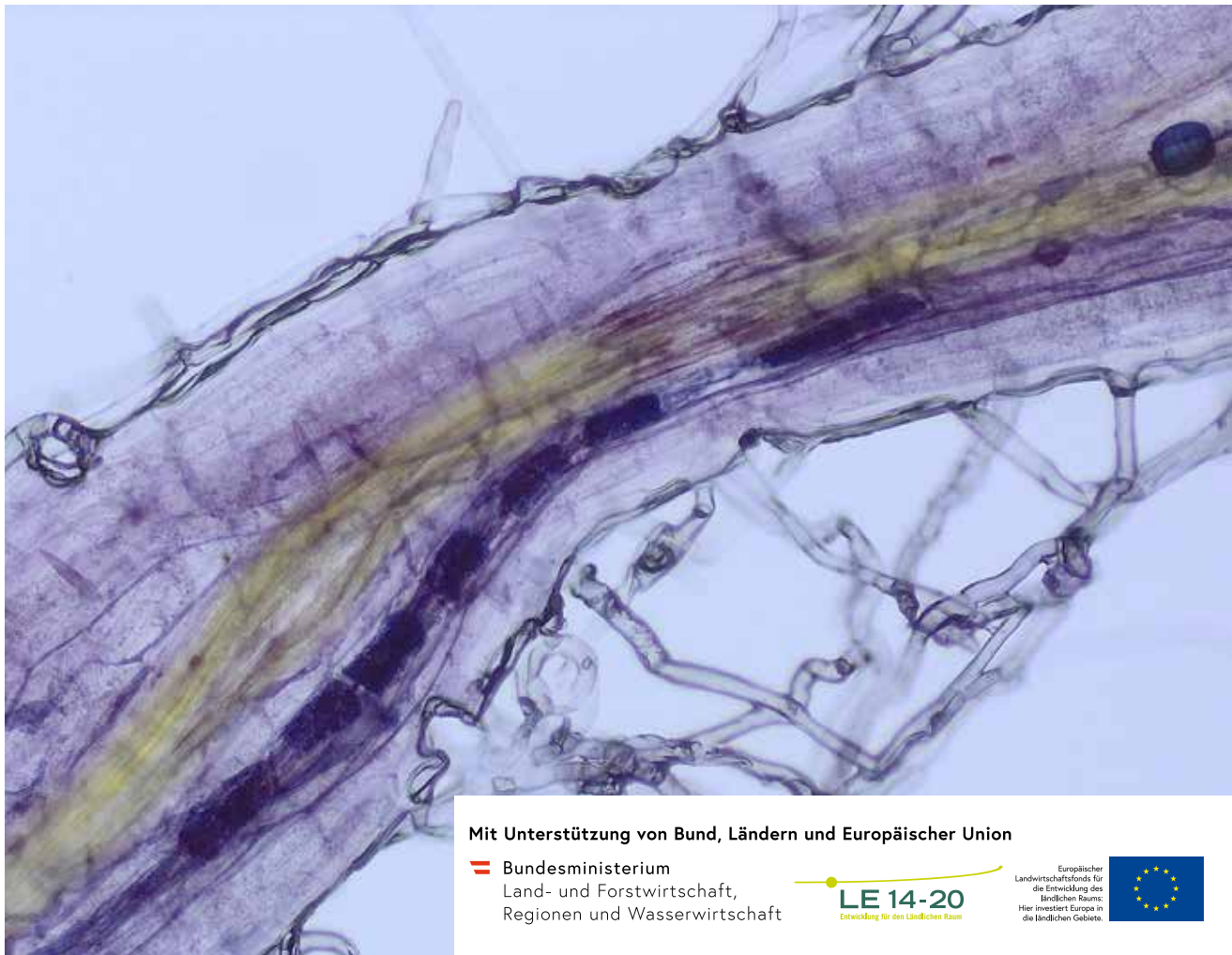
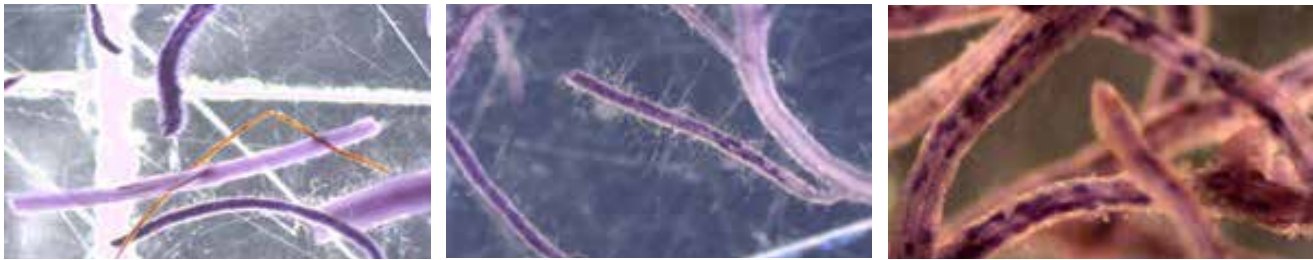


# Mykorrhiza, eine faszinierende Lebensgemeinschaft

Praxisbeispiele und Untersuchungen



## Impressum

**Eigentümer, Herausgeber und Verleger:**

Ländliches Fortbildungsinstitut Österreich, Schauflergasse 6, 1015 Wien

**Redaktion:**

Susanne Baumgartner (Forschungsinstitut für Biologischen Landbau, FiBL Österreich)

**AutorInnen:**

Maria Ladinig (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft), Katrin Rosner, Gernot Bodner, Karin Hage-Ahmed, Siegrid Steinkellner (Universität für Bodenkultur), Susanne Baumgartner (Forschungsinstitut für Biologischen Landbau, FiBL Österreich)

**Bezugsadresse:**

Forschungsinstitut für biologischen Landbau FiBL

Doblhoffgasse 7/10, 1010 Wien

Tel.: 01/907 63 13, E-Mail: [info.oesterreich@fibl.org](mailto:info.oesterreich@fibl.org), [www.fibl.org](http://www.fibl.org)

**Fotos:**

Maria Ladinig, Katrin Rosner, Gernot Bodner, Karin Hage-Ahmed, Siegrid Steinkellner, Susanne Baumgartner

**Fotos Cover:**

Susanne Baumgartner

**Grafik:**

Ingrid Gassner, Wien

**Hinweis:** Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wurde zum Teil von geschlechtergerechten Formulierungen Abstand genommen. Die gewählte Form gilt jedoch für Frauen und Männer gleichermaßen.

## Vorwort

---

Wörtlich übersetzt bedeutet Mykorrhiza „Pilzwurzel“ und umfasst eine symbiotische Lebensgemeinschaft zwischen bodenbürtigen Pilzen und Wurzeln höherer Pflanzen. Mykorrhiza-Assoziationen nehmen auf verschiedene Aspekte der Pflanzenphysiologie Einfluss und sind für die Pflanzenentwicklung und die Mineralernährung von besonderer Bedeutung. Abgesehen von ernährungsphysiologischen Wirkungen sind Mykorrhizapilze auch in der Lage die Abwehrmechanismen gegenüber abiotischem Stress und Krankheitserregern auf positive Weise zu beeinflussen.

Die Broschüre besteht aus verschiedenen Perspektiven aus Theorie und Praxis auf das Thema Mykorrhiza und ist in unterschiedlichen Themenbereichen untergliedert. Die wissenschaftlichen Studien der Autor/Innen wurden zusammengefasst, die Quellenangabe der Gesamtwerke befindet sich jeweils unter dem Haupttitel. Alle interessierten Leser/Innen sollen ermuntert werden, diese Broschüre zur selbsttätigen und kritisch offenen Auseinandersetzung zu betrachten.

Im Rahmen meiner eigenen Masterarbeit, die in Kooperation mit der Universität für Bodenkultur, Abteilung Pflanzenschutz, entstanden ist, wurde die Mykorrhizasymbiose beim steirischen Ölkürbis (*Cucurbita pepo var. styriaca*) untersucht.

Im Zusammenhang mit fortgeschrittenen, wissenschaftlichen Erkenntnissen über Mykorrhizasymbiosen, die zunehmend den potenziellen Einsatz von Mykorrhizainokula in der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion betonen, beschreibt Maria Ladinig in ihrer Masterarbeit das Potenzial natürlicher und kommerzieller Mykorrhiza-Inokula im Maisanbau.

Ergebnisse eines konventionell bewirtschaftetes Feldexperiment mit verschiedener Bodenbearbeitung (konventionell, reduziert, minimal, ohne Bodenbearbeitung) in Wechselwirkung mit Zwischenfruchtanbau (bestehend aus Mykorrhiza-Wirts- und Nicht-Wirtspflanzen) in einer gemeinsamen Fruchtfolge mit Winterweizen (*Triticum aestivum*) und Sonnenblume (*Helianthus annuus*) als Hauptkulturen wurden in einer Studie von K. Rosner, G. Bodner, K. Hage-Ahmed, und S. Steinkellner vorgestellt.

Bitte zögern Sie nicht bei Fragen, Anmerkungen oder Anregungen mir ein E-Mail zu schreiben!

Ich möchte mich herzlich bei allen AutorInnen für Ihre Beiträge bedanken und wünsche Ihnen eine informative Lektüre!

Susanne Baumgartner, FiBL Österreich

# Inhalt

Arten von Mykorrhiza .....	5
Arbuskuläre Mykorrhizapilze (AMP) & steirischer Ölkürbis – ein dynamisches Duo? .....	6
Die Bedeutung von Mykorrhiza für die Pflanze .....	8
Long term soil tillage and cover cropping affected arbuscular mycorrhizal fungi, nutrient concentrations and yield in sunflowers .....	8
Mykorrhiza-Inokula .....	13
Potential natürlicher und kommerziell erhältlicher Mykorrhiza-Inokula im Maisanbau .....	15

## Projektpartner

**FiBL Österreich**  
 Susanne Baumgartner  
 E susanne.baumgartner@fibl.org

## Arten von Mykorrhiza

Gemäß der beteiligten Wirtspflanzen- und Pilzart sowie den morphologischen-anatomischen Merkmalen können mehrere Mykorrhiza-Arten unterschieden werden (Barea et al., 2013):

- Ektomykorrhiza
- Arbuskuläre Mykorrhiza
- Ericaceen-Mykorrhiza
- Orchideen-Mykorrhiza
- Ektendomykorrhiza

Ektomykorrhizapilze bilden einen dichten Hyphenmantel um die Pflanzenwurzeln und im extrazellularen Raum das Hartigsche Netz. Der Hyphenmantel erfüllt mehrere Funktionen, wie zum Beispiel den Transport von Nährstoffen, die Speicherung verschiedener Substanzen sowie Schutz vor Pathogenen und toxischen Metallen. Das Hartigsche Netz breitet sich interzellulär im kortikalen Wurzelgewebe aus und stellt die Austausch- und Kontaktzone zwischen Pflanzenzelle und Pilz dar (Alvarez, 2001). Hauptsächlich besiedeln Pilze, die Ektomykorrhizen bilden, Waldbäume der Fagaceae, Betulaceae, Pinaceae, Eukalyptus sowie einige holzige Hülsenfrüchte und sind ein wichtiger Bestandteil der Biomasse in Waldökosystemen (Barea et al., 2013).

Die arbuskuläre Mykorrhiza sowie die Ericaceen- und Orchideen-Mykorrhizen als Angehörigen der Endomykorrhiza unterscheiden sich von der Ektomykorrhiza im Wesentlichen durch die intraradikale Kolonisierung. Hierbei dringen die Pilzhyphen inter- und intrazellulär in die Zellwände der Epidermis und Rindenzellen ein und bilden Haustorien (Kaspar, 2003).

In unterschiedlichem Maße sind Pflanzen auf die Symbiose mit arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMP) angewiesen. Manche Arten können völlig unabhängig von der Mykorrhizabildung in der Natur ihren Lebenszyklus vollenden, andere Arten sind auf die Lebensgemeinschaft mit AMP angewiesen. Die Mehrzahl der Pflanzenarten befindet sich zwischen diesen Extremen, insbesondere die meisten Nutzpflanzen (Feldmann, 1998). In 80 % aller Pflanzenfamilien kommt die arbuskuläre Mykorrhiza vor, die mit fast allen Familien höherer Gefäßpflanzen wechselseitige Nährstoffprozesse eingehen kann. Arbuskuläre Pilze sind obligat biotrophe Symbionten, sie können daher nur in Anwesenheit eines lebenden pflanzlichen Partners existieren. Während der heterotrophe Pilz Kohlenstoffverbindungen aus der Photosynthese des Wirtes erhält, wird die Wirtspflanze über das Pilzmyzel mit Mineralstoffen und Wasser versorgt. Die Pflanze akzeptiert die Pilzbesiedlung ohne signifikante Abstoßungsreaktionen und der Pilz wird durch Eindringen in das Gewebe der Wurzel zu einem integralen Bestandteil des Wurzelsystems (Barea et al., 2013).

Durch die Bildung von Arbuskeln (Abb. 1 und 2), wodurch die Kontaktfläche zwischen Pflanze und Pilz vergrößert wird, kann der Austausch von Nährstoffen gewährleistet werden (Smith und Read, 2008).

Nach ca. 4–10 Tagen sterben die Arbuskeln wieder ab und die Pilzstrukturen werden vollkommen von der Pflanze abgebaut, sodass die Zellen ihre ursprüngliche Form zurückerhalten. Der Lebenszyklus von AMP endet durch die Bildung von extra- oder intraradikalen Sporen, die als Dauersporen je nach geeigneten Umweltbedingungen wie zum Beispiel Feuchtigkeit, pH-Wert und Temperatur sehr lange im Boden verbleiben können (Watzke, 2008).

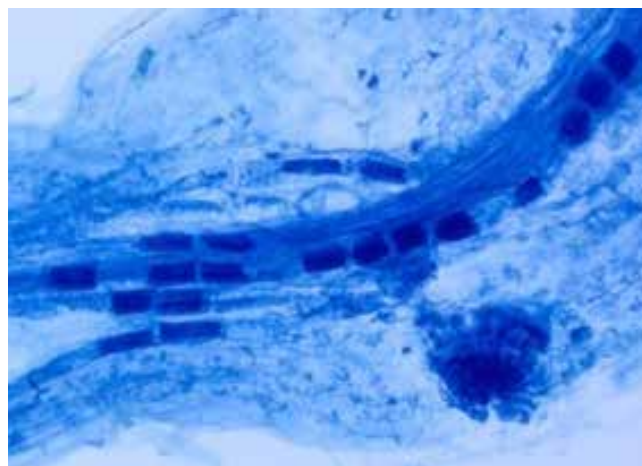
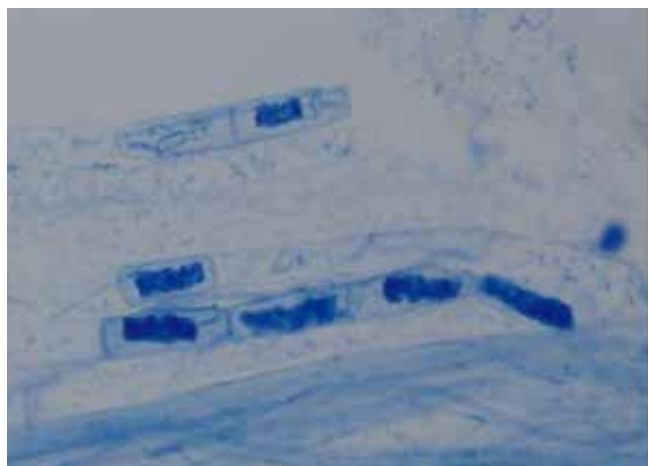


Abb. 1 und 2: Arbuskeln in der Pflanzenwurzel (© FiBL/Baumgartner)

## AMP & steirischer Ölkürbis – ein dynamisches Duo?

Baumgartner S. (2020) Mykorrhizainokula und ihre Wirkung auf Ölkürbis (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*).  
Diplomarbeit Universität für Bodenkultur, Wien.

### Einleitung

Der steirische Ölkürbis gehört zur Kürbisgruppe *Cucurbita pepo* L. und unterscheidet sich aufgrund einer Mutationsform, bei der die Samenschale nicht verholzt, sondern weichschalig bleibt, deutlich von anderen Kürbisformen (Geisler, 1980).



Abb. 1: steirischer Ölkürbis (© FiBL/Baumgartner)      Abb. 2 und 3: Spross mit Ranken und fünfstrahlige Trichterblüte (© FiBL/Baumgartner)

Der steirische Ölkürbis (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*) zählt aufgrund seiner kulturellen, kommerziellen und medizinischen Bedeutung zu den wichtigsten Nutzpflanzen in der Steiermark. Der steirische Ölkürbis hat sich von einer steirischen Spezialkultur zu einer österreichweit bedeutenden Ackerkultur entwickelt. Lag die Anbaufläche im Jahr 2000 noch bei 10376 ha (Schwarz, 2008), so ist sie 2015 auf den Rekordwert von 39450 ha angestiegen. 2020 betrug die Anbaufläche 35500 (<http://www.alwera.at/feldaktuell/ausgabe-august-20/kuerbis-handelsware-anbauflaechen-2020>). 2016 wurden weltweit ca. 100 000 ha Ölkürbis angebaut, davon entfielen knapp 40 % auf Österreich (39 450 ha), 45 000 ha auf das restliche Europa (vor allem Osteuropa) und ca. 15 000 auf China (<https://www.kuerbiskernoel.cc/blog/zahlen-daten-fakten-oelkuerbis-produktion>).

Trotz der mittlerweile großen ackerbaulichen Bedeutung lagen bisher keine Informationen über eine Mykorrhizierung des Steirischen Ölkürbis (*Cucurbita pepo* var. *styriaca*) unter natürlichen Bedingungen vor. Aus diesem Grund wurden im Rahmen meiner Diplomarbeit erstmals Untersuchungen der Symbiose zwischen arbuskulären Mykorrhizapilzen und dem in der Steiermark wirtschaftlich wichtigen Ölkürbis unter Freilandbedingungen durchgeführt.

### Material und Methoden

Die Freilanduntersuchungen fanden auf den Versuchspartellen der Saatzucht Gleisdorf in Kooperation mit Frau DI Eveline Adam statt und wurden kurz vor der Ernte im September 2019 durchgeführt. Fünf unterschiedliche Ölkürbissorten (GL Inka, GL Rustikal, GL Venus, GL Classic und GL Atomic) wurden für den Versuch von der Saatzucht Gleisdorf zur Verfügung gestellt. Mit Ausnahme der Sorte GL Classic sind alle anderen Sorten Hybridzüchtungen. Detaillierte Sortenbeschreibungen sind unter <https://bsl.baes.gv.at/kulturen/oelfaser-und-handelspflanzen/> zu finden.

Der Anbau des ca. 3 ha großen Feldes fand Anfang Mai statt. Für die Untersuchung wurden die Wurzelproben unter der Verwendung von Schaufel und Spaten mit einer Tiefe von 10 cm gesammelt. Aus dem Feldbestand wurden 10 Wurzelproben pro Sorte zufällig ausgegraben mit der Schere vom Spross getrennt und in beschrifteten Plastiksäcken gesammelt.



Abb. 4 und 5: Ausgrabung der Pflanzenwurzeln (© FiBL/Baumgartner)

Abb. 6: Wurzelanzählung unter Petrischale (© FiBL/Baumgartner)

Unmittelbar nach der Probennahme wurde jede einzelne Wurzel sorgfältig mit Leitungswasser gewaschen und in Proberöhrchen mit 30 %iger Ethanol-Lösung aufbewahrt.

Die mikroskopische Auswertung der Wurzelproben konnte im Labor der Universität für Bodenkultur in Tulln durchgeführt werden. Die Färbung der Wurzeln erfolgte mit einer Tintenessiglösung (5%) nach Vierheilig et. al., 1998. Unter dem Lichtmikroskop wurde der Mykorrhizierungsgrad untersucht.

## Ergebnisse

Die mikroskopische Auswertung der gesammelten Wurzeln zeigte **Assoziationen mit *Cucurbita pepo var. styriaca***.

Die Wurzelproben der Sorten Atomic und Classic zeigten eine Kolonisierung von 1–3 %. Bei der Sorte Inka lag die Kolonisierungsrate bei 2–7 % und bei den Sorten Venus und Rustikal bei 4–12 %, womit erstmals eine arbuskuläre Mykorrhiza beim Steirischen Ölkürbis nachgewiesen wurde. Verwandte Arten, wie der Riesenkürbis *Cucurbita maxima* weisen ebenfalls arbuskuläre Mykorrhiza auf (Hulse et al., 2008).



Abb. 7 und 8: Pflanzenwurzel unter Mikroskop mit Mykorrhiza-Assoziationen (siehe roter Pfeil) (© FiBL/Baumgartner)

## Die Bedeutung von Mykorrhiza für die Pflanze

Ladinig et. al, 2019; Baumgartner et. al, 2020

Arbuskuläre Mykorrhizapilze spielen für viele Pflanzenarten eine vielseitige und wichtige Rolle und nehmen auf unterschiedliche Aspekte der Pflanzenphysiologie Einfluss (Newsham et al., 1995). Folgende Beispiele werden der Symbiose zwischen Pflanze und Mykorrhizapilzen zugeschrieben:

- Verbesserung des Wasserhaushaltes
- Erleichterung der Aufnahme von Nährstoffen
- Minderung der Aufnahme von Schwermetallen
- Stärkung der Pflanze gegen Schadorganismen

Laut Jung et al. (2012) steigt der Schutz der Pflanze gegen Bodenpathogene nicht nur durch die erhöhte Aufnahme von Nährstoffen oder Veränderungen in der Rhizosphäre, sondern auch durch die Steigerung der eigenen Immunabwehr. Durch die feinen Pilzhypen können die Kapillarräume des Bodens besser erschlossen und gleichzeitig die nährstoffabsorbierende Oberfläche für die Pflanzen um ein Vielfaches vergrößert werden, wodurch auch bei geringerer Nährstoffverfügbarkeit im Boden die Aufnahme von Wasser und Nährstoffen der Wirtspflanze verbessert wird (Kaspar, 2003). Je nach Pflanzenart und Sorte ist die AMP-Kolonisierung unterschiedlich und wird durch den Nährstoffgehalt im Boden stark beeinflusst. Landwirtschaftliche Eingriffe, wie Düngung, Bodenbearbeitung und Fruchtfolge üben einen großen Einfluss auf die Symbiose zwischen Pilz und Pflanze im Boden aus. Intensive Bodenbearbeitungsmethoden können die Aktivität von AMP einschränken und die im Boden verbundenen Pilzstrukturen zerstören (Gavito und Miller, 1998). Schonender wirkt sich die Bodenbearbeitung mit dem Grubber auf die Mykorrhizastrukturen im Boden aus (Gollner und Freyer, 2006). Auch die Direktsaat bringt bessere Bedingungen für die Bodenpilze hervor. Bei hohem Düngemiteleinsatz nimmt das AMP-Vorkommen wiederum durch die verminderte Zuckerabgabe der Pflanze an den Pilz ab, da die Pflanzen nicht auf eine Symbiose angewiesen sind (Kohl und Van der Heijden, 2016). Insofern kann eine reduzierte Düngung (Hoeksema et al., 2010) bzw. organischer Dünger wie zum Beispiel Stallmistkompost die Mykorrhizierung fördern (Gollner und Freyer, 2006). Die Gestaltung der Fruchtfolge kann sowohl zu einer Förderung wie auch einer Reduzierung der Mykorrhizierung führen. Ist die Folgekultur der Wirtspflanze keine mykorrhizabildende Pflanze, wie zum Beispiel Fuchsschwanzgewächse und Kreuzblütler, hat dies den stärksten Einfluss auf die Mykorrhizabildung im Boden (Gavito und Miller, 1998). Wird die Fruchtfolge mit Leguminosen, wie zum Beispiel durch einen mehrjährigen Anbau von Sojabohnen erweitert, kann das Kolonisationspotential gefördert werden und zu einer positiven Beeinflussung von AMP im Boden führen (Jie et al., 2013).

## Long term soil tillage and cover cropping affected arbuscular mycorrhizal fungi, nutrient concentrations, and yield in sunflowers

K. Rosner, G. Bodner, K. Hage-Ahmed, and S. Steinkellner (2018) Long term soil tillage and cover cropping affected arbuscular mycorrhizal fungi, nutrient concentrations, and yield in sunflowers. *Agronomy Journal* 110:1-9. doi:10.2134/agronj2018.03.0177

### Einleitung

Arbuskuläre Mykorrhizapilze sind Bestandteile des natürlichen Bodenmikrobioms in landwirtschaftlichen Böden. Die Verringerung der Bodenbearbeitung und die ganzjährige Abdeckung sind wichtige Faktoren für eine nachhaltige Landwirtschaft und können das AMP-Vorkommen fördern.

In der vorliegenden Studie wurden die Ergebnisse eines Feldexperiments mit verschiedener Bodenbearbeitung (konventionell, reduziert, minimal, ohne Bodenbearbeitung) in Wechselwirkung mit Zwischenfruchtanbau (bestehend aus AMP-Wirts- und Nicht-Wirtspflanzen) in einer gemeinsamen Fruchtfolge mit Winterweizen (*Triticum aestivum*) und Sonnenblume (*Helianthus annuus*) als Hauptkulturen vorgestellt. Verschiedene Zwischenfrüchte (in Mischungen oder als Einzelkomponenten) wurden in einem bestehenden Bodenbearbeitungsversuch aus dem Jahr 2009 in Österreich angebaut.



### Zielsetzungen:

- (i) Bewertung der AMP-Wurzelbesiedlung in einer gemeinsamen Fruchtfolge mit Zwischenfrüchten in verschiedenen Bodenbearbeitungssystemen;
- (ii) Klarstellung, ob und welche Kombination von Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtanbau die AMP-Wurzelbesiedlung und Sporendichte im Boden für die nachfolgende Hauptkultur fördert;
- (iii) Feststellung, ob Zwischenfrüchte aus Mykorrhiza-Nichtwirtspflanzen und Brachezeiten zu negativen Bedingungen für AMP in der nächsten Hauptkultur führen;
- (iv) mögliche Auswirkungen von Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtanbau auf die Nährstoffkonzentrationen, das C/N-Verhältnis und den Ertrag der folgenden Hauptkultur.

### Material und Methoden

Die Versuche wurden in Hollabrunn (48°34' N, 16°5' E) in den Jahren 2014–2016 durchgeführt. Der Bodentyp ist ein Tschernozem mit lehmiger Schluffstruktur. Der Versuch wurde im Jahr 2009 als Langzeitversuch angelegt. Der Versuchsaufbau bestand aus vier verschiedenen Bodenbearbeitungen in einem randomisierten Blockversuch mit drei Wiederholungen.

Die Bodenbearbeitungsmethoden umfassten:

- **konventionelle Bodenbearbeitung (CT):** mit Pflug auf 25 cm Tiefe im Herbst
- **reduzierte Bodenbearbeitung (RT):** mit Grubber und Scheibenegge
- **minimale Bodenbearbeitung (MT):** Minimalbodenbearbeitung mit Scheibenegge
- **keine Bodenbearbeitung (NT):** Direktsaat ohne Bodenbearbeitung

Jede Bodenbearbeitungsparzelle hatte eine Größe von 360 m<sup>2</sup> (6 × 60 m). Die Fruchtfolge bestand aus Winterweizen (*Triticum aestivum* L.) als Hauptkultur in den Jahren 2014–2015 und Sonnenblume (*Helianthus annuus* L.) als Hauptfrucht im Jahr 2016. Verschiedene Zwischenfrüchte in Mischungen oder als Einzelkomponenten wurden nach der Winterweizenernte angebaut.

Um den Prozentsatz der AMP-Wurzelbesiedlung zu ermitteln, wurden die Wurzeln von Winterweizen Mitte März (BBCH 25) als auch Anfang Juni (BBCH 61) 2015 beprobt. Für die verschiedenen Zwischenfruchtarten wurden die Wurzeln Mitte Oktober 2015 (8 Wochen nach der Aussaat) begutachtet. Im zweiten Jahr wurden bei der Hauptkultur Sonnenblume die Wurzeln der Teilflächen im Juni 2016 (BBCH 15) sowie im August 2016 (BBCH 65) beprobt. Alle Pflanzenwurzeln wurden nach dem Zufallsprinzip mit einer Schaufel in jeder Parzelle bis zu einer Bodentiefe von 15 cm beprobt. Zur Bestimmung der AMP-Wurzelbesiedlung wurden definierte Wurzelsegmente von 2 cm Gesamtlänge, beginnend 2 cm von der Basis des Sprosses, verwendet.

Der Prozentsatz der AMP-Wurzelbesiedlung wurde bei allen Behandlungen nach der Methode der Gitterlinienkreuzung (Newman, 1966; Giovanetti und Mosse, 1979) bestimmt.

**Tabelle 1: Zusammensetzung der untersuchten Zwischenfruchtmischungen:**

<b>Leguminosenmischung (Legumes)</b>	Ackerbohne (50 kg/ha), Alexandrinerklee (8 kg/ha), Futtererbse (30 kg/ha), Platterbse (30 kg/ha), Sommerwicke (30 kg/ha)
<b>Neutralpflanzen (Neutrals)</b>	Buchweizen (15 kg/ha), Mungo (3 kg/ha), Phacelia (5 kg/ha), Öllein (15 kg/ha)
<b>Kreuzblütlermischung (Brassicas)</b>	Kresse (5 kg/ha), Meliorationsrettich (10 kg/ha), Sareptasenf (3 kg/ha)
<b>Sandhafer (Oat)</b>	Sandhafer (150 kg/ha)
<b>Schwarzbrache (Fallow)</b>	Kein Zwischenfruchtanbau

## Ergebnisse

In der Hauptkultur, dem Winterweizen, betrug die Wurzelbesiedlung im Juni 2015 (BBCH 61) weniger als 4 % im Durchschnitt aller Proben und die Bodenbearbeitung hatte keinen Einfluss auf die AMP-Besiedlungsrate (Abb. 1). Bei den Zwischenfrüchten war der Effekt der Bodenbearbeitung nicht signifikant. Die AMP-Wurzelbesiedlung war bei verschiedenen Zwischenfruchtarten unterschiedlich während es keine Wechselwirkung zwischen Bodenbearbeitung und Zwischenfrucht gab (Abb. 2). Die AMP-Wurzelbesiedlung war bei *L. usitatissimum*, *P. sativum* und *T. alexandrinum* am höchsten. Die geringste AMP-Wurzelbesiedlung war bei *P. tanacetifolia* und *V. faba* zu verzeichnen.

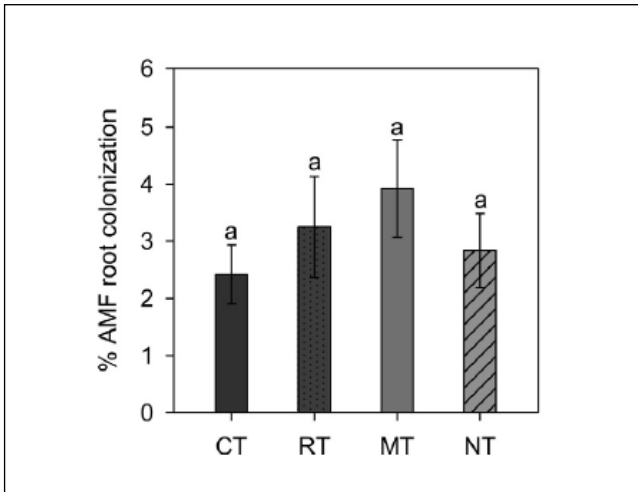


Abb. 1: AMP-Besiedlungsrate bei Winterweizen (© BOKU/Rosner et al., 2018)

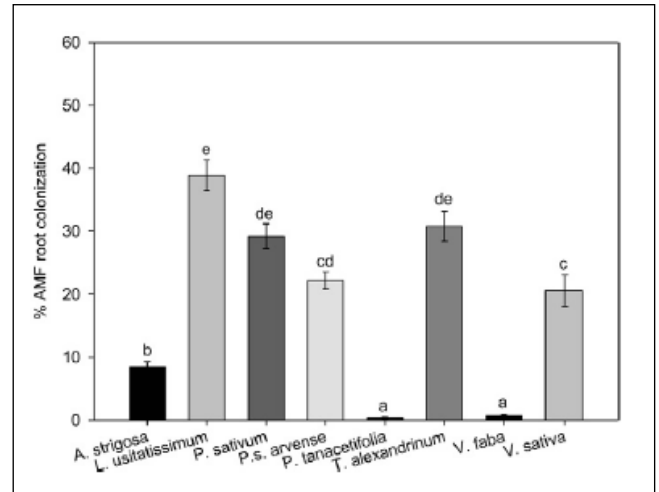


Abb. 2: AMP-Besiedlungsrate bei unterschiedlichen Zwischenfruchtarten (© BOKU/Rosner et al., 2018)

Bei der Hauptkultur Sonnenblume wurde die AMP-Wurzelbesiedlung durch die Bodenbearbeitung (Abb. 3A) und die vorhergehende Zwischenfrucht (Abb. 3B) beeinflusst, obwohl es keine Wechselwirkung zwischen Bodenbearbeitung und Zwischenfrucht gab. Die AMP-Wurzelbesiedlungsrate war mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität höher (Abb. 3A).

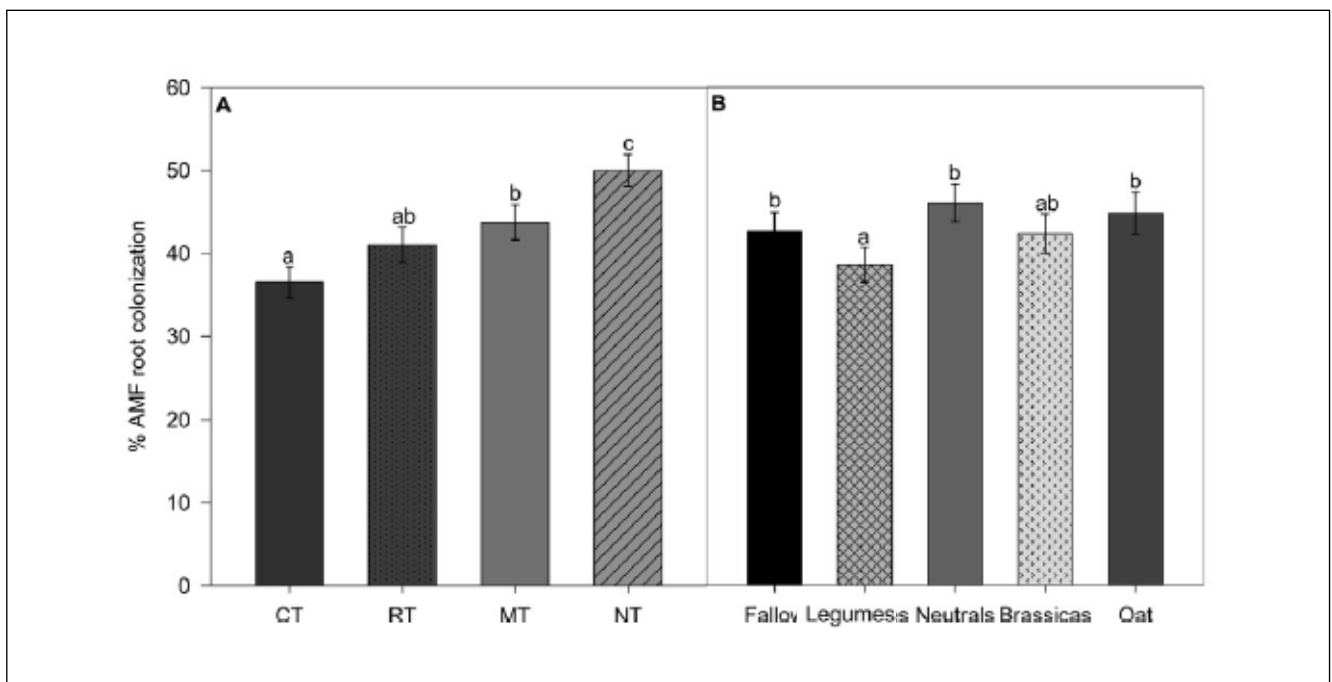


Abb. 3: AMP-Besiedlungsrate in % der Hauptfrucht Sonnenblume und der Zwischenfrüchte (© BOKU/Rosner et al., 2018)

Die Bodenbearbeitung hatte einen Einfluss auf die AMP-Sporendichte im Boden. Außerdem gab es eine Wechselwirkung zwischen Bodenbearbeitung und Zwischenfrucht (Abb. 4). Die vorherige Nutzung der Leguminosenmischung erhöhte die AMP-Sporendichte in NT im Vergleich zu CT und MT. Die vorherige Verwendung der neutralen Pflanzen erhöhte die AMP-Sporendichte in RT und NT, während in CT eine geringere Sporendichte auftrat. Die vorherige Brache und die vorherige Verwendung von Sandhafer hatten keinen Einfluss auf die AMP-Sporendichte.

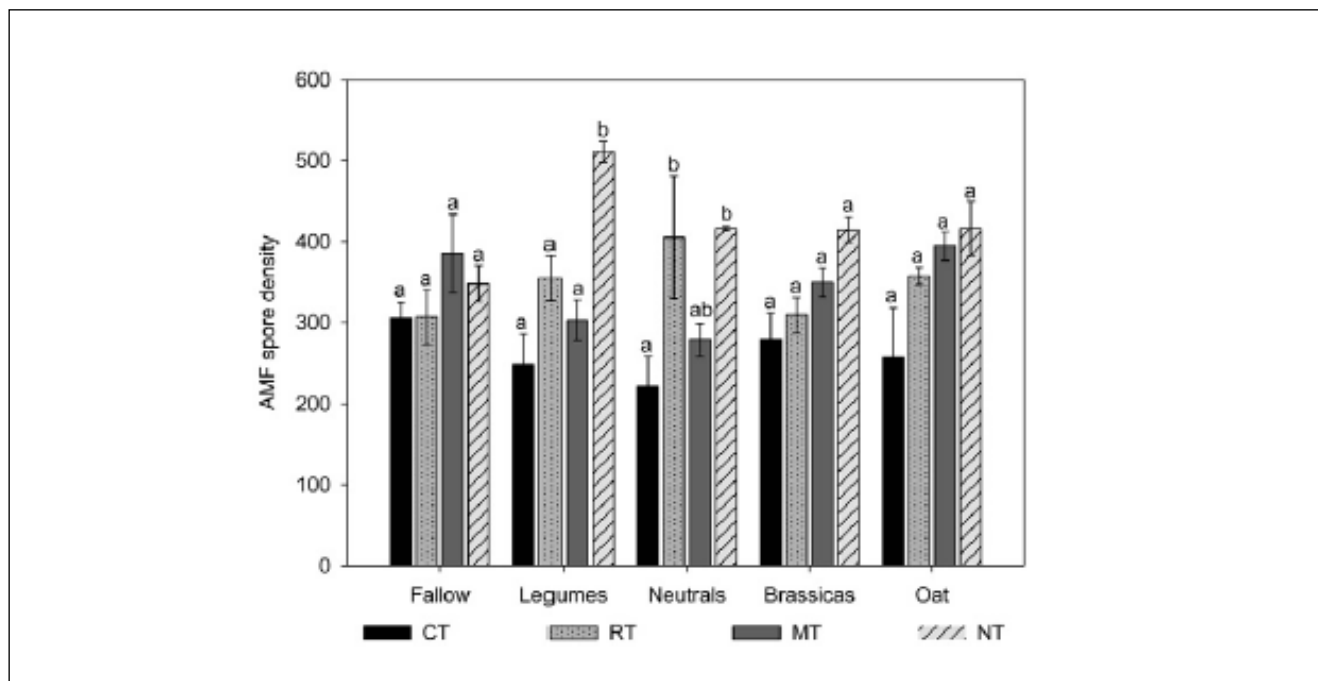


Abb. 4: AMP-Sporendichte im Boden (© BOKU/Rosner et al., 2018)

Die Bodenbearbeitung hatte einen Einfluss auf das C/N-Verhältnis der Pflanzen. Außerdem gab es eine Wechselwirkung zwischen Bodenbearbeitung und Zeit (Abb. 5A) sowie eine Wechselwirkung zwischen Bodenbearbeitung x Zwischenfrucht (Abb. 5B). In allen Bodenbearbeitungen war das C/N-Verhältnis bei BBCH 65 höher als bei BBCH 15.

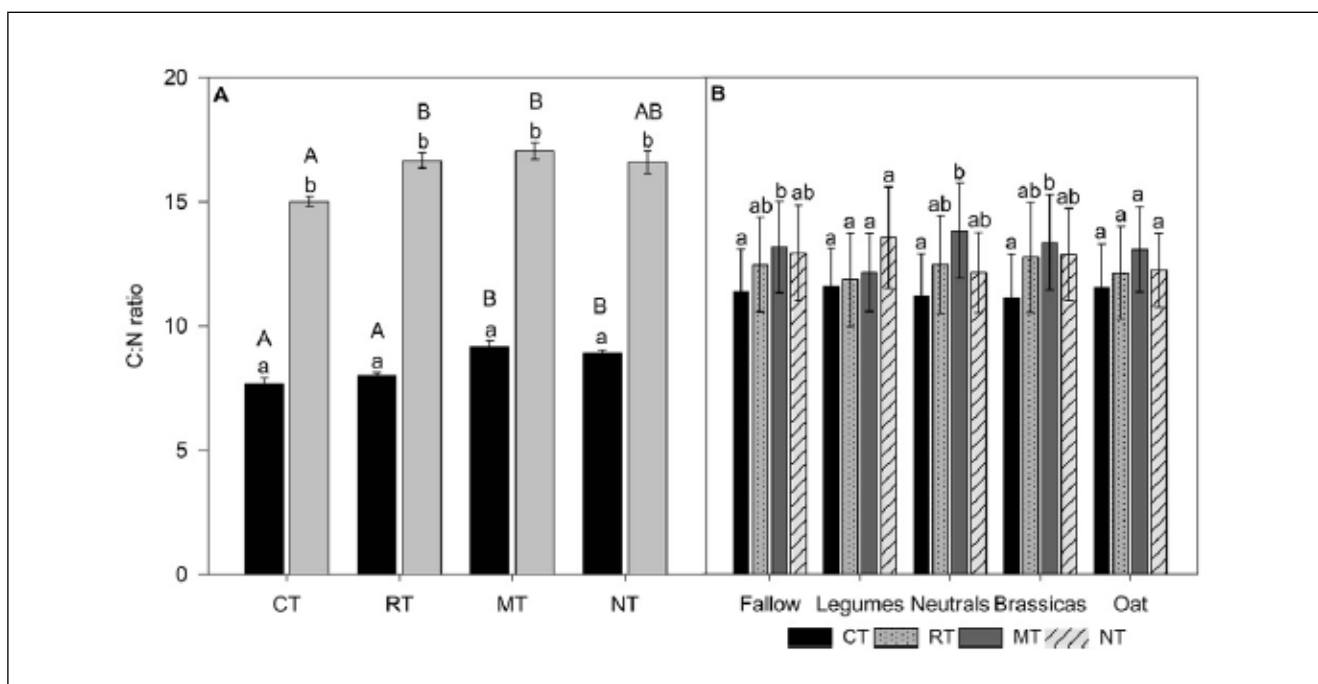


Abb. 5: C/N Verhältnis der Pflanzen (© BOKU/Rosner et al., 2018)

Die Bodenbearbeitung hatte keinen Einfluss auf die Gesamtkornerträge (durchschnittliche Feuchtigkeit von 12,8 %) von Winterweizen (Abb. 6). Auch der Ertrag (durchschnittliche Feuchtigkeit von 5,67 %) der folgenden Hauptkultur Sonnenblume wurde durch die Bodenbearbeitung nicht beeinflusst.

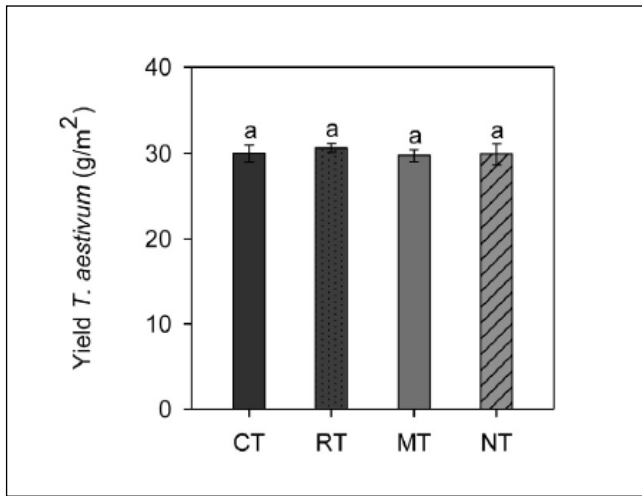


Abb. 6: Ertrag bei Winterweizen (© BOKU/Rosner et al., 2018)

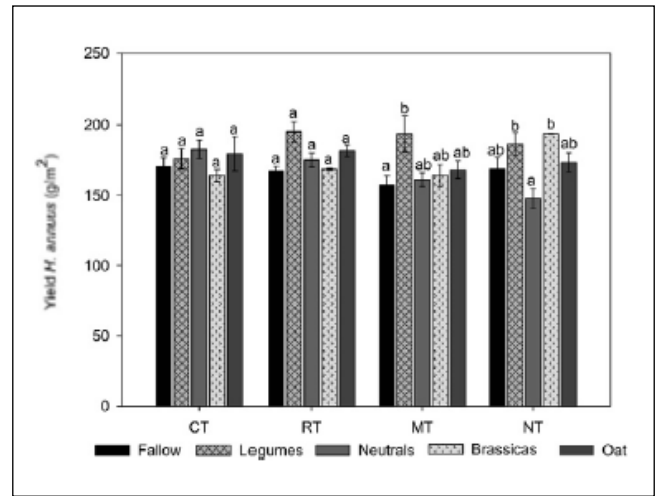


Abb. 7: Ertrag bei Sonnenblume (© BOKU/Rosner et al., 2018)

Die vorliegende Studie zeigte, dass reduzierte Bodenbearbeitungssysteme positive Auswirkungen auf die AMP-Wurzelbesiedlung der Wirtspflanzen hatten. Die Bedeutung der Bodenbearbeitung zeigt sich auch in der Studie von Kabir et al. (1997), in der berichtet wurde, dass AMP vor allem im Oberboden vorkommen, sodass ein tiefes und intensives Pflügen das Niveau der Symbiose in den Wurzeln reduziert.

Auch die Pflanzenart spielt eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung von AMP in Zwischenfrüchten. Leguminosen sind als Mykorrhiza-Wirtspflanzen bekannt. Unter der vorliegenden Studie lag die AMP-Wurzelbesiedlung in der Leguminosenmischung Besiedlung bis zu 45 %, außer bei *V. faba*. Ein anderes Bild zeigte sich bei den Brassica-Arten, die keine Mykorrhiza-Wirtspflanzen sind.

Dennoch werden sie häufig als Winterbegrünung verwendet, was sich positiv auf den Boden für die nachfolgende Kultur auswirken kann. In unserer Arbeit stellten wir die Hypothese auf, dass Mykorrhiza-Nichtwirtspflanzen, die als Zwischenfrucht verwendet werden, zu negativen Bedingungen für arbuskuläre Pilze führen und darüber hinaus die AMP-Wurzelbesiedlung in der folgenden Hauptkultur beeinflussen. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass diese negativen Auswirkungen nicht offensichtlich waren.

Reduzierte Bodenbearbeitung und Zwischenfrüchte sind Schlüsselkomponenten in der nachhaltigen Landwirtschaft. Die Bodenbearbeitung beeinflusste die Mykorrhizierung von Winterweizen, nicht aber von Zwischenfrüchten. Eine unterschiedliche AMP-Wurzelbesiedlung wurde bei mehreren Zwischenfruchtarten und in der nachfolgenden Sonnenblume gefunden. Bei dieser Kultur wurden die AMP-Wurzelbesiedlung und Sporendichte auch durch die Bodenbearbeitung beeinflusst. Die Kornerträge der Hauptkulturen wurden durch die Bodenbearbeitung nicht verändert.

Signifikante Wechselwirkungen zwischen Bodenbearbeitung und Zwischenfruchtanbau wurden beim Ertrag von Sonnenblumen und dem C/N-Verhältnis festgestellt. Außerdem wurde die Nährstoffkonzentration der Pflanzen durch die Bodenbearbeitung beeinflusst.

Diese Studie zeigt, dass eine geringere Intensität der Bodenbearbeitung in Kombination mit Zwischenfruchtanbau die Abundanz von AMP im Boden erhöht und den Ertrag der nachfolgenden Hauptkultur beeinflusst. Vor allem Nicht-Wirtspflanzen als Zwischenfrüchte führen zu keinen negativen Bedingungen für AMP in einer gemeinsamen Fruchtfolge.

## Mykorrhiza-Inokula

*Ladinig et. al, 2019; Baumgartner et. al, 2020*

In jüngster Zeit wurde der Bewirtschaftung von Bodenorganismen als wichtiger Ökosystemdienstleister große Aufmerksamkeit gewidmet. Solche Organismen werden immer mehr bewusst in die Umwelt freigesetzt, um Ökosysteme wiederherzustellen, Verschmutzung und Schädlingen entgegenzuwirken oder von den wachstumsstimulierenden Wirkungen von Pflanzen-Mikrobensymbiosen zu profitieren. Wie bereits beschrieben ist eine der wichtigsten Symbiosen die Assoziation zwischen Pflanzenwurzeln und arbuskulären Mykorrhizapilzen. Aufgrund ihrer unterstützenden Funktion in der Pflanzenernährung werden AMP oft als „Biofertilisatoren“ bezeichnet. Im Gegensatz zu Stickstoff fixierenden Rhizobien liefern sie aber keine neuen mineralischen Nährstoffe und werden daher als „Bio-Enhancer“ bezeichnet. Solche AM-Pilzstämme könnten in der Landwirtschaft mit geringem Input im ökologischen Landbau gewinnbringend eingesetzt werden, vorausgesetzt die Pilzinokula fördern den Ernteertrag bzw. die Qualität und können unter den einheimischen AM-Pilzgruppen fortbestehen.

In den letzten Jahren wurden große Anstrengungen unternommen geeignete AMP-Formulierungen für die Anwendung auf dem Feld zu etablieren. Zahlreiche Studien (Mader et al., 2000; Rouphael et al., 2015 Hijri, 2016) haben gezeigt, dass die Anwendung von kommerziellen AMP-Inokula unter landwirtschaftlichen Bedingungen die Pflanzengesundheit und den Ertrag verbessern kann. Eine Metaanalyse über die Kartoffelproduktion in 231 Feldversuchen in Europa und Nordamerika zeigte, dass nach der Impfung mit dem kommerziellen Stamm *R. irregularis* ein deutlicher Anstieg der Knollenproduktion erreicht werden konnte. Die durchschnittliche Ertragssteigerung betrug 3,9 t/ha, was 9,5 % des gesamten Ernteertrages entspricht (Chen et al., 2018). Eine kürzlich durchgeführte Metaanalyse ergab, dass die pflanzliche Biomasseproduktion und die Phosphoraufnahme im Feld in der Regel positiv mit der Besiedlung von AMP korreliert. Die Metaanalyse von Lekberg und Koide (2005) zeigte, dass durch AMP-Inokulation ein 29 %iger Anstieg der Mykorrhizakolonisierung erreicht wurde und dies zu einer Ertragssteigerung von 23 % im Feld führte (Pellegrino et al., 2012).

Die Erkenntnisse aus der Grundlagenforschung unterstützten die Ausweitung der Produktion von biotechnologisch hergestellten Pflanzenstärkungsmittel für den Bereich der Symbiontenttechnologie.

Pflanzenstärkungsmittel werden in Österreich als Pflanzenhilfsmittel definiert und durch die rechtlichen Bestimmungen des Düngemittelgesetzes 1994 geregelt. Laut Düngemittelgesetz sind Bodenhilfsstoffe „Stoffe ohne wesentlichen Gehalt an pflanzenaufnehmbaren Nährstoffen, die den Boden biotisch, chemisch oder physikalisch beeinflussen, um seinen Zustand oder die Wirksamkeit von Düngemitteln zu verbessern, insbesondere Bodenimpfmittel, Bodenkrumler, Bodenstabilisatoren, Gesteinsmehl, Nitrifikationshemmer, Torf, Rinden und Rindenprodukte“ (BMDW, 2020, §2.(1)).

Die Inokulation mit Mykorrhizapilzen wurde als eine moderne realisierbare Biotechnologie anerkannt und erreicht derzeit ein industrielles Stadium mit einer wachsenden Anzahl von Unternehmen, die verschiedene Inokula auf AMP-Basis entwickeln (Vosatka et al., 2013). Die Hauptakteure sind weltweit in Nordamerika, Europa, Asien und Lateinamerika angesiedelt.

Für das Zustandekommen einer erfolgreichen Inokulation mit AMP ist eine funktionell kompatible Kombination aus Wirt, Pilz und Substrat notwendig (Barea et al., 2013). Kommerzielle Inokula werden von den Herstellern häufig für eine breite Palette von Pflanzen und Umweltbedingungen vorgeschlagen, der tatsächliche Nutzen ist jedoch oftmals nicht positiv (Berruti et al. 2016). Die Wirksamkeit und der Erfolg von AMP hängen überwiegend von externen Bedingungen ab. Die AMP-Entwicklung kann durch zahlreiche landwirtschaftliche Praktiken (zB agrochemische Anwendungen, Bodenbearbeitung, Anbausysteme) sowie die Ernte von Nicht-Wirtspflanzen (zB Chenopodiaceae, Brassicaceae) beeinflusst werden und stören die AMP-Abundanz und Kolonisation (Chen et al, 2018).

Insbesondere der Einsatz von Insektiziden und Fungiziden hat viele negative Auswirkungen auf Bodenorganismen. Weniger signifikante Einflüsse wurden von Herbiziden dokumentiert (Vosatka et al., 2013). Außerdem hängt die Effizienz einer AMP-Inokulation neben der Verträglichkeit der Arten mit der Zielumgebung und der räumlichen Konkurrenz mit anderen Bodenorganismen vom Zeitpunkt der Impfung ab (Berruti et al., 2016). In der Regel wird eine möglichst frühzeitige Beimpfung vorgeschlagen, damit die maximale Dauer der Symbiose garantiert wird. Bevor eine Wirkung beobachtet werden kann, muss eine Besiedlung des Wurzelsystems erfolgen. Die Verbreitungseinheiten der Pilze sollten in möglichst direkten Kontakt mit den Wurzeln der Wirtspflanze gelangen. Die Kolonisierung ist nach 8 bis 14 Tagen weitgehend aktiv. Größere Mengen an Inokulum als nötig führen keineswegs zu einer rascheren oder besseren Besiedlung des Wurzelsystems. Mechanismen innerhalb der Pflanze und Wechselwirkungen zwischen den Kolonisierungseinheiten der AMP selbst regulieren den maximalen Grad der

Kolonisierung. Eine Vielzahl von Umweltfaktoren wie Temperatur, Düngung und Licht können die Wirksamkeit der Mykorrhiza zum Schwanken bringen, insbesondere wenn die Pflanzenart eine fakultative mykotrophe Lebensweise führt; bei obligat mykotrophen Pflanzenarten ist die Wirksamkeit der Symbiose stabiler. Denn im Gegensatz zu fakultativ mykotrophe Pflanzen, die für ihren Fortbestand nicht auf die Mykorrhiza angewiesen sind, können obligat mykotrophen Pflanzen ohne Pilzpartner unter natürlichen Bedingungen nicht überleben (Feldmann, 1998).

Bislang gibt es keine verpflichtende Qualitätskontrolle und keinerlei Kriterien für die Deklaration von handelsüblichen Produkten, was die Akzeptanz der Mykorrhizatechnologie mindert (Feldmann, 1998). Da Qualitätsparameter seitens der Regulierungsbehörden fehlen, verlassen sich die AMP-Hersteller auf selbst auferlegte Qualitätsstandards. In Europa haben sich die wichtigsten AMP-Hersteller auf die Verwendung von Gianinazzi-Pearson et al. (1985) vorgeschlagenes Protokoll geeinigt, um die Qualität von AMP-Produkten zu definieren. Dieses Protokoll wird als die „höchstwahrscheinliche Zahl“ (MPN) bezeichnet. Es dient der Bestimmung des Vorhandenseins oder Nichtvorhandenseins von AMP in einer Verdünnungsreihe. Die Ergebnisse werden als Wahrscheinlichkeitsschätzung der Ausbreitungszahl aus einer statistischen Tabelle interpretiert, die absolute Anzahl wird jedoch nicht gemessen. Allerdings sind auch andere qualitative Parameter zu berücksichtigen, insbesondere der Umfang des Inokulums (Anzahl der Sporen oder Vermehrungen /ml) und die Fähigkeit des Inokulums, eine AMP-Symbiose zu etablieren (Infektiosität) (Chen et al. 2018).

Eine Untersuchung eines deutschen Produktes zeigte, dass die Qualität, der am Markt angebotenen Produkte zum Teil sehr gering ist und keine positiven Effekte erzielt werden können. Zu Versuchsende wurden in zwei von drei Erdtypen keine Mykorrhizierung festgestellt. Außerdem gab es keine signifikante Beeinflussung auf das Wachstum und am Produkt wurde die angegebene Mykorrhizaart nicht gefunden.

Die Sporenanzahl (50–80 Sporen/g) war deutlich niedriger, als die vom Hersteller angegebene Sporenanzahl (200 Sporen/g). Nur die fünfzigfache Dosis der Herstellerempfehlung konnte zu einem Nachweis einer Mykorrhizierung bei Tomatenwurzeln führen (Yao et al., 2018). Vergleichsweise stellte sich laut Gaur et al. (1998) heraus, dass die kommerziell hergestellten Inokula am Versuchsende eine verminderte Sporenanzahl bzw. Ertrag aufwiesen; ebenso wie beim Versuch von Lauriano-Barajas und Vega-Frutis (2018).

Versuchsprodukte	Kulturart	Mykorrhizierung	Pflanzenwachstum	Referenz
12 kommerziell hergestellte Mykorrhiza-Inokula	Mais (Glashaus)	3 Inokula 19 % 7 Inokula < 3 % 2 Inokula 0 %	Steigerung der Biomasse bei kolonisierten Pflanzen	Faye et al., 2013
10 kommerziell hergestellte Mykorrhiza-Inokula	Mais (Glashaus)	4 Inokula ~20 % 2 Inokula < 5 % 1 Inokulum < 1 % 3 Inokula 0 %	Wachstumsverbesserung nicht durch AMP ausgelöst	Corkidi et al., 2004
„Micosat F“ ( <i>Glomus spp.</i> )	Mais (Freiland)	Nicht ausgewertet	Trockenmasse wurde um 15,5 % erhöht (mit Inokulum 21,2 t/ha, ohne Inokulum 17,9 t/ha)  Pflanzenanzahl mit Inokulum höher (5,6 je m <sup>2</sup> ) als ohne (4,9 je m <sup>2</sup> )	Sabia et al., 2015
2 kommerziell hergestellte Mykorrhiza-Inokula (flüssig und fest) und ein natürlich gezogenes Inokulum	Mais (Glashaus)	Natürliche AMP 14,7 % Flüssiges Inokulum 2,3 %	Die Gesamtbiomasse der Kontrollpflanzen war höher als die der inokulierten Pflanzen  Die Inokula haben die Wurzelmasse verringert	Lauriano-Barajas und Vega-Frutis, 2018

Tab. 1: Vergleich ausgewählter Versuche in Bezug auf die Wirksamkeit unterschiedlicher Inokula auf die Kulturpflanzen Mais (© BMFLW/Ladinig)

# Potential natürlicher und kommerziell erhältlicher Mykorrhiza-Inokula im Maisanbau

Ladinig M. (2020) *Potential natürlich und kommerziell erhältlicher Mykorrhiza-Inokula im Maisanbau*. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur, Wien.

DI Maria Ladinig, BM für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft

## Einleitung

Eine Inokulation mit AMP wirkt sich besser auf C4-Pflanzen und nicht stickstoffbindende Pflanzen als auf C3-Pflanzen und stickstofffixierende Pflanzen aus. Vor allem die Art der Wirtspflanzen und deren Eigenschaften tragen erheblich zum Erfolg der Kolonisierung der Pflanzenwurzeln bei (Hoeksema et al., 2010). Die Wurzeln der Maispflanze können einen hohen Mykorrhizierungsgrad und eine hohe Sporenanzahl aufweisen. Dadurch ist die Maispflanze eine sehr geeignete Wirtspflanze für AMP (Liu und Wang, 2003). AMP können positiv zur Entwicklung der Maispflanzen beitragen und den Ertrag steigern. Zudem wird auch die Nährstoffaufnahme der Maispflanzen beeinflusst. Vor allem der Phosphorgehalt in den Maispflanzen wird durch die Inokulation der AMP erhöht (Sabia et al., 2015; Cozzolino et al., 2013). Im Gegensatz zu nicht inokulierten Maispflanzen können Maispflanzen in Anwesenheit von AMP höhere Mengen an pflanzenverfügbarem Phosphor aus der Umgebung aufnehmen (Cardoso et al., 2006). Außerdem ermöglichen AMP den Maispflanzen einen Zugang zu Phosphor auf weite Entfernungen. Bei Maispflanzen, die etwa zu 45 % von AMP kolonisiert waren, konnte eine signifikant höhere Phosphoraufnahme festgestellt werden. Phosphor, der sich bis zu 10 cm von der Maiswurzel entfernt befindet, kann mithilfe der AMP zur Pflanze gelangen und genutzt werden (Jansa et al., 2005). Darüber hinaus kann durch die Inokulation der Maiswurzeln und die folgende Kolonisierung mit AMP der Gehalt an pflanzenverfügbarem Phosphor im Boden gesteigert werden (Cozzolino et al., 2013). Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden die Auswirkungen von Mykorrhiza-Inokula auf die Entwicklung der Maispflanze erarbeitet.

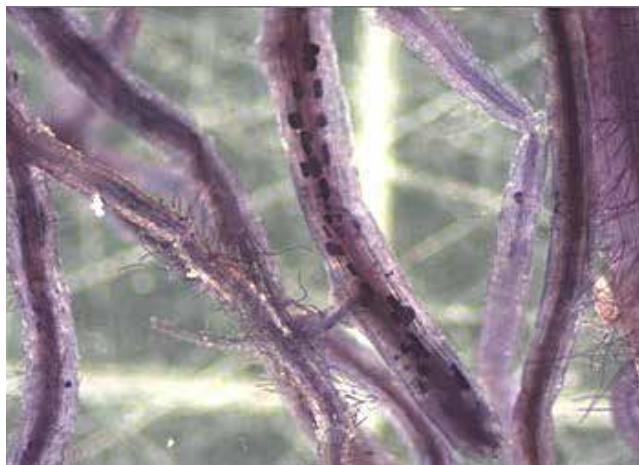


Abb. 1: Mykorrhizierte Maiswurzel (© BMFLF/Maria Ladinig)

## Mais

Die Maispflanze (*Zea Mays*) gehört zur Familie der Süßgräser (*Poacea*) und ist ein einjähriges Gras, das bis zu 1,5-2,5 Meter in die Höhe wächst (Becker und John, 2000). In Europa wurde Mais erstmals im 17. Jahrhundert angebaut (Lieberei und Reisdorff, 2012). Heute ist die Pflanze weit verbreitet und wird durch den Erfolg der Züchtung ebenso außerhalb des ursprünglichen Anbaugesbietes kultiviert (Geisler, 1991). Auch in Österreich zählt die Maispflanze zu einer der wichtigsten Kulturpflanzen und ist wirtschaftlich sehr bedeutend. Gründe für den großflächigen Anbau sind eine hohe Ertragsleistung, vielseitige Nutzungsmöglichkeiten sowie die ständige Verbesserung der vorhandenen Sorten. Im Jahr 2017 wurden in Österreich von etwa 22.000 Betrieben um die 209,476 ha Mais angebaut (BMNT, 2018). Jedoch ist bisher die Bedeutung des biologischen Anbaus von Körnermais in Österreich der Bedeutung des konventionellen Anbaus untergeordnet (Sinabell et al., 2015).

## Maissorte

Für alle Versuche wurde die Maissorte DKC 4717 – „Die Sonja“, die meistverkaufte Maissorte in Österreich, verwendet. Diese Körnermaissorte mit Silomaiseignung zählt zu einer der ertragreichsten Sorten mit einer guten Jugendentwicklung und hohen Wuchshöhe. Zudem wird die Sorte als sehr gesund bzw. standfest beschrieben (Die Saat, 2018).

## Material und Methoden

Untersucht wurden drei handelsübliche Produkte „Tiroler Glückspilze“ (TP), „Wilhelms Best“ (WB) und „INOQ“ (IQ) im Vergleich zu einem am Institut für Pflanzenschutz hergestellten Inokulum.

Produkt	Tiroler Glückspilze	Wilhelms Best	INOQ
<b>Hersteller</b>	Mushroom Production Center GmbH, Karmelitergasse 21, 6020 Innsbruck, Österreich	Wilhelms GmbH, Werner-Baumbach-Straße 22, 49661 Cloppenburg, Deutschland	INOQ GmbH, Solkau 2, 29465 Schnega, Deutschland
<b>Packungsinhalt</b>	180 g	20 g (für 1/10 Hektar)	10 Liter
<b>Ausgangsmaterial</b>	Kelpnahrung (Algen), Humus, Vitamine, Aminosäuren	Pflanzliche Stoffe, Gesteinsmehl, Tonminerale	Vermiculite 1–2 mm
<b>Lebende Mikroorganismen</b>	<b>Ektomykorrhizapilze:</b> <i>Pisolithus tinctorius</i> , <i>Rhizopogon villosulus</i> <i>R. luteolus</i> , <i>R. fulvigleba</i> , <i>R. amylopogon</i> <b>Endomykorrhizapilze:</b> <i>Glomus intraradices</i> , <i>G. mosseae</i> , <i>G. aggregatum</i> <b>Tichodermapilze:</b> <i>Trichoderma koningii</i> , <i>Trichoderma harzianum</i>	<b>Bodenbakterien:</b> <i>Bacillus velezensis</i> , <i>B. amyloliquefaciens</i> , <i>B. pumilus</i> , <i>Azotobacter chroococcum</i> , <i>Paraburkholderia phytotfirmans</i> , <i>Stenotrophomonas rhizophilia</i> <b>Mykorrhizapilz:</b> <i>R. irregularis</i>	<b>Mykorrhizapilz:</b> <i>Rhizoglosum irregulare</i>
<b>Aktive Einheiten</b>	325.030 Sporen je 1 ml	Ca. 1 Mio. Sporen je 200 g	145 Sporen je 1 ml
<b>Nährstoffe</b>		Stickstoff 0,97 % Phosphat 0,27 % Kaliumoxid 0,72 % Calciumoxid 2,74 % Schwefel 0,2 % Kupfer <0,001 % Zink 0,3 %	Phosphat 0,49 % Kaliumoxid 0,73 % Magnesium 9,94 % Cobald 0,0063 % Calciumoxid 15,26 %
<b>Empfohlene Menge</b>	4,5 g für 3 Liter Erde	200 g je Hektar	Mischen mit Substrat (5–10 %), 20 l/Pflanze

Tab. 1: Auflistung der Hersteller, Inhaltsstoffe und Mengenempfehlung der handelsüblichen Inokula (© BMFLF/Maria Ladinig)

### Inokulationsversuch

Im Rahmen des Inokulationsversuches wurden zwei Versuchsserien durchgeführt. Zwischen den Versuchsserien lagen 14 Tage. Für den Inokulationsversuch wurden Töpfe mit einem Volumen von 320 ml verwendet. Diese wurden jeweils mit einem autoklavierten Gemisch aus Leca, Sand und Erde in einem Verhältnis von 1:1:1 gefüllt. Danach wurde jeweils ein Maissamen pro Topf in das Saatloch gelegt.

### Ernte

Der Inokulumqualitätsversuch wurde 60 Tage nach Anbau geerntet. Bei der Ernte wurden die Wurzeln der Pflanzen gründlich gewaschen und Sprosslänge, Sprossfrischgewicht und Wurzelfrischgewicht an jeder einzelnen Pflanze erhoben.

Anschließend wurden die Wurzeln bis zur weiteren Untersuchung in 30 % iges Ethanol eingelegt. Zu Beginn wurde das BBCH-Stadium nach Weber und Bleiholder (1990) beurteilt und anschließend die Wurzel vom Spross getrennt. Danach wurden Sprosslänge und Frischgewicht des Sprosses und der Wurzel ermittelt.





Abb. 2: Randomisierte Versuchstöpfe (© BMFLF/Maria Ladinig)



Abb. 3: Gewaschenen Wurzeln nach der Ernte (© BMFLF/Maria Ladinig)

### Bestimmung der Mykorrhizierung

Anhand der „Gridline Intersection Method“ nach Newman (1966) wurde die Mykorrhizierung der Wurzeln beurteilt. Unter dem Mikroskop (Zeiss, Oberkochen, Deutschland) wurden je hundert Kreuzungspunkte (Wurzel kreuzt Linie der Petrischale) entlang der waagrechten Linien der eingeritzten Quadrate ausgezählt. Die Wurzeln mit vorhandener Mykorrhizabildung entlang der 100 Kreuzungspunkte wurden gezählt und daraus die Prozentzahl der Mykorrhizierung errechnet.



Abb. 4 a-b: Wurzeln auf Petrischale mit quadratischen Einritzungen und Kreuzungspunkt von Wurzel mit Mykorrhiza auf Linie (© BMFLF/Maria Ladinig)

### Ergebnisse

Die Tabelle 2 zeigt den Vergleich der mykorrhizierten Pflanzenanzahl und der durchschnittlichen Mykorrhizierung (in %) der Pflanzenwurzeln der Versuchsvarianten des Inokulationsversuches. (Summe aus zwei Versuchsansätzen)

Mit einigen Ausnahmen wurden nur bei den Varianten mit dem Inokulum INOQ (IQ) Mykorrhizastrukturen festgestellt. Sie unterschieden sich signifikant zu den restlichen Varianten (Kruskal-Wallis-Test,  $df=9$ ,  $p=2.2e-16$ , Wilcoxon-Test).

Nach acht Versuchswochen bildete nur eines der vier Inokula Mykorrhizastrukturen in den Wurzeln. Dabei konnte bei diesem Produkt eine Mykorrhizierung von bis zu 37 % erreicht werden. Die Mykorrhizierung erhöhte sich mit der Menge an Inokulum.

Bei den restlichen drei Inokula konnte, mit geringen Ausnahmen, keine Mykorrhizierung in den Wurzeln nachgewiesen werden. Es stellte sich heraus, dass die zusätzlichen Inhaltsstoffe neben den Mykorrhizapilzen in den Produkten einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung der Pflanzen haben und sich negativ auf die Pflanzen auswirken können.

Versuchsvariante	Anzahl Pflanzen	Anzahl Pflanzen mit Mykorrhiza	Durchschnittliche Mykorrhizierung (%)
Kontrolle	19	0	0,00
TG	18	2	1,44
WB	20	1	0,05
IQ	20	20	11,65
APS	20	1	1,45
Kontrolle+FG	20	0	0,00
TG+FG	19	3	0,79
WB+FG	20	1	0,10
IQ+FG	20	19	15,15
APS+FG	19	1	1,16

Tab. 2: Anzahl der mykorrhizierten Pflanzen und Durchschnitt der Mykorrhizierung (© BMFLF/Maria Ladinig)

Obwohl bei drei von vier Inokula keine Mykorrhizastrukturen gebildet wurde, profitierten die Pflanzen von anderen Zusatzstoffen in den Produkten. Dementsprechend sind die Wachstumseffekte der Pflanzen nicht zwangsläufig auf die Mykorrhizapilze im Produkt zurückzuführen.

Aus den vorliegenden Untersuchungen lassen sich keine Anwendungsempfehlungen ableiten. Des Weiteren wäre es wichtig, Versuche auch im freien Feld und auf größeren Flächen durchzuführen, um den nächsten Schritt in Richtung der nachhaltigen und großflächigen Landwirtschaft zu setzen.

Bis sich die Wirksamkeit von Mykorrhiza-Inokula durch zukünftige Forschungsarbeit verbessert, wäre es wichtig die schon vorhandene Mykorrhiza im Boden durch schonende Bodenbearbeitung, Fruchtfolge und verringerte Düngung zu fördern und zu erhalten. Dabei spielen die direkte Aufklärung der Landwirte und Landwirtinnen über das Thema selbst, das natürliche Vorkommen wie die Bedeutung von Mykorrhiza in der zukünftigen Landwirtschaft eine wichtige Rolle.

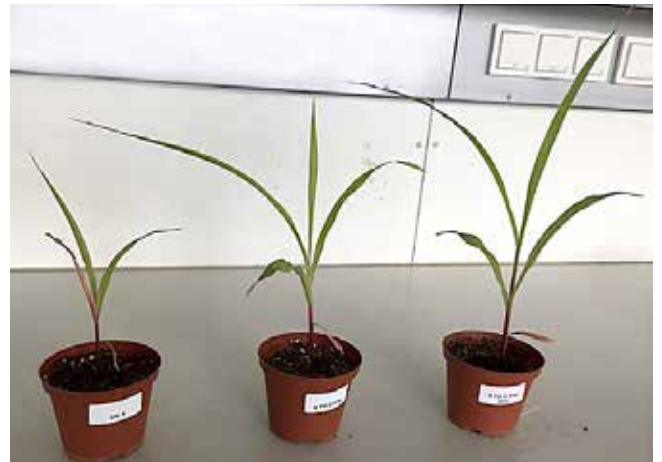


Abb. 5: Visuelle Unterschiede der Maispflanzen der untersuchten Varianten zum Zeitpunkt der Ernte (Kontrolle, TG, TG (autoklaviert)) (© BMFLF/Maria Ladinig)

*bio*  
*net*

[www.bio-net.at](http://www.bio-net.at)