnitt rotfleischig) und gut entwickelte Rhizobien an den Versuchspflanzen aus V751 am 02.08.2017

Kornertrag



Abb. 13: Versuchsernte in V751, 17.10.2017

Die Ergebnisse zum Kornertrag sind nahezu identisch im Vergleich der Versuche (s. Abb. 14). In V804 wurde eine kleine Kornertragssteigerung von 0,9 dt/ha (+4 %) in der Variante ME gemessen. Ebenfalls aber auch in der Variante NME (1,2 dt/ha+ 5 %)

In V804 wurde auch der Eiweißgehalt bonitiert. Auch hier keine signifikanten Unterschiede, der Eiweißgehalt liegt zwischen 47,9 % und 48,2 % im Mittel der Varianten

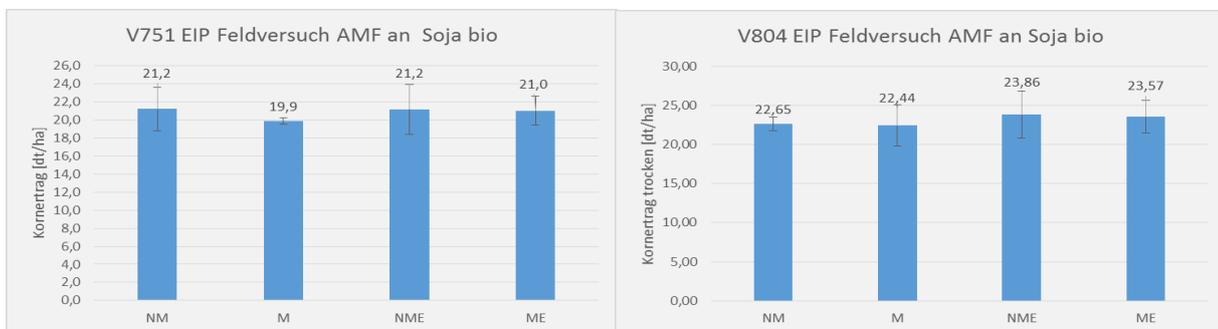


Abb. 14: Kornerträge der Versuchsvarianten aus V751 und V804

Mykorrhizierung

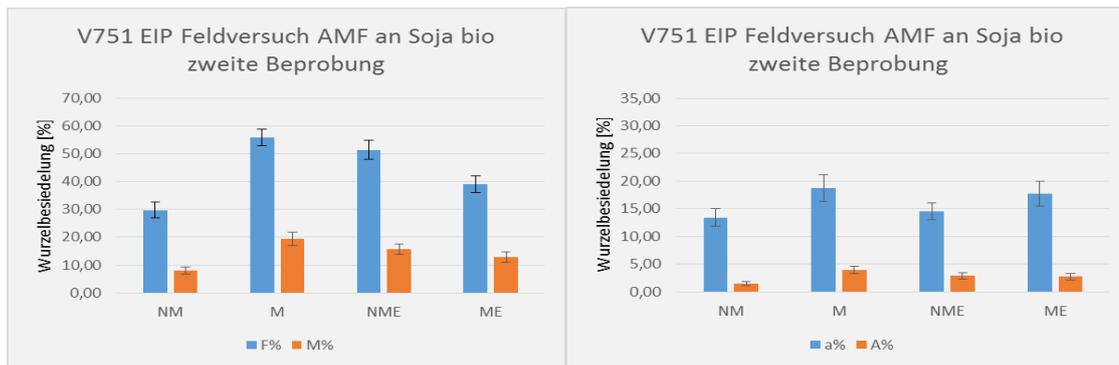


Abb. 15: Ergebnisse zur Mykorrhizierung von Soja bio im Feld in V751

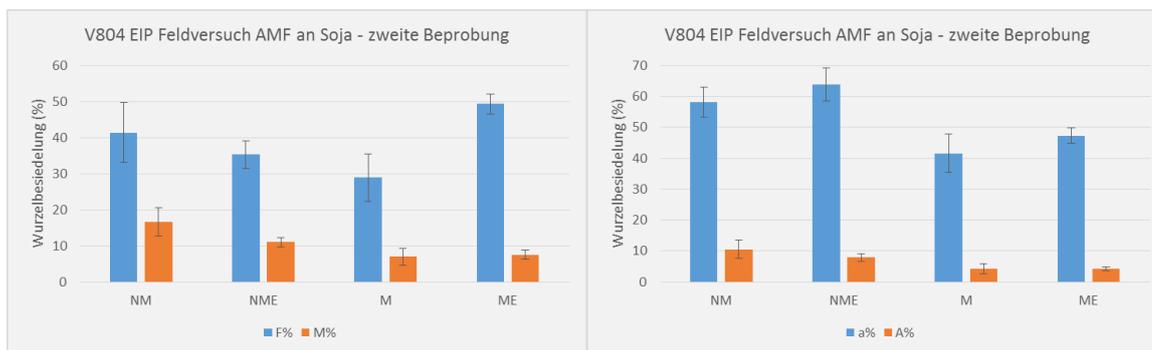


Abb. 16: Ergebnisse zur Mykorrhizierung von Soja bio im Feld in V804

Legende: F%: Häufigkeit der Mykorrhiza im Wurzelsystem, M%: Intensität der Mykorrhizierung in den Wurzeln, a% Häufigkeit der Arbuskel in der Wurzel, A% Häufigkeit der Mykorrhiza im Wurzelsystem

Die Mykorrhizierung war in beiden Versuchen in allen Varianten mittel bis gut. Während in V751 die Variante M im Vergleich zur Kontrolle besser mykorrhiziert war, wiederholte sich dies in V804 nicht. Auffällig ist die gute Mykorrhizierung in den Kontrollen (s. Abb. 15 u. Abb. 16).

Diskussion

Wie die Versuche am Körnermais, haben auch die Soja-Feldversuche gezeigt, die Mykorrhizierung der Sojapflanzen ist unter Praxisbedingungen im Feld am Versuchsstandort zu erreichen. Mit dem entwickelten Ausbringungsverfahren konnte eine exakte und genau dosierte Ablage erzielt werden. Das Verfahren Ausbringung per Mikrogranulatstreuer ins Saatband ist unkompliziert und ohne zusätzlichen Arbeitsgang in den Ablauf der Soja-Bestellung zu integrieren. Kritisch zu sehen, ist auch hier wieder das aufwändige Untermischen des Inokulum-Konzentrats in das Trägermaterial. Ein noch zu entwickelndes einsatzfertiges Granulat verbessert die Anwendung für die Praxis deutlich und sorgt außerdem für Anwendungssicherheit (keine Entmischung möglich).

Die parallel erfolgte und erfolgreiche (s. Abb.12) Ausbringung der Rhizobien war quasi eine zusätzliche Erfolgskontrolle zur Verfahrenstechnik.

Die Ergebnisse zur Mykorrhizierung zeigen in den Sojaversuchen, ebenfalls wie im Mais, eine starke natürliche Mykorrhiza in der Kontrolle. Der Grund liegt wieder in der langjährigen pfluglosen (allerdings seit 2018 Rück-Umstellung zum Pflug, V804) Bio-Bewirtschaftung der Flächen. Auch nach dem ersten Pflügen war die Mykorrhizierung der Kontrolle noch hoch.

Warum die zugesetzte Mykorrhiza in beiden Versuchen nicht ertragswirksam war, lässt sich nicht eindeutig feststellen. Folgende Faktoren können eine Rolle spielen:

- Zum einen kann die stark vorhandene natürliche Mykorrhiza die Wirkung der zugegebenen Mykorrhiza überdeckt haben. Dem widerspricht allerdings die verbesserte Mykorrhizierung der behandelten Varianten im Vergleich zur Kontrolle im Verlauf der Vegetationsperiode zumindest in V751 (s. Abb. 15).
- Im Vergleich zum Mais war die Mykorrhiza-Konzentration/Saatkorn um den Faktor 10 reduziert, das heißt, die Aufwandmenge war eventuell zu niedrig. Dem widersprechen ebenfalls die Mykorrhizierungsergebnisse. Aber ein Folgeversuch mit aktuellem hoch infektiösen Inokulum mit einer vierstelligen Konzentration von MU/Saatkorn (wie im erfolgreichen Maisversuch V750, 3.590 MU/Saatkorn) sollte unternommen werden.
- Die wachstumsfördernde Wirkung der Mykorrhiza entfaltet sich besonders unter Einwirkung von Stressfaktoren. Eventuell waren die Versuchsbedingungen zu optimal (vgl. V805 im Mais). Alle Grundnährstoffe in beiden Versuchen in Klasse C – intensive Beregnung in 2018. Es ist außerdem anzunehmen, dass die gut entwickelten Rhizobien die Stresstoleranz der Pflanzen schon so weit fördern, dass die Mykorrhiza zusätzlich nicht mehr zum Tragen kommt. Die Kornerträge spiegeln optimale Wachstumsbedingungen jedoch nicht wider, sie liegen niedriger als erwartet.

Aufgrund der ausgebliebenen Steigerung im Kornertrag war keine Wirtschaftlichkeit der Mykorrhiza-Anwendung am Versuchsstandort gegeben. Bei einem Marktpreis von aktuell 790 €/t (Bioland, netto ab Hof/Quelle M. Cordts 2019), und mit einer Mykorrhizagabe von 100 ml/ha aktuellem hochinfektiösem Inoq Wurzelpulver (550.000.000 MU/100 ml, dann 785 MU/Saatkorn bei 700.000 Körnern/ha) müssen mindestens 3 dt/ha mehr geerntet werden, um kostendeckend zu werden.

Versuchskultur Kartoffel

In der Projektlaufzeit wurden vier Feldversuche zum Mykorrhiza Einsatz im konventionellen Anbau von Kartoffeln durchgeführt (V664 2016, V548 2016/2017, V746/2017, V803 2018). Versuchsbetrieb für alle Kartoffel-Versuche war der Kartoffel-Spezialbetrieb Hof Trumann in Waddeweitz, Groß Gaddau, im nordöstlichen Niedersachsen. Der Betrieb hat seinen Sitz 10 km östlich des Göhrde-Drawehn-Höhenzugs mit vergleichbaren Klimadaten wie am Biolandhof Cordts. Nicht identisch allerdings die Bodenbedingungen: Versuchsstandort waren die Schläge Bergfeld (V548/V746) und Sandberg (V803) in der Gemarkung Waddeweitz Schlanze (35 – 45 BP), gelegen im anlehmigeren klassischen Ackerbau-Gürtel östlich des Drawehns. Dagegen Schlag Hohlweg (25 BP/V664) in der Gemarkung Clenze Lefitz, gelegen unmittelbar an der Waldkante des östlichen Drawehns, ein Grenzertrags-Standort. Die Grundnährstoffe der Versuchsböden waren in Gehaltsklasse B und C der pH lag zwischen 4,7 und 4,9.

Vorfrucht war Winterroggen (V664/V803) und Winterweizen (V746) mit nachfolgendem Zwischenfruchtgemenge Ölrettich/Glatthafer. Zu V803 keine Winterzwischenfrucht. Die Grundbodenbearbeitung erfolgte in allen Versuchen mit dem Pflug. Gedüngt wurde einheitlich: N-reduziert 110 kg/ha (AHL, statt 145 kg/ha/-24 %), keine P-Gabe, K₂O 140 kg/ha (40er Kornkali).

Gepflanzt wurde in V664 und V 548/V746 zweireihig im Beetverfahren, mit 90 cm Reihenabstand und folgenden Sorten und Saatstärken:

Tabelle 8: Kartoffelsorten und Pflanzstärken im Projekt AMF Agri

Versuch	Sorte	Pflanzstärkestärke [Knollen]/ha]
V664	Wega	90.000
V548/V746	Milva	90.000
V803	Jasia (Stärke)	Parzellenversuch

In Parzellenversuch V803 erfolgte die Pflanzung mit der Hand nach Vorlochung (Lochstern). Reihenabstand 75 cm, Parzellengröße vierreihig a 10 Pflanzen/Reihe, mit 34 cm Pflanzenabstand in der Reihe.

Der Pflanzenschutz wurde in allen Versuchen intensiv nach Befall bzw. Warnhinweis (s. Abb. 17 für V546/V748) durchgeführt. Die Mittelauswahl erfolgte nach vorheriger Prüfung (Literatur-Recherche) zur Mykorrhiza-Verträglichkeit.

Schlagbezogene Aufzeichnungen – Kartoffeln.

Kultur: Spreckartoffeln Sorte: Julinke, Milva

Betriebsnummer: 0454 52 03 16 98 55 6 Erntejahr: 2017

Schlag:		Bezeichnung / Nr.:		Parzelle:	Satz:	Fläche: <u>16,95</u> ha		
Durchgeführte Pflanzenschutzmaßnahmen:								
Datum der Anwendung	Stadium	Pflanzenschutzmittel (Handelsname)	Aktiver Wirkstoff	Aufwandmenge* l/ha, kg/ha	Begründung/Anwendungsgebiet Bemerkung/Befallstärke	Wartezeit / frühestmöglicher Erntebeginn	Verwendetes Pflanzenschutzgerät	Name / Unterschrift des Anwenders
24.04.17	01	Moucron G		60 ml/ha	Rizotonia	7	Grüne	B.V.
08.05.17	10	Boxer/Baudur		225 l/ha	Verunkrautung		Amazona	B.V.
14.06.17	40	Dufinivo		1,5 l/ha	Krautfäule	✓		B.V.
21.06.17	40	Dufinivo		1,5 l/ha			✓	B.V.
27.06.17	50	Revus Top		0,6 l/ha				B.V.
3.07.17	50	Banjo Forte		1 l/ha				B.V.
13.07.17	60	Banjo Forte		1 l/ha				B.V.
18.07.17	70	Shirlan		0,4 l/ha				B.V.
27.07.17	70	Shirlan		0,4 l/ha				B.V.
01.08.17	80/81	Raiman Top		0,5 l/ha				B.V.
*Die Menge kann sich alternativ auch auf die Parzellen-/Schlaggröße beziehen								
Grundbearbeitung / mechanische Pflegemaßnahmen				Beregnung				
Datum	Stadium	Maschine		Datum	Stadium	Bewässerungsmenge (mm)		
10.04.17		Grubber						
24.04.17		Pflanzmaschine						

5.08.17	80/81	Raiman Top	0,5 l/ha	Krautfäule		B.V.
10.08.17	80/81	Raiman Top	0,5 l/ha	- " -		B.V.
15.08.17	89	Banjo Forte	1 l/ha	- " -		B.V.
21.08.17	90	Revue	2 l/ha	Reifebeschleunigung	10	B.V.

Version: 01.01.2018
(Stand 01.01.2014)

Abb. 17: PSM-Maßnahmen in V548/V746 auf Schlag Bergfeld.

Die Versuchssorte Jasia in V803 wurde nicht gebeizt, aufgrund der anhaltend trockenen Witterung war nur eine Krautfäule-Spritzung erforderlich.

Eingesetztes Inokulum

Die im Projekt verwendeten Inokula wurden eigens für die Projekt-Versuche im IFP entwickelt. Die Qualitätsbestimmung erfolgt standardisiert als MPN – Test im Gewächshaus. Ermittelt wird die Anzahl der infektiösen Einheiten (mycorrhizal units oder MU) pro Volumen. Die Stärke der Wurzelbesiedelung wurde in allen Arbeitsschritten im Projekt (Mykorrhizierung im Inokulum/Mykorrhizierung im Feld) ebenfalls standardisiert nach der Methode Trouvelot gemessen. Im Projekt wurden mehrere Mykorrhizapilz-Gattungen in unterschiedlicher Mischung eingesetzt. Die Mykorrhiza Konzentration, d. h. die Anzahl der MU pro Fläche bzw. Saatkorn sowie das Trägermaterial wurden ebenfalls variiert (s. Tab. 2).

Tabelle 9: Entwickelte Inokula mit Trägermaterial und ausgebrachter Mykorrhizakonzentration

Versuch	Mykorrhizapilze	Träger-materialien	Aufwand-mengen [kg/ha]	Mykorrhizaeinheiten (MU) /Pflanze
V664	<i>Rhizophagus irregularis</i>	Sand/ Vermiculite	AMF1: 0,74 AMF2: 3,7 AMF3: 7,4 AMF4: 14,8 AMF5: 16	AMF1: 1.000 AMF2: 5.000 AMF3: 10.000 AMF4: 20.000 AMF5: 25.000
V548	<i>Rhizophagus irregularis</i>	Blähton 0,5-2 mm Dichte 345 g/l	170	Inokulum (AMP) 1: 306 Inokulum (AMP) 2: 917
V746	<i>Rhizophagus irregularis</i> QS69; <i>Rhizophagus irregularis</i> MA 1; <i>Funneliformis mosseae</i> ; <i>Funneliformis caledonius</i>	Blähton 0,5-2 mm	31	5.151
V803	<i>Rhizophagus irregularis</i> QS69; <i>Rhizophagus irregularis</i> MA 1; <i>Funneliformis mosseae</i> ; <i>Funneliformis caledonius</i>	Kein Träger-material	100 mg Wurzelpulver/ Knolle	29.500

Ausbringung des Inokulums zur Kartoffelpflanzung:

Die als Wurzelpulver entwickelten Versuchs-Inokula wurden sehr sorgfältig mit den verwendeten Trägermaterialien (s. Tab. 8) per Hand vorgemischt und ebenfalls manuell mit Messbecher dosiert während des Kartoffellegens in den Ablageschacht der Pflanzmaschine gegeben. Im Parzellenversuch V803 wurde direkt auf die Knolle inokuliert in Kombination mit 5 ml Lactat/Knolle (s. Abb. 18, Konz. 0,1 ml/l)



Abb. 18: V803 manuelle Inokulation im Parzellenversuch

Ausbringung des Inokulums zur Zwischenfrucht vor Kartoffeln (V548)

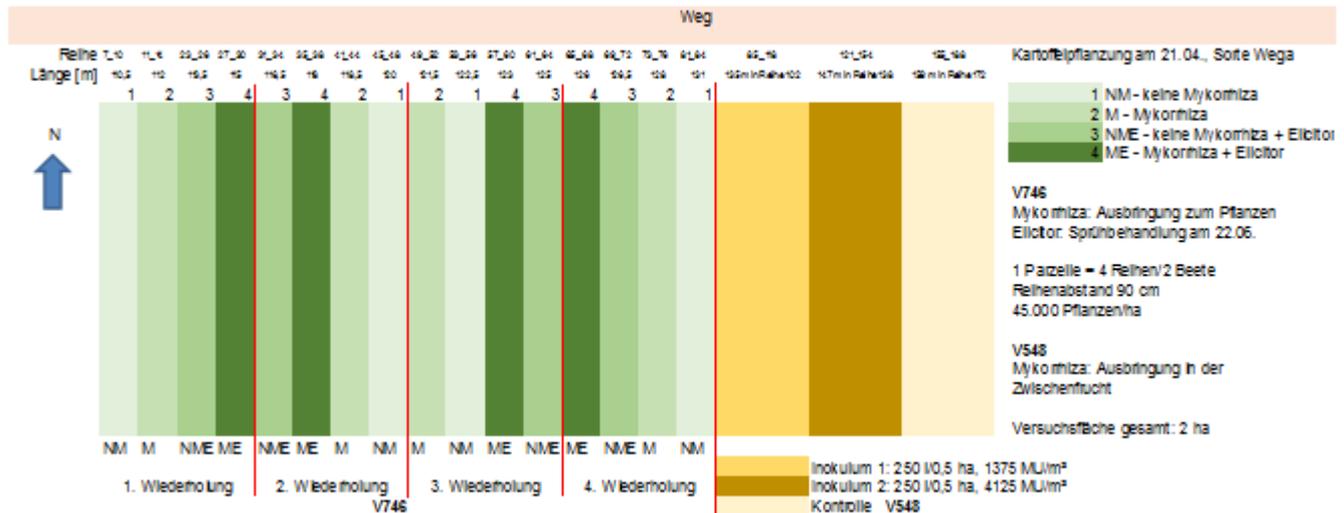
Unmittelbar vor der Aussaat der Zwischenfruchtmischung (Ölrettich/Glatthafer) wurde das vorgemischte Inokulum auf Trägermaterial Blähton (s. Tab. 8) mit einem Schleuderstreuer auf den Versuchspartellen ausgestreut und sofort mit dem Grubber flach eingearbeitet (UV-Schutz).

Einsatz von Elicitoren

In V746 wurde D (+)-Xylose als Elicitor zur Verbesserung der Mykorrhizaaktivität eingesetzt. Die Ausbringung erfolgte als Spritzung vor der Blüte (BBCH30) in der Konzentration 10 g/l mit 300 l/ha. In V803 wurde Lactat mit 5 ml Lactat/Knolle (Konzentration 0,1 ml/l) direkt auf die Knolle gegeben.

Versuchsanlagen Feld

Die Versuche V664 und V746 wurden als Streifenanlagen eingerichtet. V664 war als Vorversuch konzipiert mit fünf Inokulum -Konzentrationen auf je 1.000 m². V746 wurde mit vier Varianten in vier Wiederholungen angelegt (Parzellengröße 500 m²), der Zwischenfruchtversuch V548 wieder großflächiger mit 0,5 ha/Variante (s. Abb. 19).



Knollenertrag

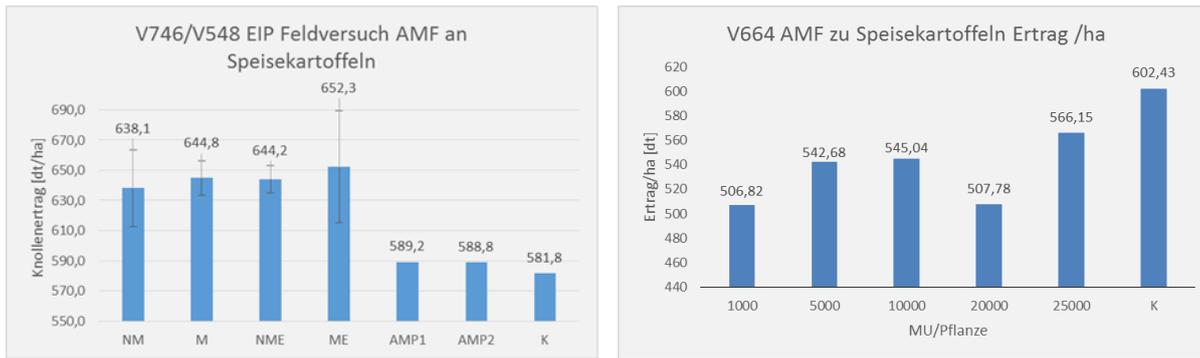


Abb. 20: Knollenerträge aus V664 und V746/V548 im Vergleich

In V746 konnte keine signifikante Steigerung des Knollenertrags in den Varianten M und ME erreicht werden, bei einer Mykorrhiza-Konzentration von knapp über 5.000 MU/Pflanze. Dagegen war in V664 ein nach der Mykorrhiza-Aufwandmenge abgestufter Erntertrag zusehen, mit in der höchsten Konzentration 6 % weniger Ertrag als die voll N-gedüngte Kontrolle (s. Abb. 20). In V803 bewirkte die enorm hohe Mykorrhiza-Konzentration von 29.500 MU/Pflanze keinen einheitlichen Effekt auf den Knollenertrag (s. Abb. 21): Während in der ungedüngten mykorrhizierten Variante der Knollenertrag 16 % unter der Kontrolle lag, war er in der gedüngten mykorrhizierten Variante 15 % im Vergleich zur Kontrolle gesteigert.

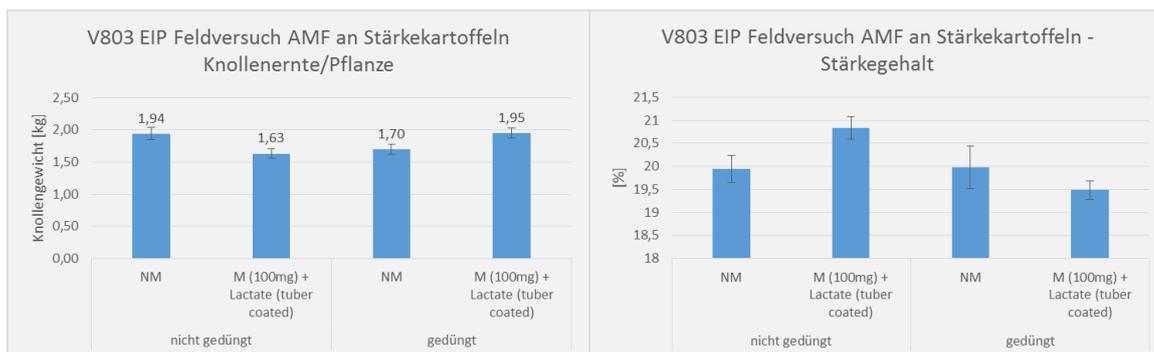


Abb. 21: Knollen- und Stärkeerträge aus dem Parzellenversuch V803

Dagegen lag der Stärkegehalt in der ungedüngten mykorrhizierten Variante um 0,9 % über der Kontrolle, jedoch in der gedüngten mykorrhizierten Variante 1 % unter der Kontrolle.

Im Versuch V548 Mykorrhizierung über Inokulation der Zwischenfrucht liegen die mykorrhizierten Parzellen im Knollenertrag nur knapp (1%) über der Kontrolle (s. Abb. 20).

Mykorrhizierung:

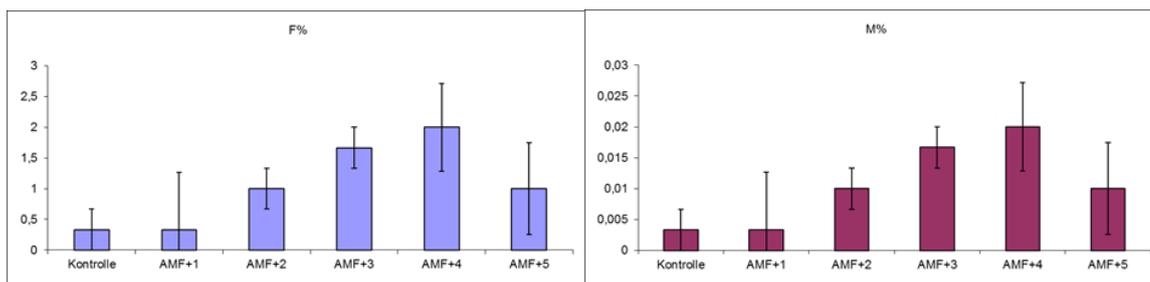


Abb. 22: Mykorrhiza Häufigkeit (F%) und Mykorrhiza Intensität (M%) in V664

Allein in V664 wurde eine Mykorrhizierung auf sehr niedrigem Niveau in den Wurzeluntersuchungen gemessen (s. Abb. 22). Sowohl in V746, als auch in V803 wurde keinerlei Mykorrhizierung zur Probenahme im Feld festgestellt. Auch nach der Inokulation der Zwischenfrucht waren die Wurzeln der Kartoffeln aus V548 nicht messbar von Mykorrhiza besiedelt. In allen durchgeführten Kartoffel-Feldversuchen waren die Kontrollen ohne Mykorrhizierung.

Versuchsergebnisse Topfversuche

V749 AMF an Körnermais Vergleich Topfsubstrate

Dieser Versuch wurde parallel zu V746 2017 angelegt. Aufgrund von anhaltendem Starkregen verfaulten jedoch die Knollen im Topf. Am 21.06. wurde badischer Landmais nachgesät, um noch Mykorrhizierungs-Ergebnisse aus dem eingesetzten Inokula zu erhalten. Alle Versuchsinokula konnten noch eine Mykorrhizierung am Mais bewirken, obwohl die vorher gesetzten Kartoffeln in den Töpfen verfault waren.

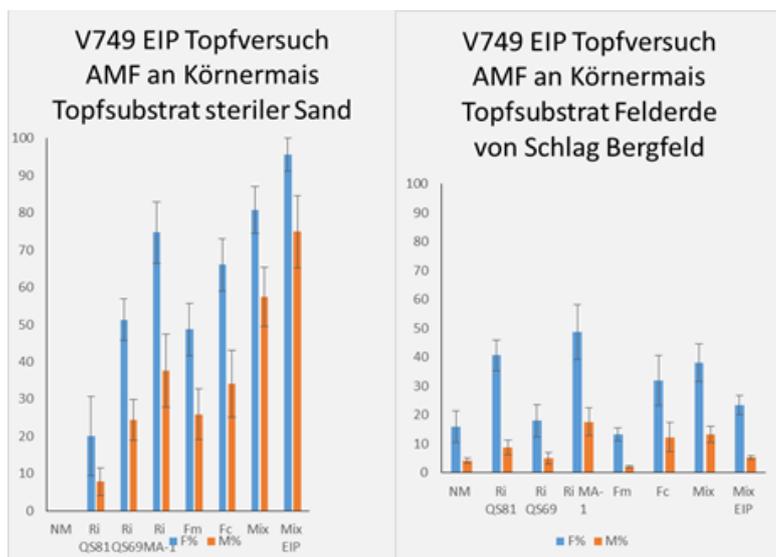


Abb. 23: Mykorrhizierungs-Ergebnisse von V749 für F% und M% im Vergleich Topfsubstrat steriler Sand und Topfsubstrat Felderde von Schlag Bergfeld.

Vergleichsweise gute Mykorrhizierung bewirkte das Versuchsinokulum aus dem Kartoffel-Feldversuch (Mix EIP). In der Intensität der Wurzelbesiedelung wurde im Vergleich der Topfsubstrate ein grosser Unterschied gemessen: Die Maiswurzeln waren im Substrat Sand mehr als doppelt so stark besiedelt wie im Substrat Felderde vom Versuchsfeld aus V746 (s. Abb. 23).

V820 AMF an Kartoffeln Einfluss von Topfsubstrats und biotischer Faktoren.

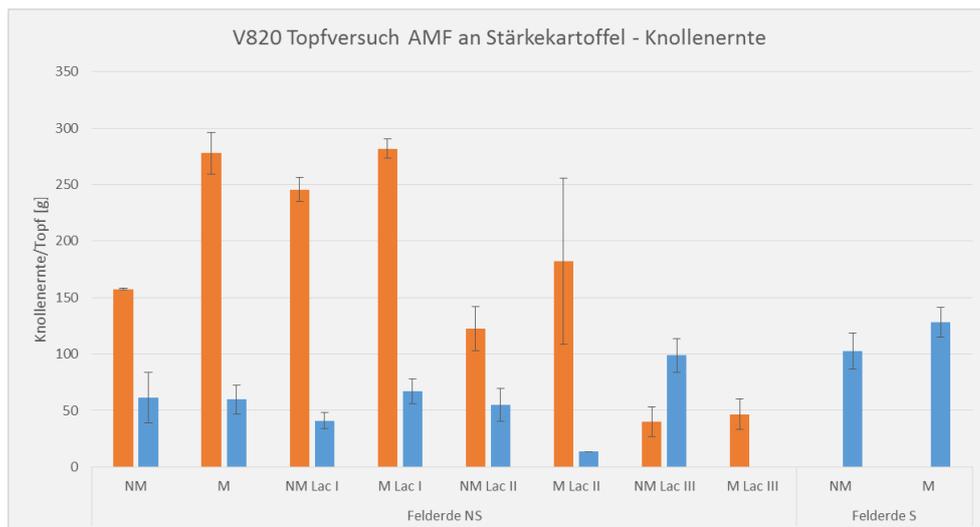


Abb. 24: Knollenerträge im Topfversuch auf Vermiculite/Sand (orange), Felderde (blau) von Schlag Sandberg (V803) nicht sterilisiert (NS) und sterilisiert (S).

Der Knollenertrag in der sterilisierten Vermiculite/Sand Mischung war im Mittel im Vergleich zur Felderde mehr als verdoppelt. Im Vermiculite/Sand Gemisch bewirkte die Zugabe der Mykorrhiza Ertragsverbesserung von 77 % zur Kontrolle. Mit zunehmender Lactat-Konzentration (Lac II und Lac III) war der Ertrag dann wieder reduziert. Zum Vergleich: im Feld (V803) wurde mit der Konzentration Lac I gearbeitet. Der Knollenertrag in der Felderde wurde durch die Zugabe der Mykorrhiza nicht gesteigert. Die Reaktion auf zunehmende Lactatkonzentration war uneinheitlich. Im Vergleich sterilisiert zu nicht-sterilisiert ist der Ertrag in der sterilisierten Felderde 70 % gesteigert, hier ist außerdem im Vergleich die mykorrhizierte Variante 25 % besser im Ertrag als die nicht mykorrhizierte Variante (s. Abb. 24).

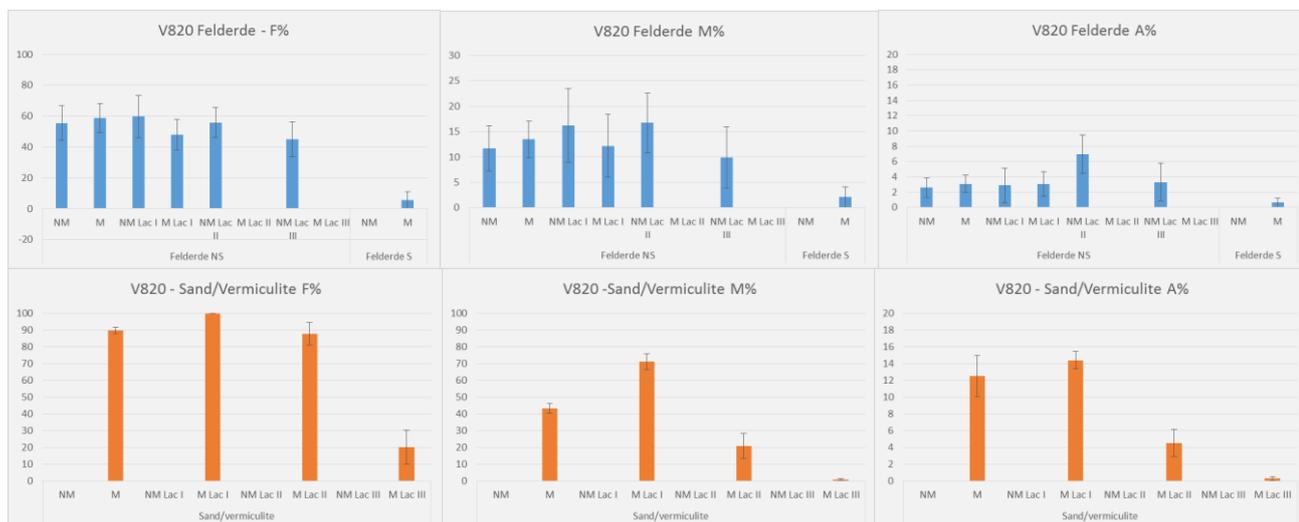


Abb. 25: Mykorrhizierungswerte F%, M% und A% aus V820

Eine Mykorrhizierung der Kartoffeln im Topf konnte sowohl in der Felderde als auch im Mix Vermiculite Sand erreicht werden. Dabei war die Mykorrhizierung im Mittel an den Pflanzen im Vermiculite/Sand Mix 50 % höher (F%). Die Mykorrhizierung der Kontrolle war in der Felderde mit 55 % (F%) hoch und konnte durch Zugabe von Mykorrhiza um max. 3 % (F%) gesteigert werden. Die Reaktion auf zunehmende Lactat-Konzentration ist in der Felderde uneinheitlich, im Vermiculite/Sand Mix nimmt die Mykorrhizierung deutlich ab. In der sterilisierten Felderde war nach Zugabe des Inokulums die Mykorrhizierung (F %) 5 % höher als in der Kontrolle.

Diskussion Arbeitspakete IFP

Die Versuchsergebnisse zeigen, dass die Kartoffel unter den Bedingungen des konventionellen Anbaus im Feld nicht erfolgreich mykorrhiziert werden konnte. Selbst in der aufwändigen Hand-inokulation mit hoher Konzentration im Parzellenversuch V803 gelang das nicht. Das Etablieren der Mykorrhiza im Feld über die Inokulierung der Zwischenfrucht war ebenfalls nicht erfolgreich.

Auffallend war auch das Fehlen natürlicher Mykorrhiza in den Kontrollen im Feld (Ausnahme Topfversuch V820).

Die Ertragsergebnisse sind auf diesem Hintergrund schwer zu beurteilen. Einzig am Grenzertragsstandort Schlag Hohlweg von V664 konnte eine abgestufte Ertragsverbesserung analog zur gesteigerten Mykorrhiza-Konzentration gemessen werden (s. Abb. 20), mit ebenfalls abgestuften Werten zur Mykorrhizierung, allerdings auf sehr niedrigem Niveau.

Die parallelen Topfversuche zeigten, dass die im Feld verwendeten Inokula vital waren (s. Abb.23 u. Abb. 25), auch im Hinblick auf die Wurzelbesiedelung in der Versuchskultur Kartoffel (s. V820, Abb. 25). Die Ergebnisse von V820 legen nahe, dass der Boden die Ursache für die schlechten Mykorrhizierungswerte der Feldversuche ist. Abiotische oder biotische Faktoren können der Auslöser sein. Die geringe Mykorrhizierung in der sterilen Felderde in V820 (s. Abb. 25) spricht eher für einen abiotischen Faktor, der die Mykorrhiza hemmt. Die Frage ist, ob die gute Versorgung der Böden mit Grundnährstoffen eine Rolle spielt. Die P-Konzentrationen in den Versuchsböden waren nach Bodenanalyse Lufa 60 ppm (V746, Schlag Bergfeld), 50 ppm (V803, Schlag Sandberg), aber ebenfalls 50 ppm auf Schlag Hohlweg (V664).

Das 2018 nur einmalig durchgeführte Spritzen gegen Krautfäule (V803) hat im Vergleich zum normal sehr intensiven Einsatz von Fungiziden im konventionellen Kartoffelbau (V746, s. Abb. 17) keine verbesserte Mykorrhizierung an den Kartoffeln bewirkt.

Letztlich müssen Versuche auf weiteren Standorten, besonders auch im Vergleich Konventionell zu Biobewirtschaftung folgen, um mehr Klarheit zu erhalten.

Im Rahmen des EIP Projekts AMF-Agri oblagen dem OG-Mitglied IGZ drei Aufgabenbereiche:

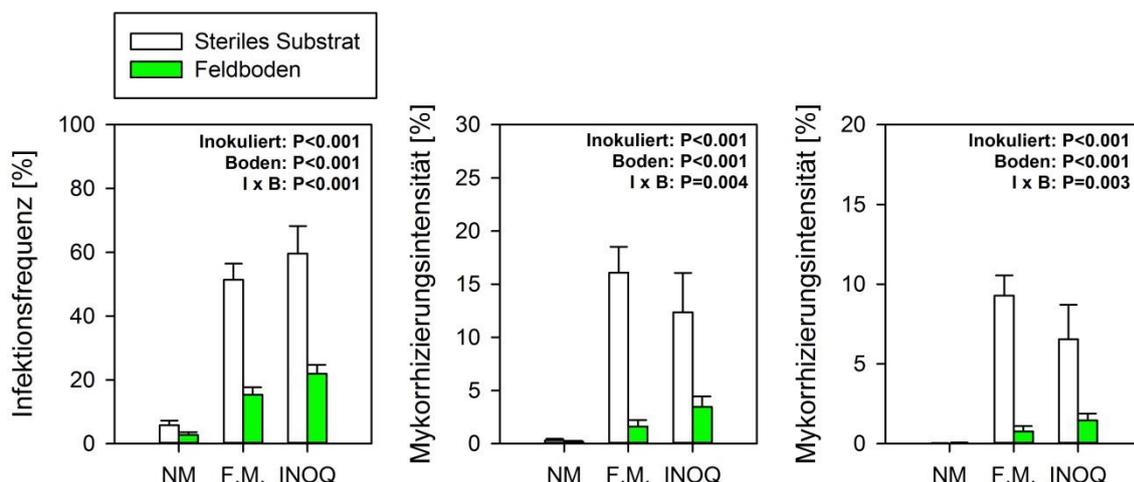
1. Etablierung eines molekularen Markers zur Verfolgung der eingesetzten Mykorrhizapilz-stämme
2. Funktionelle Analyse der Mykorrhiza unter kontrollierten Bedingungen
3. Funktionelle Analyse der Mykorrhiza im Feld

Diese Ziele konnten sämtlich erreicht werden. Es ist gelungen, einen molekularen Marker zur Verfolgung der eingesetzten Mykorrhizapilzstämme zu entwickeln, der im Feldversuch erfolgreich angewendet werden konnte. Die funktionelle Analyse der Mykorrhiza gelang für Kartoffel und Mais in Topfkulturen und für Mais in Feldkultur.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der einzelnen Teilschritte (nummeriert) gegliedert nach Geschäftsplan beschrieben:

1a) *Im Phytokammerversuch werden die Sorten von Kartoffeln und Körnermais, die in dem Projekt verwendet werden, angezogen und inokuliert. Nach der Ernte wird über Färbung und Abschätzung der Besiedelung der Wurzeln die Mykorrhiza quantifiziert. Über Ermittlung der Phosphoraufnahme und über Messungen der Photosynthese-Aktivität kann die die Mykorrhiza-Aktivität abgeschätzt werden.*

Dieser Versuch diente der Untersuchung, in wie weit die vom OG Mitglied „Institut für Pflanzenkultur“ für den Feldanbau entwickelten Mykorrhizapräparate zu einer Wurzelbesiedelung der Pflanzen führen und wie sich dies auf das Wachstum und Nährstoffaufnahme von Mais und Kartoffeln im Feldboden auswirkt. Im Rahmen dieses Versuches wurde die Wurzelbesiedelung mikroskopisch untersucht, die Nährstoffaufnahme bilanziert und die Photosyntheseleistung der Pflanzen als Basis für das Wachstumspotential gemessen. Um sicherzustellen und zu testen, dass etwaige Wachstums- und Besiedelungseffekte dem entwickelten Mykorrhizaprodukt zuzuordnen sind, wurden eine Reihe von Kontrollen im Experiment mitgeführt. Dazu gehörte die Anzucht von Pflanzen auf einem sterilen Substrat, da der unsterile Feldboden, auf dem die Feldapplizierung durchgeführt wird, auch natürliche vorkommende Mykorrhiza enthalten kann. Die Anzucht auf dem sterilen Substrat stellt folglich sicher, dass Pflanzensorte und –art kompatibel mit dem Mykorrhizaprodukt ist. Des Weiteren wurden Pflanzen mit einem am IGZ häufig verwendeten Mykorrhizapilz auf sterilem Substrat und dem Feldboden inokuliert, um zum einen die Effizienz des entwickelten Mykorrhizaprodukts anderen Inokulaten gegenüberzustellen, und um zu kontrollieren, ob die Entwicklung produktspezifischer molekularer Marker möglich ist.



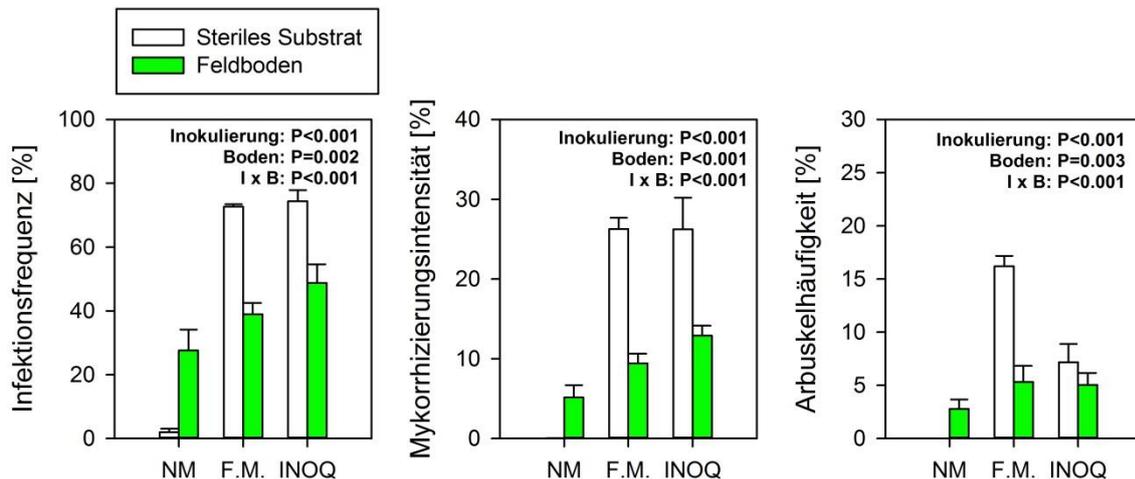


Abbildung 26: Infektionsfrequenz, Mykorrhizierungsintensität und Arbuskelhäufigkeit von Wurzeln der Kartoffel (oben) und Mais (unten) auf sterilem Sand/Vermiculit-Gemisch (weiß) und unsterilem Feldboden (grün), die mit einem autoklavierten Inokulum (nicht mykorrhiziert, NM), einem einzelnen Mykorrhizapilz (*Funneliformis mosseae*, F.M.) oder dem Mykorrhizaprodukt (INOQ) inokuliert wurden. Die Ergebnisse wurden mit zweifaktorieller ANOVA getestet. Die Faktoren mit einem P-Wert kleiner als 0,05 werden als signifikant verschieden angenommen.

Die Applizierung des Mykorrhizaprodukts führte zur erfolgreichen Besiedelung von Kartoffeln und Mais, sowohl auf dem sterilen Kontrollsubstrat als auch auf dem Feldboden. Generell wurden Wurzeln von Pflanzen auf dem sterilen Substrat besser besiedelt als auf dem Feldboden, was auf die Porenstruktur und/oder die veränderte Nährstoffverfügbarkeit zurückgeführt werden kann. Dennoch spiegeln die Besiedelungsgrade im Feldboden eine funktionelle Symbiose wider. Mehr noch, führte die Applikation des Mykorrhizaprodukts zu den höchsten Besiedelungsgraden in beiden Feldböden, obwohl besonders der biologisch bewirtschaftete Feldboden (Mais, Abbildung 26 unten) ein gutes Maß an eigenem Mykorrhizierungspotential aufwies.

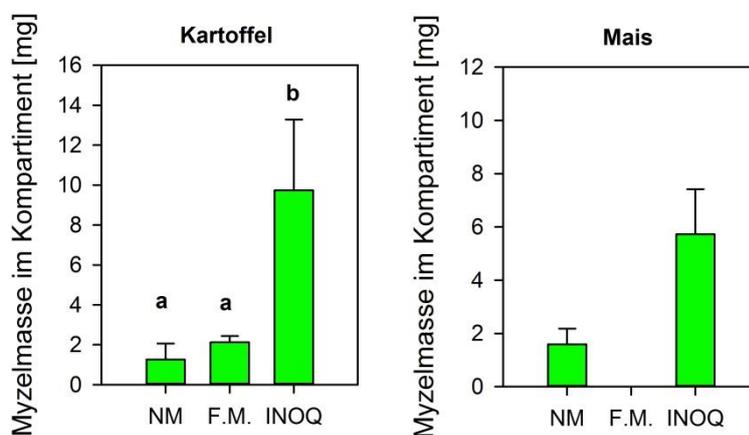


Abbildung 27: Myzelmasse im Boden aus Kompartimenten, die den Wurzeleinwuchs ausschlossen. Die Kompartimente wurden den Töpfen mit unsterilem Feldboden beigegeben, die mit einem autoklavierten Inokulum (nicht mykorrhiziert, NM), einem einzelnen Mykorrhizapilz (*Funneliformis mosseae*, F.M.) oder dem Mykorrhizaprodukt (INOQ) inokuliert wurden. Die Ergebnisse wurden mit einfaktorieller ANOVA getestet. Die Mittelwerte, die sich signifikant mit einem P-Wert kleiner als 0,05 unterscheiden, sind mit verschiedenen Buchstaben gekennzeichnet. In Maistöpfen inokuliert mit F.M. befanden sich keine Kompartimente.

Da mykorrhizierte Pflanzen nicht nur auf die Besiedelung in der Wurzel, sondern auch auf die Ausbreitung des Pilzes im Boden zur zusätzlichen Nährstoffaufnahme angewiesen sind, wurden in die Töpfe Kompartimente eingefügt, die Wurzeleinwuchs ausschlossen, aber pilzliche Besiedelung erlaubten. Aus diesen Kompartiment wurden die Pilzhyphen ausgewaschen und die Biomasse bestimmt.

Die Inokulierung mit dem Mykorrhizaprodukt führte sowohl in der Kartoffel- als auch in der Maistopfkultur zur stärkeren Myzelentwicklung außerhalb der Wurzel. In beiden Kulturen ist somit die Voraussetzung für eine bessere Nährstoffversorgung für die Pflanzen durch die Inokulierung mit den Mykorrhizaprodukten gegeben. Es existiert ein größeres Hyphennetzwerk zum Erschließen von Bodenressourcen (Abbildung 27) als auch eine intensivere Wurzelbesiedelung zum Austausch von Nährstoffen zwischen den Pflanze und Pilz (Abbildung 26).

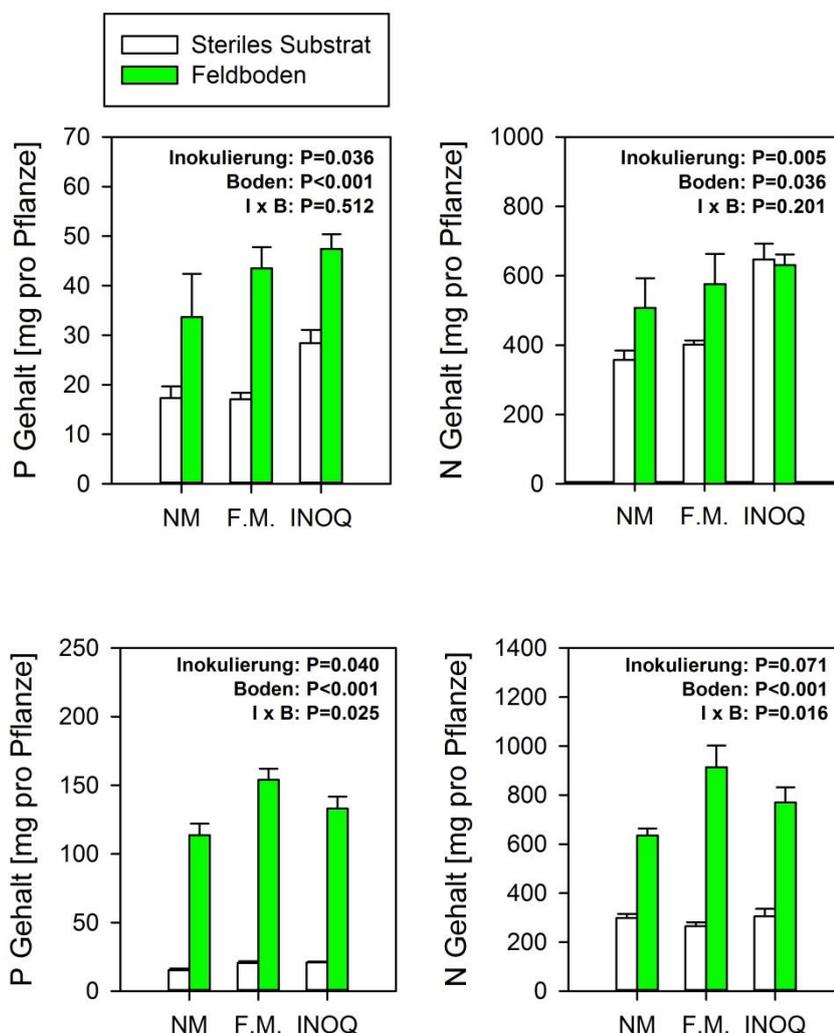


Abbildung 28: Phosphat- und Stickstoffaufnahme der Kartoffelpflanzen (oben) und Maispflanzen (unten) auf sterilem Sand/Vermiculit-Gemisch (weiß) und unsterilem Feldboden (grün), die mit einem autoklavierten Inokulum (nicht mykorrhiziert, NM), einem einzelnen Mykorrhizapilz (*Funneliformis mosseae*, F.M.) oder dem Mykorrhizaprodukt (INOQ) inokuliert wurden. Die Ergebnisse wurden mit zweifaktorieller ANOVA getestet. Die Faktoren mit einem P-Wert kleiner als 0,05 werden als signifikant verschieden angenommen.

In Übereinstimmung mit der Erhöhung der Besiedelung der Wurzeln durch Mykorrhiza-Applikation konnten inokulierte Kartoffel- und Maispflanzen bei gleicher Kulturdauer mehr Phosphat und Stickstoff in die Biomasse aufnehmen (Abbildung 28), wobei dieser Effekt für Stickstoffgehalte weniger sicher nachweisbar war. Die mit dem Mykorrhizaprodukt inokulierten Kartoffelpflanzen zeigten eine Wachstumssteigerung, während die inokulierten Maispflanzen gleiche Biomassen wie nicht inokulierte Pflanzen entwickelten. Dennoch ist festzuhalten, dass auch die Maispflanzen gesteigerte P Gehalte (tendenziell auch N) aufwiesen, was auf eine effizientere Akquisition von verfügbaren Nährstoffen in mykorrhizierten Pflanzen aus dem Feldboden hinweist (Abbildung 28).

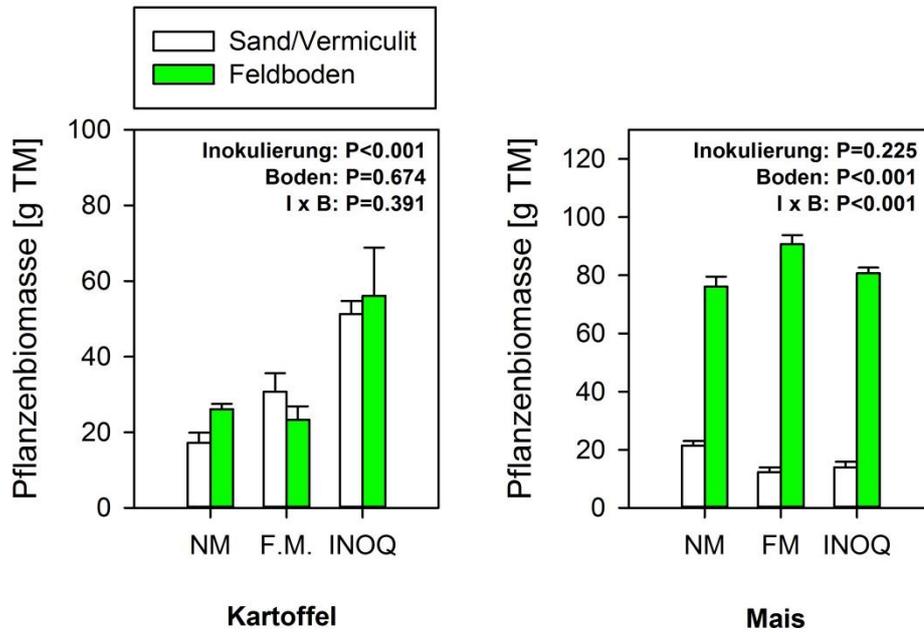


Abbildung 29: Biomassenentwicklung der Kartoffelpflanzen und Maispflanzen auf sterilem Sand/Vermiculit-Gemisch (weiß) und unsterilem Feldboden (grün), die mit einem autoklavierten Inokulum (nicht mykorrhiziert, NM), einem einzelnen Mykorrhizapilz (*Funneliformis mosseae*, F.M.) oder dem Mykorrhizaprodukt (INOQ) inokuliert wurden. Die Ergebnisse wurden mit zweifaktorieller ANOVA getestet. Die Faktoren mit einem P-Wert kleiner als 0,05 werden als signifikant verschieden angenommen.

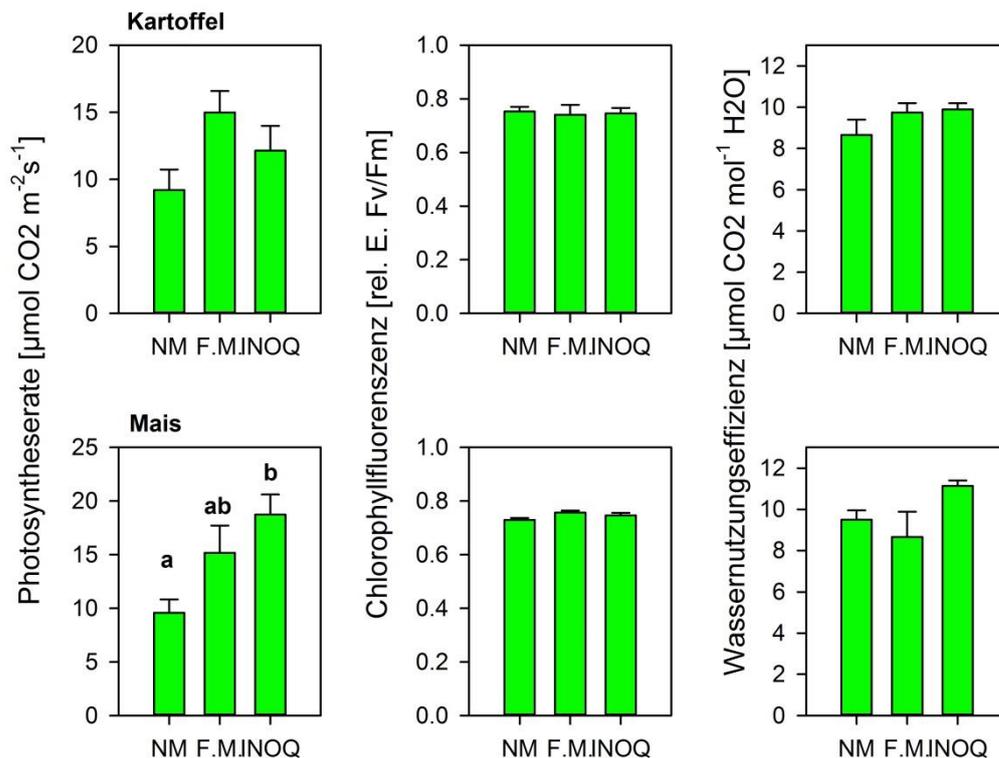


Abbildung 30: Blattphotosyntheserate, Chlorophyllfluoreszenz und Wassernutzungseffizienz der Photosynthese von Kartoffeln und Mais auf unsterilem Feldboden (grün), die mit einem autoklavierten Inokulum (nicht mykorrhiziert, NM), einem einzelnen Mykorrhizapilz (*Funneliformis mosseae*, F.M.) oder dem Mykorrhizaprodukt (INOQ) inokuliert wurden. Die Ergebnisse wurden mit einfaktorieller ANOVA getestet. Die Mittelwerte, die sich signifikant mit einem P-Wert kleiner als 0,05 unterschieden, sind mit verschiedenen Buchstaben gekennzeichnet.

Die Photosyntheseparameter wurden erfasst, um ein Maß für die Pflanzenaktivität zu gewinnen und um festzustellen, in wie weit Mykorrhizapilze diese Parameter beeinflussen. Zwar stieg die Photosyntheserate signifikant in Maispflanzen und tendenziell in Kartoffelpflanzen, wenn sie mit dem entwickelten Mykorrhizaprodukt inokuliert wurden, jedoch blieb die Chlorophyllfluoreszenz von jeglicher Behandlung unbeeinflusst. Die Werte der Chlorophyllfluoreszenz entsprechen Werten, die in gut ernährten und ungestressten Pflanzen normalerweise beobachtet werden und sind ein Maß für die Kapazität der Pflanzen, Lichtenergie für die Photosynthese zu nutzen. Wie hier kann die tatsächliche Photosyntheserate und die CO₂ Aufnahme ins Blatt gleichzeitig veränderlich sein, da die CO₂ Aufnahme im Blatt auch von einer Reihe anderer Faktoren, wie z.B. dem Schluss der Stomata abhängen kann.

Zusammengefasst ist zu schlussfolgern, dass das entwickelte Mykorrhizaprodukt zu einer stärkeren symbiotischen Assoziation zwischen Pflanzenarten und Pilz führt, zu besserem Wachstum und/oder Nährstoffaufnahme der Pflanzen beiträgt und die Mykorrhizabiomasse im Feldboden erhöht. Aus wissenschaftlicher Sicht konnten keine Hinweise gefunden werden, dass die Chlorophyllfluoreszenz als Maß zur Bestimmung der Mykorrhizawirkung auf Pflanzen dienlich ist. Vielmehr hingen Wachstum und Nährstoffaufnahme der Pflanzen mit dem Wurzelinfektionsgrad und der Ausbreitung des Hyphennetzwerks im Boden zusammen. Die Entwicklung des Pilzes innerhalb und außerhalb der Wurzel ist somit das Maß, dass die Effizienz der Mykorrhizasymbiose am besten widerspiegelt.

1b. Aus geerntetem Wurzelmaterial wird DNA extrahiert. Über PCR mit den Pilz-spezifischen Primer-Paaren kann die Mykorrhizierung quantifiziert werden.

Dieser Teilschritt diente dazu, um sicherzustellen, dass das applizierte Mykorrhizaprodukt auch die Wurzeln besiedelt. Dazu ist es wichtig, die applizierte Mykorrhiza von natürlich im Boden vorkommenden Mykorrhizapilzen abgrenzen zu können. Hierfür wurden zunächst DNA aus dem Mykorrhizaprodukt extrahiert, Teilstücke der DNA die charakteristisch für Mykorrhizapilze sind amplifiziert, kloniert und sequenziert. Dies wurde in gleicherweise für Wurzeln aus dem Feldboden gemacht und im Sequenzvergleich Primer entwickelt, die spezifisch für das applizierte Mykorrhizaprodukt sind.

Zunächst wurde durch DNA Extraktion und Sequenzvergleich aus den Feldböden beider Versuchsfelder anhand der Vorrucht nachgewiesen, dass arbuskuläre Mykorrhizapilze natürlich im Feld vorkommen (nicht gezeigt), was die Identifizierung und Abgrenzung des Mykorrhizaprodukts in den Wurzeln zum Nachweis des Anwacherfolges umso wichtiger macht.

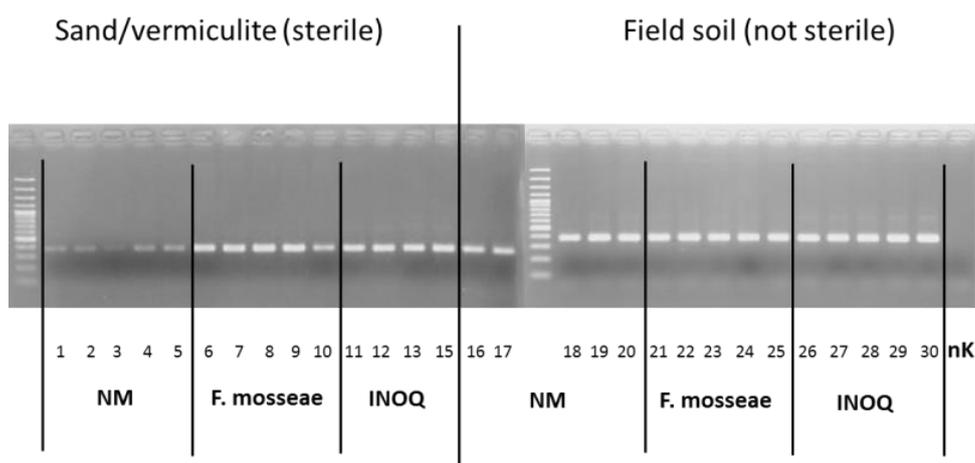


Abbildung 31: Gelbilder der PCR Produkte von DNA extrahiert aus den Wurzeln des Topfversuchs mit Mais, die mit einem autoklavierten Inokulum (nicht mykorrhiziert, NM), einem einzelnen Mykorrhizapilz (*Funneliformis mosseae*) oder dem Mykorrhizaprodukt (INOQ) inokuliert wurden. Es wurde das Primerpaar FLR3, FLR4 verwendet, welches spezifisch für arbuskuläre Mykorrhizapilze ist.

Die Verwendung der Glomeromycota-spezifischen Primer diente als Kontrolle zum Nachweis, dass auch pilzliche DNA aus den Wurzelproben gewonnen werden konnte (Abb. 6). Dies ist gelungen. Dass auch (in geringerer Intensität) DNA von *Glomus sp.* auf dem sterilen Substrat in den Kontrollen gefunden wurde, ist sehr wahrscheinlich ein Resultat der

Scheininokulierung mit autoklaviertem Inokulum. Im nicht-inokulierten Feldboden wurde auch Mykorrhiza-DNA nachgewiesen, was konsistent ist mit den Studien am Feldboden aus der Vorfrucht.

Anhand der isolierten DNA Sequenzen wurden nun Inokulum-spezifische Primer entwickelt und an den Wurzeln des Topfversuchs getestet. Um die Spezifität zu erhöhen wurde eine Touch-down PCR durchgeführt (5 Zyklen AT 62°C, dann -0,1°C pro Zyklus, 35 Zyklen).

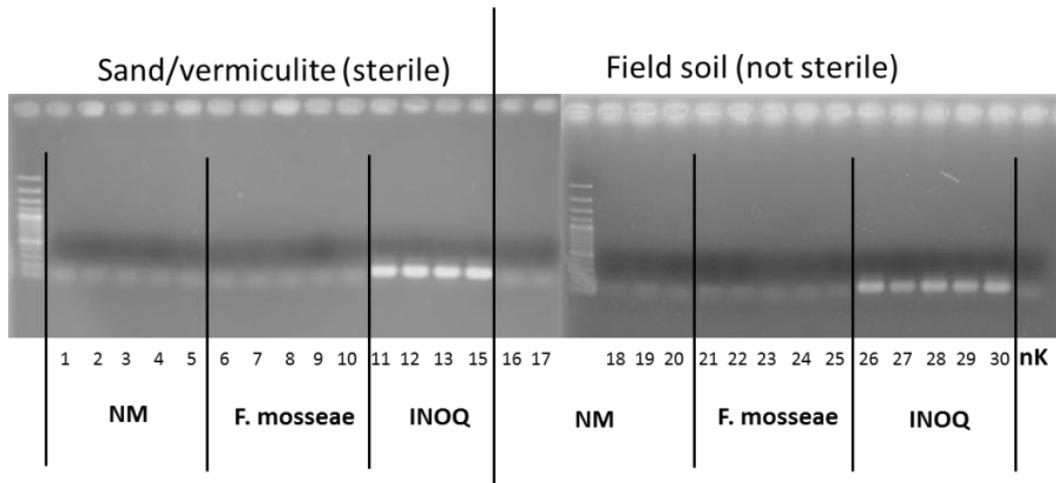


Abbildung 32: Gelbilder der PCR Produkte von DNA extrahiert aus den Wurzeln des Topfversuchs mit Mais, die mit einem autoklavierten Inokulum (nicht mykorrhiziert, NM), einem einzelnen Mykorrhizapilz (*Funneliformis mosseae*) oder dem Mykorrhizaprodukt (INOQ) inokuliert wurden. Es wurde ein Inokulum-spezifisches Primerpaar entwickelt und verwendet.

Anhand der gleichen Proben, konnte die gewünschte Spezifität des Primerpaars für das vom Projektpartner entwickelte Inokulum erreicht werden (Abb.7).

Primer: InocINOQ_for (GTGGTTGGTTAACATCAATTTTGRTTA) und
 InocINOQ_rev (GCACCAGAGCAACGATCAGAGAC)
 Amplicon Länge: 166 bp

Es ist somit gelungen ein Verfahren zu entwickeln, dass das applizierte Mykorrhizaprodukt in den Wurzeln von Pflanzen nachweist und von natürlichen Mykorrhizavorkommen abgrenzt. Dieses Verfahren diente im Folgenden zum Nachweis des Inokulums in den Wurzelproben aus dem Feldversuch (siehe 2b).

1c. Aus dem Wurzelmaterial wird ebenfalls RNA extrahiert und cDNA synthetisiert. Aus den weitgehend bekannten Genomsequenzen wird versucht Primer-Paare für Phosphattransporter(Pt)-Gene abzuleiten. In PCR Experimenten muss dann überprüft werden, ob die bisher bekannten Mykorrhiza-regulierten Pt Gene auch in den vorliegenden Sorten durch die Symbiose reguliert sind. Über Real-Time PCR kann dann in dem Wurzelmaterial die Mykorrhiza-Aktivität quantifiziert werden. Alternativ dazu können auch Gene für ein Kupfer-bindendes Protein herangezogen werden, die sich in der Vergangenheit in verschiedenen anderen Pflanzenarten als für die Quantifizierung geeignet gezeigt haben.

Es ist bekannt, dass arbuskuläre Mykorrhizapilze vor allem zur Phosphataufnahme der Pflanzen aus dem Boden beitragen. Bei Besiedelung der Wurzeln aktivieren sie die Expression von pflanzeigenen, aber für die Mykorrhiza spezifischen Phosphattransportergenen. Diese Phosphattransporter gewährleisten die Pflanzenphosphataufnahme über den Mykorrhizaweg und spiegeln die Aktivität/Intensität der Symbiose wider. In den Topfversuchen wurde nun getestet, ob eine zusätzliche Applizierung mit den Mykorrhizapräparaten zur einer Intensivierung dieser Phosphattransporterexpression führt. Hierfür wurde RNA aus den Wurzeln extrahiert und mit Hilfe von uns entwickelten Primerpaaren für diese Gene die Genexpression mittels quantitativer PCR ermittelt. Es wurden geeignete Kombinationen von Referenzgenen aus der Literatur ausgewählt und getestet.

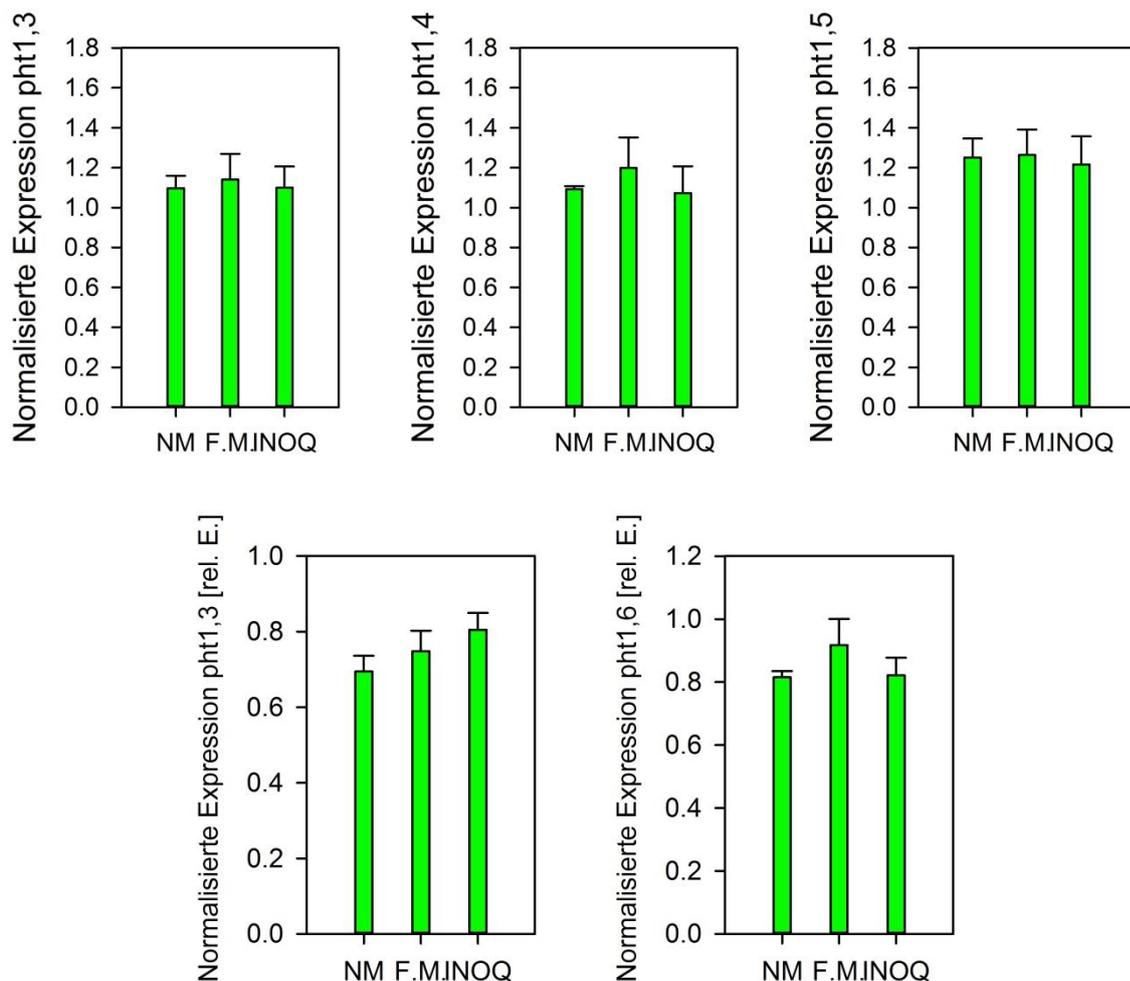


Abbildung 33: Genexpression der Phosphattransportergene von Kartoffeln (oben) und Mais (unten) auf unsterilem Feldboden (grün), die mit einem autoklavierten Inokulum (nicht mykorrhiziert, NM), einem einzelnen Mykorrhizapilz (*Funneliformis mosseae*, F.M.) oder dem Mykorrhizaprodukt (INOQ) inokuliert wurden. Die Ergebnisse wurden mit einfaktorieller ANOVA getestet und keine signifikanten Unterschiede gefunden.

Für die Kartoffel (Abb. 33 oben) sind drei Mykorrhiza-regulierte Phosphattransportergene bekannt, deren Expression stärker (pht1,3) oder spezifisch (pht1,4; pht1,5) für die Anwesenheit der Mykorrhiza in den Wurzeln ist. Mit Hilfe scheininokulierter Pflanzen auf dem sterilen Sand/Vermiculit-Gemisch konnte zunächst die niedrigere Expression von pht1,3 und die Abwesenheit der Expression der beiden Mykorrhiza-spezifischen Phosphattransportergene nachgewiesen werden (Daten nicht gezeigt). Im Feldboden, in dem auch in der nicht mykorrhizierten Variante natürliche Mykorrhiza zur einer gewissen Wurzelbesiedelung führte (siehe Abb. 26 oben), unterschied sich die Phosphattransporterexpression nicht von den zusätzlich inokulierten Varianten der Kartoffel.

Für Mais ist ein Gen für Phosphattransporter (pht1,6) bekannt, dessen Expression durch Mykorrhiza stimuliert wird (Abbildung 33, unten). Es wurde ein weiteres Gen von Mais mitgetestet, dessen Expression durch Phosphatmangel stimuliert wird (pht1,3). Für den Phosphattransporter, der durch Phosphormangel induziert wird, wurde eine wesentlich höhere Expression auf dem scheininokulierten Sand/Vermiculit-Gemisch als in allen anderen inokulierten Varianten nachgewiesen (Daten nicht gezeigt). Dies zeigt, dass Mykorrhiza generell den Phosphatmangel der Maispflanzen abmilderte, und ist in Übereinstimmung mit signifikant höheren Pflanzenphosphatgehalten (Abb. 28, unten). Das Mykorrhiza-regulierte pht1,6 Gen wurde in scheininokulierten Maiswurzeln auf sterilen Substrat schwächer exprimiert als in den inokulierten Varianten. Jedoch konnten hier ähnlich wie in der Kartoffel keine Unterschiede zu der Genexpression auf dem Feldboden mit einem natürlichen Mykorrhizierungspotential festgestellt werden.

Es kann geschlussfolgert werden, dass in Abhängigkeit von der Pflanzenart, Mykorrhiza-induzierte oder –regulierte Expression von Phosphattransportergenen eine Abmilderung des Phosphatmangels und eine erhöhte Phosphataufnahme in die Pflanze zur Folge haben. Es konnte jedoch keine Eignung dieser Expressionsmuster als quantitatives Merkmal für die Mykorrhiza-Aktivität im Feld nachgewiesen werden, da der Feldboden natürliche Mykorrhizierung erlaubt. Es ist festzuhalten, dass verbesserte Nährstoffaufnahme und/oder Pflanzenwachstum am besten durch die visuelle Quantifizierung der Mykorrhiza in der Wurzel und durch die Biomasse des Pilzes im Boden außerhalb der Wurzel erklärbar ist. Beides konnte durch das entwickelte Mykorrhizaprodukt in den Topfversuchen stimuliert werden.

2a. Während des Feldversuchs werden über Fluoreszenzmessungen die Photosynthese-Aktivität ermittelt. Biomassen werden bei der Ernte ermittelt und über Bestimmung der Phosphor Menge die Phosphoraufnahme kalkuliert.

2b. Wurzeln aus Kartoffeln und Körnermais werden nach der Ernte sofort in flüssigen Stickstoff eingefroren und im tiefgefrorenen Zustand zum IGZ transportiert. DNA und RNA werden extrahiert und die RNA in cDNA umgeschrieben. Über real-time PCR mit den vorher etablierten Primer-Paaren werden Mykorrhiza und Mykorrhiza-Aktivität quantifiziert.

In Zusammenarbeit mit den OG-Mitgliedern wurde eine Versuchsanlage entwickelt, die nicht-inokulierte, inokulierte und Areale enthielt auf denen die Wirkung von Elicitoren getestet wurde (Abb. 34).

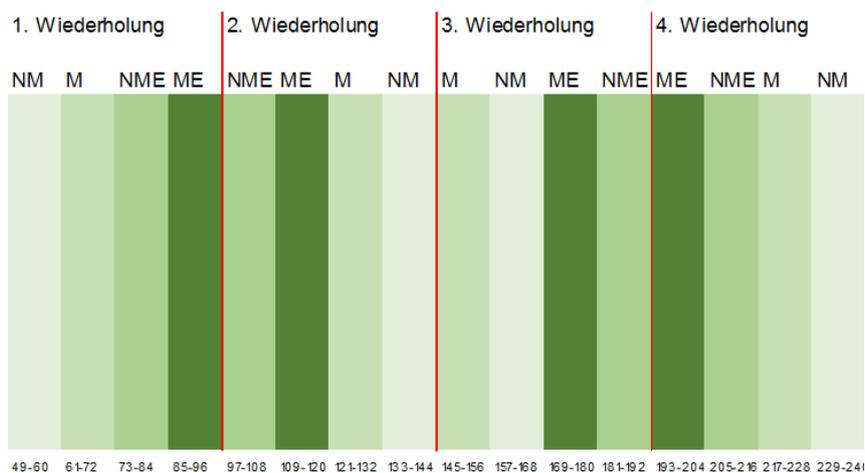


Abbildung 34: Die Versuchsanlage für den Mais mit 4 Wiederholungen. Von hell nach dunkelgrün: nicht mykorrhiziert (NM), nicht mykorrhiziert mit Applikation von Elicitor (NME; D-Xylose), inokuliert (M), inokuliert mit Elicitor (ME). In jeder Wiederholung wurden jeweils 3 Unterproben in der Länge in äquidistanten Abständen genommen.

In diese Versuchsanlagen wurden anstatt der Chlorophyllfluoreszenzmessung und Phosphattransporterexpressionstudien Kompartimente in den Boden eingebracht die die Quantifizierung der pilzlichen Biomasse im Boden erlauben, da sich dies als besseres Merkmal für die Wachstumsantwort und Nährstoffaufnahme in den Topfversuchen herausgestellt hatte. Es wurde überprüft, ob dies mit verändertem Pflanzenwachstum und verbesserter Nährstoffaufnahme in den inokulierten Arealen übereinstimmte. Hier wurde auch die Stickstoffaufnahme bilanziert, da sich in den Topfversuchen herausstellte, dass die Inokulierung auch zur Stickstoffaufnahme in Pflanzen beitragen kann.

Die Ergebnisse im Feldversuch mit Mais sind weitgehend konsistent mit denen des Topfversuchs (Abb. 35). Obwohl durch Inokulierung eine erhöhte Myzelmasse im Boden und die Wurzelkolonisierungsfrequenz mit den Nährstoffaustauschorganen des Pilzes (Arbuskeln) statistisch nicht einwandfrei belegt werden konnte, zeigte sich ein konsistenter Trend zwischen den Merkmalen der Pilzentwicklung und des Wachstums, der Phosphat- und der Stickstoffaufnahme der Pflanzen bis zum Bemessungszeitpunkt. Die Kombination von Elicitoren mit Mykorrhizaapplikation war das Verfahren, dass außer- und innerpflanzliche Pilzentwicklung stimulierte und Wachstumsförderung und verbesserte Nährstoffaufnahme der Pflanzen zur Folge hatte. Das Sinken des C/N

Verhältnisses in der Pflanzenbiomasse zeigt, dass Maispflanzen auf solch inokulierten Arealen vergleichsweise besser mit Stickstoff versorgt wurden. Das N/P-Verhältnis in den Pflanzen lag unter dem, das für optimal ernährte Maispflanzen (10) angenommen wird und weist auf relative Stickstofflimitierung hin. Diese Stickstofflimitierung konnte durch Mykorrhiza tendenziell abgemildert werden.

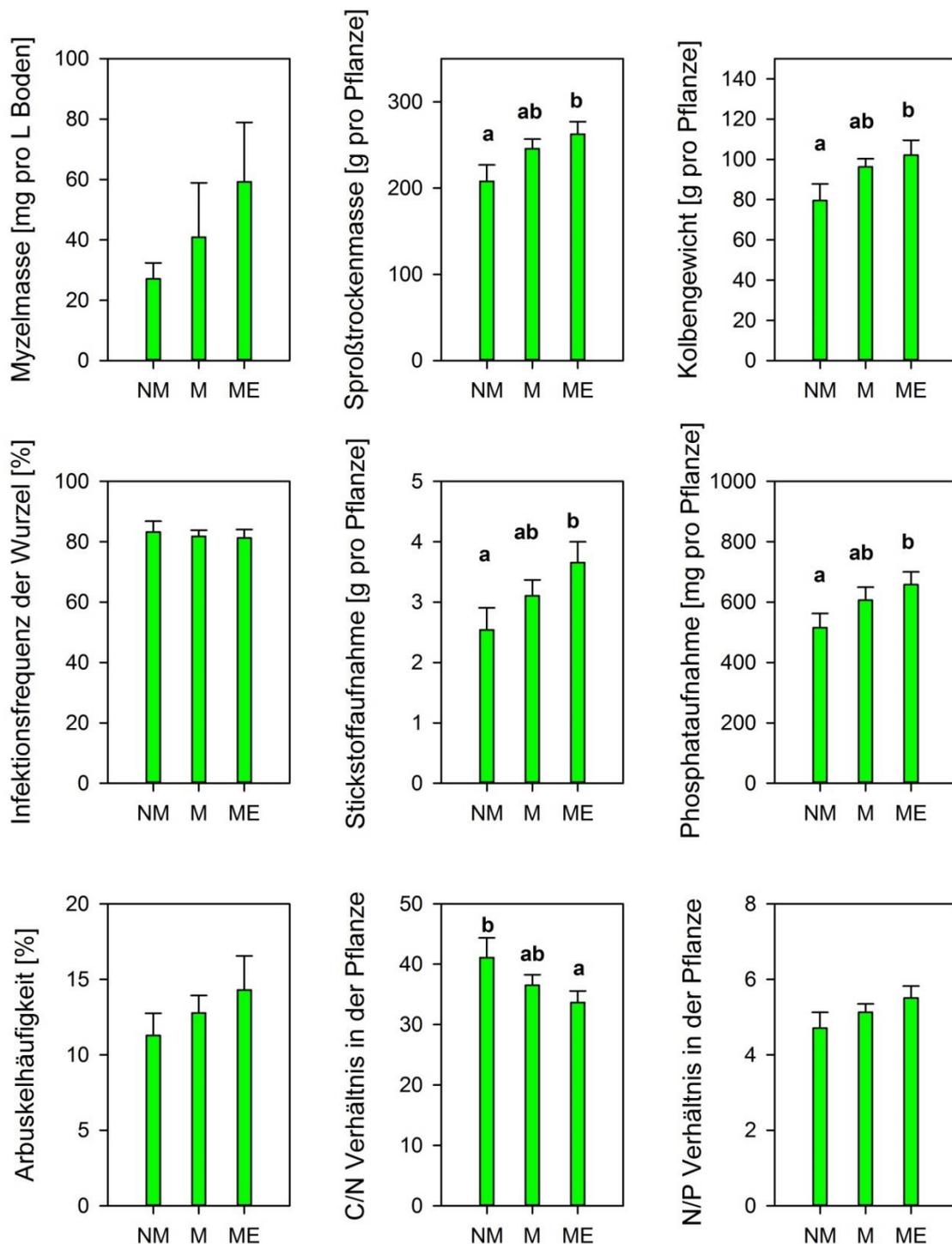


Abbildung 35: Die Myzelbiomasse im Boden, Sproßbiomasse, Kolbengewicht, Infektionsfrequenz der Mykorrhiza in der Wurzel, Stickstoffaufnahme in die Pflanze, Pflanzenphosphataufnahme, Arbuskelhäufigkeit, das C/N und das N/P Verhältnis in der Biomasse in Maispflanzen des Feldversuchs, nicht mykorrhiziert (NM), inokuliert (M) und inokuliert mit Elicitor (ME). Der Feldversuch wurde so angelegt, dass in Arbeitsrichtung vier Streifen je Behandlung in zufälliger Anordnung angelegt wurden. Jede Wiederholung wurde in 3 gleich große Feldabschnitte in Arbeitsrichtung unterteilt, sodass in äquidistanten Abständen Pflanzen jeder Behandlung in den 12 Blöcken beprobt wurden. Die statistische Auswertung erfolgte mit einfaktorieller ANOVA und Blockfaktor um Positionseffekte zu berücksichtigen. Verschiedene Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede (Tukey-Test, P < 0.10).

Es wurden Wurzelproben im Feld von nicht-inokulierten und inokulierten Arealen genommen und anhand der Inokulum-spezifischen Primer getestet, ob das applizierte Mykorrhizapräparat tatsächlich in den Feldproben nachgewiesen werden konnte.

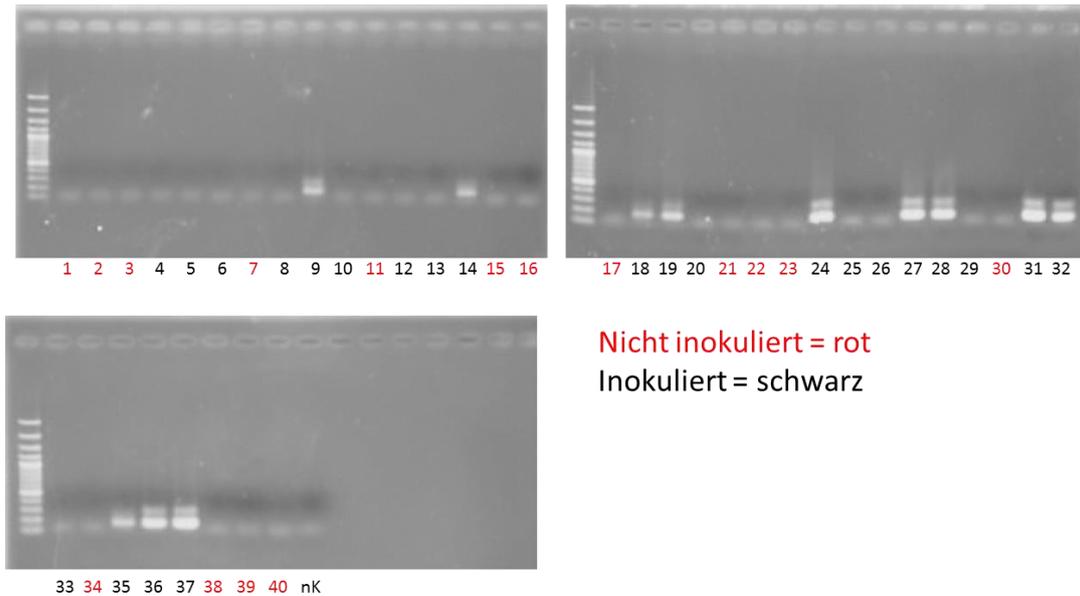


Abbildung 36: Der molekulare Nachweis von Pilz-DNA aus dem Mykorrhizapräparat in den Wurzeln von Maispflanzen im Feldversuch.

Obwohl nicht in allen Pflanzen von inokulierten Arealen im Feld, pilzliche DNA des Mykorrhizapräparats nachgewiesen werden konnte, war der Nachweis im Prinzip erfolgreich, denn es konnte keine Inokulum-spezifische DNA auf nicht inokulierten Arealen gefunden werden (Abb. 36). Warum der Nachweis nicht für alle inokulierten Pflanzen gelang, kann technische oder biologische Ursachen haben und bedarf weiterer Untersuchungen. Es ist zu erwähnen, dass die Pflanzen in denen der Nachweis gelang, auch jene waren, die im Feld die stärksten Besiedelungsraten aufwiesen.

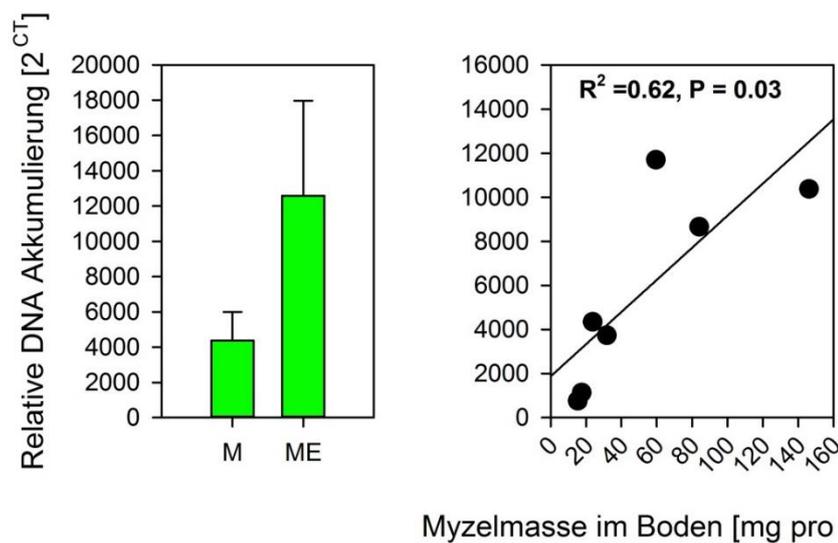


Abbildung 37: Links: Relative DNA Akkumulierung in Maiswurzeln im Feldversuch von Arealen geerntet die mit dem Mykorrhizapräparat (M) und mit Mykorrhizapräparat und dem Elicitor (ME) behandelt wurden. Als Referenz in der qRT-PCR diente der Mittelwert der CT-Werte für die Wurzeln von nicht inokulierten Pflanzen. Rechts: Die Korrelation von Relativer DNA Akkumulierung mit der Myzelmasse im Boden, die aus Kompartimenten direkt neben den Pflanzen im Boden extrahiert werden konnte. Jeder Datenpunkt stellt einen Mittelwert aus drei Beprobungen je biologischem Replikat im Feldversuch da (für M 4 Wiederholungen und ME 3 Wiederholungen, bei einer ME Wiederholung konnte nur in einem technischen Replikat Inokulum-spezifische DNA nachgewiesen werden, was daraufhin von der Analyse ausgeschlossen wurde).

In gleicher Weise wie für Mais sollte der Kartoffelfeldversuch ausgewertet werden. Es wurden Kompartimente ins Feld zur Quantifizierung der Bodenbesiedelung des Pilzes eingebracht und Wurzeln geerntet. Jedoch verhinderte das Auftreten von Blattpathogenen eine sinnvolle Beprobung und Nährstoffbilanzierung der Pflanzen. In den nur spärlich beprobaren Wurzeln konnte keine nennenswerte Mykorrhizierung festgestellt und aus den Kompartimenten keine pilzliche Biomasse ausgewaschen werden.

2.4.2 Beitrag des Ergebnisses zu förderpolitischen EIP-Themen

Das Ziel von EIP Agri ist, einen Beitrag für eine wettbewerbsfähige, nachhaltig wirtschaftende und tierartgerechte Land- und Ernährungswirtschaft durch die Verbesserung der Zusammenarbeit zwischen landwirtschaftl. Betrieben, Wissenschaft und Beratung sowie Unternehmen des Agrar- und Ernährungssektors zu leisten. Das Projekt AMF-Agri hatte zum Ziel, wettbewerbsfähige Ackerbauwirtschaftssysteme zu entwickeln, um effizientes und ressourcenschonendes Nährstoffmanagement zu unterstützen. Die automatisierte und gezielte Applikation von Mykorrhiza im Feld erwies sich als funktional, um die Nährstoffaufnahme in und das Wachstum der (Mais-) Pflanzen unter gleichen Nährstoffverfügbarkeiten/Düngungen zu stärken. Aus Nachhaltigkeitsaspekten ist dies wünschenswert, da mit dieser Methode Nährstoffe verstärkt in der pflanzlichen Biomasse gebunden werden, und dadurch weniger in die Atmosphäre entweichen oder ins Grundwasser oder Oberflächengewässer ausgewaschen werden. Aus wirtschaftlicher Sicht sind höhere Nährstoffgehalte in den Kulturpflanzen und verbessertes Wachstum die Voraussetzung für Landwirte, um die durch die Mykorrhiza-Applikationen zusätzlich entstehenden Kosten kompensieren zu können.

2.4.3 Nebenergebnisse

Im Rahmen der Topfversuche wurde weiterhin die Wasserhaltefähigkeit des Feldbodens analysiert, um weitere Hinweise über die Mykorrhiza-Aktivität zu erlangen. Es ist bekannt das Mykorrhizapilze wichtige Strukturbildner für Böden sein können und somit potentiell die Wasserhaltefähigkeit von Böden beeinflussen. Eine Erhöhung der Wasserhaltefähigkeit kann zum einen günstig gegen Nährstoffverluste durch Auswaschung auf durchlässigen Böden sein und zum anderen mobile Nährstoffe wie Kalium oder Nitrat in der Erreichbarkeit der Pflanzenwurzeln halten. Eine Bodenuntersuchung ergab, dass der verwendete Feldboden für die Kartoffeln ein eher leichter Boden (schwach humoser, lehmiger Sand) mit leicht saurem pH und anzustrebenden Phosphatgehalten war. In der Tat konnte festgestellt werden, dass die Bodenwassergehalte der Feldkapazität (pF 1.8-2.5) bei gleicher Durchwurzelung in inokulierten Böden anstiegen (Abb. 38). Dies trat gemeinsam mit der Erhöhung der Myzelbiomasse im Boden auf und stellt potentiell eine Erhöhung der Bodenqualität im schwach humosen, lehmigen Sand dar.

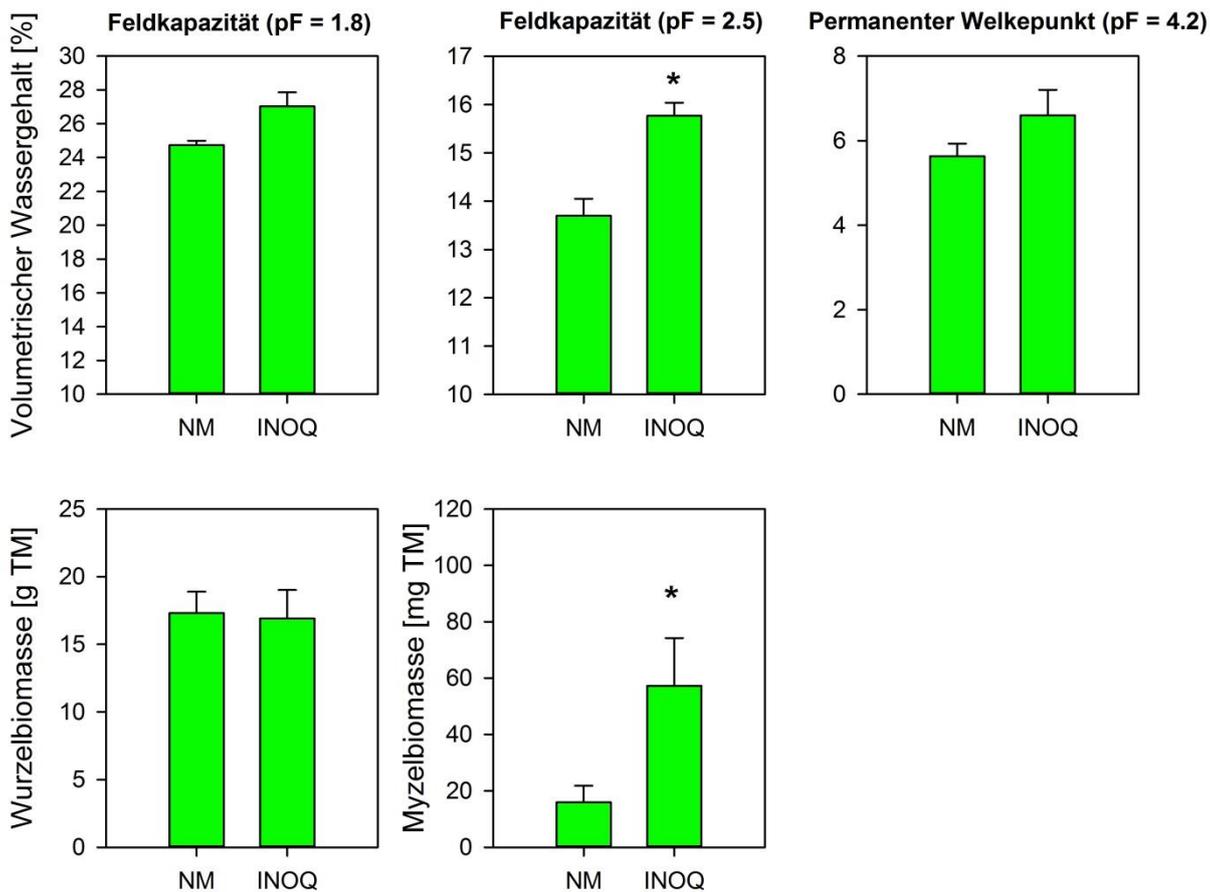


Abbildung 38: Der Volumetrische Wassergehalt im Feldboden von Kartoffeln bei einem pF von 1,8; 2,5 und im permanenten Welkepunkt (oben), sowie die Wurzelbiomasse und die Myzelmasse in eingebrachten Kompartimenten (unten) für Töpfe die mit einem autoklavierten Inokulum (nicht mykorrhiziert, NM) oder dem Mykorrhizaprodukt (INOQ) inokuliert wurden. Die Ergebnisse wurden mit einem t-Test verglichen und signifikante Unterschiede mit einem $P < 0,05$ sind mit Stern gekennzeichnet.

Weiterhin ermöglichte die Messung der Bodenwasserretention die Analyse der vorherrschenden Trockenheit zum Erntezeitpunkt. Da Pflanzen in der Lage sind, physiologische Vorgänge in der Wurzel an Trockenheit anzupassen wurde in einer Korrelationsanalyse untersucht, ob sich Trockenheit auch auf die Expression der Mykorrhiza-spezifischen Phosphattransportergene auswirkt. Hier konnte gezeigt werden, dass die Trockenheit im Boden die Expression der Mykorrhiza-spezifischen Phosphattransporter in den Kartoffelwurzeln stärker bestimmte als die Mykorrhizierungsintensität und die Phosphatkonzentrationen in der Pflanze selbst (Abb. 39). Dies ist ein neuartiger und aus wissenschaftlicher Sicht sehr interessanter Befund, der darauf hinweisen könnte, dass auch die Nährstoffaustauschprozesse in der Mykorrhizasymbiose durch Trockenheit bestimmt werden. Vermutlich unterliegen Änderungen in der Bodentrockenheit und RNA Akkumulierung für Phosphattransportergene ähnlichen zeitlichen Dynamiken im Minutenbereich, während Mykorrhizierungsintensität und Nährstoffakkumulierung im Gewebe als weniger variabel über den Tag angenommen werden können. Der Befund weist auch darauf hin, dass variable Trockenheit im Feld maßgeblich für die Mykorrhiza-Aktivität sein kann.

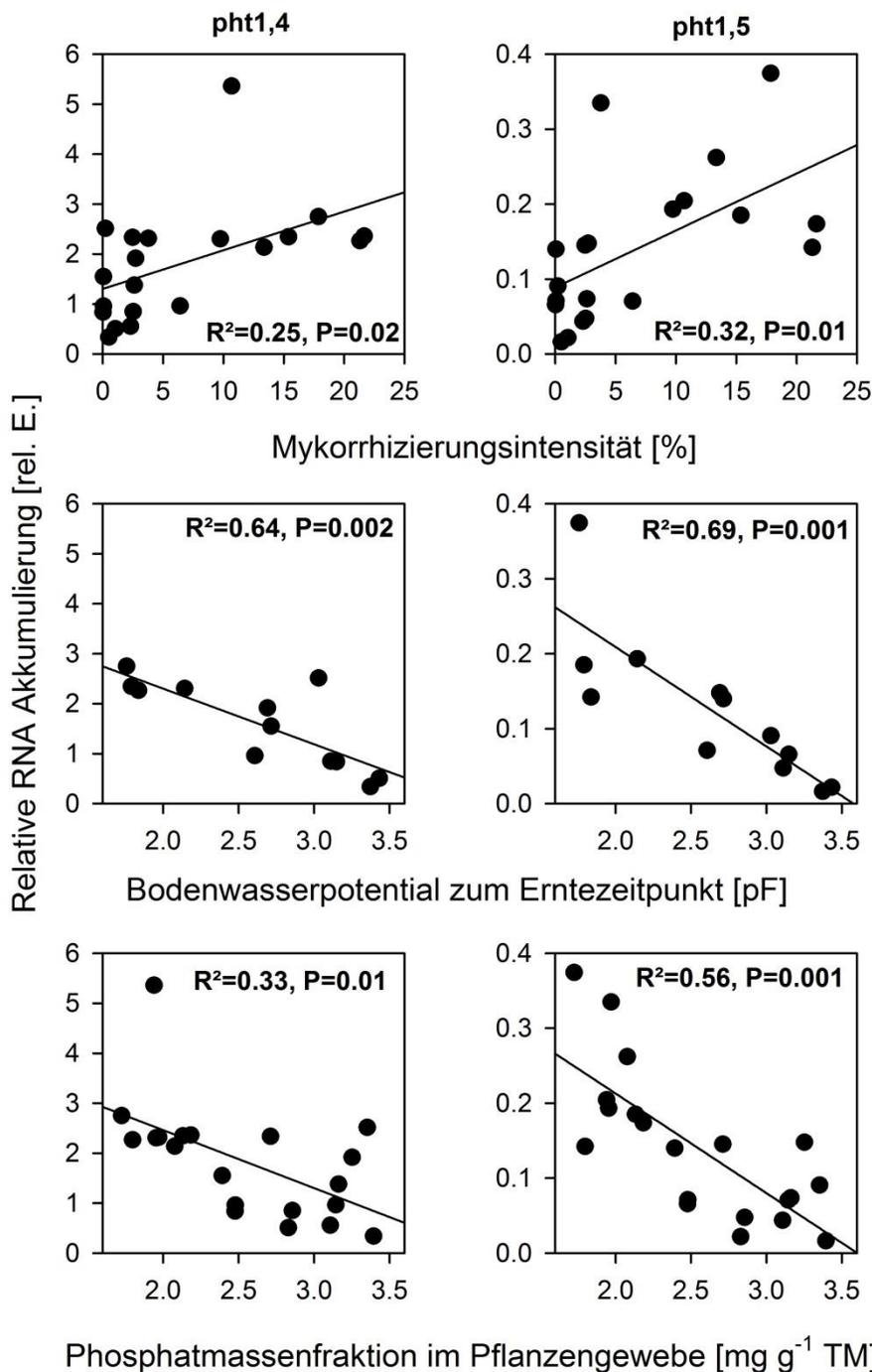


Abbildung 39: Die relative RNA Akkumulierung der Mykorrhiza-spezifischen Phosphattransporter in Kartoffel (pht1,4 links; pht1,5 rechts) in Abhängigkeit von der Mykorrhizierungsintensität der Wurzel (oben), des Bodenwasserpotentials (mittig) und der Phosphatmassenfraction in der Pflanzentrockenmasse (unten). Die Datenpunkte umfassen alle mykorrhizierten Pflanzen aus dem Kartoffeltopfversuch angezogen auf dem sterilen Sand/Vermiculit-Gemisch und dem natürlichen Feldboden (N=20, für das Bodenwasserpotential N=12).

Eine vorläufige Betrachtung der räumlichen Verteilung von Mykorrhizaeffekten im Feld der Maiskultur ergab, dass in Abhängigkeit von den Bodenbedingungen, die Mykorrhiza-Applikation unterschiedlich wirksam war (Abb. 40). Die Applikation von Mykorrhizapräparaten förderte das Pflanzenwachstum vor allem in Arealen, wo das Pflanzenwachstum am stärksten von bodenbürtigen Faktoren limitiert war. Diese Wachstumsförderung trat zusammen mit einer Erhöhung der pilzlichen Biomasse im Boden auf (Abb. 41).

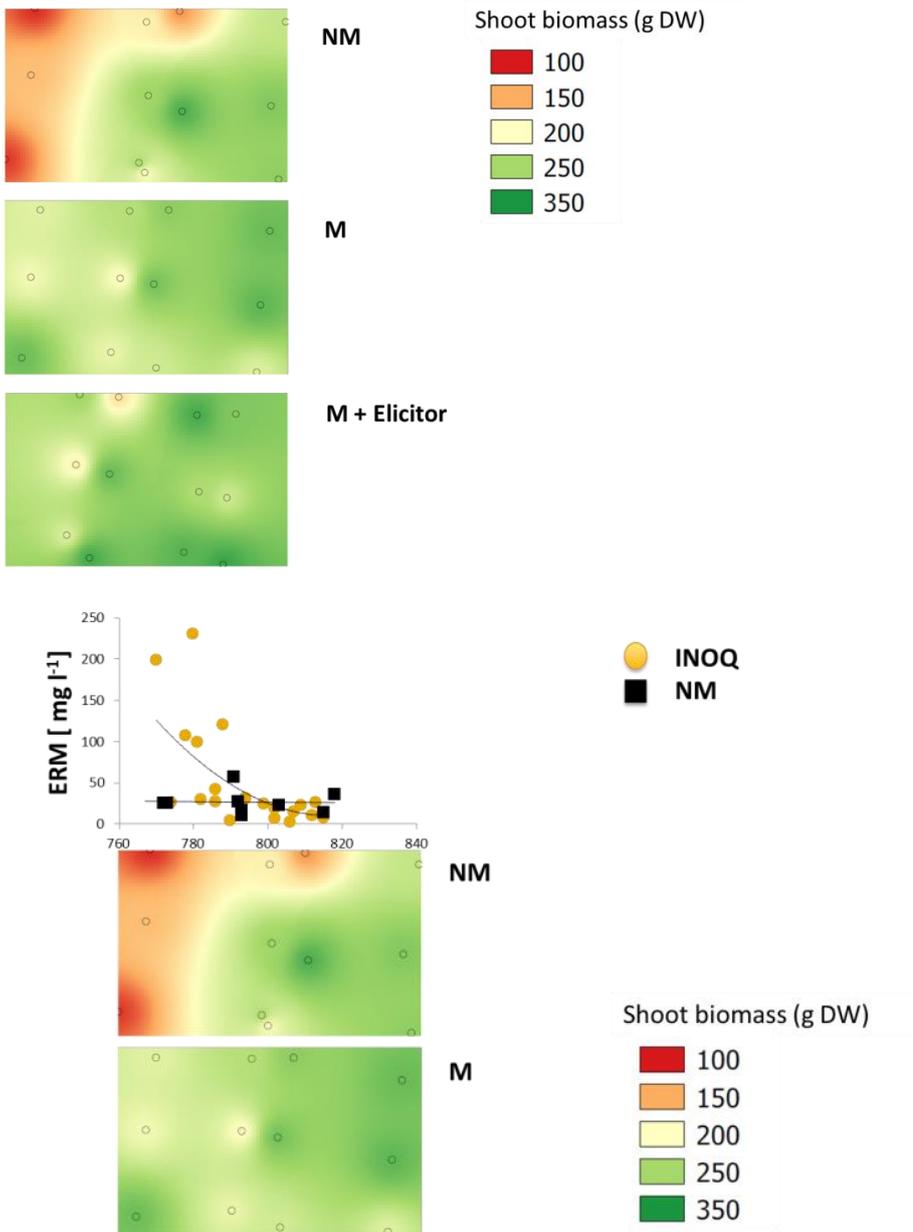


Abb. 40: Wirksamkeit der Mykorrhiza-Applikation in Abhängigkeit von den Bodenbedingungen

Können diese Effekte in weiteren zukünftigen Feldversuchen nachgewiesen werden, kann dies zu einer weiteren Erhöhung der Effizienz von Mykorrhiza-Applikation im Feld und einer Verringerung der ökonomischen Risiken des Einsatzes solcher Bodenhilfsstoffe führen. Wenn eine teilflächenspezifische Applizierung der Mykorrhizapräparate nur auf Arealen, auf denen diese Präparate am wirksamsten sind, vorgenommen wird, kann die Einsatzmenge reduziert werden und die Ertragssteigerung pro eingesetzter Menge an Bodenhilfsstoff erhöht werden.

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

Der geplante Feldversuch mit Kartoffeln in 2017 konnte aufgrund von einsetzendem Pathogenbefall nicht vollständig analog zu Mais ausgewertet werden. Obwohl die Flächen einen Knollenertrag am Ende der Kultur erbrachten, konnte weder nennenswerte Mykorrhizierung in nur bedingt erntefähigen Wurzelsystemen gefunden, noch konnte Pilzwachstum aus den ins Feld eingebrachten Pilzfallen nachgewiesen werden. Der Pathogenbefall verhinderte ebenfalls eine wissenschaftlich einwandfreie Beprobung der oberirdischen Biomasse. Es spricht aber nichts dagegen, dass die hier vorrangig an Mais entwickelten Verfahren zur Bestimmung der Mykorrhiza-Aktivität und dem Nachweis des Anwacherfolges des Mykorrhizapräparats auf andere Kulturen und Präparate mit anderen Pilzkonsortien übertragbar sind.

2.4.5 Mögliche weitere Verwendung von Investitionsgütern

Es wurden im Projekt keine Investitionsgüter angeschafft.

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

2.6 (Geplante) Verwertung und Nutzung der Ergebnisse

- Die Verfahrenstechnik zur Ausbringung eines Mykorrhiza-Inokulums im Mais- und Sojaanbau wurde erfolgreich entwickelt und erprobt. Sie wird bereits für Mykorrhiza-Kunden in der Landwirtschaft empfohlen.
- Die Versuchskulturen Mais und Soja wurden unter Bio-Feldbedingungen erfolgreich mykorrhiziert.
- Im Mais wurden am Versuchsstandort nach Mykorrhiza-Zugabe Zuwächse im Kornertrag festgestellt, das Verfahren erreichte hier die Gewinnschwelle. Grundbedingung dazu ist hoch infektiöses Inokulum. Aus der Beziehung zwischen Mykorrhiza-Konzentration und Mykorrhizierungs-Erfolg können anhand der Versuchsergebnisse Empfehlungen für Aufwandmengen in der Ausbringung abgeleitet werden.
- Im Mais waren die Ergebnisse nach inokulierter Zwischenfrucht besonders bemerkenswert. Wiederholen sich die erzielten Ergebnisse, scheint hier ein Verfahren gefunden, dass eine hochwirksame und gleichzeitig ökonomische Etablierung der Mykorrhiza im Feld ermöglicht.
- In den Soja-Versuchen brachte die Mykorrhiza, nach Ausbringung in Kombination mit Rhizobien, weder Steigerung im Kornertrag noch verbesserten Eiweißgehalt.
- Im konventionellen Kartoffelbau war die Mykorrhizierung nicht erfolgreich (Ausnahme V664)

Vor allem in den Maisversuchen wurde eine teilflächen-spezifische Wirkung der ausgebrachten Mykorrhiza festgestellt. Die Wirksamkeit war besonders unter ungünstigen Bodenbedingungen verstärkt und führte zu einer geringeren Ertragsstreuung (Mais) in den mykorrhizierten Varianten. Diese Beobachtung wird in den nächsten 3 Jahren im neuen EIP Agri-Projekt Precision-AMF untersucht.

Im Vergleich der Versuche war die starke natürliche Mykorrhiza auf den bio-bewirtschafteten Flächen besonders aufgefallen. Die Rückumstellung zum Pflug bewirkte im ersten Jahr noch keine Reduzierung. Auf allen Versuchsflächen in konventioneller Bewirtschaftung war natürliche Mykorrhiza kaum vorhanden (Ausnahme Felderde im Topfversuch V820).

Noch ungelöst ist die Frage, warum die Mykorrhizierung der Kartoffel nicht erfolgreich war: Allein die P-Gehalte im Boden können nicht die Ursache sein, in den Mais-Versuchen am Bio-Standort lagen sie vergleichbar hoch. Es ist zu untersuchen, ob die mineralisch betonte konventionelle Düngung im Gegensatz zur organisch betonten Bio-Düngung

die Entwicklung der Mykorrhiza hemmt. Generell scheint es so zu sein, dass die Wirksamkeit der Mykorrhiza abnimmt, je besser die Kulturen mit Nährstoffen versorgt sind. Mykorrhizierung in der Kartoffel war nur am Grenzertrags-Standort messbar (V664).

Ein Ansatz für die weitere Arbeit kann sein, die Zusammenstellung des Inokulums stärker auf die Kulturpflanzen auszurichten. Das heißt entweder mit natürlicher, von den jeweiligen Kulturen isolierter Mykorrhiza zu arbeiten, oder schon isolierte Pilzstämmen gezielter auf die Eignung zu unterschiedlichen Kulturen zu screenen.

Im Projekt war die Mykorrhizierung am Mais besonders erfolgreich – in der Inokulum-Produktion von Inoq wird Mykorrhiza überwiegend am Mais vermehrt. Vielleicht lassen sich die Pilzstämmen kulturspezifisch trainieren, indem in der Vermehrung die entsprechenden Kulturpflanzen der späteren Anwendung einbezogen werden.

Für eine folgende Produktentwicklung muss die Anwendungssicherheit des Inokulums verbessert werden. Dazu ist möglichst ein mit Trägermaterial fertig gemischtes und Mikrostreuer geeignetes Granulat zu entwickeln, das eine gleichmäßige Mykorrhiza-Konzentration gewährleistet und sicher stellt, dass es nicht zu Entmischung während der Ausbringung kommt.

Die Ergebnisse aus den Topfversuchen und Feldversuchen sind wissenschaftlich interessant und werden in einschlägigen Fachzeitschriften veröffentlicht.

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

Die Erhöhung der Wasserretention durch den Einsatz von Mykorrhiza in Feldböden kann in Abhängigkeit von der Bodenart eine große ökologische Bedeutung haben und ist bisher wenig untersucht und quantifiziert worden. Die Wasserretention bestimmt maßgeblich die Auswaschungsanfälligkeit von und die Pflanzennährstoffverfügbarkeit in Böden. Physikalische Gesetzmäßigkeiten implizieren, dass die Effekte der Mykorrhiza auf die Wasserretention spezifisch für die Bodenart sind. Diese bodenartabhängige Variabilität muss zukünftig untersucht und besser verstanden werden, um die Wirksamkeit von Mykorrhiza-Präparaten im Feld zu erhöhen und zu sichern.

Die hier gefundenen Hinweise, dass Mykorrhiza-Präparate teilflächenspezifisch wirksam sind, bergen das Potential die Effizienz des Einsatzes zu steigern, sowie die ökonomischen Risiken des Einsatzes für Landwirte zu minimieren. Da heterogene Bodenbedingungen nicht nur das Pflanzenwachstum sondern auch das Pilzwachstum und dessen Wirkung auf die Pflanze beeinflussen können, ist es in zukünftigen Untersuchungen anzustreben, die Bodenheterogenität im Feld zu bestimmen. Anhand solcher Bodenkarten kann die Anwendung der Mykorrhiza-Präparate hypothesengetrieben teilflächenspezifisch getestet werden. Um dies zu untersuchen, wurde Anfang 2019 bereits ein neues Projekt gestartet, das mit Hilfe von „Precision-Farming“-Technologien zur räumlich hoch aufgelösten Bodentexturbestimmung die Abhängigkeit der Mykorrhiza-Wirkung von der Körnungszusammensetzung des Bodens untersucht.

2.8 Kommunikations- und Disseminationskonzept: Darstellung in welcher Weise die Ergebnisse kommuniziert oder verbreitet wurden, ggf. mit Verweis auf Veröffentlichungen und Angaben von Quellen. Grundsätzliche Schlussfolgerungen (ggf. Fazit zur Eignung von EIP-Förderung zur Generierung von Innovation und Schließung von Lücken zwischen Praxis und Wissenschaft) und eventuelle Vorschläge zur Weiterentwicklung von EIP Agri.

Die Firma Institut für Pflanzenkultur e.K. und ihre Vertriebsgesellschaft Inoq GmbH sowie die kooperierenden Landwirte verfügen über gute Kontakte zu Funktionsträgern und Multiplikatoren der Landwirtschaftskammer Niedersachsen: Markus Mücke (Fachberater ökolog. Landbau), Jürgen Pickny (Kartoffel Spezialberatung), Andreas Scholvin (Versuchsleiter Bio Kartoffel). Ebenfalls zum Versuchs- und Beratungsring für ökologischen Landbau Niedersachsen Ökoring e.V. und zur regionalen Erzeuger- und Vermarktungsgemeinschaft Wendenknolle w. V.. Diese Kontakte wurden über die gesamte Projektlaufzeit intensiv weitergeführt und bei einem Besuch der LWK in den Solkauer Instituten am 15. August 2018 vertieft.



Abb. 41: Feldtag 2016 – Topfversuche im Gewächshaus



Abb. 42: Feldtag 2017 - Feldversuche

Zu den Ergebnissen der begleitenden Untersuchung am Leibnizinstitut Großbeeren/Erfurt (Entwicklung neuer Methoden zur Quantifizierung der Mykorrhizaaktivität) ist eine wissenschaftliche Publikation vorgesehen.

Die Firma Inoq präsentierte sich mit ihren Mykorrhiza-Produkten regelmäßig auf überregionalen Messen (IPM 2017, 2018 und 2019, GaLa Bau 2016 und 2018). Die Ausweitung der Messepräsentation auf den Agrarbereich (DLG-Feldtage, Tarmstedt, Potato Europe) ist für die Zukunft beabsichtigt und vorallem für die Kultur Mais ab sofort möglich.



Abb. 43: Messestand Internationale Pflanzenmesse Essen. 60.000 Fachbesucher, 1.600 Aussteller

Prinzipiell wird die EIP-Förderung als sehr gutes Konzept zur Generierung von Innovation und Schließung von Lücken zwischen Praxis und Wissenschaft angesehen.

Tabelle 9: Projektkommunikation AMF-Agri

Titel/Medium	Jahr	Zielgruppe
Auftakttreffen EIP Agri in Niedersachsen 1. Aufruf	2016	OGs Niedersachsen, Ministerien
Poster ‚Workshop für OGs‘, Bonn-Bad Godesberg	2016	OGs bundesweit
‚Förderung für Solkauer Institut‘, Elbe-Jeetzel-Zeitung	2016	Leser regionale Tageszeitung
‚Gute Ideen finanziell unterstützen‘; Land + Forst Heft 38	2017	Interessierte Marktteilnehmer
‚Know-how-Transfer: Mykorrhiza als Biostimulantien für die Landwirtschaft‘; Kartoffeltrends	2017	Kartoffelanbauer
Agri Innovation Summit 2017, Lissabon	2017	OGs europaweit
Hauptvortrag: ‚The different steps in the set-up of bio-stimulant products‘, EAPR European Association for Potato Research conference; Versailles	2017	Kartoffelzüchter- und anbauer wuropaweit
Poster ‚Netzwerktreffen EIP Agri‘, Hannover	2017	OGs Niedersachsen, Ministerien
Poster EIP-AGRI workshop ‚Organic is Operational: linking EIP-AGRI Operational Groups in organic farming‘; Hamburg	2017	OGs europaweit mit Bezug Bio
‚Verfahrenstechnik zur nachhaltigen Anwendung mykorrhizierter Bodenhilfsstoffe im Feldanbau von Soja, Körnermais und Kartoffeln‘, Jahrestagung Gesellschaft für konservierende Bodenbearbeitung GKB; Braunschweig	2018	Mitglieder GKB
‚Schauen Sie über den Tellerrand‘; Land + Forst Heft10	2018	Interessierte Marktteilnehmer
‚Neue Düngekonzepte für den pfluglosen Anbau‘; Bauernzeitung Heft 22	2018	Interessierte Marktteilnehmer
Broschüre ‚EIP-Agri Projekte in Niedersachsen‘	2018	Interessierte Bürger und Marktteilnehmer
‚IGZ participates in “AMF AGRI”, an EIP-Agri project‘; EPSO News, European Plant Science Organisation	2018	EPSO-Mitglieder
Thematischer Workshop für OGs: Eiweißpflanzen, Hofgut Eichigt	2019	OGs bundesweit mit Bezug Eiweisspflanzen
Abschlusstreffen EIP Agri in Niedersachsen 1. Aufruf; Hannover	2019	OGs Niedersachsen, Ministerien