

Bibliographische Angaben am Ende des Dokuments.
Das Dokument ist im Internet unter <http://orgprints.org/00001304/>
verfügbar.

**Auswirkungen acker- und pflanzenbaulicher Massnahmen
sowie der Dauer der ökologischen Bewirtschaftung
auf die arbuskuläre Mykorrhiza im Ökologischen Landbau**

Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades

"Doktor rerum naturalium technicarum"

**der Universität für Bodenkultur (BOKU)
Gregor-Mendel-Strasse 33, A-1180 Wien**

eingereicht von

Dipl.-Ing. Manfred Gollner

Wien, der 28.04.2003

Wissenschaftliche Erstbetreuung:	Institut für Ökologischen Landbau (IFOEL)
Univ.-Prof. Dr. Bernhard Freyer	
Wissenschaftliche Zweitbetreuung:	Institut für Pflanzenschutz (IPS)
Dr. habil. Horst Vierheilig	

Danksagung

An dieser Stelle danke ich allen, die mir bei der Durchführung dieser Arbeit behilflich waren, insbesondere:

* Herrn O. Univ. Prof. Dr. Bernhard Freyer für die Bereitstellung dieses interessanten Themas und den grossen Freiraum bei dessen Bearbeitung,

* Herrn Dr. habil. Horst Vierheilig für die hilfreichen fachlichen Kommentare zur vorliegenden Arbeit und dass er sich trotz erst kurzzeitigem Aufenthalt an der BOKU als Gutachter zur Verfügung gestellt hat,

* Ao. Univ. Prof. Jürgen Friedel für die stete Diskussions- und Hilfsbereitschaft bei der Erstellung der Arbeit, und nicht zuletzt bei

* allen verantwortlichen Personen an den Institutionen, inkl. den Landwirten, welche die Beprobung ihrer Feldversuche bzw. landwirtschaftlichen Nutzflächen ermöglicht haben.

Inhaltsverzeichnis

1.	Abkürzungen und Fachwörter.....	6
2.	Einleitung.....	9
2.1	Die Bedeutung der AM im ÖL.....	9
2.2	Ziele der Arbeit.....	13
3.	Material und Methoden.....	14
3.1	Quantifizierung der Mykorrhizasymbiose.....	14
3.1.1	Probennahme im Freiland.....	14
3.1.2	Bonitur der WLD und des MBG.....	16
3.2	Charakterisierung der AMP.....	18
3.2.1	Morphologische Charakterisierung der AMP.....	18
3.2.2	Molekularbiologische Charakterisierung der AMP.....	18
3.3	Kriterien für die Auswahl der Versuchsflächen.....	24
4.	Der Beitrag der AM zur P-Aufnahme.....	26
4.1	Problemstellung und Herleitung der Arbeitshypothesen.....	26
4.2	Material und Methoden.....	28
4.2.1	Schematischer Versuchsaufbau.....	28
4.2.2	Grundsubstrat.....	29
4.2.3	Düngerröhren.....	31
4.3	Ergebnisse.....	33
4.4	Diskussion.....	36
5.	Einfluss der Intensität der Bodenbearbeitung auf die AM.....	38
5.1	Problemstellung und Herleitung der Arbeitshypothese.....	38

5.2	Das Projekt "Ökologische Bodenbewirtschaftung"	40
5.3	Ergebnisse.....	43
5.3.1	Auswirkungen auf den MBG, die WLD und die WLD _{inf}	44
5.3.2	Auswirkungen auf den Ertrag	47
5.4	Diskussion.....	47
6.	Einfluss der Fruchtfolgegestaltung auf die AM.....	50
6.1	Problemstellung und Herleitung der Arbeitshypothese.....	50
6.2	Der Leguminosenfeldversuch Groß-Enzersdorf	51
6.3	Ergebnisse.....	54
6.4	Diskussion.....	59
7.	Einfluss von Stallmistdüngung auf die AM	61
7.1	Problemstellung und Herleitung der Arbeitshypothese.....	61
7.2	Untersuchungsvarianten zum Einfluss der Stallmistdüngung auf die AM.....	62
7.2.1	Der Dauerroggenversuch Groß-Enzersdorf.....	62
7.2.2	Der Kompostdüngerversuch Gumpenstein.....	72
8.	Einfluss der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die AM	80
8.1	Problemstellung und Herleitung der Arbeitshypothese.....	80
8.2	Untersuchungsvarianten zum Einfluss der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die AM.....	81
8.3	Ergebnisse.....	83
8.3.1	Vergleich auf Betriebsebene	84
8.3.2	Vergleich zwischen den Betrieben	90
8.4	Diskussion.....	91
9.	Einfluss der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die Biodiversität von AMP	93
9.1	Problemstellung und Herleitung der Arbeitshypothese.....	93

9.2	Untersuchungsvarianten zum Einfluss der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die Biodiversität von AMP	95
9.3	Ergebnisse.....	96
9.3.1	Betrieb Alt Prerau	96
9.3.2	Betrieb Herrnleis	98
9.3.3	Betrieb Neubau.....	100
9.3.4	Betrieb Obersiebenbrunn	102
9.3.5	Betrieb Spillern	104
9.4	Diskussion.....	106
10.	Zusammenfassung / Summary.....	108
11.	Verzeichnisse.....	113
11.1	Literaturverzeichnis	113
11.2	Abbildungsverzeichnis	128
11.3	Tabellenverzeichnis	131

1. Abkürzungen und Fachwörter

18S ribosomale DNA	... für Pilze spezifische DNA der Ribosomen (S = Svedberg Einheit, Koeffizient zur Bestimmung der Molmasse)
Agarose	... gelierfähiges Polysaccharid aus Meeresalgen
Aliquot	... Teilmenge
AM	... arbuskuläre Mykorrhiza
AMP	... arbuskuläre Mykorrhizapilze
artifizuell	... künstlich, unnatürlich
ATP	... Adenosintriphosphat
Autoklav	... thermischer Sterilisationsapparat.
Basen G, C, A, T	... Bausteine der Nukleinsäuren, Guanin, Cytosin, Adenin, Thymin
bp	... Basenpaare, engl. "base pairs"
chromogen	... Vorstufe eines Farbstoffs
DNA	... Desoxyribonukleinsäure, engl. "Desoxyribo-Nucleic-Acid"
Edaphon	... Bodenleben
Elektrophorese	... Auftrennung der DNA-Fragmente der Länge nach im Agarose-Gel in einem elektrischen Feld. Längere und somit schwerere Fragmente der negativ geladenen DNA wandern langsamer zum Pluspol
Expression	... Biosynthese eines Genprodukts (= Umsetzung der genetischen Information in Proteine)
extraradikal	... ausserhalb der Wurzel
Genom	... Gesamtheit des genetischen Materials in den Chromosomen eines bestimmten Organismus.
Homologie	... nicht zufällige Übereinstimmung in Merkmalen bei unterschiedlichen Arten, die sich auf die genetische Information in einer gemeinsamen Stammart zurückführen lässt
Hyphen	... Pilzfäden
Insert	... "Passagier"-DNA, DNA-Sequenz, die in einen Vektor (Plasmid) eingebracht (einkloniert) werden soll.
intraradikal	... innerhalb der Wurzel
klonieren	... Produktion und Vermehrung identischer DNA-Fragmente durch das Einbringen in Plasmide von Bakterien

kompetente Zellen	... Bakterienzellen für die Vermehrung von Plasmid-Vektoren und DNA-Gewinnung
MBG	... Mykorrhizabesiedelungsgrad (Anteil der Wurzellänge die mit AMP kolonisiert ist (%))
mg	... Milligramm
Multiple-Cloning-Site	... Bereiche eines Plasmids mit mehreren verschiedenen Restriktionsschnittstellen. An diesen Stellen ist es relativ einfach DNA-Inserts zu integrieren
Mykosymbiont	... pilzliche Symbiosepartner
Myzel	... Gesamtheit aller Hyphen
NaCl	... Natriumchlorid, Kochsalz
ÖL	... Ökologischer Landbau
P	... Phosphor
PCR	... Polymerase-Kettenreaktion, engl. "Polymerase Chain Reaction"
Phytosymbiont	... pflanzliche Symbiosepartner
Plasmide	... Im Vergleich zur DNA relativ kleine, ringförmige, selbständige Einheiten mit genetischer Information innerhalb von Bakterien zusätzlich zum genetischen Material. Sie werden von der Bakterienzelle an die Nachkommen weitervererbt.
pmol/μl	... Pikomol pro Mikroliter
Primer	... Oligonukleotide, die spezifisch an einen bestimmten DNA-Abschnittes eines Organismus anhaften
reliert	... zurückbinden
Repressor	... Hemmung der Aktivität eines Genabschnittes, z.B. bei der Enzyymbildung
Restriktionsenzym	... Enzym welches die DNA an bestimmten Sequenzen schneidet
RFLP	... Restriktionsfragment-Längenpolymorphismus, engl. "Restriction Fragment Length Polymorphism"
Rhizosphäre	... Schnittstelle zwischen Pflanzenwurzel und Boden
Sequenz	... Basenabfolge am DNA-Strang
Template	... Ausgangssubstanz für eine PCR
Transformation	... Einführung eines Plasmidvektors in sogenannte kompetente Zellen.
ubiquitär	... weltweit
Vektor	... DNA-Moleküle, die Fremd-DNA zur Klonierung aufnehmen und sich im Zielorganismus replizieren können

WLD	... Wurzellängendichte (cm Wurzellänge pro cm ³ Boden (cm/cm ³))
WLD _{inf}	... mit AMP kolonisierte Wurzellängendichte (cm/cm ³)
Zn	... Zink
Zn	... Zink

2. Einleitung

2.1 Die Bedeutung der AM im ÖL

In den letzten Jahren auftretende, signifikante Umweltbelastungen infolge industrieller, konventioneller landwirtschaftlicher Produktionssysteme, haben das gesellschaftliche Interesse an alternativen, nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktionssystemen, wie dem ÖL erhöht (Hooker & Black 1995, etc.).

Die extensive Ausrichtung des ÖL legt nahe, dass für die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit wichtige Organismen wie die AMP gefördert werden. Um diese Beziehung näher zu beschreiben, sind folgende Fragen zu beantworten:

- + Welche Eigenschaften kennzeichnen den ÖL?
- + Worin bestehen die Nutzwirkungen der AM?
- + Wie wirken sich Bewirtschaftungsmaßnahmen des ÖL auf die AM aus?

Die Prinzipien des ÖL sind das Streben nach weitgehend geschlossenen Stoffkreisläufen im Betrieb, der schonende Umgang mit nicht erneuerbaren Rohstoff- und Energieressourcen, die Stärkung und Nutzung natürlicher Selbstregulationsmechanismen sowie die Erhaltung und Verbesserung der Vielfalt der Arten und des Landschaftsbildes (Lindenthal et al. 1996, S. 8).

Der ÖL ist durch einen geringen Einsatz oder Verzicht an betriebsfremden Ressourcen wie z.B. Agrochemikalien (Düngemittel, Pestizide etc.), einer hohen Kulturpflanzenvielfalt mit Leguminosenanbau und weitgehend ganzjähriger Bodenbedeckung, einer schonenden Bodenbearbeitung und einer überwiegend auf hofeigenen Düngern basierenden Versorgung von Boden und Pflanze mit Nährstoffen charakterisiert.

Die Produktivität stützt sich im ÖL auf die Optimierung bodenphysikalischer, -chemischer und -biologischer Prozesse. Die Resistenz und die Elastizität, d. h. ein rascher Ausgleich von destabilisierenden Einflüssen des Agrarökosystems gegenüber Störungen von aussen, wie z. B. durch phytopathogene Mikroorganismen ausgelöste Pflanzenkrankheiten, und nachteiligen, ertragslimitierenden Witterungsbedingungen, kann dadurch erhöht werden.

Nach dem heutigem Stand des Wissens stellen im ÖL die Bodenmikroorganismen den ausschlaggebenden Faktor in den Nährstoffkreisläufen und der Pflanzenernährung dar (Lee & Pankhurst 1992), während im Gegensatz dazu in konventionellen landwirtschaftlichen Produktionssystemen viele der für die Bodenfruchtbarkeit und Ertragsbildung der Kulturpflanzen fördernden Aktivitäten der Bodenmikroorganismen durch die Anbaumassnahmen beeinträchtigt werden (Fraser et al. 1988).

Der Begriff Mykorrhiza wurde im Jahre 1885 vom deutschen Forstphytopathologen Frank geprägt und setzt sich aus den griechischen Worten "mykes" für "Pilz" und "rhiza" für "Wurzel" zusammen. Als AM bezeichnet man nach Morton & Benny (1990) eine Symbiose zwischen Gefässpflanzen (vaskuläre Pflanzen, Cormobionta) und Bodenpilzen der Ordnung Glomales des Stamm der Zygomycota (Jochpilze).

Die AM ist die älteste bekannte Form einer Symbiose zwischen Pflanzenwurzeln und Bodenpilzen. Sie entwickelte sich wahrscheinlich im Rahmen der Eroberung des Festlandes durch die Pflanzen vor rund 460 Millionen Jahren an der Grenze vom Silur zum Devon (Simon et al. 1993, Taylor et al. 1995).

Nach gegenwärtigem Stand des Wissens gehen ca. 80% aller bisher untersuchten höheren Landpflanzenarten eine Symbiose mit AMP ein (Trappe 1987, Harley 1989, etc.), darunter der Grossteil unserer landwirtschaftlichen Nutzpflanzen (Barea & Azcon-Aguilar 1983, etc.), wobei Pflanzen aus den Familien der Kreuzblütler (*Brassicaceae*), Gänsefußgewächse (*Chenopodiaceae*), Sauergräser (*Cyperaceae*), Binsengewächse (*Juncaceae*) und Nelkengewächse (*Caryophyllaceae*) keine AM ausbilden (Gerdemann 1968, Newman & Redell 1987 sowie Thompson 1994), siehe auch Tabelle 1).

Tabelle 1: Landwirtschaftliche Nutzpflanzen ohne AM

Pflanzenfamilie	Landwirtschaftlich relevante Vertreter	Referenzen
Cruciferae	Raps (<i>Brassica napus</i>)	Ocampo et al., 1980
	Rübsen (<i>B. campestris</i>)	Glenn et al., 1988
	Kohl (<i>B. oleracea</i>)	Black and Tinker, 1979
	Chinakohl (<i>B. chinensis</i>)	Yost and Fox, 1979
	Weisser Senf (<i>Sinapsis alba</i>)	Fitter and Nichols, 1988
Chenopodiaceae	Zuckerrübe (<i>Beta vulgaris</i>)	Ocampo et al., 1980
Amaranthaceae	Amaranth (<i>Amaranthus viridis</i>)	Khan, 1974
Polygonaceae	Buchweizen (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	Mosse and Thompson, 1984
Leguminosae	Lupine (<i>Lupinus</i> ssp.)	Thompson & Wildermuth, 1989

Die AMP bilden durch ihre ubiquitäre Verbreitung einen bedeutenden Anteil der mikrobiellen Biomasse (bis zu 25 %) des Bodens (Hamel 1996), und stellen durch ihre Mitwirkung an essentiellen Prozessen in der Rhizosphäre eine bedeutende Komponente in agrarischen Ökosystemen dar. Die AM ist somit ein potentieller Bestimmungsfaktor der Diversität von Ökosystemen und beeinflusst die Funktionalität und Struktur der Pflanzengesellschaften am jeweiligen Standort (Giovannetti & Gianinazzi-Pearson 1994, Van der Heijden et al. 1998, Bever et al. 2001).

Das externes Myzel von AMP hat nach Tisdall & Oades (1979) einen geringeren Durchmesser (ca. 2-8 µm) als Wurzelhaare und Feinwurzeln (ca. 10-20µm). Infolge dieses geringeren Durchmessers können die AMP wesentlich kleinere Bodenporen erschliessen als die Pflanze mit Hilfe ihrer Wurzeln und so Wasser, P und andere Nährstoffe aus Bodenkompartmenten aufnehmen die für die Pflanze über ihre Wurzelhaare und Feinwurzeln nicht erreichbar sind und zu ihrem Phytosymbionten transportieren. Die AMP erweitern so das räumliche Wasser- und Nährstoffaufnahmevermögen des Phytosymbionten.

Pflanzen nehmen Nährstoffe vorwiegend über Wurzelhaare auf. Durch diese Nährstoffaufnahmen kommt es zur Ausbildung einer Verarmungszone ("depletion zone") von mehreren Millimetern um die Pflanzenwurzel. Die Nachlieferung von Nährstoffen durch Diffusion erfolgt relativ langsam. Deshalb muss die Pflanzenwurzel weiterwachsen um in Bodenzonen mit einer höheren Nährstoffkonzentration vorzudringen um dort Nährstoffe aufzunehmen. Die externen oder extraradikalen Hyphen der AMP erschliessen den umgebenden Boden bis zu einer Distanz von 10 cm (Li et al. 1991, Camel et al. 1991) von der Wurzeloberfläche. Sie können Nährstoffe aufnehmen und aktiv zur Pflanzenwurzel

transportieren. Dieser aktive Transport erfolgt um ca. zwei bis drei Zehnerpotenzen schneller als die Diffusion von Nährstoffionen in der Bodenlösung (Jungk 1996).

In der Symbiose erhält der heterotrophe Mykosymbiont Assimilate vom autotrophen Phytosymbionten. Als Gegenleistung erfährt der Phytosymbiont zahlreiche direkte und indirekte Nutzwirkungen vom Mykosymbionten die in einer Wachstumssteigerung des Phytosymbionten resultieren können. Zu diesen Nutzwirkungen zählen u.a.:

- + die Förderung der Nährstoffaufnahme (v. a. P und Zn) aus dem Boden (George et al. 1995, Marschner & Dell 1994),
- + die Erhöhung der Resistenz gegenüber Trockenheit (Subramanian et al. 1995, Sylvia et al. 1993),
- + die Erhöhung der Resistenz gegenüber phytopathogenen Pilzen (Newsham et al. 1995a & 1995b) und Nematoden (Thompson 1994a, Brussaard 2001),
- + die Erhöhung der Resistenz gegenüber Bodenerosion durch die Förderung der Stabilität von Bodenaggregaten (Miller & Jastrow 1992 & 2000, Schreiner & Bethlenfalvay 1995, Schreiner et al. 1997),
- + die Erhöhung der Resistenz gegenüber Bodenversalzung (Dehne 1987, Al-Karaki 2000, Al-Karaki & Hammad 2001, Al-Karaki et al. 2001), sowie
- + die Erhöhung der Resistenz gegenüber Schwermetallbelastung (Schüepp 1987, Leyval et al. 1991, Weissenhorn et al. 1995).

Der ÖL lässt aufgrund der systemeigenen spezifischen Fruchtfolgen, Düngemassnahmen und Bodenbearbeitung, positive Auswirkungen auf die Entwicklung der AM und die Kolonisierung der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen erwarten (Sattelmacher et al. 1991, Ryan et al. 1994, Merryweather 2001).

Diese positiven Auswirkungen wurden bereits in einigen vergleichenden Untersuchungen über die Auswirkungen einzelner Kulturmassnahmen auf die AM in konventionell und nachhaltig bewirtschafteten Standorten nachgewiesen (Ryan et al. 1994, Johnson & Pflieger 1992, Kurle & Pflieger 1994, Sattelmacher et al. 1991, etc.). Deshalb kann angenommen werden, dass durch die Verwendung von organischen Düngemitteln in entsprechender Menge, den Verzicht auf chemischen Pestizideinsatz, eine entsprechende Fruchtfolgegestaltung, sowie eine Minimum an Bodenbearbeitung und die Vermeidung von

Schwarzbrache, die AMP in landwirtschaftlichen Produktionssystemen optimal gefördert werden können.

Vor dem Hintergrund der Optimierung von "low input" Produktionssystemen besteht daher das Interesse, die Beziehungen zwischen spezifischen Bewirtschaftungsmassnahmen und der AM zu untersuchen.

2.2 Ziele der Arbeit

Ein Ziel der vorliegenden Arbeit war deshalb die Klärung von Zusammenhängen zwischen dem MBG der Kulturpflanzen und

+ der P-Aufnahme ihrer Phytosymbionten

+ unterschiedlichen Bodenbearbeitungsintensitäten

+ unterschiedlichen Anteilen an Leguminosen in der Vorfrucht bzw. in der Fruchtfolge

+ der Ausbringung unterschiedlichen organischer Dünger, sowie

+ der Dauer der ökologischen Bewirtschaftung

unter den Bedingungen des ÖL.

Ein weiteres Ziel war die Untersuchung der Biodiversität der AMP am jeweiligen Standort in Abhängigkeit von der Dauer der ökologischen Bewirtschaftung.

Zu diesem Zwecke wurden Feldversuche zur Überprüfung des Einflusses von acker- und pflanzenbaulichen Massnahmen (Fruchtfolge, Düngung und Bodenbearbeitung) sowie Gefässversuche zum Einfluss der Dauer der ökologischen Bewirtschaftung auf den MBG der Wurzeln der Kulturpflanzen mit AMP, sowie der Biodiversität von AMP durchgeführt und mittels mikroskopischer und molekularer Methoden untersucht.

Bei einzelnen Versuchsfragen wurde auf extensive landwirtschaftliche Produktionssysteme zurückgegriffen, da zum Zeitpunkt der Untersuchung keine adäquaten Versuchsanlagen, welche unter den Richtlinien des ÖL bewirtschaftet wurden, für die Bearbeitung zur Verfügung standen.

3. Material und Methoden

3.1 Quantifizierung der Mykorrhizasymbiose

3.1.1 Probennahme im Freiland

Für die Entnahme von Bodenproben zur Bestimmung des MBG der Wurzeln kolonisierter Pflanzen gibt es keine genormten Vorgaben. Die Entnahme der Bodenproben erfolgte auf der zu beprobenden Parzelle mit einem N_{\min} -Bohrstock (Innendurchmesser 3,2 cm) im Bearbeitungshorizont (Ap) bis zu einer Tiefe von 27 cm. Aus der Literatur sind kleinräumige Variationen der Populationsdichte von AMP bekannt (St. John & Koske 1985). Daher erfolgte die Bodenprobennahme nach dem Zufallsprinzip.

Die Grösse der Teilflächen wurde entsprechend den Parzellen auf den Untersuchungsstandorte der folgenden Kapitel angepasst. Auf der zu beprobende Parzelle wurden 4 zufällige Teilflächen ausgewählt (Abbildung 1).

1				
			2	
3				4

Detail siehe Abbildung 2.

Abbildung 1: Schema der Bodenprobennahme für die Untersuchung des MBG durch AMP.

Um die Untersuchungsergebnisse statistisch auswerten zu können, muss eine Mindestanzahl an Einstichen auf der zu beprobenden Parzelle durchgeführt werden. Pro Parzelle wurden entsprechend Tews & Koske (1986) 20 Einstiche mit dem N_{\min} -Bohrstock in den Teilflächenabschnitten 1,2,3 und 4 durchgeführt (Abbildung 1). Aus den 5 Einstichen pro Teilflächenabschnitt wurden 4 Mischproben pro Horizont (Abbildung 2) gewonnen.

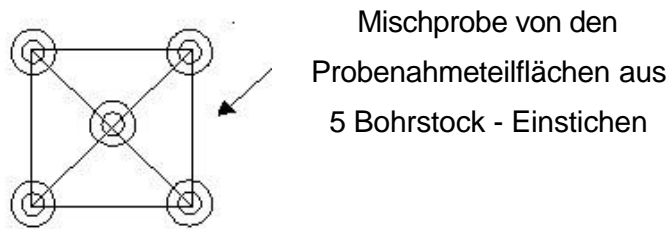


Abbildung 2: Detail der Bodenprobennahme für die Bonitur der Wurzelparameter.

Die Probenahme erfolgte während des Schossens der jeweiligen Getreidearten, da zu diesem Zeitpunkt die P-Aufnahme der Versuchspflanzen, bei der die AMP eine wichtige Rolle spielen, ein Maximum erreicht. Zu einem früheren Zeitpunkt ist das Wurzelwachstum für eine effektive Kolonisation durch die AMP zu intensiv (George 1999, persönliche Mitteilung), während nach der Blüte die P-Aufnahme durch die Wirtspflanzen zurückgeht (Römer & Schilling 1986) und folglich die Bedeutung der AMP bei der P-Aufnahme für die Pflanze abnimmt.

Die Bodenproben wurden in 0-10 und 10-27 cm Bodentiefe genommen und in Polypropylen (PP) - Beuteln gesammelt. Die Proben wurden in Kühltaschen transportiert und im Labor bei 4° C bis zur weiteren Verarbeitung gelagert. Die Lagerzeit sollte vier Wochen nicht überschreiten, da sonst bakterielle Zersetzungsprozessen der organischen Substanz die Untersuchungsergebnisse verfälschen können.

Die Trennung der Wurzelfraktion vom Boden erfolgte mittels einer Wurzelwaschanlage der Fa. Gillison (Abbildung 3) und einem Sieb mit der Maschenweite 560 µm (Smucker et al. 1982).

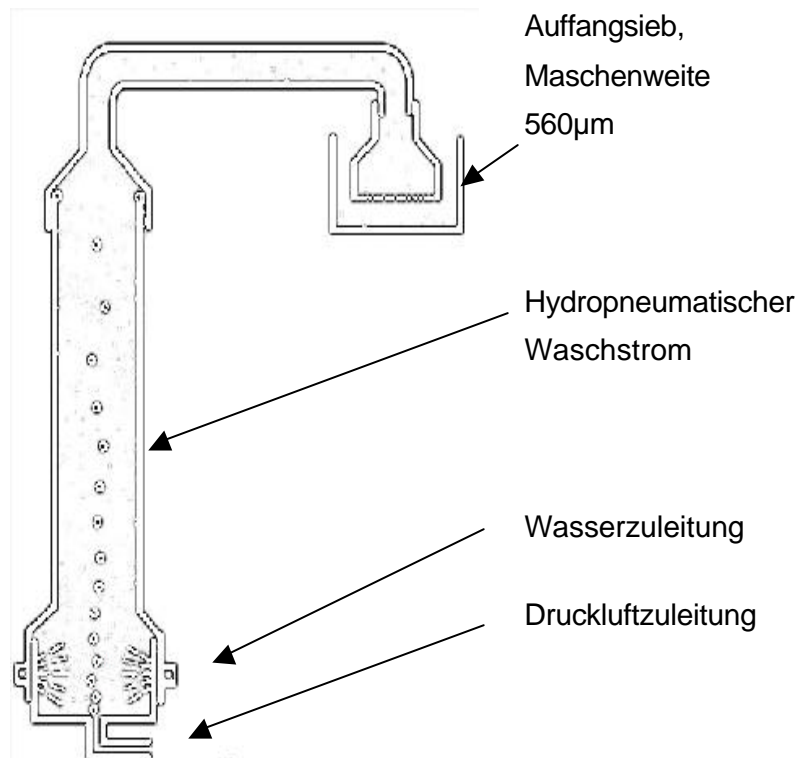


Abbildung 3: Schematische Darstellung der Wurzelwaschmaschine der Fa. Gillison (USA)

Im Anschluss daran wurden aus dem Siebrückstand die Feinwurzeln per Hand ausgelesen. Die Gewinnung von Wurzelproben für die Bonitur der Gesamtwurzellänge und der Bestimmung des Kolonisationsgrades mit AMP aus Freilandböden war trotz der Benutzung einer Wurzelwaschanlage ein äusserst arbeitsaufwändiger Vorgang, da ein Reinigungsschritt in Handarbeit unbedingt erfolgen musste. Bis zur weiteren Bearbeitung wurden die Wurzeln in 50 Gew.% Alkohol aufbewahrt.

3.1.2 Bonitur der WLD und des MBG

Die zu untersuchenden Pflanzenwurzeln wurden zunächst mit 10% Kalilauge (KOH) gebleicht und dann nach der Methode von Vierheilig et al. (1998), ohne die Verwendung toxischer Substanzen mit 5% Essigsäure und schwarzer Tinte der Fa. Shaeffer gefärbt.

Die Bonitur der WLD erfolgte in Petrischalen mittels der "Gridline Intersection Method" (GIM) an ca. 100 bis 150 Wurzelstücken unter einem Binokular bei 40- bis 100-facher Vergrößerung. Die numerische Auswertung der Bonitur erfolgte mit der nach Tennant (1975) modifizierten Formel nach Newman (1966) (Gleichung 1).

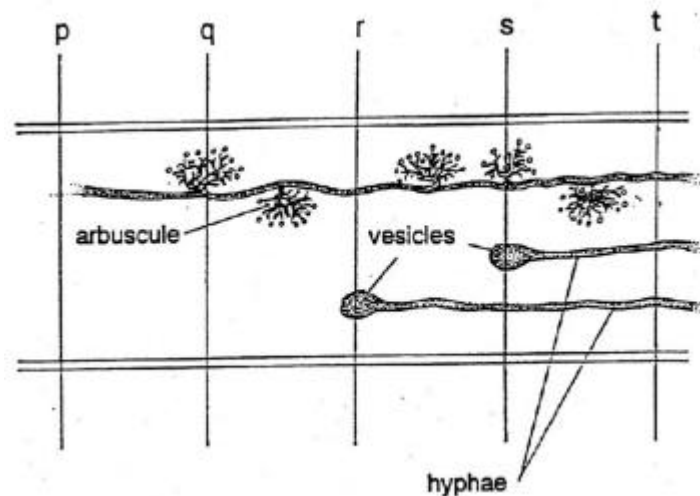
Gleichung 1: Berechnung der Wurzellänge nach der "Gridline Intersection Method":

$$L = S \times (11/14) \times R$$

L ... Wurzellänge (cm), S ... Anzahl der Schnittpunkte am Raster, (11/14) ... numerische Konstante nach Tennant (1975) und Newman (1966), R ... Rasterweite (cm)

Dabei wurden die ausgewaschenen Wurzeln in einer definierten Menge Wasser aufgeschwemmt, daraus Aliquote gezogen und ausgewertet. Die gesamte Wurzellänge einer Probe wurde durch das Hochrechnen der Aliquote auf die Gesamtprobe ermittelt. Aus der Gesamtwurzellänge und dem Volumen der Bodenprobe des jeweiligen Bodenbearbeitungshorizontes (Ap)-Horizont wurde die WLD (cm/cm^3) bestimmt.

Die Bestimmung des MBG erfolgte mit der "Magnified Intersection Method" nach McGonigle et al. (1990). Als Kolonisation wurde das Auftreten von Arbuskeln, Vesikeln und intraradikaler Hyphen an den Rasterschnittpunkten der Petrischalen gewertet (Brundrett et al. 1994, Abbildung 4).



p ... keine Mykorrhizastrukturen, q ... Arbuskel, r ... interne Hyphen & Vesikel, s ... Arbuskel, Vesikel & interne Hyphen, t ... interne Hyphen

Abbildung 4: Bestimmung des MBG mittels "Magnified Intersection Method".

Im allgemeinen scheinen Pflanzen mit einem groben Wurzelsystem von AMP bei der P-Aufnahme in höherem Ausmass abhängig zu sein als Pflanzen mit einem feinen Wurzelsystem (Newsham 1995a). Manche Pflanzen reagieren bei einem niedrigen Kolonisationspotential an AMP im Boden mit verstärktem Wurzelwachstum. Um einen scheinbar geringeren MBG aufgrund vermehrten Wurzelwachstums zu berücksichtigen

("Verdünnungseffekt") muss der MBG mit der WLD multipliziert werden (Amijee et al. 1989). Durch die Multiplikation der WLD mit dem MBG erhält man die WLD_{inf} , dieser Parameter wurde zur objektiven Quantifizierung der AM heran gezogen.

3.2 Charakterisierung der AMP

Für die Bestimmung der Biodiversität der aus den Versuchsflächen isolierten autochthonen AMP ist eine sichere Identifizierung der Arten- und Typenzusammensetzung notwendig.

3.2.1 Morphologische Charakterisierung der AMP

Die Identifikation der AMP anhand morphologischer Merkmale erfolgte mit Unterstützung von Dr. Christopher Walker aus Grossbritannien (Biological Research and Imaging Laboratory, New Milton, Hampshire), einem Spezialisten auf diesem Gebiet.

Die Sporen der AMP wurden aus den Bodenproben mittels Zuckergradientenzentrifugation nach Walker (1991) isoliert und anschliessend Reinkulturen der Sporen nach der Methode von Walker & Vestberg (1994) hergestellt.

Aus den Reinkulturen wurde eine adäquate Anzahl von Sporen der AMP isoliert, und mikroskopische Präparate mit Polyvinylalkohol (PVLG) und Melzer's Reagenz nach Walker (1991) hergestellt.

Die morphologische Charakterisierung der AMP erfolgte anhand der mikroskopischen Präparate.

3.2.2 Molekularbiologische Charakterisierung der AMP

Die Durchführung der molekularbiologischen Untersuchungen erfolgte in Zusammenarbeit mit Dr. Markus Gorfer bei Doz. Dr. Josef Strauss, am Zentrum für angewandte Genetik der Universität für Bodenkultur.

Für die Isolierung der DNA der AMP aus den Wurzelproben wurden die in 50% Ethanol gelagerten Wurzelproben mit Filterpapier getrocknet, und anschliessend in einer Keramikreischale mit flüssigem Stickstoff zu einem feinen Pulver zerrieben. 200mg des erhaltenen Pulvers wurden anschliessend in Lysis-Puffer des GenElute™ Plant Genomic DNA Kit (Katalog Nr. G2N10) von Sigma aufgenommen und die DNA gemäss Protokoll isoliert.

Die aufgereinigte DNA wurde als Template für eine PCR (Reaktionsansatz: Tabelle 2, Struktur des PCR-Programmes: Tabelle 3) mit dem für AMP spezifischen Primer AM1 (Helgason et al., 1998) sowie dem für Pilze spezifischen Primer NS31 (Simon et al., 1992) verwendet (Tabelle 4). Mit diesen Primern wurde ein 550bp grosses Fragment aus der 18S ribosomalen DNA von AMP amplifiziert.

Tabelle 2: Reaktionsansatz für die PCR mit den spezifischen Primern

Menge	Reagens
6µl	DNA (~ 5ng/µl)
2µl	AM1 (10pmol/µl)
2µl	NS31 (10pmol/µl)
10µl	2 × PCR MasterMix (Promega)

Tabelle 3: Struktur des PCR-Programms

Temperatur	Dauer	Zyklen
95°C	2min	x 35
94°C	45sec	
60°C	45sec	
72°C	45sec + 1sec pro Zyklus	
72°C	5min	x 1
4°C	8	

Tabelle 4: Struktur der verwendeten Primer

Primer	Basensequenz
AM1	5'-GTTTCCCGTAAGGCGCCGAA-3'
NS31	5'-TTGGAGGGCAAGTCTGGTGCC-3'

Nach der PCR wurden 10µl des Reaktionsansatzes auf ein 1% Agarose-Gel aufgetragen und durch eine Elektrophorese überprüft, ob aus den Proben die erwarteten Fragmente amplifiziert wurden.

Das erhaltene PCR-Produkt ist ein Gemisch verschiedener DNA-Fragmente mit gleicher Länge aber mit verschiedenen Sequenzen, d.h. möglicherweise von verschiedenen AMP.

Diese DNA-Fragmente unterschiedlicher AMP müssen daher kloniert werden, um sie vereinzeln und unterscheiden zu können.

Die erhaltenen PCR-Produkte wurden ohne weitere Aufreinigung in den TOPO-TA-Vektor pCR2.1 (Abbildung 5, Katalog Nr. K4500-01, Bezeichnung für das Plasmid der kompetenten *Escherichia coli* TOP10-Zellen) von Invitrogen hineinkloniert, und damit kompetente *Escherichia coli* TOP10-Zellen transformiert. Das lacZ-Gen ist im Genom des *E. coli* Wildtyps enthalten. Um eine erfolgreiche Klonierung dieses Gens nachweisen zu können, wird im Experiment der *E. coli* Stamm K12 verwendet, dessen lacZ-Gen defekt ist.

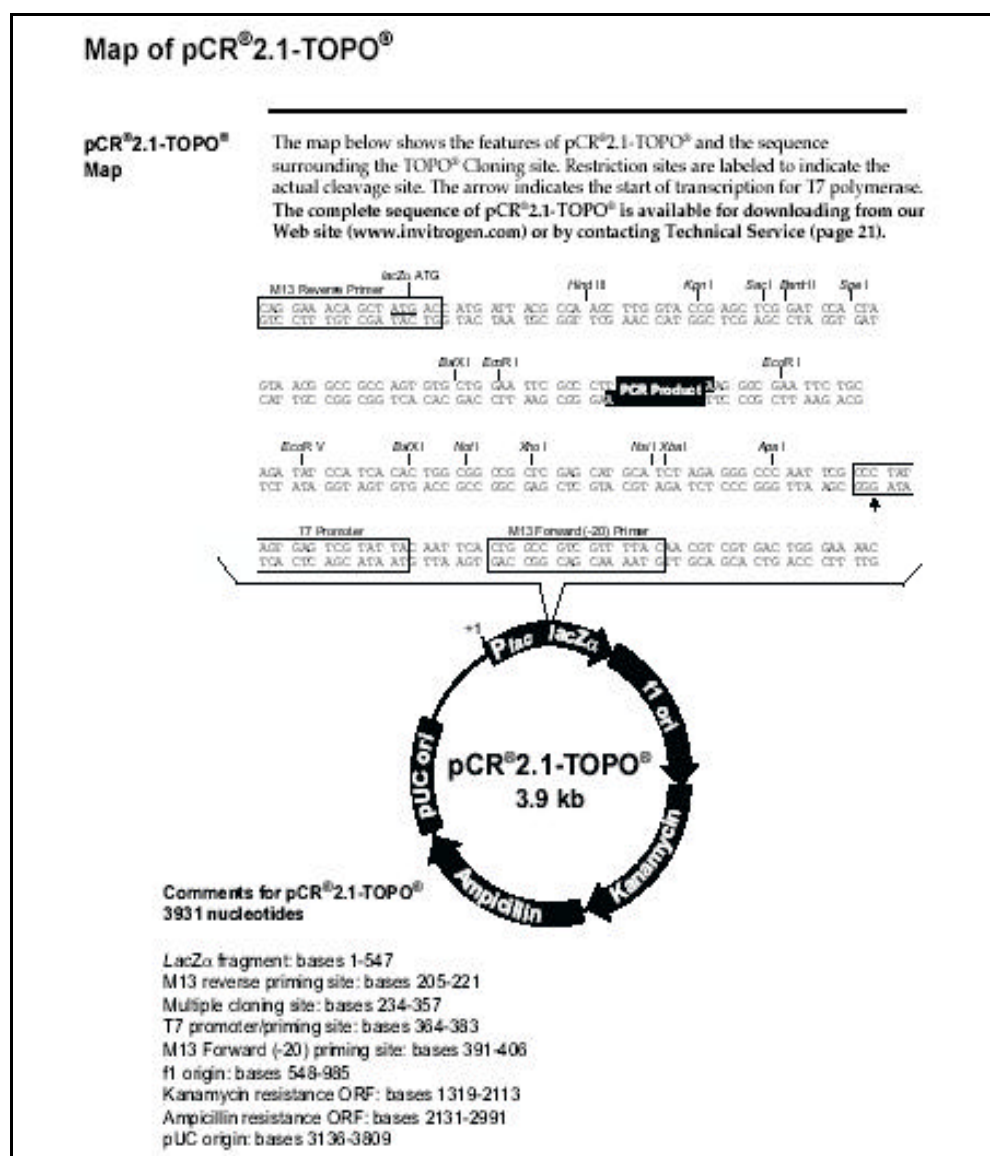


Abbildung 5: Karte des Klonierungsvektors pCR2.1.

Die Transformationsansätze wurden auf LB-Kann/X-Gal-Platten (Zusammensetzung: Tabelle 5) ausplattiert.

Tabelle 5: Zusammensetzung der LB-Kann/X-Gal Platten

Menge	Reagens
10g/l	Pepton
5g/l	Hefeextrakt
10g/l	NaCl
15g/l	Agar
50mg/l	Kanamycin ¹⁾
80mg/l	X-Gal ¹⁾

¹⁾ erst nach dem Autoklavieren zugeben

Die Zugabe von IPTG zur Induktion von *lacZ* ist beim verwendeten Stamm von *E. coli* TOP10 nicht notwendig, da der Repressor *lacI* nicht exprimiert wird. Der pCR2.1-Vektor enthält Resistenzgene für Kanamycin (Kanamycinphosphotransferase) und Ampicillin (?-Lactamase) sowie das α -Peptid des *lacZ*-Gens.

Die Resistenzgene ermöglichen die direkte Selektion von *E. coli* Zellen, die ein Plasmid enthalten, während das *lacZ*-Gen die rasche Identifizierung von Plasmiden mit Inserten erlaubt. Inserte in der Multiple-Cloning-Site unterbrechen den Leserahmen des *lacZ*-Gens, womit das artifizielle chromogene Substrat X-Gal nicht mehr gespalten werden kann. Kolonien, die ein Plasmid mit einem Insert in der Multiple-Cloning-Site enthalten, bleiben weiss, während Kolonien mit religiertem Vektor nun eine funktionelle ?-Galctosidase exprimieren, und X-Gal (synthetische Substrat 5-Brom-4-chlor-indolyl-?-D-galaktosid) spalten können. Das Spaltprodukt ist der blaue Farbstoff Indigo.

Für die Transformation wird der gesamte TOPO-TA-Reaktionsansatz (Tabelle 6) zu 40 μ l kompetenten *E. coli*-TOP10 Zellen pipettiert, 20min auf Eis gestellt, danach für 45sec bei 42°C einem "Hitzeschock" ausgesetzt und danach wieder 2min auf Eis gestellt.

Tabelle 6: TOPO-TA-Reaktionsansatz

Menge	Reagens
2µl	PCR-Produkt (~10ng/µl)
0,5µl	Salt-Solution
0,5µl	pCRII-TOPO

Danach werden 250µl SOC-Medium hinzugegeben (Tabelle 7) und der Reaktionsansatz für 1h bei 37°C geschüttelt. Anschliessend werden 20, 50 bzw. 200µl des Reaktionsansatzes auf LB-Kan/X-Gal ausplattiert und über Nacht bei 37°C inkubiert.

Tabelle 7: Zusammensetzung des SOC Mediums

Menge	Reagens
20g/l	Trypton
5g/l	Hefeextrakt
10mM	NaCl
2,5mM	KCl
10mM	MgCl ₂
10mM	MgSO ₄ ¹⁾
20mM	Glukose ¹⁾

¹⁾ erst nach dem Autoklavieren zugeben

Die klonierten PCR -Produkte werden anschliessend einem RFLP-Mapping unterzogen. Die dabei entstehenden Bruchstücke werden mittels Elektrophorese untersucht. Unterschiedliche Arten von AMP zeigen Banden mit unterschiedlicher Lage auf dem Agarose-Gel, gleiche Arten an AMP zeigen Banden auf gleicher Höhe auf dem Agarose-Gel.

Von den Transformationsplatten wurden pro Probe 48 weisse Kolonien (d.h. mit einem Insert) mit einem Zahnstocher abgeimpft, auf frische LB-Kann-Platten überimpft und der Rest in 100µl H₂O resuspendiert. Die Bakteriensuspensionen wurden für 10min bei 95°C inkubiert, und anschliessend auf Eis gestellt. Diese gekochten Suspensionen dienen als Template für eine PCR mit den Primern AM1 und NS31 (Reaktionsansatz: Tabelle 8, Struktur des PCR-Programmes: Tabelle 9).

Tabelle 8: Reaktionsansatz für die PCR für den Restriktionsschnitt.

Menge	Reagens
10µl	DNA (= gekochte Bakteriensuspension)
5µl	AM1 (10pmol/µl)
5µl	NS31 (10pmol/µl)
25µl	2 µ PCR MasterMix (Promega)
5µl	H ₂ O

Tabelle 9: Struktur des PCR-Programms für den Restriktionsschnitt.

Temperatur	Dauer	Zyklen
95°C	2sec	☉ 25
94°C	45sec	
60°C	45sec	
72°C	45sec	
72°C	5min	x 1
4°C	8	

Aliquote der erhaltenen PCR-Produkte wurden mit dem Restriktionsenzym *HaeIII* (GG[?]CC) geschnitten (Reaktionsansatz: Tabelle 10) und die Restriktionsfragmente auf einem 2,5% Agarose-Gel aufgetrennt.

Tabelle 10: Reaktionsansatz für den Restriktionsschnitt

Menge	Reagens
10µl	DNA (PCR-Produkt)
1µl	Promega Puffer (4-CORE®)
0,2µl	acetyliertes BSA (10mg/ml; Promega)
0,5µl	Restriktionsenzym (Promega)
8,3µl	H ₂ O

Von repräsentativen unterschiedlichen Klonen wurde Plasmid-DNA isoliert und aufgereinigt (QIAGEN Plasmid Mini Kit; Kat. Nr. 12125). Die aufgereinigte DNA wurde von VBC Genomics mit dem Primer T7 sequenziert. Die erhaltenen Sequenzen wurden mit Sequenzen in öffentlich zugänglichen Datenbanken im Internet verglichen (BLAST-N Search am NCBI-Server) und auf Homologien überprüft.

3.3 Kriterien für die Auswahl der Versuchsflächen

Die Bewirtschaftung der Versuchsflächen sollte den Richtlinien des ÖL entsprechen. Die angenommenen Einflussfaktoren (Vorfruchtwirkung, Intensität der Bodenbearbeitung, Organische Düngung und die Dauer der Bewirtschaftung müssen in mindestens 2 Faktorstufen untersucht werden (Tabelle 11). Als Testfrucht sollte Winterweizen (*Triticum aestivum*) wegen seiner Bedeutung als Marktfrucht ausgewählt werden. Die Lage der Versuchsflächen sollte den Standortbedingungen im pannonischer Klimaraum (? T = 9,5°C, ? NS = 550mm) entsprechen. Pflanzenbauliche Erhebungen wurden von den Versuchsbetreuern durchgeführt.

Tabelle 11: Übersicht über Einflussfaktoren auf die Kolonisation durch AMP und die Versuchsstandorte

Faktor	Versuchsorte				
	Raas-dorf ¹⁾	Groß-Enzersdorf ²⁾	Gumpen-stein	Bio-betriebe ³⁾	Wörrstadt (D)
1. Vorfruchtwirkung	X	X			
2. Intensität der Bodenbearbeitung					X
3. Organische Düngung		X	X		
4. Dauer der ökologischen Bewirtschaftung				X	
5. Kulturart und Sorte ⁴⁾	Getreide				
6. Bodenart, -typ, Nährstoffversorgung, Klima, Feldkapazität, etc.	Faktoren werden durch ähnliche Standorte möglichst konstant gehalten				

1) ... Versuchsflächen des Institutes für ÖL in Groß-Enzersdorf, Universität für Bodenkultur.

2) ... Versuchsflächen des Institutes für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung in Groß-Enzersdorf, Universität für Bodenkultur, untersucht wird Winterroggen (*Secale cereale*).

3) ... Bodenproben von Praxisbetrieben diverser Standorte aus der Region Marchfeld wurden im Gefäßversuch untersucht.

4) ... aus Gründen der Vergleichbarkeit wird angestrebt in allen Untersuchungsvarianten die gleiche Sorte Winterweizen zu verwenden.

Aufgrund fehlender Versuchsanlagen gemäss den angeführten Kriterien, musste auf bestehende Feldversuche verschiedener Institutionen (Tabelle 11) zurückgegriffen werden.

4. Der Beitrag der AM zur P-Aufnahme

4.1 Problemstellung und Herleitung der Arbeitshypothesen

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Pflanzenernährung der Universität Stuttgart-Hohenheim und der University of Western Australia wurde von Mai bis August 1999 ein Versuch zur P-Aufnahme durch arbuskuläre Mykorrhizapilze, sowie zur Phosphateffizienz verschiedener Weizensorten durchgeführt.

Ziele der Untersuchung waren die Klärung des Einflusses der AM auf die P-Aufnahme durch Weizen (*Triticum aestivum*) sowie ein Vergleich des MBG von alten mit modernen australischen Weizensorten.

In zahlreichen Untersuchungen wurde festgestellt, dass eine gut ausgebildete AM über ihr externes Myzel (Gesamtheit der Hyphen ausserhalb der Wurzel) durch die Erhöhung der Nährstoffaufnahme aus dem Boden zum Pflanzenwachstum beiträgt (Abbott et al. 1992, Thompson 1990, Schweiger et al. 1999, Smith et al. 1994, u.a.). Diese Ergebnisse wurden im Versuch am Beispiel des Nährelements P überprüft, da die besondere Bedeutung der AM bei Aufnahme dieses Elements bekannt ist (George et al. 1995, Marschner & Dell 1994, u.a.).

Bisher ist ungeklärt, ob sich durch Pflanzenzüchtung die Fähigkeit, eine Symbiose mit AMP einzugehen, bei modernen Weizensorten verringert hat und ob alte Weizensorten eine höhere P-Aufnahmeeffizienz aus P-armen Böden besitzen als moderne Weizensorten.

So haben z.B. Toth et al. (1990) festgestellt, dass gegenüber bodenbürtigen phytopathogenen Pilzen resistente Getreidezüchtungslinien im allgemeinen einen geringeren MBG aufweisen, als anfällige Getreidezüchtungslinien. Die Ursache dafür könnte darin liegen, dass Resistenzgene gegen Pilzinfektionen, die auch eine Kolonisation durch AMP beeinflussen, in die modernen Linien eingezüchtet wurden.

Auch Hetrick et al. (1992) konnten zeigen, dass ältere Weizensorten mit einem gesteigerten Wachstum auf die Kolonisation durch AMP reagieren als Weizensorten, die nach 1950 auf den Markt gekommen sind.

Gegenwärtig ist auch unklar, welche Faktoren z.B. die Effektivität einer AM im Freiland, die Wirtsspezifität der AMP oder des Phytosymbionten beeinflussen. So kann z.B. Weizen von

mehreren verschiedenen AMP wie z. B. *Glomus mosseae*, *G. intraradix*, *G. etunicatum*, *G. versiforme*, *G. geosporum*, *G. monosporum* u.a. kolonisiert werden (Hetrick et al. 1992).

In Laborversuchen konnte gezeigt werden dass Wurzelexsudate oder Extrakte aus Wurzeln mykotropher Pflanzen die Keimung von AMP fördern (Graham 1982, Gianinazzi-Pearson et al. 1989), während in anderen Untersuchungen negative oder indifferente Auswirkungen festgestellt werden konnten (Vierheilig & Ocampo 1990a, Schreiner & Koide 1993a, Schreiner & Koide 1993b).

Die Ausbildung einer AM muss Kontrollmechanismen pflanzlicher Gene unterliegen, da es sich sonst bei der Vergesellschaftung zwischen Pflanze und Pilz nicht mehr um eine Symbiose, sondern um Parasitismus handelt. Durch Selektionszüchtung auf mineralisch gedüngten Flächen können diese Kontrollmechanismen verloren gehen.

Die Pflanzenwurzeln werden bei Düngung mit leichtlöslichen Mineraldünger zwar durch AMP kolonisiert, die Phytosymbionten ziehen aber nur einen geringen Nutzen aus der Symbiose (Hetrick et al. 1993). In diesem Fall erhöhen die kolonisierten Pflanzen die Konzentration an Nährstoffen, insbesondere die von P in Blättern und Spross, wobei der P in Kohlenstoffverbindungen eingebaut und akkumuliert wird (Sekundärstoffe) um z.B. Reservestoffe hoher Qualität für die Samenbildung bereitstellen zu können (Koide 1991, Merryweather and Fitter 1996). Die dafür verwendeten Kohlenstoffverbindungen stehen nicht mehr für den Aufbau von pflanzlicher Biomasse zur Verfügung, wodurch es zu einer Wachstumsdepression und einem Rückgang des Kornertrages der Pflanzen kommen kann (Hetrick et al. 1996).

Potentielle Phytosymbionten für AMP akkumulieren dagegen den von den AMP zusätzlich zur Aufnahme durch die Pflanzen angelieferten P nicht im Spross, sondern verwenden ihn zur Steigerung des Wachstums und des Ertrages (Hetrick et al. 1994).

Unterschiedliche Reaktionen in der Ertragsbildung infolge der Kolonisierung durch AMP wurden auch von Azcon & Ocampo (1981), Young et al. (1985) sowie Vierheilig & Ocampo (1991a, 1991b) beobachtet.

Nach heutigem Stand des Wissens reguliert der P-Gehalt der Pflanzenwurzeln die Symbiose mit AMP (Schwab et al. 1983). Bei einer hohen Konzentration an P in den Zellwänden der Pflanze wird im allgemeinen die Kolonisation durch AMP gehemmt (Cooper 1984).

Die Ausbildung einer effizienten Symbiose zwischen Mykosymbionten und Phytosymbionten ist von den Standortbedingungen (Hetrick et al. 1992, Jakobsen & Nielsen 1983), vom Zeitpunkt der Kolonisation durch die AMP (Hetrick et al. 1984) sowie vom Genotyp der Pflanze (Azcon & Ocampo 1981, Hetrick et al. 1992) abhängig.

Die nachfolgend beschriebene Untersuchung sollte klären, ob alte Weizensorten einen höheren MBG aufweisen als moderne Weizensorten, und ob Weizensorten mit einem höheren MBG eine höhere P-Aufnahme zeigen.

Vor diesem Hintergrund lassen sich zur P-Aufnahme durch AMP folgende Arbeitshypothesen formulieren:

"Alte Weizensorten zeigen unterschiedliche Intensitäten im MBG mit AMP im Vergleich zu modernen Weizensorten."

"Die P-Aufnahme von mykorrhizierten Weizenpflanzen ist höher als die P-Aufnahme von nicht mykorrhizierten Weizenpflanzen."

4.2 Material und Methoden

4.2.1 Schematischer Versuchsaufbau

Im Versuch wurde ein Behältersystem mit einer leicht löslichen P-Quelle verwendet (Abbildung 7), die für die kolonisierten Versuchspflanzen nur über die externen Hyphen der AMP verfügbar war. Für die nicht kolonisierten Versuchspflanzen war die leicht lösliche P-Quelle nicht verfügbar.

Es wurde ein zweifaktorieller Gefäßversuch mit den unabhängigen Variablen Substrat (mit / ohne aktivem Inokulum des AMP *Glomus mosseae*) und Weizensorte (alt / modern) im Gewächshaus des Institutes für Pflanzenernährung der Universität Hohenheim von Juni bis August angelegt. Bei den Weizensorten handelte es sich um zwei alte (Gluyas, Nabawa) und zwei moderne australische (Kalingri, Wilgoyne) Weizensorten.

Am 09.06.1999 wurden die Versuchsgefäße angefertigt, die Düngerröhren für die leicht lösliche P-Quelle eingebaut und die Versuchspflanzen gesät. Die erste Ernte der Versuchspflanzen und die Befüllung der Düngerröhren mit der leicht löslichen P-Quelle erfolgte am 12.07.1999. Die zweite Ernte der Weizenpflanzen und die Auswertung der Versuchsergebnisse war am 12.08.1999. Das Wachstumsstadium der Weizenpflanzen war zu den Erntezeitpunkten das 1-Knoten-Stadium (BBCH 31).

4.2.2 Grundsubstrat

Als Grundsubstrat für die Befüllung der Versuchsgefässe wurde thermisch sterilisierter C-Löss (24 Stunden bei 90°C - 12 Stunden bei Raumtemperatur - 24 Stunden bei 90°C) nach einer Ruhephase von einigen Tagen mit einer Grunddüngung (Tabelle 12) behandelt. Es erfolgte nur eine relativ geringe P-Düngung im Grundsubstrat, um den Einfluss der AMP bei der P-Aufnahme durch die Versuchspflanzen eindeutig nachzuweisen.

Tabelle 12: Nährstoffkonzentrationen in der Düngertlösung für das Grundsubstrat

Verbindungen	mg/kg Boden	kg/ha
NH ₄ NO ₃	100 N	130 N
K ₂ SO ₄	200 K	260 K
MgSO ₄ *7H ₂ O	100 Mg	130 Mg
CaCl ₂ *2H ₂ O	100 Ca	130 Ca
Ca(H ₂ PO ₄) ₂ *H ₂ O	20 P	26 P

Der Löss (lehmgiger Sand) hatte einen pH-Wert von 7,2 und enthielt 0,44mg P/100g Boden (CAL-Extraktion), 4,98mg K/100g Boden (CAL-Extraktion), 4mg Mg/100g Boden (CaCl₂-Extraktion) und 0,1% organische Substanz. Der Boden wurde luftgetrocknet, auf maximal 5mm Aggregatgrösse gesiebt und mit einer Dichte von 1,3g*cm⁻³ verwendet.

Pro Topf wurden ca. 720g Grundsubstrat mit einer Grunddüngung (Tabelle 12) sowie ca. 80g Inokulum, entsprechend 10 Gewichtsprozent (Gew.%), verwendet. Insgesamt wurden 32 Gefässe (16 mit und 16 ohne aktivem Inokulum) mit je 5 Pflanzensamen pro Topf und Sorte angesetzt. Als Drainage diente ein 2mm Nylonnetz am Boden der Versuchsgefässe mit einer grobkörnigen Sandschicht (Korngrösse 4mm). Zur Verhinderung einer starken Evaporation wurden die Gefässe mit einer feinkörnigen Sandschicht (Korngrösse 2mm) abgedeckt. Jede Behandlung hatte vier Wiederholungen. Nach 3 Wochen wurden die Weizenpflanzen auf 3 pro Topf vereinzelt um eine möglichst gleiche Ausgangssituation für alle Varianten zu gewährleisten.

Bei der Variante mit Mykorrhiza wurde der C-Löss gleichmässig mit 10 Gew.% Inokulum vermengt und in die Versuchsgefässe gefüllt. Das Inokulum bestand aus C-Löss mit Sporen des Pilzes *Glomus mosseae* (Isolat von Dr. Sieverding) und durch den Pilz kolonisierte Maiswurzeln der Sorte Green (MBG 73%).

Die Lagerung des Inokulums erfolgte bei 4°C. Vor der Zugabe des Inokulums zum Grundsubstrat und der Befüllung der Versuchsgefäße wurde das Inokulum durch ein Sieb mit 2mm Maschenweite gesiebt um eine möglichst homogene Vermengung mit dem Grundsubstrat zu gewährleisten.

Um die Bedingungen für die Weizenpflanzen in den Gefäßen möglichst konstant zu halten wurde auch den Varianten ohne Mykorrhiza Inokulum zugesetzt. In diesem Inokulum wurden das Myzel und die Sporen des Mykorrhizapilzes thermisch deaktiviert (2x für 24h bei 90°C; zwischen den Behandlungen kühlte das Inokulum 24h aus).

Um die Mikroorganismenpopulation im aktiven und im thermisch deaktivierten Inokulum möglichst konstant zu halten wurde das Inokulum vor der thermischen Deaktivierung in einer Ringerlösung aufgeschlämmt und filtriert (Blauband Filter oder Whatman No. 42, Rundfilter \varnothing 150mm). Die Verwendung von Ringerlösung verhindert nachteilige osmotische Wirkungen auf die Bodenmikroorganismen. Die Bodenmikroorganismen konnten den Filter passieren, die Sporen und das Myzel der AMP wurden durch den Filter zurückgehalten. Der Filterdurchgang wurde in Polyethylen (PE) Flaschen kühl gelagert (4°C) und später dem Substrat beigemischt. Der Filterrückhalt wurde thermisch deaktiviert und mit dem Grundsubstrat vermengt.

Tabelle 13: Zusammensetzung der Pufferlösung nach Ringer (pH 7,4).

Verbindungen	g/l H ₂ O
NaCl	6,75
KCl	0,19
CaCl ₂	0,26
Na ₂ HPO ₄	12,89
NaH ₂ PO ₄	1,56

Im ersten Versuchsabschnitt wurden in die Versuchsgefäße geschlossene leere Zentrifugenröhren als Platzhalter für die danach verwendete Düngerröhren zur P-Düngung in der Mitte der Versuchsgefäße eingebaut. Nach 5 Wochen Vegetationszeit, war das Wurzelsystem der Versuchspflanzen und die erwartete Kolonisation der Wurzeln mit AMP etabliert. Die Sprosse wurden abgeschnitten um eine einheitliche Ausgangssituation für alle Pflanzen nach dem Einbau der Düngerröhren herzustellen.

4.2.3 Düngerröhren

Die Düngerröhren für den Gefäßversuch bestanden aus Zentrifugenröhrchen aus Polyethylen (Höhe 105mm, \varnothing 35mm, Volumen 75ml) in welche seitliche Langlöcher eingefräst wurden. Die seitlichen Langlöcher wurden mittels einer Nylonmembran von 30 μ m Maschenweite (Eugen Baisch GMBH & Co. KG, Deutschland) bedeckt (Abbildung 6).



Abbildung 6: Düngerröhren, geschlossen mit und ohne Netz (v. l. n. r.)

Die Nylonmembran diente als Barriere für die Pflanzenwurzeln gegenüber der leicht löslichen P-Quelle im Inneren der Düngerröhren. Die Hyphen des AMP können durch die Nylonmembran in den Kern der Düngerröhren eindringen und den mykorrhizierten Pflanzen die leicht lösliche P-Quelle räumlich verfügbar machen (Abbildung 7 und Abbildung 8).

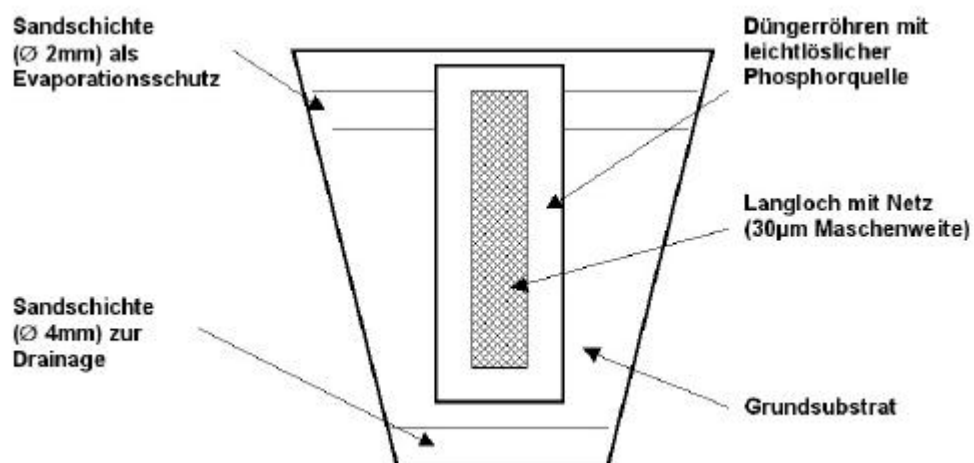


Abbildung 7: Aufbau der Versuchsgefäße mit den eingebauten Düngerröhren (schematische Darstellung, Schnitt im Aufriss)

Im wandnahen Bereich der Düngerröhren wurde keine leicht lösliche P-Quelle eingebracht, um die P-Aufnahme durch die AMP zu verdeutlichen bzw. eine Abminderung der Unterschiede zwischen den Varianten durch in diesen Bereich eindringende Wurzelhaare zu verhindern.

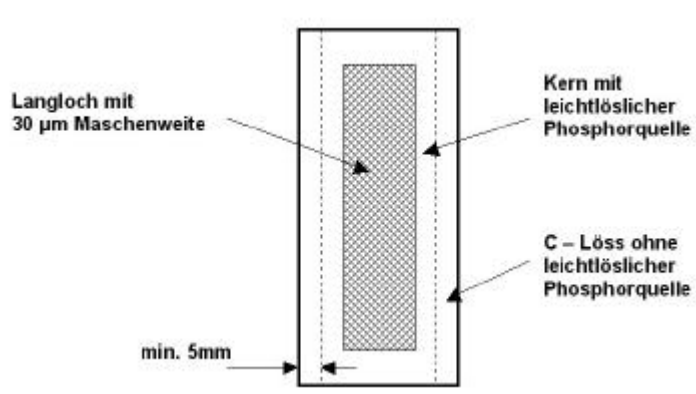


Abbildung 8: Aufbau der Düngerröhren mit der leicht löslichen P-Quelle im Kernbereich (schematische Darstellung, Schnitt im Aufriss)

Die einzelnen Nährsalze wurden getrennt voneinander in kleineren Mengen Deionat gelöst um einen eventuell auftretenden Niederschlag in der Düngerlösung durch eine Reaktion zwischen den Nährsalzen während der Einwaage zu vermeiden. Anschliessend wurden die Einzellösungen vermengt und auf die erforderliche gesamte Flüssigkeitsmenge aufgefüllt (Tabelle 14).

Tabelle 14: Nährstoffkonzentrationen in der Düngerlösung für die Substrate im Aussenraum und Innenraum der Düngerröhren

Nährstoffe Bereich	NH_4NO_3	K_2SO_4	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$
	mg N/kg	mg K/kg	mg Mg/kg	mg Ca/kg	mg P/kg
Aussen	100	200	100	100	-
Innen	100	200	100	100	100

Nach dem Einbau in die Versuchsgefässe wurde das Substrat auf 20 Gew.% Wassergehalt angefeuchtet. Die Versuchsgefässe wurden nach der Etablierung der Pflanzen regelmässig auf 20 Gew.% Wassergehalt gegossen (ca. 100ml/Woche).

Weitere vier Wochen nach dem Einbau der Düngerröhren wurden die Sprosse der Pflanzen in allen Versuchsgefässen geerntet. Der Pflanzenschnitt wurde in Papiertüten bei 60°C zwei Tage getrocknet, anschliessend gewogen, gemahlen und einer

Mineralstoffanalyse unterworfen. Das gemahlene Pflanzenmaterial wurde dabei bei 500°C trocken verascht. Anschliessend wurde der P-Gehalt nach Gericke & Kurmies (1952) kolorimetrisch bestimmt.

Die Pflanzenwurzeln wurden an einem Waschtisch über einem Sieb mit Hilfe einer handelsüblichen Brause per Hand vorsichtig vom anhaftenden Boden befreit. Danach wurden die Wurzeln mit Deionat gespült, auf Filterpapier getrocknet, in ca. 1cm lange Stücke geschnitten und ca. 0,25g Wurzelmasse zur Feststellung des MBG in 10 Gew.% Alkohol in 100 ml PE-Schraubflaschen gelagert. Die Wurzelproben sind so einige Wochen haltbar.

Zur weiteren Auswertung wurden die Wurzelproben mit 10 Gew.% KOH 10' bei 60°C gebleicht, mit Deionat gespült, in 2N HCl 2 Minuten lang angesäuert und in Szintillationsgläschen mit Trypanblau (0.05 Gew.%) in DL-Milchsäure 20 Minuten lang gefärbt (Koske & Gemma 1989). Zum Zeitpunkt des Versuches war die in nachfolgenden Untersuchungen angewendete Färbemethode nach Vierheilig et al. (1998) im Labor des Institutes für Pflanzenernährung noch nicht eingeführt. Die Entfärbung erfolgte in 90 Gew.% Milchsäure über Nacht. Die Proben wurden bis zur mikroskopischen Bonitur in reiner Milchsäure eingelegt.

Die Bestimmung der prozentuellen Wurzelkolonisation erfolgte nach der "Gridline Intersect Method" (Giovannetti & Mosse 1980, Kormanik & Mc Graw 1982).

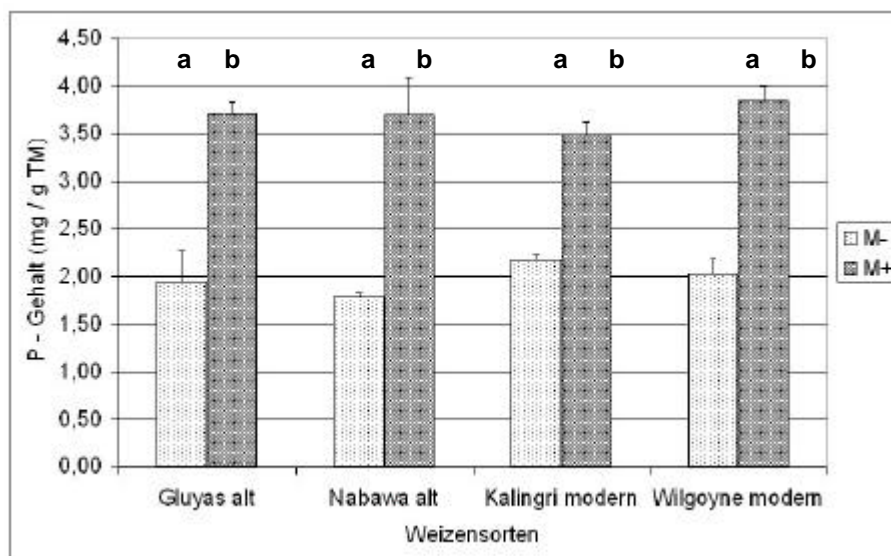
Zur statistischen Auswertung des Versuches wurden die Daten zum Sprosstrockengewicht, zum P-Gehalt und zur P-Aufnahme mit Hilfe des Programms SPSS einer Varianzanalyse und einem paarweisen Mittelwertsvergleich nach Tukey unterzogen ($P < 0,05$).

4.3 Ergebnisse

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse des Gefässversuches zur P-Aufnahme durch AMP ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 15: Zusammenfassung der Ergebnisse zur P-Aufnahme durch AMP in den Spross von Weizen (*Triticum aestivum*).

Sorten	MBG (%)	P-Gehalt (mg/g TS)	Ertrag (g TM/Pflanze)
Gluyas alt M-	-	1,95 ? 0,33	0,15 ? 0,06
Gluyas alt M+	41 ? 4	3,72 ? 0,11	0,17 ? 0,04
Nabawa alt M-	-	1,79 ? 0,03	0,17 ? 0,02
Nabawa alt M+	31 ? 6	3,70 ? 0,39	0,15 ? 0,03
Kalingri modern M-	-	2,18 ? 0,05	0,05 ? 0,01
Kalingri modern M+	25 ? 7	3,50 ? 0,13	0,09 ? 0,05
Wilgoyne modern M-	-	2,03 ? 0,16	0,08 ? 0,02
Wilgoyne modern M+	37 ? 4	3,84 ? 0,17	0,07 ? 0,03



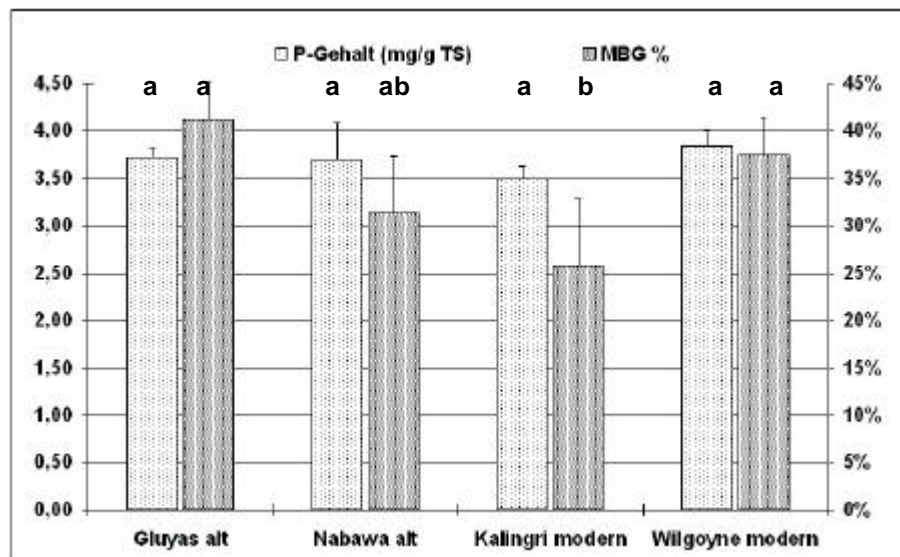
T ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar.

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 9: Mittlere P-Gehalte im Spross mykorrhizierter (M+, *Glomus mosseae*) und nicht mykorrhizierter (M-) Weizensorten (*Triticum aestivum*).

Die mykorrhizierten Weizensorten (M+, *Glomus mosseae*) hatten signifikant höhere P-Gehalte im Spross (Abbildung 9) als die Pflanzen ohne eine AM (M-). Die höheren P-Gehalte sind auf die zusätzliche P-Aufnahme in die Pflanzen über ihre AM zurückzuführen.

Im Vergleich der mykorrhizierten Weizensorten (Gluyas M+, Nabawa M+, Kalingri M+, Wilgoyne M+) als auch der nicht mykorrhizierten Weizensorten konnten dagegen keine signifikanten Unterschiede im mittleren P-Gehalt beobachtet werden. Die P-Aufnahme war bei allen 4 untersuchten Weizensorten von der Sorte unabhängig.



T ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

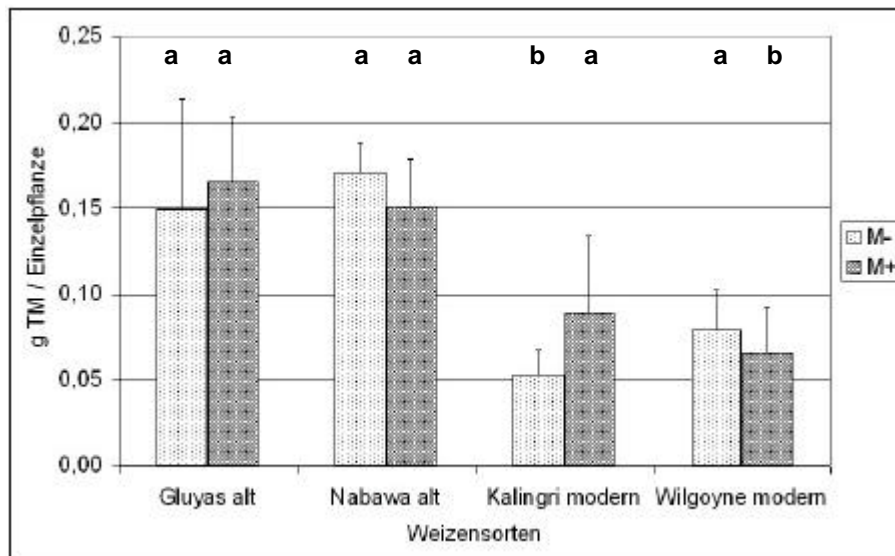
a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 10: Mittlere P-Gehalte im Spross der untersuchten Weizensorten in Abhängigkeit vom MBG mit dem AMP *Glomus mosseae*.

Zwischen dem MBG (*Glomus mosseae*) und dem P-Gehalt im Spross der untersuchten Weizensorten besteht kein signifikanter Zusammenhang (Abbildung 10).

Auch zwischen den alten und modernen Weizensorten liess sich kein Unterschied im MBG feststellen. Die moderne Weizensorte Kalingri hatte einen signifikant niedrigeren MBG als die alte Weizensorten Gluyas, während die zweite untersuchte moderne Weizensorte Wilgoyne einen signifikant höheren MBG aufwies als die moderne Weizensorte Kalingri. Die alte Weizensorte Nabawa zeigte im MBG keinen signifikanten Unterschied zu den anderen Sorten. Die Hypothese, dass alte Weizensorten einen höheren MBG mit AMP als moderne Weizensorten aufweisen, konnte für die getesteten Sorten nicht bestätigt werden.

Zur Klärung des Zusammenhanges zwischen der Abhängigkeit von einer AM von Winterweizen und modernen Züchtungskriterien müsste ein breiteres Sortenspektrum von Winterweizen getestet werden.



T ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 11: Mittlere Spross-Trockenmasse der mit dem AMP *Glomus mosseae* mykorrhizierten (M+) und nicht mykorrhizierten (M-) Weizensorten.

Bei den mykorrhizierten Varianten zeigte die moderne Weizensorte Wilgoyne eine signifikant niedrigere Bildung von Trockenmasse als die beiden alten Weizensorten, während bei den nicht mykorrhizierten Varianten die moderne Weizensorte Kalingri eine signifikant niedrigere Bildung von Trockenmasse als die beiden alten Weizensorten zeigte. In der Höhe des MBG unterschied sich die moderne Weizensorte Wilgoyne jedoch nicht signifikant von den beiden alten Sorten.

Insgesamt konnte zwischen den alten und den modernen australischen Weizensorten unabhängig vom MBG kein signifikanter Unterschied in der Bildung von Trockenmasse festgestellt werden (Abbildung 11).

4.4 Diskussion

Im durchgeführten Versuch war der Beitrag des externen Myzels des AMP *Glomus mosseae* zur P-Aufnahme bei Weizenpflanzen deutlich erkennbar. Bei allen vier untersuchten Weizensorten war die P-Aufnahme der mykorrhizierten Pflanzen im Vergleich zu den nicht mykorrhizierten Varianten signifikant erhöht (Abbildung 9).

Die vorliegenden Ergebnisse über die Beeinflussung des P-Gehaltes der Sprosse der Versuchspflanzen bestätigen die Hypothese, dass AMP einen bedeutenden Beitrag zur P-

Aufnahme in die Kulturpflanze Weizen leisten können, insbesondere wenn der P im Boden erst über die AM verfügbar wird. Eine signifikante, direkte Abhängigkeit der P-Aufnahme vom MBG der Wirtspflanzenwurzel konnte dagegen nicht gefunden werden (Abbildung 10).

Die Sprosstrockengewichte der mykorrhizierten Pflanzen waren im Vergleich zu den nicht mykorrhizierten Pflanzen nicht signifikant erhöht. Der zusätzlich angelieferte P wurde möglicherweise in Sekundärstoffe eingebaut und nicht zum Aufbau organischer pflanzlicher Substanz verwendet, wie dies zu erwarten gewesen wäre. Die Untersuchungsergebnisse stimmen mit Hetrick et al. (1996) überein, wonach der, durch die AM zusätzlich in die Pflanze aufgenommene P in Sekundärstoffe eingebaut wird. Durch die Bildung von Sekundärstoffen kann es zu einem Mangel an Kohlenstoffverbindungen zur Bildung pflanzlicher Biomasse kommen, welcher zu einer Wachstumsdepression und einem Rückgang des Kornertrages der Pflanzen führen kann. Eine Untersuchung der Sekundärstoffe wurde nicht durchgeführt.

Das Wachstum der Weizenpflanzen war im Versuch allgemein sehr schlecht und die Trockengewichte lagen sehr niedrig. Ein möglicher Grund dafür war, dass fünf Wochen nach der Ansaat, zum Zeitpunkt des Einbaues der Düngerröhren, die Weizenpflanzen auf ca. 1 cm Höhe abgeschnitten wurden, um nach dem Einbau der Düngerröhren in allen Töpfen gleiche Voraussetzungen für die Weizenpflanzen zu schaffen. Zusätzlich zum Abschneiden der Sprosse war der Befallsdruck durch Schaderreger im Gewächshaus infolge der feucht-warmen Witterung im Verlauf der Versuchsdurchführung sehr hoch. Die Trockengewichte sind deshalb für die Beurteilung des Einflusses der AM bei der Ertragsbildung nicht besonders aussagekräftig.

Das schwache Wachstum aller Weizenpflanzen infolge oben genannter Umstände kann ebenso erklären, dass sich die Besiedelung durch den AMP *Glomus mosseae* nicht signifikant auswirken konnte. Die höheren Sprosstrockengewichte der weniger ertragreichen alten Sorten könnten aus einer ausgeprägteren Resistenz gegenüber Umweltstress resultieren.

5. Einfluss der Intensität der Bodenbearbeitung auf die AM

5.1 Problemstellung und Herleitung der Arbeitshypothese

AMP verbreiten sich durch ihr extraradikales Myzel im Boden und durch ihr intraradikales Myzel in kolonisierten Wurzeln ihrer Phytosymbionten. Die Vermehrung und Überdauerung ungünstiger Witterungsbedingungen erfolgt durch Sporen und das extraradikale Myzel im Boden (Kabir et al. 1997). In Böden mit einer geringen Sporendichte von AMP erfolgt die Kolonisation der mykotrophen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen bevorzugt durch das extraradikale Myzel (Jasper et al. 1989a, Jasper et al. 1989b).

In zahlreichen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass durch das Zerreißen des extraradikalen Myzels der AMP infolge mechanischer Bodenbearbeitung das Kolonisationspotential des Bodens mit AMP sinkt (Evans & Miller 1988, Evans & Miller 1990, Jasper et al. 1989a, Jasper et al. 1989b, Jasper et al. 1991, Vivekanandan & Fixen 1991, Hooker et al. 1994, Kabir et al. 1997). Durch intensive Bodenbearbeitung wird auch die Kolonisation der nachfolgenden Feldfrüchte durch AMP erschwert.

So erklärt sich, dass mykotrophe landwirtschaftliche Kulturpflanzen auf Flächen mit Direktsaat zu Beginn der Vegetationsperiode eine intensive Kolonisation mit AMP aufweisen sowie eine grössere Anzahl an Sporen von AMP im Boden vorhanden ist, während bei Bodenbearbeitung mit dem Streichblechpflug der MBG der Phytosymbionten und die Sporendichte von AMP geringer ist (Kruckelmann 1975, McGonigle & Miller 1993).

Je nach Bodenbearbeitungsintensität gibt es eine unterschiedliche vertikale Verteilung der Sporen von AMP in der Bodentiefe, wobei unbearbeitete Böden im Vergleich zu gepflügten Böden in den oberen Horizonten des Bodens die höchste Sporendichte aufweisen (Kruckelmann 1975, Abbott & Robson 1991, Douds et al. 1995, Kabir et al., 1998). Die Gesamtanzahl der Sporen im Boden wird von unterschiedlichen Bodenbearbeitungsintensitäten hingegen weniger stark beeinflusst.

Douds et al. (1995) verglichen die Auswirkungen landwirtschaftlicher Bodenbearbeitung unterschiedlicher Intensität (Streichblechpflug, Scheibenegge und ohne mechanische Bodenbearbeitung) in einem konventionellen und einem extensiven landwirtschaftlichen Bewirtschaftungssystem. Die Sporen aus den Böden des Bewirtschaftungssystems ohne Bodenbearbeitung zeigten dabei das höchste Kolonisationspotential. Die Sporen waren in

den nichtbearbeiteten Böden des extensiven Bewirtschaftungssystems charakteristisch indirekt proportional zur Bodentiefe verteilt. Doude et al. (1995) konnten auch zeigen, dass mechanische Bodenbearbeitung, infolge der Zerteilung des Hyphennetzwerkes, die Intensität und Geschwindigkeit der Besiedlung der Wirtspflanzen mit AMP verringert.

In weiteren Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass die Effizienz des extraradikalen Myzels der AMP bei der Aufnahme von P mit steigender Intensität der Bodenbearbeitung abnimmt (McGonigle et al. 1990a). Auch O'Halloran et al. (1986 & 1987) konnten zeigen, dass landwirtschaftliche Kulturpflanzen auf gepflügten Standorten im Vergleich zu unbearbeiteten Standorten eine verringerte P-Aufnahme aufwiesen.

Dies erklärt sich daraus, dass die mykotrophe landwirtschaftliche Kulturpflanze nach der Bodenbearbeitung in die Wiederherstellung des Hyphennetzwerkes der AMP Energie und Nährstoffe investieren muss. Dadurch wird die P-Aufnahme in die mykotrophe landwirtschaftliche Kulturpflanze nach dem Keimungsstadium über das extraradikale Myzel der AMP verzögert.

Bei einer Reduktion der Bodenbearbeitungsintensität und damit intaktem extraradikalem Myzel erfolgt eine jahreszeitlich frühere Kolonisierung der mykotrophen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen und damit eine Erhöhung des Kolonisationspotential des Bodens (McGonigle 1990a). Durch die frühzeitige Ausbildung einer AM ist sichergestellt, dass die mykotrophe landwirtschaftliche Kulturpflanze in ihrer Entwicklung die Nutzwirkungen aus der Symbiose mit den AMP optimal ausnutzen kann.

Nach gegenwärtigem Stand des Wissens lässt sich folgende Hypothese formulieren:

"Mit abnehmender Bodenbearbeitungsintensität (Pflug > Schichtenpflug > Schichtengrubber) steigt der MBG der Wurzeln von Winterroggen (*Secale cereale*) durch AMP bei im bearbeiteten Bodenhorizont."

Die Arbeitshypothese wurde im Rahmen des Projektes "Ökologische Bodenbewirtschaftung" untersucht.

5.2 Das Projekt "Ökologische Bodenbewirtschaftung"

Das Projekt "Ökologische Bodenbewirtschaftung" (PÖB) wird durch das Ministerium für Wirtschaft, Verkehr, Landwirtschaft und Weinbau in Mainz gefördert. Die Durchführung erfolgt durch die Stiftung Ökologie und Landbau (SÖL) in Bad Dürkheim und durch die Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz in Mainz. Versuchsbetreiber sind Klaus und Norbert Kussel in Eichenhof, D-55286 Rommersheim, die Projektleitung obliegt Herrn Dr. Ulrich Hampl, Stiftung Ökologie und Landbau, SÖL-Hof für Bildung und Forschung, Gut Hohenberg in Queichambach, D-76855 Annweiler am Trifels, Tel. 06346-928555, Fax 06346-928556, E-Mail: hampl@soel.de.

Das PÖB wurde 1994 für die Dauer von zehn Jahren mit dem Ziel gestartet, ökologische Bodenbewirtschaftungsverfahren zu erforschen und das erarbeitete Wissen an die landwirtschaftliche Praxis und Beratung weiterzugeben.

Der Versuchsstandort liegt im zentralen Rheinhessen (Abbildung 12).

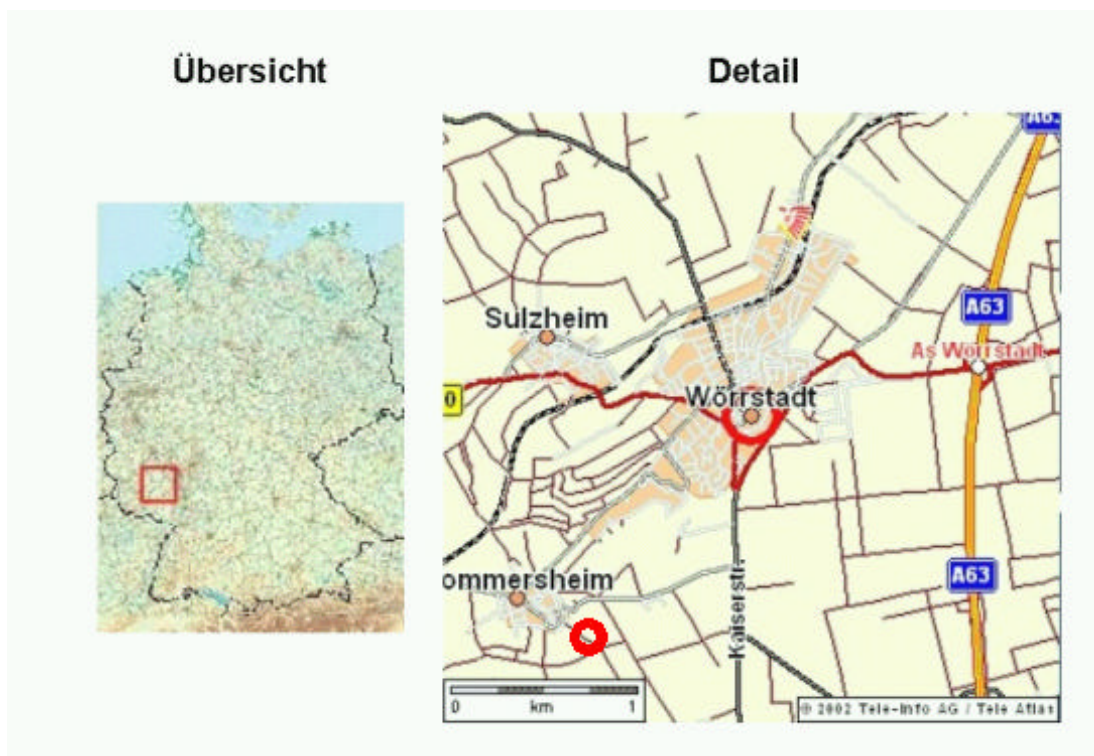


Abbildung 12: Lage des Projektes Ökologische Bodenbewirtschaftung

In der Tabelle 16 sind allgemeine Parameter zum Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung dargestellt.

Tabelle 16: Allgemeine Parameter zum Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung.

Lage	Seehöhe	230 m	
Klima:	? Temperatur	10,0 °C	
	? Niederschlag	550 mm	
Boden:	Bodentyp	Pararendzina	
	Bodenart	Löss	
	Organische Substanz	1,8 %	
	P _{CAL/DL} -Gehalt: mg P ₂ O ₅ /100g Boden	Pflug	17
		Schichtenpflug	19
Schichtengrubber		16	

Die fünfgliedrige Ackerbaufruchtfolge umfasst die Fruchtfolgeglieder Grünbrache, Winterweizen (*Triticum aestivum*) mit einer Zwischenfrucht, Erbse (*Pisum sativum*), Winterroggen (*Secale cereale*) mit einer Zwischenfrucht und Sommergerste (*Hordeum vulgare*). Der Versuch ist in zweifacher Wiederholung mit jeweils drei Bodenbearbeitungsintensitäten angelegt (Tabelle 17).

Tabelle 17: Fruchtfolge des Versuchs Eichenhof im Projekt Ökologische Bodenbewirtschaftung.

Jahr	Fruchtfolgeglieder
1997	Sommergerste (<i>Hordeum vulgare</i>)
1998	Grünbrache
1999	Winterweizen (<i>Triticum aestivum</i>) mit abfrierender Zwischenfrucht
2000	Erbse mit Ausfallerbse
2001	Winterroggen (<i>Secale cereale</i>) mit abfrierender Zwischenfrucht

Die Varianten der Grundbodenbearbeitung umfassen den Pflug (krumentief wendend in 30 cm Tiefe (intensiv)), den Schichtenpflug (flach wendend in 15 cm, nichtwendend lockernd in 30 cm Tiefe (reduziert)) und den Schichtengrubber (nichtwendend lockernd in 30 cm Tiefe (konservierend)). Die Grundbodenbearbeitung findet jeweils im Sommer nach der Getreideernte statt. Zur Stabilisierung der gelockerten Krume wird anschliessend ein Gründüngungsgemengen eingesät.

Grünbrache und Zwischenfrüchte sind leguminosenbetonte Gründüngungsgemeinde mit hoher Wurzeleistung zur Bodenregeneration: Die Grünbrache besteht aus Schwedenklee (*Trifolium hybridum*), Gelbklee (*Medicago lupulina*), Luzerne (*Medicago sativa*), Weissklee (*Trifolium repens*), Inkarnatklee (*Trifolium incarnatum*), Winterwicke (*Vicia villosa*), Buchweizen (*Fagopyrum esculentum*), Phacelia (*Phacelia tanacetifolia*), Deutsches Weidelgras (*Lolium perenne*) und Rotschwingel (*Festuca rubra*). Die Zwischenfrucht besteht aus Alexandrinerklee (*Trifolium alexandrinum*), Perserklee (*Trifolium resupinatum*), Gelbsenf (*Sinapis alba*) und Sommerwicke (*Vicia sativa*).

Die Grünbrache erfüllt in einer ausgewogenen Fruchtfolge mehrere Aufgaben. Sie sorgt für eine Erhöhung der Artenvielfalt im System und als Gründüngung für die Rückführung von Nährstoffen. Darüber hinaus werden durch den "Lebendverbau" der Wurzeln die Bodenstruktur verbessert sowie Bodenorganismen ernährt, die für den Aufbau von stabilen Bodenaggregaten sorgen. Unter Grünbrache konnte eine deutliche Erhöhung der Aggregatstabilität festgestellt werden. Dies reduziert die Anfälligkeit eines Bodens für Verdichtung und Erosion.

Die Auswirkungen der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme und einer Fruchtfolge nach den Richtlinien des ÖL auf die Entwicklung der Bodenfruchtbarkeit und ergänzende ökologische Rahmenparameter des Agrarökosystems werden mit Hilfe umfangreicher Untersuchungen dokumentiert und überprüft werden (Hampl 2002, Emmerling 2002, u.a.). Nach der Umstellung auf ökologische Bewirtschaftung zeichneten sich nach drei Erntejahren (1997) sowohl in Abhängigkeit vom Bewirtschaftungssystem als auch als Auswirkungen der differenzierten Grundbodenbearbeitung erste Tendenzen der Bodenentwicklung ab.

Ursprünglich sollte die Auswirkung der unterschiedlichen Bodenbearbeitungssysteme auf die Kolonisierung von Winterweizen nach Grünbrache im Jahr 2001 untersucht werden. Wegen des relativ hohen Beikrautbesatz im Winterweizen wurde die Untersuchung jedoch auf den Flächen mit Winterroggen durchgeführt (Tabelle 18), da es nicht möglich war die Wurzeln der Beikräuter von den Wurzeln des Winterweizens in der Bodenprobe zu unterscheiden und zu trennen.

Tabelle 18: Untersuchungsvarianten der Auswirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitungssysteme auf die Kolonisierung von Winterroggen (*Secale cereale*) nach der Grünbrache im Jahr 2001.

Jahr	Pflug	Schichtenpflug	Schichtengrubber
2000	Erbse mit Ausfallerbse		
2001	Winterroggen (<i>Secale cereale</i>) mit abfrierender Zwischenfrucht		

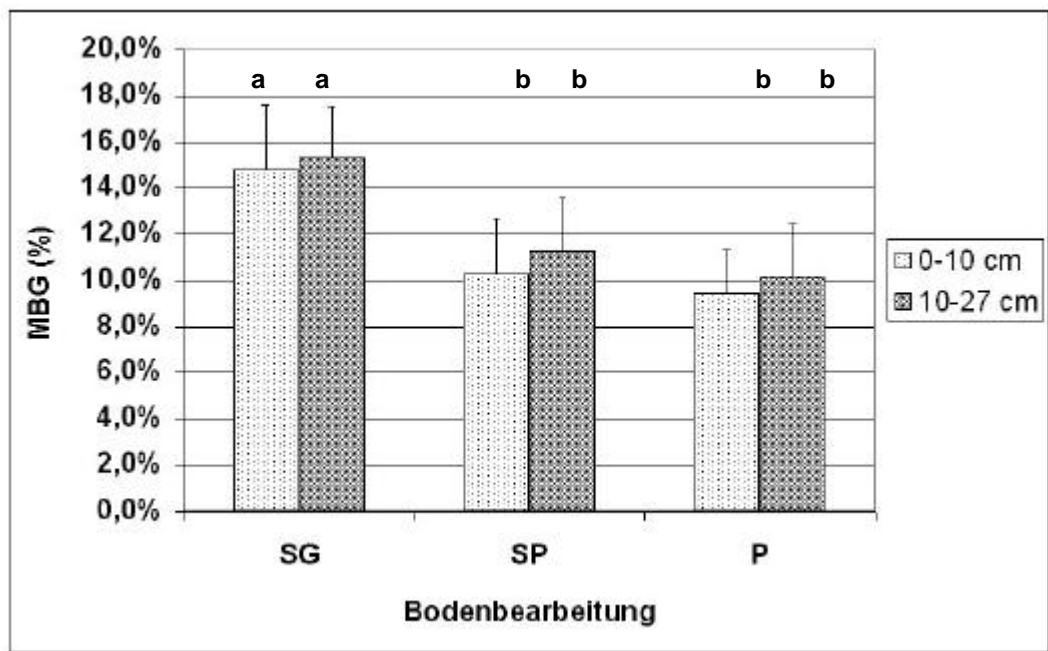
5.3 Ergebnisse

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Auswirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitungsintensitäten auf AMP ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 19: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Auswirkung unterschiedlicher Bodenbearbeitungsintensitäten auf die AM und den Kornertrag von Winterroggen (*Secale cereale*).

Bodenbearbeitungsintensität	MBG (%)	WLD (cm/cm ³)	WLD _{inf} (cm/cm ³)	Ertrag (dt/ha)
Schichtengrubber, 0-10cm	14,8 ? 1,6	7,8 ? 0,7	1,2 ? 0,1	42,3 ? 3,9
Schichtengrubber, 10-27cm	15,3 ? 1,6	6,3 ? 1,1	1,0 ? 0,1	42,3 ? 3,9
Schichtenpflug, 0-10cm	10,3 ? 1,5	6,6 ? 0,5	0,7 ? 0,1	38,5 ? 3,6
Schichtenpflug, 10-27cm	11,3 ? 1,7	6,3 ? 0,7	0,7 ? 0,1	38,5 ? 3,6
Pflug, 0-10cm	9,4 ? 1,5	6,7 ? 0,8	0,6 ? 0,1	46,8 ? 3,8
Pflug, 10-27cm	10,2 ? 1,7	6,3 ? 1,2	0,6 ? 0,1	46,8 ? 3,8

5.3.1 Auswirkungen auf den MBG, die WLD und die WLD_{inf}



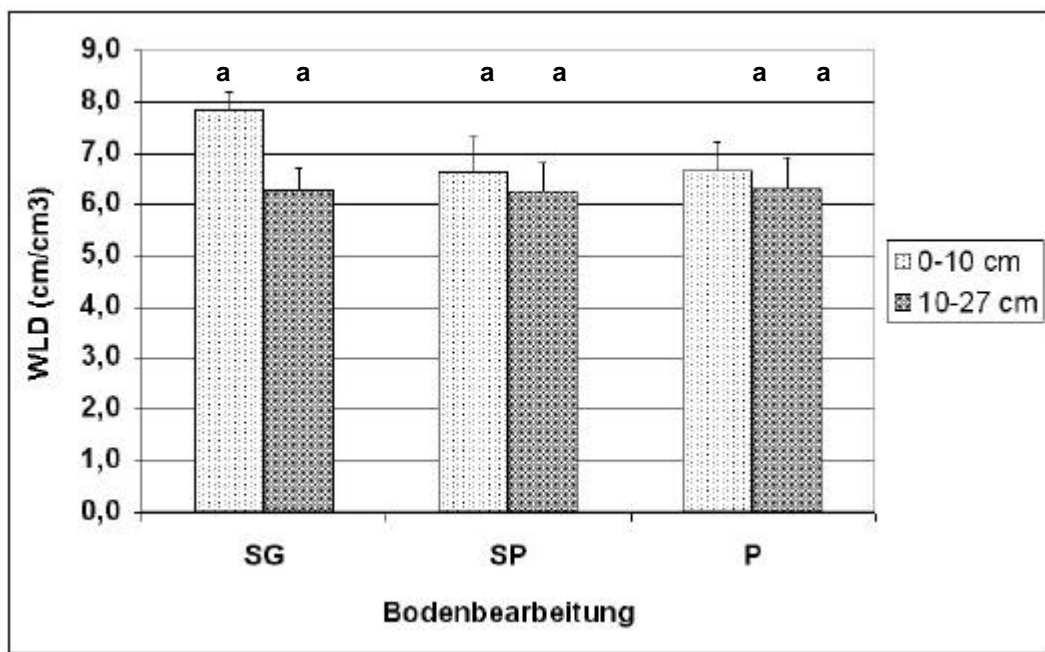
SG ... Schichtengrubber, SP ... Schichtenpflug, P ... Pflug

I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 13: MBG von Winterroggen (*Secale cereale*) in zwei Bodentiefen (0-10cm und 10-27cm) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungsintensitäten

Bei der Bodenbearbeitung mit dem Schichtengrubber konnte im Vergleich zu Schichtenpflug und Pflug ein signifikant höherer MBG von Winterroggen festgestellt werden (Abbildung 13). Zwischen den Bodenbearbeitungsintensitäten Schichtenpflug und Pflug konnten keine signifikanten Unterschiede im MBG von Winterroggen beobachtet werden. Die unterschiedlichen Bodenbearbeitungsintensitäten führten in den untersuchten Bodentiefen (0-10 und 10-27 cm) zu keinem signifikanten Unterschied im MBG von Winterroggen durch AMP.



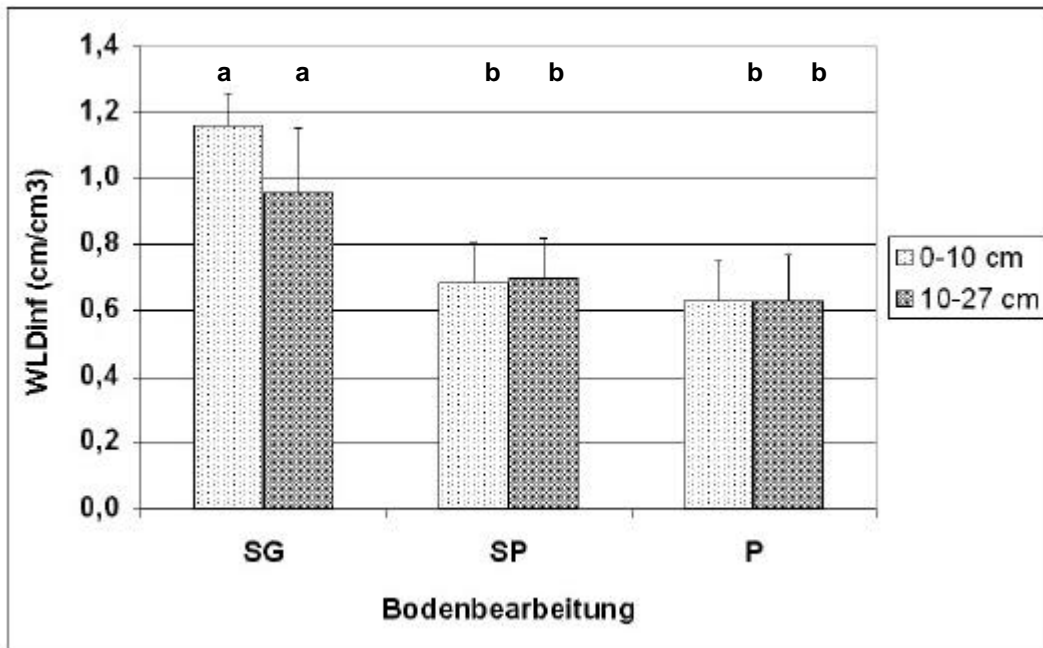
SG ... Schichtengrubber, SP ... Schichtenpflug, P ... Pflug

I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 14: WLD von Winterroggen (*Secale cereale*) in zwei Bodentiefen (0-10cm und 10-27cm) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungsintensitäten

Bei allen Bodenbearbeitungsintensitäten war kein signifikanter Einfluss auf die WLD von Winterroggen festzustellen (Abbildung 14). Die unterschiedlichen Bodenbearbeitungsintensitäten führten in den untersuchten Bodentiefen (0-10 und 10-27 cm) zu keinen signifikanten Unterschieden in der WLD von Winterroggen.



SG ... Schichtengrubber, SP ... Schichtenpflug, P ... Pflug

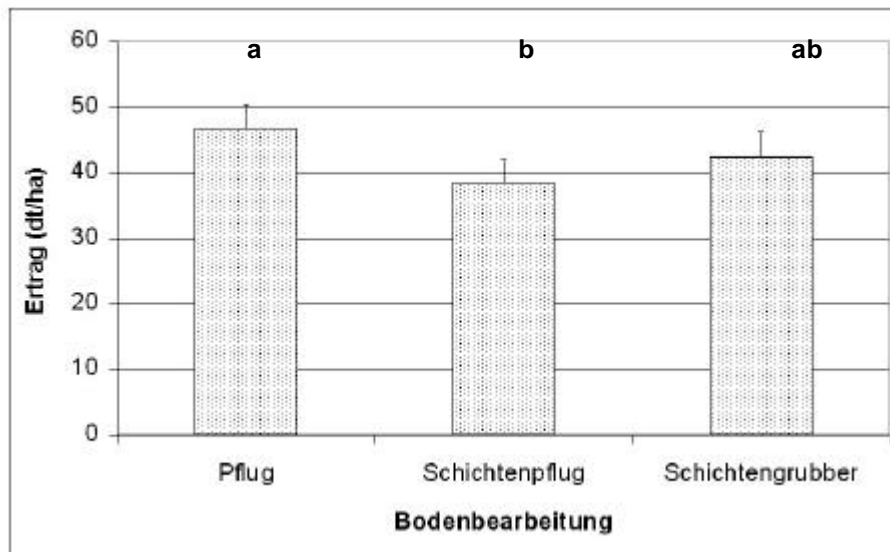
I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 15: WLD_{inf} von Winterroggen (*Secale cereale*) in zwei Bodentiefen (0-10cm und 10-27cm) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungsintensitäten

Die Untersuchung der WLD_{inf} von Winterroggen zeigte gleiche Zusammenhänge mit der Bodenbearbeitungsintensität wie der MBG. Bei der Bodenbearbeitung mit dem Schichtengrubber konnte im Vergleich zu Schichtenpflug und Pflug eine signifikant höhere WLD_{inf} festgestellt werden (Abbildung 15). Schichtenpflug und Pflug zeigten keine signifikanten Unterschiede in der WLD_{inf} von Winterroggen. Die unterschiedlichen Bodenbearbeitungsintensitäten führten in den untersuchten Bodentiefen (0-10 und 10-27 cm) zu keinen signifikanten Unterschiede in der WLD_{inf} von Winterroggen.

5.3.2 Auswirkungen auf den Ertrag



I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 16: Ertrag von Winterroggen (*Secale cereale*) in Abhängigkeit der Bodenbearbeitungsintensitäten.

Im Erntejahr 2001 war der Ertrag von Winterroggen auf den gepflügten Parzellen signifikant höher als auf den mit dem Schichtenpflug bearbeiteten Parzellen. Der Ertrag auf den mit dem Schichtengrubber bearbeiteten Parzellen lag nicht signifikant zwischen den beiden gepflügten Parzellen (Abbildung 16).

5.4 Diskussion

Die reduzierte und konservierende Grundbodenbearbeitung (Schichtengrubber, Schichtenpflug) führt im Vergleich zur intensiven Grundbodenbearbeitung (Pflug) zu einer Erhöhung der Humusgehalte und der Aktivität der Bodenmikroorganismen im gesamten Krumbereich (Emmerling 2002).

Die Schichtengrubbervariante ergaben eine deutlich höhere Stabilität der Bodenaggregate (Krümelstabilität) im Schlämmttest mit Wasser, was vermutlich auf die Lebendverbauung durch Mikroorganismen zurückzuführen ist (Hampl et al. 2001). Der Grund dafür könnte auch im vermehrten Vorkommen von AMP liegen, welche ein Glykoprotein (Glomalin) absondern, welches für die Verklebung von Mikroaggregaten zu Makroaggregaten verantwortlich ist (Rillig & Steinberg 2002, Wright & Upadhyayaet 1998). Offensichtlich

erfolgt eine gegenseitige Förderung von Bodenmikroorganismen und AMP, dessen Ergebnis eine Strukturverbesserung des Bodens ist.

Ein weiteres Indiz für die Förderung der AM durch konservierende Grundbodenbearbeitung ist der Anstieg des Ergosterolgehaltes in der Oberkrume (Emmerling 2002). Ergosterol ist ein Biomarker für den Pilzanteil der mikrobiellen Gemeinschaft in Böden. AMP weisen jedoch nur geringe Ergosterolgehalte (Frey et al. 1994) auf, daher besitzt dieser Parameter nur geringe Aussagekraft um die Häufigkeit von AMP im Boden zu beurteilen.

Im Vergleich zu den Humusgehalten sind die pflanzenverfügbaren Nährstoffgehalte in der gesamten Krume unverändert geblieben. In der Schichtengrubber-Parzellen zeigte sich eine deutliche Differenzierung mit erhöhten P-Gehalten in der Oberkrume ($17,6 \text{ mg P} \cdot 100\text{mg}^{-1}$ Boden, Emmerling 2002).

Durch die nichtwendende, lockernde Bodenbearbeitung durch den Schichtengrubber erfolgt im Vergleich zur wendenden Bodenbearbeitung durch den Schichtenpflug und den Pflug eine verminderte Zerstörung des externen Myzels der AMP am Standort (McGonigle et al., 1990a). Das Kolonisationspotential der AMP am Standort ist, entsprechend den Ergebnissen aus zahlreichen Untersuchungen nach der Bodenbearbeitung mit dem Schichtengrubber höher einzustufen als nach Bodenbearbeitung mit dem Schichtenpflug und dem Pflug (Evans & Miller 1988, Evans & Miller 1990, Jasper et al. 1989a, Jasper et al. 1989b, Jasper et al. 1991, Vivekanandan & Fixen 1991, Hooker et al. 1994). Dadurch erfolgt eine jahreszeitlich frühere Kolonisation der Phytosymbionten erfolgen (McGonigle et al. 1999).

Weiters bleibt durch die Bodenbearbeitung mit dem Schichtengrubber die vertikale Verteilung der Sporen der AMP erhalten (Douds et al., 1995). Im ÖL enthält die oberste Bodenschicht mehr Sporen als die untere Bodenschichte. Nach der Keimung hat die Pflanze die Möglichkeit eine AM auszubilden. Die Veränderung der vertikalen Verteilung der Sporen der AMP durch die wendende Bodenbearbeitung mit dem Schichtenpflug und dem Pflug ist neben der Zerstörung des externen Hyphennetzes im Boden durch die Bodenbearbeitung mit dem Schichtengrubber möglicherweise eine weitere Ursache für den signifikant höheren MBG von Winterroggen bei der Bodenbearbeitung mit dem Schichtengrubber (Abbildung 13).

Die signifikante Erhöhung des MBG und der WLD_{inf} bei Bodenbearbeitung mit dem Schichtengrubber im Vergleich zu Schichtenpflug und Pflug ist ein deutliches Anzeichen für die Förderung der AM durch konservierende Bodenbearbeitung.

Pflanzen mit einer geringen Abhängigkeit von AMP bilden im allgemeinen ein dichtes, stark verzweigtes Wurzelsystem aus. Nach Newsham (1995) ist zu erwarten, dass bei einem geringen MBG die WLD infolge der Ausbildung eines intensiv verzweigten Wurzelsystems zunimmt. Diese Reaktion konnte in diesem Versuch allerdings nicht beobachtet werden. Die WLD des Winterroggens war unter allen Bodenbearbeitungsintensitäten nicht signifikant voneinander unterschiedlich.

Die gemittelten Erträge bewegen sich auf einem zufriedenstellenden Niveau für den ÖL, wobei die Grundbodenbearbeitung mit dem Schichtengrubber und dem Schichtenpflug tendenziell niedrigere Erträge im Vergleich zu Pflug bewirkt (Abbildung 16). Die Ursache wird im vermehrten Aufkommen von Beikrautsamen dieser konservierenden Bodenbearbeitung während der Umstellungszeit vermutet (HAMPL 2002). Die Ergebnisse bestätigen entsprechende Erfahrungen mit pflugloser Bearbeitung in der Praxis. Die N, P und K-Gehalte des Winterroggen-Korns waren im Erntejahr 2001 nicht voneinander unterschiedlich (Vakali, persönliche Mitteilung).

Der AM wird im ÖL eine relativ grosse Bedeutung bei der Ertragsbildung durch die landwirtschaftlichen Kulturpflanzen beigemessen (Sattelmacher et al. 1991). Deshalb sollte bei der Auswahl der Bodenbearbeitungsgeräte auch die Ausbildung einer AM beachtet werden. Lockernde Bodenbearbeitung (Schichtengrubber) bewirkte in der Untersuchung einen höheren MBG von Winterroggen (*Secale cereale*) im Vergleich zu wendender Bodenbearbeitung (Pflug, Schichtenpflug). Vor diesem Hintergrund sollte einer lockernden Bodenbearbeitung auf Praxisbetrieben nach Möglichkeit dann der Vorzug gegeben werden, wenn mit einem geringen Unkrautdruck zu rechnen und die Konkurrenzkraft der Kulturpflanze entsprechend hoch ist.

6. Einfluss der Fruchtfolgegestaltung auf die AM

6.1 Problemstellung und Herleitung der Arbeitshypothese

Nach gegenwärtigem Stand des Wissens dienen landwirtschaftlich genutzte Böden einer komplexen Lebensgemeinschaft von bis zu 25 verschiedener Arten von AMP der Ordnung Glomales als Lebensraum (Douds und Millner 1999). Die Zusammensetzung der Populationen der AMP ist in hohem Masse von der Nutzpflanzenart und dem landwirtschaftlichen Produktionssystem abhängig (Miller et al. 1985, Johnson et al. 1991, Guo et al. 1993, Talkudar & Germida 1993, Hamel et al. 1994, Bever et al. 1996, Kurle und Pflieger 1996).

Weiters konnten An et al. (1993) in einem Freilandexperiment bei einem Vergleich von Sojabohne in Selbstfolge zu einer Rotation mit Schwingel, Mais und Sorghum zeigen, dass in den Böden der Selbstfolge eine Verringerung der Artenzahl an AMP bei gleichzeitiger Erhöhung der Individuenanzahl der dominanten Arten auftrat.

Zur Aufrechterhaltung der Bodenfruchtbarkeit und um die Anreicherung von phytopathogenen Mikroorganismen zu verhindern, muss ein Wechsel der Glieder in der Fruchtfolge, d. h. der Abfolge der Kulturpflanzen auf einem Acker, durchgeführt werden (Hendrix et al. 1992). Dieser Wechsel trägt dazu bei, dass sich durch eine grössere Vielfalt an Kulturpflanzen in der Fruchtfolge die Vielfalt an verschiedenen AMP und deren Populationsdichte erhöht, wodurch die nachteiligen Wirkungen von bodenbürtigen phytopathogenen Mikroorganismen abgeschwächt werden können (Medina et al. 2002, Abawi & Widmer 2000, Yao et al. 2002). Dieser Effekt begründet sich zum einen in der räumlichen Konkurrenz der AMP mit anderen phytopathogenen Mikroorganismen in der Rhizosphäre und zum anderen in der Erhöhung der Resistenz von Wurzelsystemen gegenüber abiotischen und biotischen Stressfaktoren. Für letzteres verantwortlich sind Veränderungen in der Physiologie der Pflanze infolge der Kolonisierung durch arbuskuläre Mykorrhizapilze. Die dabei wirkenden Mechanismen sind noch weitgehend unklar. Folgende Mechanismen können bei der biologischen Kontrolle phytopathogener Mikroorganismen eine bedeutende Rolle spielen: (a) eine erhöhte Nährstoffaufnahme in die Pflanze, (b) die Kompensation von Schäden durch Aufrechterhaltung der physiologischen Aktivität der Wurzelzellen, (c) die Konkurrenz mit Phytopathogenen um Kohlenhydrate im Wurzelgewebe, (d) die räumliche Konkurrenz im Wurzelgewebe, (e)

anatomische und morphologische Veränderungen des Wurzelsystems, (f) Veränderungen in der Mikroorganismenpopulation in der Rhizosphäre sowie die lokale Induzierung von Abwehrmechanismen in der Pflanze durch die AMP (Azcon & Barea 1996).

Eine besondere Rolle spielt der Anteil und die Stellung von nichtmykotropen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen in der Fruchtfolge (Thompson 1994a). Nicht mykotrophe landwirtschaftliche Kulturpflanzen wie z. B. Vertreter der Familien der *Brassicaceae* (Kreuzblütler), *Chenopodiaceae* (Gänsefußgewächse), *Amaranthaceae* (Amaranthgewächse) und *Polygonaceae* (Knöterichgewächse) hemmen den MBG der in der Rotation nachfolgenden Feldfrüchte (Harinikumar & Bagyaraj 1988, Thompson 1994b). Ebenso verringert Schwarzbrache in der Fruchtfolge die Anzahl der im Boden vorhandenen vitalen Sporen und damit das Kolonisationspotential durch AMP am Standort (Black & Tinker 1979, Kucey & Paul 1983, Thompson 1987).

Da im ÖL der AM sowohl in Bezug auf die Nährstoffversorgung als auch den Pflanzenschutz eine zentrale Rolle zukommt, sind Pflanzenarten mit hohen Mykorrhizabesiedelungsgraden in der Fruchtfolge erwünscht. Leguminosen nehmen in Fruchtfolgen unter den Bedingungen des ÖL einen hohen Anteil ein und weisen im allgemeinen einen höheren MBG auf als Gramineen (Jakobsen & Nielsen 1983, Grime et al. 1987, Van der Heijden 1998).

Vor diesem Hintergrund lässt sich nachfolgende Hypothese formulieren:

"Zunehmende Anteile an Leguminosen im Feldfuttergemenge (Gras in Reinsaat, Luzerne / Gras Gemenge und Luzerne in Reinsaat) oder in der Vorfrucht (einjährige und zweijährige Luzerne) erhöhen den MBG der Folgefrucht Winterweizen (*Triticum aestivum*)."

Die Arbeitshypothese wurde im Rahmen des Leguminosenfeldversuch Groß-Enzersdorf untersucht.

6.2 Der Leguminosenfeldversuch Groß-Enzersdorf

Der Leguminosenfeldversuch Groß-Enzersdorf wird vom Institut für ÖL an der Universität für Bodenkultur am Schlag 3/4 der Versuchswirtschaft der Universität für Bodenkultur in Raasdorf durchgeführt (Abbildung 17).

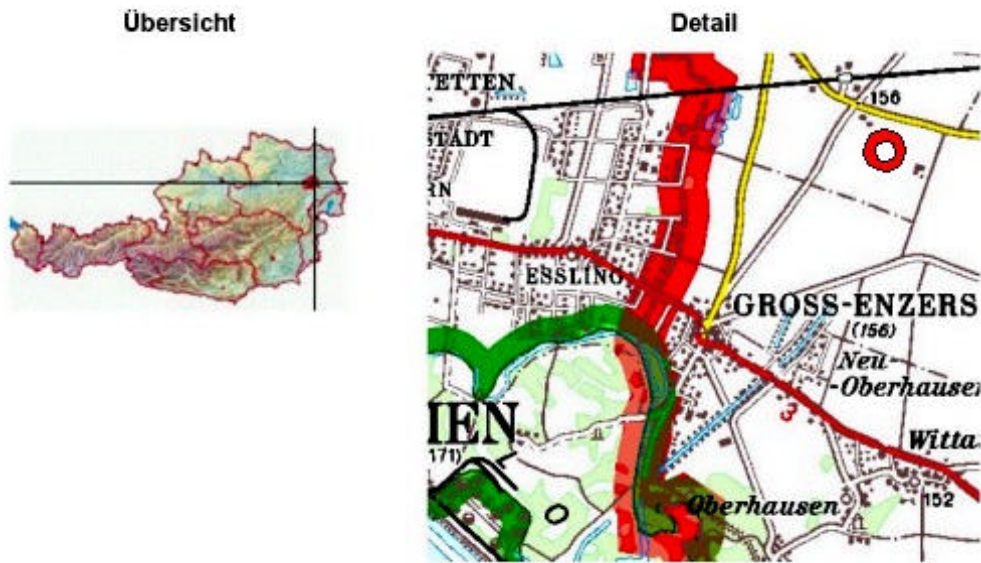


Abbildung 17: Lage des Leguminosenfeldversuches Groß-Enzersdorf

In der Tabelle 20 sind allgemeine Parameter zum Leguminosenfeldversuch Groß-Enzersdorf dargestellt.

Tabelle 20: Allgemeine Parameter zum Leguminosenfeldversuch Groß-Enzersdorf

Lage	Geographische Länge	16° 33'	
	Geografische Breite	48° 12'	
	Seehöhe	155 m	
	Ausrichtung	N-S	
Klima:	? Temperatur	9,8 °C	
	? Niederschlag	560 mm	
Boden:	Bodentyp	Tschernosem	
	Bodenart	sandiger Lehm	
	PH-Wert	7,4	
	Organische Substanz	3,4 %	
P _{CAL/DL} -Gehalt: mg P ₂ O ₅ /100g Boden	Grasgemenge in Reinsaat		19
	Luzerne-Grasgemenge		21
	Luzerne in Reinsaat		19
	zweijährige Luzerne in Reinsaat		18

In Abbildung 18 sind der Verlauf des Niederschlages und der Temperatur während der untersuchten Vegetationsperiode dargestellt.

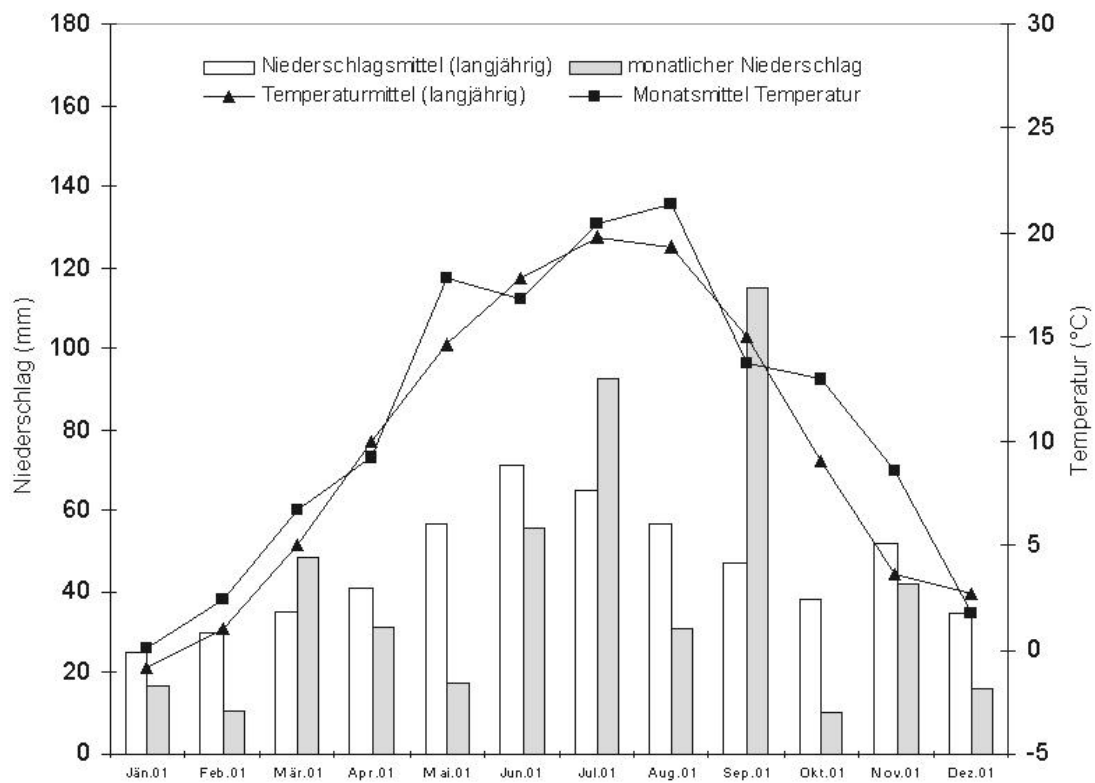


Abbildung 18: Witterungsverlauf während der Vegetationsperiode 2001

Im Leguminosenfeldversuch Groß-Enzersdorf wird untersucht ob bei zunehmenden Anteilen an Luzerne im Luzernefeldfuttergemenge und ob bei mehrjährigem Luzerneanbau in der Fruchtfolge signifikante Auswirkungen auf die AM der nachfolgenden Kulturpflanze Winterweizen festgestellt werden können (Tabelle 21).

Tabelle 21: Untersuchungsvarianten zum Einfluss zunehmender Anteile an Luzerne (*Medicago sativa*) im Feldfuttergemenge im Leguminosenfeldversuch Groß-Enzersdorf

Jahr	Feldfrüchte			
1999	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Luzerne Reinsaat (zweijährig)
2000	Grasgemenge Reinsaat ¹⁾	Luzerne – Grasgemenge ²⁾	Luzerne Reinsaat	
2001	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen	Winterweizen

¹⁾ ... Gemenge aus je 25% Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*), Rotschwingel (*Festuca rubra*), Schafschwingel (*Festuca ovina*) und Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*)

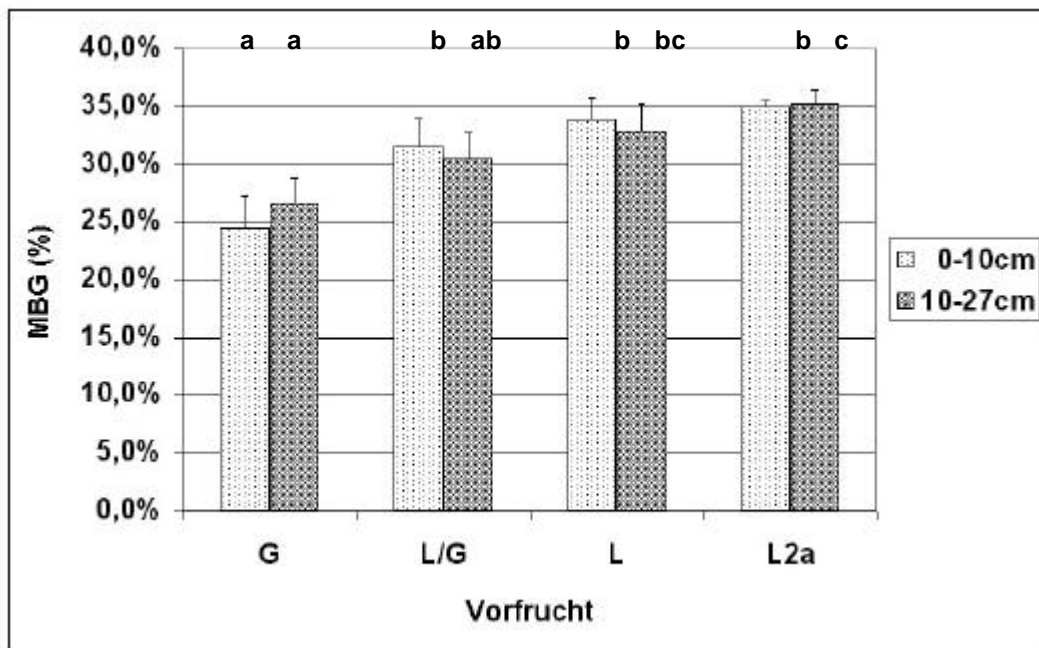
²⁾ ... 80% Luzerne (*Medicago sativa*), 20% Grasgemenge (²⁾), Angaben in Flächenprozenten

6.3 Ergebnisse

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Auswirkung zunehmender Anteile von Luzerne im Feldfuttergemenge auf AMP ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 22: Zusammenfassung der Ergebnisse zur P-Aufnahme durch arbuskuläre Mykorrhizapilze

Bodenbearbeitungsintensität	MBG (%)	WLD (cm/cm ³)	WLD inf (cm/cm ³)	Protein-Gehalt (%)	Ertrag (dt/ha)
Gras, 0-10cm	24,4 ? 2,8 a	7,8 ? 0,5 a	1,9 ? 0,2 a	14,4 ? 2,3	23,8 ? 3,5
Gras, 10-27cm	26,6 ? 2,2 a	7,9 ? 1,7 a	2,1 ? 0,2 a	14,4 ? 2,3	23,8 ? 3,5
Luzerne - Gras, 0-10cm	31,6 ? 2,4 b	6,9 ? 0,4 b	2,2 ? 0,2 ab	12,3 ? 0,5	28,7 ? 2,7
Luzerne - Gras, 10-27cm	30,5 ? 2,3 b	6,8 ? 0,3 b	2,1 ? 0,2 ab	12,3 ? 0,5	28,7 ? 2,7
Luzerne, 0-10cm	33,8 ? 1,9 bc	6,8 ? 0,3 b	2,3 ? 0,2 ab	15,9 ? 0,6	25,1 ? 1,0
Luzerne, 10-27cm	32,9 ? 2,3 bc	6,4 ? 0,2 b	2,1 ? 0,2 ab	15,9 ? 0,6	25,1 ? 1,0
Luzerne zweijährig, 0-10cm	34,9 ? 0,6 c	7,7 ? 0,8 ab	2,7 ? 0,2 b	15,5 ? 2,0	30,8 ? 3,8
Luzerne zweijährig, 10-27cm	35,5 ? 1,2 c	6,1 ? 1,1 ab	2,2 ? 0,4 b	15,5 ? 2,0	30,8 ? 3,8



G ... Gemenge aus je 25% Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*), Rotschwingel (*Festuca rubra*), Schafschwingel (*Festuca ovina*) und Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*)

L/G ... 80% Luzerne, 20% Grasgemenge (G), Angaben in Flächenprozenten

L, L2a... Luzerne (*Medicago sativa*) einjähriger Bestand, Luzerne zweijähriger Bestand

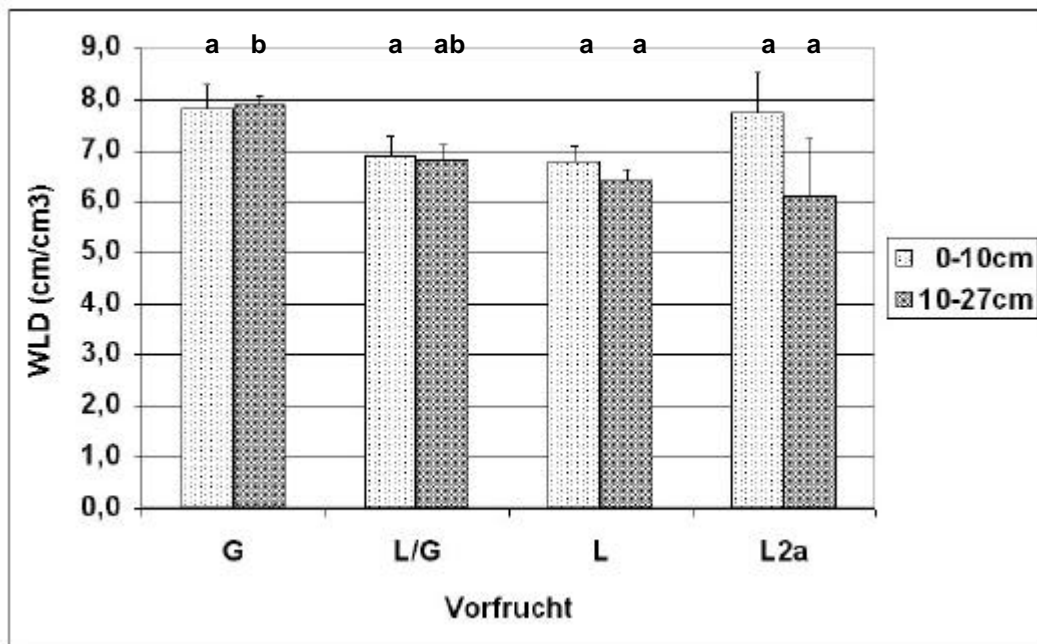
I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 19: MBG von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in zwei Bodentiefen (0-10cm und 10-27cm) in Abhängigkeit vom Anteil an Luzerne (*Medicago sativa*) im Feldfuttergemenge bzw. in der Fruchtfolge

Im oberen Bodenhorizont (0-10 cm) stieg der MBG von Winterweizen mit dem Anteil an Luzerne in der Vorfrucht und in der Fruchtfolge (Abbildung 19). Ein signifikant höherer MBG von Winterweizen konnte bei einjährigem (L) und zweijährigem Luzerneanbau in Reinsaat (L2a) sowie dem Luzerne/Grasgemenge in Misanbau (L/G) als Vorfrucht gegenüber dem Grasgemenge in Reinsaat (G) als Vorfrucht beobachtet werden.

Im unteren Bodenhorizont (10-30cm) zeigte der Winterweizen nach zweijährigem Luzerneanbau in Reinsaat (L2a) einen signifikant höheren MBG im Vergleich zum Luzerne/Grasgemenge in Misanbau (L/G) und dem Grasgemenge (G) als Vorfrucht. Weiters bewirkte der einjährige Luzerneanbau in Reinsaat (L) einen signifikant höheren MBG als das Grasgemenge in Reinsaat (G) als Vorfrucht (Abbildung 19).



G ... Gemenge aus je 25% Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*), Rotschwingel (*Festuca rubra*), Schafschwingel (*Festuca ovina*) und Wiesenschwingel (*Festuca pratensis*)

L/G ... 80% Luzerne, 20% Grasgemenge, Angaben in Flächenprozenten

L, L2a... Luzerne (*Medicago sativa*) einjähriger Bestand, Luzerne zweijähriger Bestand

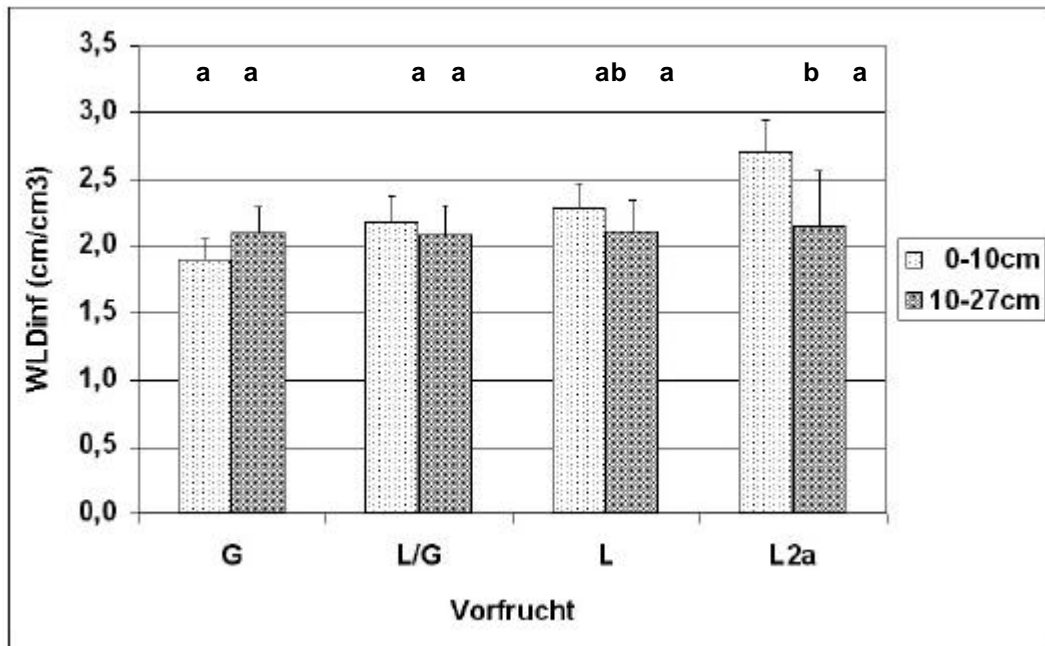
I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 20: WLD von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in zwei Bodentiefen (0-10cm und 10-27cm) in Abhängigkeit vom Anteil an Luzerne (*Medicago sativa*) im Feldfuttergemenge bzw. in der Fruchtfolge

Im oberen Bodenhorizont (0-10 cm) konnten keine signifikanten Unterschiede in der WLD von Winterweizen in Abhängigkeit vom Anteil an Luzerne in der Vorfrucht, bzw. in der Fruchtfolge festgestellt werden (Abbildung 20).

Im unteren Bodenhorizont (0-30cm) zeigte der Winterweizen nach Grasgemenge in Reinsaat (G) eine signifikant höhere WLD gegenüber der einjährigen (L) und zweijährigen Luzerne (L2a) in Reinsaat als Vorfrucht. Die WLD von Winterweizen nach dem Luzerne/Grasgemenge in Mischbau (L/G) als Vorfrucht lag signifikant zwischen der WLD von Winterweizen nach Grasgemenge in Reinsaat (G) und dem einjährigen (L) sowie zweijährigem Luzerneanbau in Reinsaat (L2a).



G ... Gemenge aus je 25% Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*), Rotschwengel (*Festuca rubra*), Schafschwengel (*Festuca ovina*) und Wiesenschwengel (*Festuca pratensis*)

L/G ... 80% Luzerne, 20% Grasgemenge, Angaben in Flächenprozenten

L, L2a... Luzerne (*Medicago sativa*) einjähriger Bestand, Luzerne zweijähriger Bestand

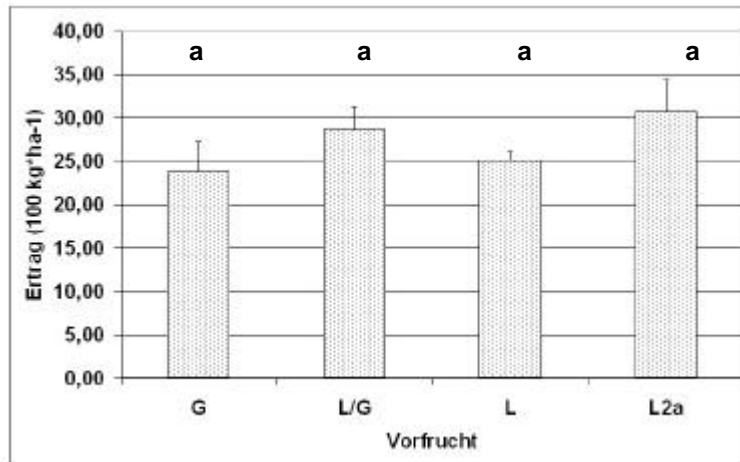
I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 21: WLD_{inf} von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in zwei Bodentiefen (0-10cm und 10-27cm) in Abhängigkeit vom Anteil an Luzerne (*Medicago sativa*) im Feldfuttergemenge bzw. in der Fruchtfolge

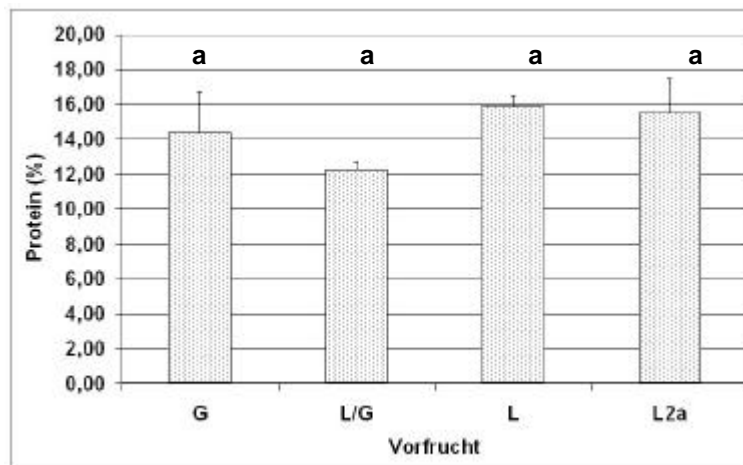
Im oberen Bodenhorizont (0-10cm) zeigte der Winterweizen nach zweijährigem Luzerneanbau in Reinsaat (L2a) signifikant höhere WLD_{inf} (Abbildung 21). Die WLD_{inf} von Winterweizen nach einjähriger Luzerne in Reinsaat (L) lag signifikant zwischen der WLD_{inf} von Winterweizen nach Grasgemenge in Reinsaat (G) und dem Luzerne/Grasgemenge in Misanbau (L/G) sowie zweijährigem Luzerneanbau in Reinsaat (L2a).

Im unteren Bodenhorizont (0-30cm) konnte kein signifikanter Unterschied in der WLD_{inf} von Winterweizen in Abhängigkeit vom Anteil an Luzerne in der Vorfrucht beobachtet werden.



G ... Gemenge aus je 25% Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*), Rotschwengel (*Festuca rubra*), Schafschwengel (*Festuca ovina*) und Wiesenschwengel (*Festuca pratensis*)
 L/G ... 80% Luzerne, 20% Grasgemenge (G), Angaben in Flächenprozenten
 L, L2a... Luzerne (*Medicago sativa*) einjähriger Bestand, Luzerne zweijähriger Bestand
 I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar
 a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 22: Ertrag von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit vom Anteil an Luzerne (*Medicago sativa*) im Feldfuttergemenge und dem Mykorrhizabesiedelungsgrad)



Legende siehe Abb. 22.

Abbildung 23: Proteingehalt von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit vom Anteil an Luzerne (*Medicago sativa*) im Feldfuttergemenge und dem Mykorrhizabesiedelungsgrad).

Der mit dem Anteil an Luzerne in der Vorfrucht, bzw. in der Fruchtfolge gemessene Anstieg des MBG und der WLD_{inf} von Winterweizen hatte keine signifikanten Auswirkungen auf den Ertrag und den Proteingehalt des Winterweizens (Abbildung 22 und Abbildung 23).

6.4 Diskussion

Die Sporendichte und das Kolonisationspotential arbuskulärer Mykorrhizapilze variiert in Abhängigkeit von der Kulturartenzusammensetzung der Fruchtfolge am jeweiligen Standort. Wulff (1996) konnte in einer Untersuchung feststellen, dass nach mehrjährigem Anbau der nichtmykotrophen landwirtschaftlichen Kulturpflanze Raps (*Brassica napus*) eine signifikante Reduktion der Sporendichte und des Kolonisationspotentials erfolgt. Weiters konnte in mehreren Untersuchungen festgestellt werden, dass auch nach Schwarzbrache eine signifikante Reduktion der Sporendichte sowie des Kolonisationspotentials der AMP erfolgt (Black & Tinker 1979, Kucey & Paul 1983, Thompson 1987; Johnson et al. 1991).

Nach Newsham et al. (1995a) sind Pflanzen mit einem extensiven Wurzelsystem (zahlreiche, lange Wurzeln mit geringem Durchmesser) im allgemeinen bei der Aufnahme von Nährstoffen weniger abhängig von einer AM als Pflanzen mit einem grob ausgeprägten Wurzelsystem (wenige, kurze Wurzeln mit einem relativ grossen Durchmesser).

Plenchette et al. (1983) haben die Abhängigkeit heimischer landwirtschaftlicher Nutzpflanzen von einer AM untersucht und folgende Abhängigkeiten mit absteigender Wertigkeit festgestellt: Erbse>> Fiole> Ackerbohne>> Mais>> Hafer> Weizen. Auch Jakobsen & Nielsen (1983) sowie Grime et al. (1987) konnten eine, im allgemeinen höher ausgeprägte Abhängigkeit von Leguminosen von ihren Mykosymbionten als Gramineen beobachten.

Die Wurzelknöllchen der Rhizobiumsymbiose zeigen eine hohe Stoffwechsel- und Teilungsaktivität sowie einen hohen Anteil an meristematischem Gewebe und folglich Biomembranen (Bakterioidmembran, Peribakterioidmembran, Plasmalemma, Tonoplast) auf. Dadurch sind die Knöllchen reich an DNA, RNA und Phospholipiden, biochemische Verbindungen die einen hohen Anteil an P aufweisen (Marschner 1995, S. 216). Weiters ist die Fixierung von molekularem Stickstoff aus der Luft ein relativ energieaufwendiger Vorgang (Marschner 1995, S. 201). Der Energietransport in der Pflanze erfolgt hauptsächlich durch ATP (Marschner 1995, S. 267). Daraus lässt sich die erhöhte Abhängigkeit der Leguminosen von AMP aufgrund des relativ hohen P-Bedarf der Leguminosen für die Stickstofffixierung begründen (Barea et al. 1994). Die Ausbildung

einer effizienten AM hilft den Leguminosen den hohen P-Bedarf bei der Stickstofffixierung zu decken.

Infolge ihrer erhöhten Mykorrhizierung hinterlassen Leguminosen im Vergleich zu Gramineen daher im allgemeinen den in der Fruchtfolge nachfolgenden Feldfrüchten ein höheres Kolonisationspotential in Form von extraradikale Hyphen und Sporen (Jacobsen & Nielsen 1983, Grime et al. 1987, Van der Heijden 1998). Aufgrund dieser Beobachtung lässt sich der im Versuch gemessene höhere MBG von Winterweizen nach Luzerne im Vergleich zu Winterweizen nach dem Grasgemenge infolge der ausgeprägten Abhängigkeit von Luzerne von AMP im Vergleich zum Grasgemenge (Abbildung 19) erklären.

Die Ausbildung einer hohen WLD_{inf} erhöht das Kolonisationspotential durch AMP am jeweiligen Standort (Thompson & Wildermuth 1989). In Übereinstimmung dazu konnte eine höhere WLD_{inf} mit einem steigenden Anteil an Luzerne in der Vorfrucht, bzw. in der Fruchtfolge festgestellt werden (Abbildung 21). Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass Luzerne ein höheres Kolonisationspotential von AMP hinterlässt als Gräser.

Neben der Ausbildung einer effizienten AM spielen die Versorgung mit Stickstoff und Wasser eine bedeutende Rolle in der Ertragsbildung und dem Proteingehalt im Korn von Winterweizen. Zwischen MBG und Ertrag von Winterweizen war kein Zusammenhang erkennbar. Dies könnte im relativ niedrigen Ertragsniveau infolge der Trockenheit am Versuchsstandort in den untersuchten Vegetationsperioden (2001, Abbildung 18) zurückzuführen sein. Auch die ausreichend hohen pflanzenverfügbaren P-Gehalte des Bodens könnten ein Grund dafür gewesen sein, dass die erhöhte Mykorrhizierung nicht ertragswirksam werden konnte (Tabelle 20).

Um detailliertere Aussagen zu den Auswirkungen der Fruchtfolgegestaltung auf die AM tätigen zu können, wäre eine längere Untersuchungsdauer (mindestens zwei ganze Rotationen) erforderlich, um v. a. unterschiedliche Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren in der Interpretation berücksichtigen zu können. Weiters müssten zur Abdeckung der Breite der offenen Fragen in der landwirtschaftlichen Praxis mehrere unterschiedliche Fruchtfolgen in unterschiedlichen Klimaräumen in die Untersuchung einbezogen werden.

7. Einfluss von Stallmistdüngung auf die AM

7.1 Problemstellung und Herleitung der Arbeitshypothese

In mehreren wissenschaftlichen Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass landwirtschaftliche Nutzpflanzen im ÖL im Vergleich zu konventionellen Bewirtschaftungssystemen einen höheren MBG aufweisen (Ryan et al. 1994, Sattelmacher et al. 1991, Mäder et al. 1999). Dieser höhere MBG kann neben anderen Faktoren auch auf die Düngungspraxis im ÖL, wo überwiegend organische Düngemittel zur Anwendung kommen, zurückgeführt werden.

Kruckelmann (1973), konnte schon frühzeitig feststellen, dass die Zufuhr von organischer Substanz die Entwicklung einer AM fördert und dass die Ausbringung leichtlöslicher mineralischer P-Düngemittel die Kolonisation der Wurzeln landwirtschaftlicher Nutzpflanzen reduziert. Auch hohe Gehalte an mineralischem Stickstoff in der Bodenlösung können sich nachteilig auf den MBG der Phytosymbionten auswirken (Hayman 1975, Johnson et al. 1984).

Auch in nachfolgenden Untersuchungen wurde ein negativer Einfluss von leichtlöslichen mineralischen Düngemitteln auf die Anzahl der Sporen von AMP in landwirtschaftlich genutzten Böden nachgewiesen (Hayman 1987, Jensen & Jakobsen 1980, Vivekanandan & Fixen 1991, Vestberg 1996).

Durch hohe Gehalte an leichtlöslichen Nährstoffen in der Bodenlösung sinkt die Affinität der Phytosymbionten gegenüber ihren Mykosymbionten, wodurch die für die Nährstoffaufnahme effektiven AMP von weniger effektiven verdrängt werden können. Bei nachfolgendem reduziertem Düngemittleinsatz geht der Ertrag schlagartig zurück, da am Standort keine ausreichende Sporendichte an effektiven AMP vorhanden ist (Johnson, 1993). Diese Situation dürfte für den Ertragsrückgang bei der Umstellung von konventioneller Bewirtschaftung auf ÖL mitverantwortlich sein.

Vor diesem Hintergrund lässt sich folgende Arbeitshypothese formulieren:

"Die Düngung mit Stallmistkompost fördert die Entwicklung einer AM von mykotrophen Feldfrüchten im Vergleich zu Düngung mit leichtlöslichen mineralischen (NPK) oder organischen Düngern (Gülle)".

Die Prüfung der Arbeitshypothese erfolgte auf den nachfolgend beschriebenen, bestehenden Feldversuchen verschiedener Institutionen.

7.2 Untersuchungsvarianten zum Einfluss der Stallmistdüngung auf die AM

7.2.1 Der Dauerroggenversuch Groß-Enzersdorf

Der Dauerroggenversuch Groß-Enzersdorf wird vom Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung seit 1906 am Versuchshof der Universität für Bodenkultur durchgeführt. Es handelt sich dabei um eine Grossparzelle ohne Wiederholungen. Die Auswertung der Untersuchungsergebnisse erfolgte daher mittels deskriptiver Statistik. Die Lage des Dauerroggenversuch Groß-Enzersdorf ist in Abbildung 24 dargestellt.

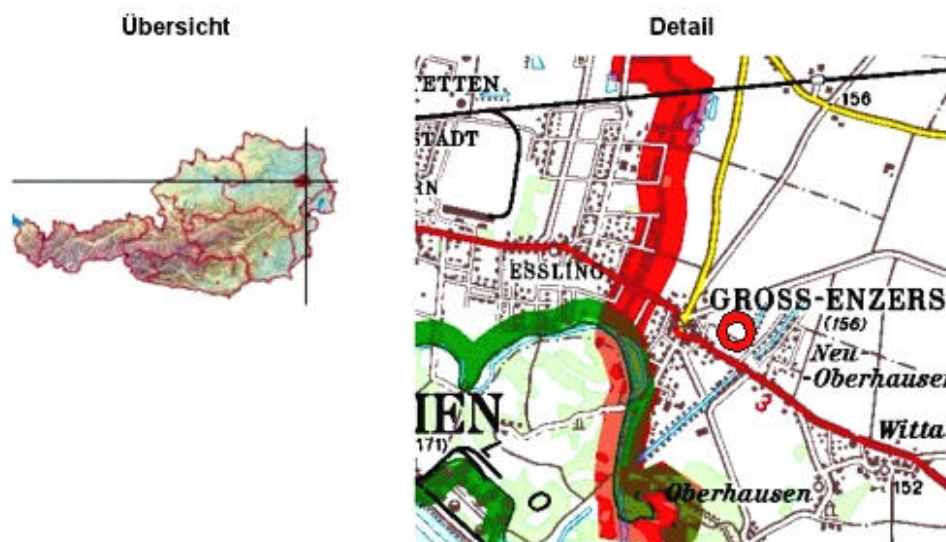


Abbildung 24: Lage des Dauerroggenversuches Groß-Enzersdorf

Der Versuchsstandort ist durch in Tabelle 23 und Tabelle 24 angeführte Parameter charakterisiert.

Tabelle 23: Allgemeine Parameter zum Dauerroggenversuch Groß-Enzersdorf

Lage	Geografische Länge	16° 33'
	Geografische Breite	48° 12'
	Seehöhe	155 m
	Ausrichtung	N-S
Klima	? Temperatur	9,8 °C
	? Niederschlag	560 mm
Boden	Bodentyp	Tschernosem
	Bodenart	sandiger Lehm
	pH	7,4

Tabelle 24: Spezielle Bodenparameter zum Dauerroggenversuch Groß-Enzersdorf

	Fruchtfolge	Dauerroggen	Rotationsroggen
	Düngervariante		
Organische Substanz (%)	Stallmistdüngung	3,8	2,8
	Mineraldüngung	3,4	2,0
	Ohne Düngung	1,8	2,2
P _{CAL/DL} -Gehalt (mg P ₂ O ₅ /100g Boden)	Stallmistdüngung	25	27
	Mineraldüngung	25	20
	Ohne Düngung	11	12

Das Schema der Versuchsanlage ist in Tabelle 25 angeführt. Die Düngung erfolgt im Herbst in praxisüblichen Mengen (Tabelle 26). Auf der Versuchshof in Groß-Enzersdorf gibt es keine Tierhaltung , deshalb wird je nach Verfügbarkeit Schweinemist oder Rindermist von umliegenden Landwirten zugekauft und am Dauerroggenversuch ausgebracht. Im Jahr 2000 wurde der Dauerroggenversuch mit Schweinemist gedüngt. Die Bodenbearbeitung erfolgt auf allen Flächen mit dem Pflug (Umbruch im Herbst).

Tabelle 25: Schema des Dauerroggenversuches am Versuchshof Groß-Enzersdorf

Rotation			Dauerkultur
Schwarzbrache + Stallmist	Winterroggen (<i>Secale cereale</i>) + Stallmist	Sommergerste (<i>Hordeum vulgare</i>) + Stallmist	Winterroggen (<i>Secale cereale</i>) + Stallmist
Schwarzbrache + Mineraldünger	Winterroggen (<i>Secale cereale</i>) + Mineraldünger	Sommergerste (<i>Hordeum vulgare</i>) + Mineraldünger	Winterroggen (<i>Secale cereale</i>) + Mineraldünger
Schwarzbrache ohne Düngung	Winterroggen (<i>Secale cereale</i>) ohne Düngung	Sommergerste (<i>Hordeum vulgare</i>) ohne Düngung	Winterroggen (<i>Secale cereale</i>) ohne Düngung

Tabelle 26: Ausgebrachte NPK-Mengen im Dauerroggenversuches am Versuchshof Groß-Enzersdorf

Düngevariante	Nährstoffe (kg.ha.a ⁻¹)		
	N	P	K
Ohne Düngung	0	0	0
Mineraldünger	120	45	125
Stallmist	120	35	115

Untersucht wurde die Auswirkung von Langzeitdüngung mit Stallmist auf den MBG von Winterroggen im Vergleich zu Langzeitdüngung mit leichtlöslichen Mineraldüngern (NPK) bzw. bei Verzicht auf Düngung. Als weiterer Aspekt wurde der Einfluss von Schwarzbrache in der Rotation auf den MBG von Winterroggen in Rotation mit Sommergerste im Vergleich zu langjährigem Anbau von Winterroggen überprüft.

Die Fruchtfolge und die anbautechnischen Massnahmen entsprechen nicht den Richtlinien des ÖL. Aufgrund der Besonderheiten des Versuchs (langjähriger Roggenanbau mit Stallmistdüngung, gleiche Standortbedingungen wie der Leguminosenfeldversuch), wurden die Faktoren einer Prüfung unterzogen, welche in anderen Versuchsanlagen nicht vorgefunden wurden (Bracheeffekt, Langzeitdüngung mit Stallmist).

Der vorbeugende Effekt der Fruchtfolge im ÖL zur Unterdrückung von Beikräutern ist im Dauerroggenversuch systembedingt nicht gegeben, die Aufgabe wird bei Bedarf von

Herbiziden übernommen. Der Einsatz von Fungiziden und Herbiziden ist im ÖL nicht gestattet.

Beikräuter sind zum Grossteil hochmykotroph, sie stellen potentielle Symbiosepartner für die AMP dar. Durch die Elimination der Beikrautvegetation durch Herbizide sinkt die Biodiversität an potentiellen Symbiosepartnern für die AMP. Dadurch kommt es zu einer Verminderung der Biodiversität der AMP am Standort, und einer geringeren Anzahl an möglichen Symbiosepartnern für die Folgefrüchte. Durch den Einsatz von Herbiziden kommt es zu einer indirekten Beeinträchtigung der AM (Wulff 1996).

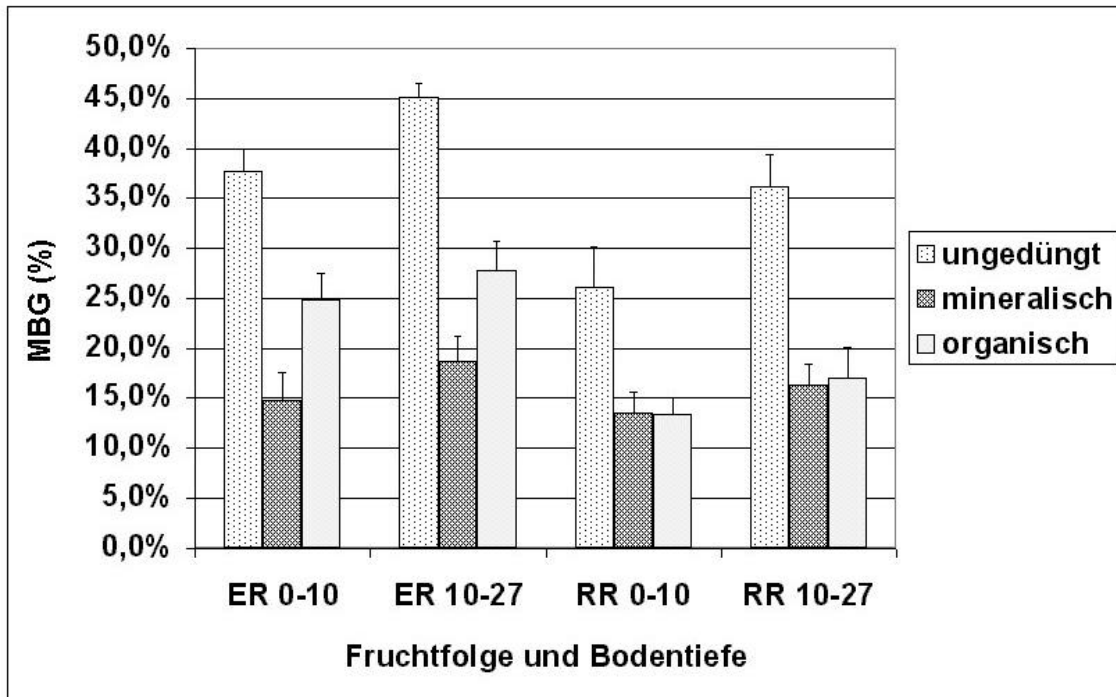
Weiters ist bekannt, dass durch die Anwendung von systemischen Fungiziden, wie z.B. Fotesyl-Al und Metalaxyl, durch die Elimination von direkten Konkurrenten im Wurzelraum, wie z.B. Oomyzeten, sogar eine Wachstumsstimulation von AMP erfolgen kann (Hooker et al. 1994; Land 1990).

7.2.1.1 Ergebnisse zum Dauerroggenversuch Groß-Enzersdorf

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Auswirkungen von Langzeitdüngung mit Stallmist auf die Kolonisierung von Winterroggen im Vergleich zu Mineraldüngung (NPK) bzw. bei Verzicht auf Düngung ist in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Auswirkung von Langzeitdüngung mit Stallmist im Vergleich zu Mineraldüngung auf die Kolonisierung von Winterroggen (*Secale cereale*) mit AMP im Dauerroggenversuch Groß-Enzersdorf

Düngung	MBG (%)	WLD (cm/cm ³)	WLD _{inf} (cm/cm ³)
Dauerroggen ungedüngt, 0-10cm	37,8 ? 2,2	1,4 ? 0,2	0,5 ? 0,1
Dauerroggen ungedüngt, 10-27cm	45,1 ? 1,3	2,1 ? 0,7	1,0 ? 0,3
Dauerroggen mineralisch, 0-10cm	14,7 ? 2,9	3,2 ? 0,5	0,5 ? 0,1
Dauerroggen mineralisch, 10-27cm	18,7 ? 2,5	3,7 ? 0,7	0,7 ? 0,1
Dauerroggen organisch, 0-10cm	24,8 ? 2,6	2,7 ? 0,6	0,7 ? 0,1
Dauerroggen organisch, 10-27cm	27,8 ? 2,8	3,7 ? 0,7	1,0 ? 0,2
Rotationsroggen ungedüngt, 0-10cm	26,1 ? 4,0	2,7 ? 0,4	0,7 ? 0,2
Rotationsroggen ungedüngt, 10-27cm	36,3 ? 3,1	3,8 ? 0,5	1,4 ? 0,3
Rotationsroggen mineralisch, 0-10cm	13,5 ? 2,1	3,5 ? 0,4	0,5 ? 0,1
Rotationsroggen mineralisch, 10-27cm	16,3 ? 2,2	4,7 ? 0,3	0,8 ? 0,1
Rotationsroggen organisch, 0-10cm	13,4 ? 1,6	3,5 ? 0,4	0,5 ? 0,1
Rotationsroggen organisch, 0-10cm	17,1 ? 3,1	4,1 ? 0,3	0,7 ? 0,1



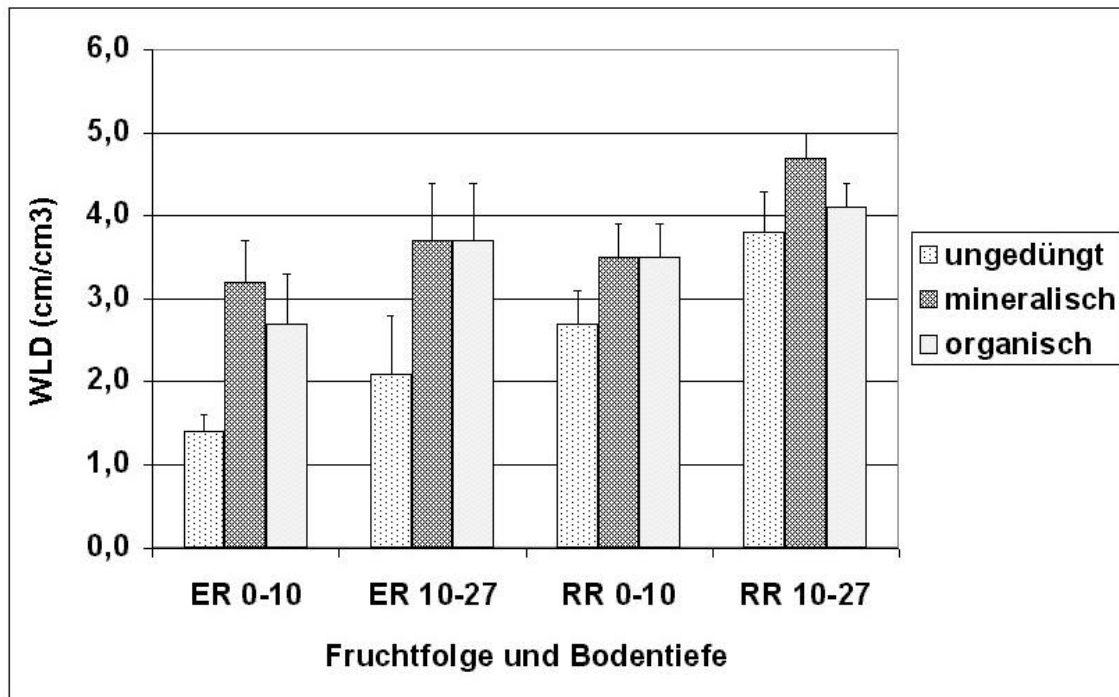
ER 0-10, 10-27... Roggen in Dauerkultur, Bodentiefe 0-10 bzw. 10-27 cm

RR 0-10, 10-27... Roggen in Rotation mit Gerste und Schwarzbrache, Bodentiefe 0-10 bzw. 10-27 cm

I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 25: MBG von Winterroggen (*Secale cereale*) in Abhängigkeit von den Düngervarianten, der Fruchtfolge und der Bodentiefe

Der MBG von Winterroggen ist, sowohl in der Dauerkultur (ER) als auch in der Rotation (RR), in der ungedüngten Variante im unteren Bodenhorizont (10-27cm) höher als im oberen Bodenhorizont (0-10cm). Der organisch gedüngte Winterroggen zeigte in der Dauerkultur (ER) einen tendenziell höheren MBG als der mineralisch gedüngte Winterroggen. Bei Winterroggen in der Rotation mit Sommergerste und Schwarzbrache war kein Unterschied zwischen dem mineralisch und organisch gedüngten Winterroggen festzustellen (Abbildung 25). In der Dauerkultur (ER) war der MBG bei den ungedüngten und den organisch gedüngten Winterroggen in den beiden untersuchten Bodenhorizonten höher als bei der mineralisch gedüngten Variante.



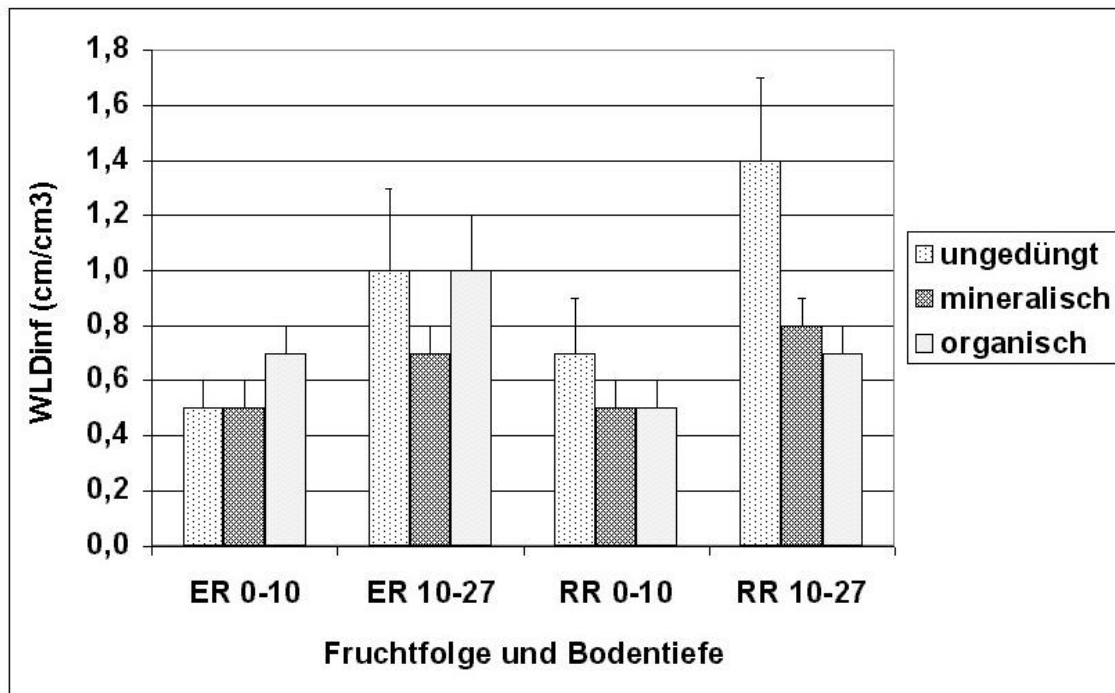
ER 0-10, 10-27... Roggen in Dauerkultur, Bodentiefe 0-10 bzw. 10-27 cm

RR 0-10, 10-27... Roggen in Rotation mit Gerste und Schwarzbrache, Bodentiefe 0-10 bzw. 10-27 cm

I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 26: WLD von Winterroggen (*Secale cereale*) in Abhängigkeit von den Düngervarianten, der Fruchtfolge und der Bodentiefe

Die WLD war beim ungedüngten Winterroggen in beiden Bodenhorizonten, sowohl in der Rotation (RR) als auch in der Dauerkultur (ER) tendenziell niedriger als beim gedüngten Winterroggen. Zwischen den gedüngten Winterroggenpflanzen konnte weder in der Rotation (RR) noch in der Dauerkultur (ER) ein Unterschied in der WLD festgestellt werden. Im unteren Bodenhorizont war die WLD von Winterroggen bei mineralischer und organischer Düngung tendenziell höher als beim ungedüngten Winterroggen (Abbildung 26).



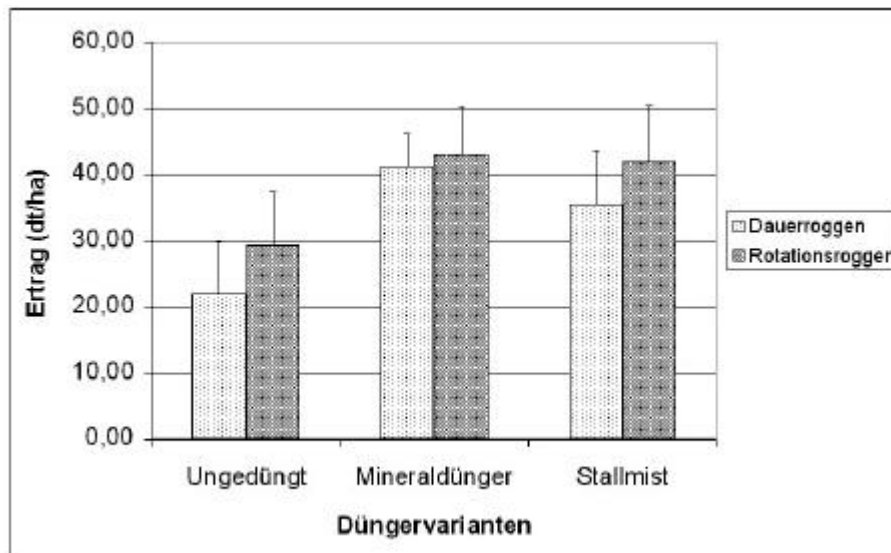
ER 0-10, 10-27... Roggen in Dauerkultur, Bodentiefe 0-10 bzw. 10-27 cm

RR 0-10, 10-27... Roggen in Rotation mit Gerste und Schwarzbrache, Bodentiefe 0-10 bzw. 10-27 cm

I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 27: Mittlere WLD_{inf} von Winterroggen (*Secale cereale*) in Abhängigkeit von den Düngervarianten, der Fruchtfolge und der Bodentiefe

Im oberen Bodenhorizont (0-10cm) war die WLD_{inf} beim Winterroggen in Dauerkultur (ER) bei organischer Düngung tendenziell erhöht. Im unteren Bodenhorizont (10-27cm) zeigte der ungedüngte Winterroggen in der Rotation (RR) eine tendenziell höhere WLD_{inf} . Beim mineralisch gedüngten Winterroggen waren weder in der Bodentiefe, noch in Rotation (RR) sowie in Dauerkultur (ER) keine Unterschiede bei der WLD_{inf} festzustellen (Abbildung 27).



I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 28: Ertrag von Winterroggen (*Secale cereale*) im Jahr 2000 in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Düngervarianten

Der Ertrag von Winterroggen im Jahr 2000 war bei der ungedüngten Variante sowohl in der Dauerkultur als auch in der Rotation tendenziell niedriger als bei den Düngervarianten mit Mineraldünger oder Stallmist.

Die Proteingehalte im Korn des Winterroggens in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Düngervarianten wurde nicht untersucht.

Da der Versuch in nur einer Wiederholung angelegt wurde, können die Untersuchungsergebnisse nur mittels deskriptiver Statistik dargestellt werden. Es wurde eine dreifaktoriellen ANOVA ohne Wechselwirkungen durchgeführt, deren Ergebnis war, dass die Düngervarianten und die Fruchtfolge signifikante Auswirkungen auf den MBG (Abbildung 25) und die WLD (Abbildung 26) nicht aber auf die WLD_{inf} (Abbildung 27) der untersuchten Roggenpflanzen haben. In den untersuchten Bodenhorizonten (0-10cm und 10-27cm) hatten die verschiedenen Düngervarianten und die Fruchtfolge keinen signifikanten Einfluss auf die untersuchten Parameter.

7.2.1.2 Diskussion zum Dauerroggenversuch Groß-Enzersdorf

Im allgemeinen setzen sich an die Umweltbedingungen am Standort am besten angepassten Arten von AMP durch. Diese breiten sich rascher aus und dominieren den Standort (Baltruschat 1990).

Der tendenziell höhere MBG von Winterroggen in der ungedüngten Variante, sowohl in der Dauerkultur als auch in der Rotation, ist in den im Vergleich zu den gedüngten Varianten niedrigen P-Gehalten im Boden begründet (Tabelle 24). Durch den relativ hohen MBG kommen die Pflanzen mit einem weniger verzweigten Wurzelsystem aus.

Bei der Variante mit mineralischer Düngung muss die Pflanze weniger Assimilate in den AMP investieren, da sie die Nährstoffe hauptsächlich über ihr Wurzelsystem aufnehmen kann. Hohe Gehalte an leichtlöslichen Nährstoffen in der Bodenlösung senken die Affinität der Pflanzen gegenüber ihren Mykosymbionten, für die Nährstoffaufnahme effektive AMP können von weniger effektiven verdrängt werden (Thompson 1994a).

Im Roggendaueranbau war der MBG bei der ungedüngten und der organisch gedüngten Variante in den beiden untersuchten Bodenhorizonten höher als bei der mineralisch gedüngten Variante. Dabei könnte der aus der Phytopathologie bekannte "Decline Effect" eine massgebliche Rolle spielen (Gerlach, 1968).

Der "Decline Effect" besagt, dass bei Daueranbau, d.h. langjähriger Selbstfolge landwirtschaftlicher Kulturpflanzen im allgemeinen bodenbürtige phytopathogene Mikroorganismen angereichert werden. Nach einer Konsolidierungsphase, d. h. der Reaktion des Edaphons auf das verschobene Gleichgewicht in der Artenzusammensetzung, verbunden mit dem Aufbau eines antiphytopathogenen Potentials im Boden, kommt es zu einer Reduktion phytopathogener Mikroorganismen (Diercks et al. 1980). Bei diesem Prozess spielen AMP eine gewichtige Rolle (Schönbeck 1987).

Bei organischer Düngung steigt die Bedeutung der AM infolge des erhöhten Nährstoffaufnahmevermögens über das externe Myzel aus Bodenkompartimenten, welche die Pflanze mit ihren Feinwurzeln nicht erreichen kann. Bei der Aufnahme von Nährstoffen bildet sich um die Pflanzenwurzel im Bereich ihrer Feinwurzeln eine Verarmungszone an Nährstoffen. Die Pflanze muss ihr Wurzelsystem im Boden erweitern, um in Zonen vorzustossen, in denen die Nährstoffe in höherer Konzentration vorliegen. Diese Verarmungszone kann die AM über ihr externes Myzel überwinden und Nährstoffe aktiv zum Phytosymbionten transportieren.

Der beobachtete, tendenziell niedrigere MBG beim Winterroggen in Rotation dürfte auch auf den Bracheeffekt zurückzuführen sein (Black und Tinker 1979, Thompson 1978, Allen et al. 2001). Schwarzbrache senkt infolge der Abwesenheit von potentiellen Phytosymbionten das Kolonisationspotential der AMP im Boden, wodurch eine weniger intensive Mykorrhizabesiedelung des folgenden Phytosymbionten erfolgt.

Wie zu erwarten lieferte der ungedüngte Roggen die niedrigsten Erträge, der Roggen in den gedüngten Varianten zeigte keine Ertragsunterschiede. Bemerkenswert ist, dass die Erträge auch auf den ungedüngten Flächen im langjährigen Mittel steigen. Dies dürfte auf den Einsatz ertragreicher Winterroggensorten und möglicherweise auf die Etablierung effizienter arbuskulärer Mykorrhizapilze auf den ungedüngten Parzellen zurückzuführen sein.

7.2.2 Der Kompostdüngerversuch Gumpenstein

Am Schlag IX der Versuchsflächen der Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft (BAL) in Gumpenstein wurde bis 2001 ein Kompostdüngerversuch in einem der ökologischen Landwirtschaft ähnlichen Bewirtschaftungssystem durchgeführt. Es handelt sich dabei um eine fünfjährige Fruchtfolge mit organischen Düngervarianten in vierfacher Wiederholung. Die Lage des Kompostdüngerversuch ist in Abbildung 29 dargestellt.

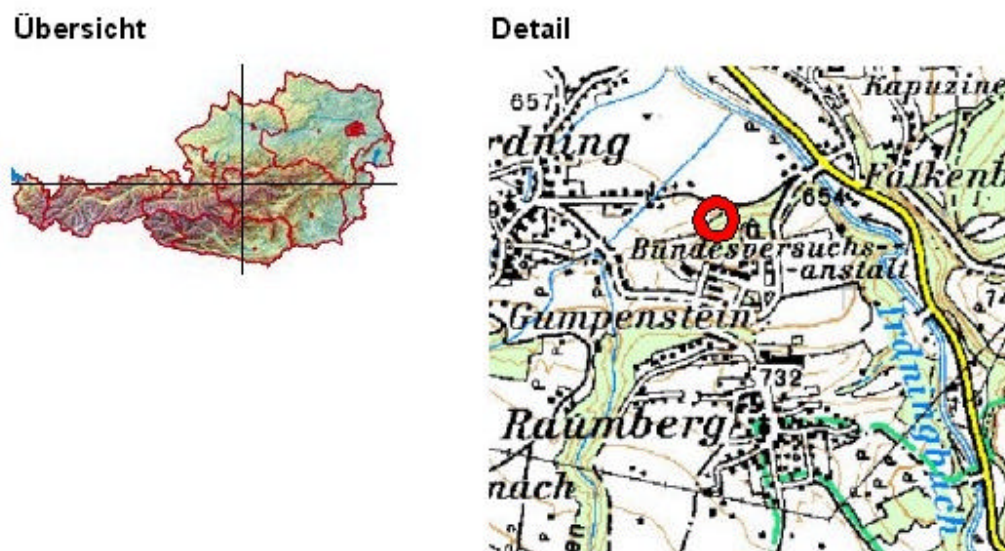


Abbildung 29: Lage des Kompostdüngerversuch Gumpenstein

Der Versuchsstandort ist durch in Tabelle 28 angeführte Parameter charakterisiert.

Tabelle 28: Allgemeine Parameter zum Kompostdüngerversuch Gumpenstein

Lage	Geografische Länge	14° 05'	
	Geografische Breite	47° 29'	
	Seehöhe	670 m	
	Ausrichtung	N-S	
Klima	? Temperatur	6,8 °C	
	? Niederschlag	1010 mm	
Boden	Bodentyp	Braunerde	
	Bodenart	Sandiger Lehm	
	pH	5,8	
	Organische Substanz	3,4 %	
	P _{CAL/DL} -Gehalt (mg P ₂ O ₅ /100g Boden)	Stallmistkompost	28
		Rottemist	29
Gülle		27	

Die Fruchtfolge des Kompostdüngerversuches Gumpenstein ist in Tabelle 29 dargestellt, die Düngungsvarianten sind in Tabelle 30 angeführt.

Tabelle 29: Fruchtfolge des Kompostdüngerversuches Gumpenstein

Jahr	Feldfrucht
1998	Silomais (<i>Zea mays</i>)
1999	Sommergerste (<i>Hordeum vulgare</i>)
2000	Kleegras
1999	Kartoffel (<i>Solanum tuberosum</i>)
2000	Sommerroggen (<i>Secale cereale</i>)

Tabelle 30: Ausgebrachte NPK-Mengen im Kompostdüngerversuch Gumpenstein

Düngevariante	Nährstoffe (kg.ha.a ⁻¹)		
	N	P	K
Gülle	84	15	115
Rottemist	75	29	72
Stallmistkompost	71	30	62

Untersucht wird die Auswirkung von verschiedenen organischen Düngern (Kompost, Rottemist und Gülle) auf den MBG von Sommerroggen mit AMP (Tabelle 29).

Der Kompostdüngerversuch in Gumpenstein ist im Blockdesign mit randomisierter Anordnung der Versuchspartellen angelegt (Abbildung 30).

RM	PK	GU	MK	NPK	1. WH
GU	NPK	RM	PK	MK	2. WH
NPK	MK	PK	GU	RM	3. WH
MK	RM	GU	NPK	PK	4. WH

RM ... Rottemist, PK ... P-Kalium, GU ... Gülle,
 MK ... Stallmistkompost, NPK ... Stickstoff-Phosphor-Kalium
 WH ... Wiederholung, Kultur: Sommerroggen,
 Probenahme: Entwicklungsstadium: "Schossen"

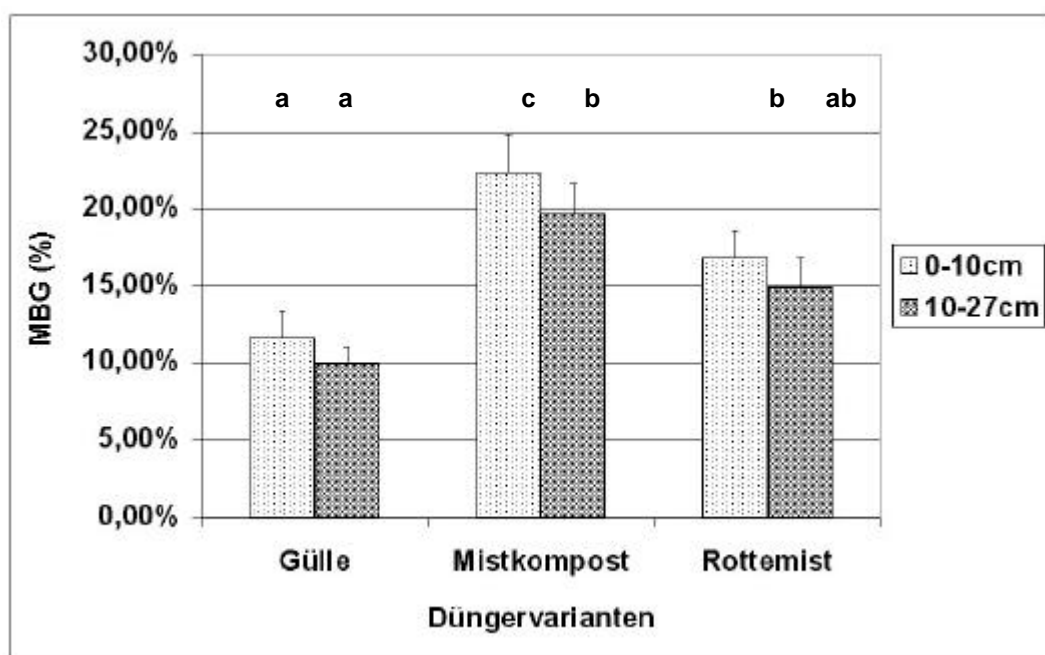
Abbildung 30: Schema des Kompostdüngerversuches in Gumpenstein

7.2.2.1 Ergebnisse im Kompostdüngerversuch Gumpenstein

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Auswirkungen von verschiedenen organischen Düngern (Kompost, Rottemist und Gülle) auf die Kolonisierung von Sommerroggen mit AMP ist Tabelle 31 dargestellt.

Tabelle 31: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Auswirkung von verschiedenen organischen Düngern (Kompost, Rottemist und Gülle) auf die Kolonisierung von Sommerroggen (*Secale cereale*) mit AMP im Kompostversuch Gumpenstein

Düngung	MBG (%)	WLD (cm/cm ³)	WLD _{inf} (cm/cm ³)
Gülle, 0-10cm	11,6 ? 1,8	4,6 ? 0,3	0,5 ? 0,1
Gülle, 10-27cm	10,0 ? 1,1	3,9 ? 0,5	0,4 ? 0,1
Stallmistkompost, 0-10cm	22,4 ? 2,4	4,2 ? 0,5	0,9 ? 0,1
Stallmistkompost, 10-27cm	19,7 ? 1,9	4,5 ? 0,4	0,9 ? 0,1
Rottemist, 0-10cm	16,9 ? 1,8	4,3 ? 0,4	0,7 ? 0,1
Rottemist, 10-27cm	14,9 ? 1,9	3,5 ? 0,3	0,5 ? 0,1



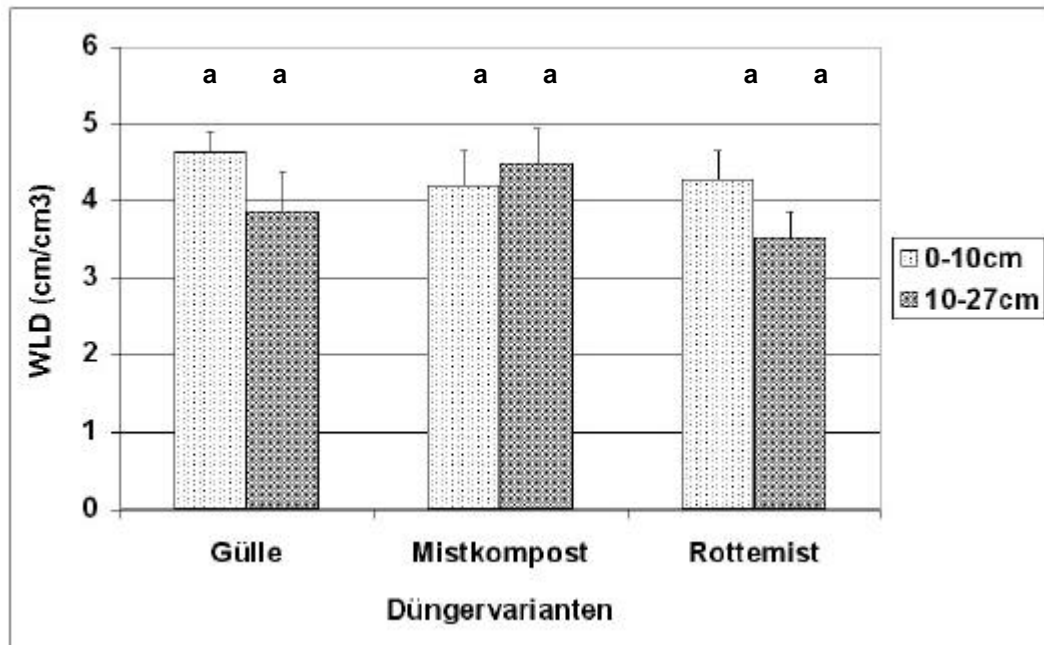
I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 31: MBG von Sommerroggen (*Secale cereale*) in Abhängigkeit von den Düngervarianten und der Bodentiefe

In der oberen untersuchten Bodenschicht (0-10 cm) war bei Düngung mit Stallmistkompost der MBG von Sommerroggen gegenüber Düngung mit Rottemist oder Gülle signifikant

erhöht. Im unteren Bodenhorizont (10-27 cm) war bei Düngung mit Stallmistkompost der MBG von Sommerroggen gegenüber Düngung mit Gülle signifikant erhöht. Der MBG von Sommerroggen bei Düngung mit Rottemist lag signifikant zwischen den Werten für den MBG bei Düngung mit Stallmistkompost und Gülle (Abbildung 31).

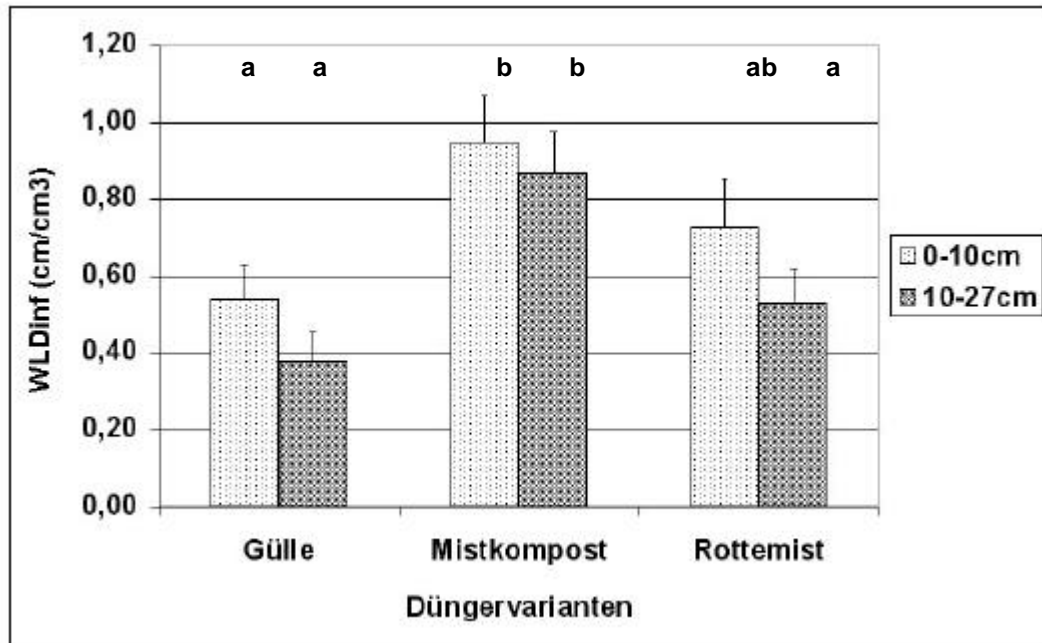


I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 32: WLD von Sommerroggen (*Secale cereale*) in Abhängigkeit von den Düngervarianten und der Bodentiefe

Bezüglich der WLD war beim Sommerroggen weder zwischen den Düngervarianten noch zwischen den beiden untersuchten Bodentiefen ein signifikanter Unterschied festzustellen (Abbildung 32).



I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 33: WLD_{inf} von Sommerroggen (*Secale cereale*) in Abhängigkeit von den Düngervarianten und der Bodentiefe

Die WLD_{inf} von Sommerroggen war bei Gülledüngung in beiden untersuchten Bodentiefen signifikant niedriger als bei Düngung mit Stallmistkompost. Bei der Düngung mit Stallmistkompost konnte im unteren untersuchten Bodenhorizont eine signifikant höhere WLD_{inf} von Sommerroggen festgestellt werden als bei Rottemistdüngung.

Beim Ertrag, dem Rohproteingehalt und der Aggregatstabilität konnten zwischen den einzelnen Düngervarianten im Kompostdüngungsversuch in Gumpenstein keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Der Ertrag und die Kornqualität war als gering einzustufen (Hein 2000).

7.2.2.2 Diskussion zum Kompostdüngerversuch Gumpenstein

Die beobachteten Unterschiede im MBG können nicht auf unterschiedliche P-Gehalte ($P_{CAL/DL}$) der Böden in den Parzellen zurückgeführt werden, da diese praktisch gleich hoch waren (Tabelle 28).

Brechelt (1986) konnte in einer Untersuchung zeigen, dass zunehmende Mengen an organischem Dünger zu einem abnehmenden MBG führen, wobei vor allem die Qualität

der organischen Dünger die Höhe des MBG beeinflusst. So kann zum Beispiel frischer Stallmist, im Vergleich zu Stallmistkompost, den MBG der untersuchten Pflanzen negativ beeinflussen. Verrotteter Stallmist oder Kompost können dagegen den MBG ihrer Phytosymbionten fördern. Diese Förderung beruht wahrscheinlich auf den unterschiedlichen Umsetzungsvorgängen der Dünger im Boden und nur in geringem Ausmass auf den unterschiedlichen Nährstoffgehalten der Dünger (Baltruschat, 1993).

Die Art des eingebrachten Substrates ist ein wichtiger Faktor für die Ausbildung einer AM (Schönbeck 1984, Stefan 1983). Bei der Düngung mit Stallmist kommt es während der Ab- und Umbauvorgängen im Boden häufig zu einer vorübergehenden Festlegung der Nährstoffe (Jäggi 1974). Durch die Kompostierung wird dieser Vorgang vorweggenommen, nach der Düngung mit Stallmistkompost überwiegt die Freisetzung der Nährstoffe im Boden durch Mineralisierung (Gottschall 1984). Stallmistkompost erhöht im allgemeinen die mikrobielle Aktivität des Bodens infolge einer höheren Trockenmasse an Organischer Substanz (Gülle: bis 5%, Rottemist: bis 19%, Kompost: bis 25%; Berner et al 1997), welche als Substrat für die Entwicklung der Bodenmikroorganismen dient.

Der signifikant niedrigere MBG von Sommerroggen in der oberen untersuchten Bodenschicht (0-10cm) bei der Variante mit Gölledüngung ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf den relativ hohen Gehalt an Ammonium (NH_4^+) in der Gölle zurückzuführen. Gölle (bis 70%) hat im Vergleich zu Rottemist (bis 50%) infolge einer anaeroben Rotte (Ammonifikation) einen relativ hohen Gehalt an Ammonium. Stallmistkompost hingegen enthält nach der Kompostierung kaum Ammonium (Finck 1991).

Bei einer erhöhten Aufnahme von Ammonium durch die Pflanze wird dieses hauptsächlich in der Wurzel assimiliert. Das Ammonium wird durch Einbau in Assimilate (z. B. Proteinbildung) detoxifiziert. Hohe Düngergaben an Ammonium führen deshalb zu einem Rückgang des Gehaltes an Assimilaten in den Wurzeln. Dies könnte zu einer Assimilatunterversorgung der Mykosymbionten führen, wodurch es zu einem Rückgang in der Aktivität der Symbiose infolge der Konkurrenz um die Assimilate zwischen dem Mykosymbionten und dem Phytosymbionten kommt (Marschner 1995, S. 249).

Auf diese Konkurrenz um Assimilate zwischen dem Mykosymbionten und dem Phytosymbionten dürfte auch der beobachtete tendenziell höhere MBG von Sommerroggen bei der Düngung mit Stallmistkompost im Vergleich zu Düngung mit Rottemist zurückzuführen sein.

Die geringen Erträge und die geringe Kornqualität beim Sommerroggen im Kompostdüngerversuch Gumpenstein waren v.a. durch Schwarzrostbefall und der teilweise frühen Lagerung bedingt. Möglicherweise wurde der Beitrag zur Ertragswirksamkeit durch den höheren MBG bei der Düngung mit Stallmistkompost durch die generell geringen Erträge unterdrückt.

Bei den beobachteten Unterschieden im Mykorrhizabesiedelungsgrad, der WLD und der kolonisierten WLD von Sommerroggen könnte auch die physiologisch saure Wirkung von Gülle infolge ihres relativ hohen Ammoniumgehaltes eine bedeutende Rolle spielen. Die Bedeutung der Wirkungsmechanismen im Freiland sind dabei aber noch weitgehend unbekannt.

Neben der Förderung des Bodenlebens durch die Einbringung von organischer Substanz (St. John et al. 1983, Menze 1987) dürfte auch die bodenstrukturfördernden Eigenschaften von Stallmist für die Förderung der AM verantwortlich sein (Sieverding 1980, Saif 1981). Der bodenstrukturfördernde Effekt von Stallmist stellt sich aber generell erst nach mehrjähriger, wiederholter Anwendung ein.

8. Einfluss der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die AM

8.1 Problemstellung und Herleitung der Arbeitshypothese

In zahlreichen Untersuchungen konnte nachgewiesen werden, dass im ÖL (Bokhorst 1989, An 1990, Franke-Snyder et al. 2001) sowie in landwirtschaftlichen Produktionssystemen mit integrierter Bewirtschaftung (Limonard und Ruissen 1989, Douds et al. 1993) die Biodiversität und Sporendichte der AMP signifikant höhere Werte aufweist als in konventionellen landwirtschaftlichen Produktionssystemen.

Liebhart et al. (1989) konnten in einer Untersuchung feststellen, dass der Ertrag in nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktionssystemen nach einer Übergangsperiode ähnlich hohe Werte erreichen kann wie in konventionellen landwirtschaftlichen Produktionssystemen. Dabei könnte die Wiederetablierung effektiver AMP auf den Umstellungsflächen eine gewichtige Rolle spielen (Douds 1995).

Freilandbodenproben von integriert bewirtschafteten landwirtschaftlichen Systemen weisen im allgemeinen eine höhere Sporendichte und ein grösseres Kolonisationspotential durch AMP auf als Bodenproben aus konventionellen landwirtschaftlichen Systemen (Douds et al. 1993). Infolge dieses erhöhten Kolonisationspotential des Bodens kann in der Vegetationsperiode eine zeitlich frühere und intensivere Kolonisierung der Wirtspflanzenwurzeln erfolgen.

Aufgrund des gegenwärtigen Wissensstand lässt sich folgende Arbeitshypothese zum Einfluss der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die AM formulieren:

"Mit zunehmender Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung nimmt das Kolonisationspotential durch AMP in den Böden zu. Die Wurzeln von mykotrophen Feldfrüchten auf länger auf ÖL umgestellte Flächen haben deshalb einen höheren MBG als auf kürzer umgestellte Flächen."

Die Arbeitshypothese wurde mit einem Gefässversuch überprüft. Dabei wurden Bodenproben von 5 Ökologisch wirtschaftenden Praxisbetrieben mit unterschiedlich lang bewirtschafteten Schlägen verwendet.

8.2 Untersuchungsvarianten zum Einfluss der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die AM

Die Umstellungsphase gilt als eine der ökonomisch schwierigsten Perioden im ÖL. Besonders in dieser Periode treten Ertragsdepressionen auf. Dieses Phänomen kann auf unterschiedliche Ursachen zurückgeführt werden. Eine davon ist die bodenbiologische Aktivität, welche zu Beginn der Umstellung auf ÖL ein geringes Niveau einnimmt und erst mit der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung ansteigt (Mäder et al. 1993 und 1995).

In der vorliegenden Untersuchung wird deshalb der Frage nachgegangen, inwieweit sich der MBG der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, welcher für die Ertragsbildung im ÖL von Bedeutung ist, mit der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung verändert und damit zur Erklärung der wachsenden Erträge bei zunehmender Dauer biologischer Bewirtschaftung herangezogen werden kann.

Auf fünf Praxisbetrieben wurden nach der Ernte (September 2000) Bodenproben von je 3 Flächen mit unterschiedlicher Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung, gleichem Bodentyp und gleicher Vorfrucht in vierfacher Wiederholung randomisiert entnommen und damit ein Gefässversuch durchgeführt (Bewirtschaftungsmaßnahmen siehe Tabelle 32).

Als Versuchspflanzen wurden in allen Töpfen die gleiche Sorte Winterweizen (Capo) in üblicher Saatstärke angesetzt. Nach der Überwinterung in randomisierter Anordnung im Freien wurde der MBG zum Zeitpunkt des Schossens (Frühjahr 2001) bonitiert, sowie die P-Gehalte im Boden und in der Pflanzenmasse gemessen und deren Abhängigkeit vom MBG überprüft. Weiters wurde die Auswirkung der Dauer der Bewirtschaftung auf die Biodiversität der AMP untersucht (Kapitel Biodiversität).

Die Ergebnisse der Untersuchungen auf den einzelnen Betrieben wurde mittels deskriptiver Statistik dargestellt, da keine randomisierte Anlage von Versuchspartzen unter Praxisbedingungen möglich war. Zwischen den Betrieben wurde ein paarweiser Mittelwertvergleich nach Tukey durchgeführt.

Tabelle 32: Bewirtschaftungsmassnahmen vor der Probenahme (Herbst 2000) der Böden im Gefässversuch zur Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung

Betrieb	Umstellung	P _{CAL/DL} -Gehalt (mg P ₂ O ₅ /100g Boden)	Vorfrucht	Boden- bearbeitung	Düngung
Alt Prerau	1985	135 (sehr hoch)	WW	Scheibenegge	Gülle
	1988	29 (hoch)	WW	Grubber	-
	1992	40 (hoch)	WW	Grubber	-
Herrnleis	1984	29 (hoch)	Erbse	Grubber	-
	1990	25 (ausreichend)	Erbse	Grubber	-
	1995	21 (ausreichend)	Erbse	Grubber	-
Ober- siebenbrunn	1976	57 (sehr hoch)	WW	Scheibenegge	Biodünger *
	1983	23 (ausreichend)	WW	Scheibenegge	Biodünger *
	1992	21 (ausreichend)	WW	Scheibenegge	Biodünger *
Neubau	1979	7 (niedrig)	WR	Pflug	-
	1985	10 (niedrig)	WW	Pflug	Kompost
	1988	9 (niedrig)	WR	Pflug	-
Spillern	1990	47 (sehr hoch)	WW	Scheibenegge	25m ³ Pferdemist 20t Kompost
	1994	39 (hoch)	WW	Scheibenegge	25m ³ Pferdemist 20t Kompost
	1999	33 (hoch)	WW	Scheibenegge	25m ³ Pferdemist 20t Kompost

* kommerzielles Produkt, keine näheren Angaben verfügbar

8.3 Ergebnisse

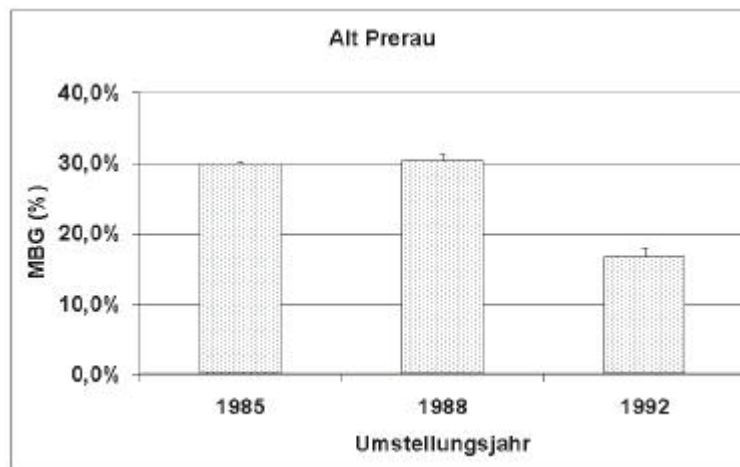
Eine Zusammenfassung der Ergebnisse zur Auswirkung der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf AM von Winterweizen ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 33: Zusammenfassung der Ergebnisse zur Auswirkung der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die AM von Winterweizen (*Triticum aestivum*).

Betrieb	Umstellungsjahr	MBG (%)	WLD (cm/cm ³)	WLD _{inf} (cm/cm ³)
Alt Prerau	1985	29,9 ? 0,3	6,6 ? 0,8	2,0 ? 0,3
	1988	30,3 ? 0,8	5,5 ? 0,3	1,7 ? 0,1
	1992	16,7 ? 1,2	5,2 ? 0,2	0,9 ? 0,1
Herrenleis	1984	37,7 ? 1,4	7,9 ? 0,6	3,0 ? 0,2
	1990	30,3 ? 1,0	7,3 ? 0,3	2,2 ? 0,1
	1995	19,7 ? 1,6	7,7 ? 0,6	1,5 ? 0,1
Neubau	1979	34,2 ? 1,0	5,8 ? 0,8	2,0 ? 0,3
	1985	33,9 ? 1,8	6,4 ? 0,8	2,2 ? 0,2
	1988	35,0 ? 1,7	6,4 ? 0,3	2,2 ? 0,2
Obersiebenbrunn	1976	27,9 ? 2,3	6,3 ? 0,6	1,8 ? 0,2
	1983	18,3 ? 1,6	5,6 ? 0,3	1,0 ? 0,1
	1992	17,3 ? 1,0	8,5 ? 1,1	1,5 ? 0,2
Spillern	1990	28,1 ? 3,6	6,4 ? 0,6	1,8 ? 0,3
	1994	15,4 ? 2,2	6,6 ? 1,0	1,5 ? 0,3
	1999	14,4 ? 2,1	6,8 ? 0,1	1,0 ? 0,2

8.3.1 Vergleich auf Betriebsebene

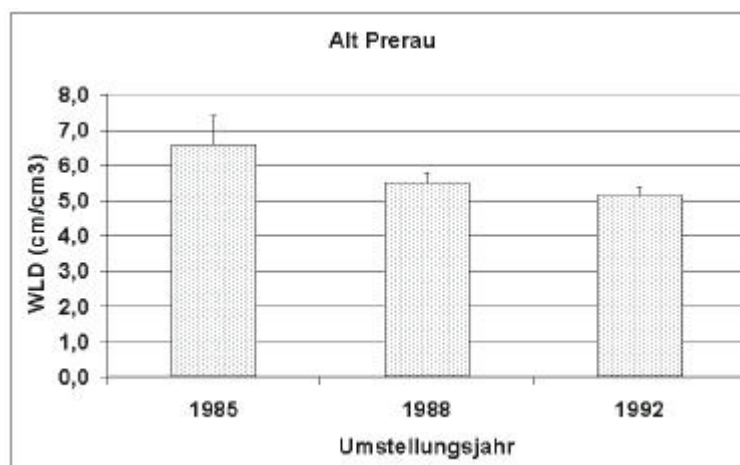
Standort Alt Prerau



T ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 34: MBG von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung am Betrieb Alt Prerau.

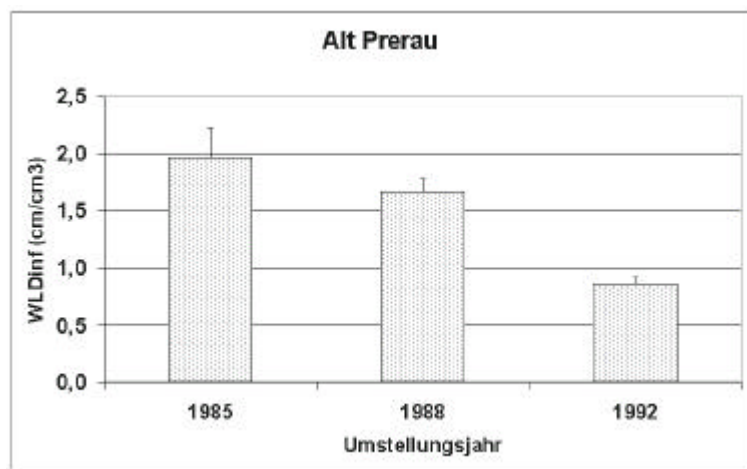
In den Topfkulturen mit den Bodenproben des untersuchten landwirtschaftlichen Betriebes Alt Prerau war der MBG von Winterweizen nach einer Bewirtschaftungsdauer von ca. 12 Jahren (Umstellungsjahr 1988) tendenziell erhöht (Abbildung 34).



T ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 35: WLD von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung am Betrieb Alt Prerau.

Die WLD von Winterweizen war in den Bodenproben der Fläche, die 1985 auf ÖL umgestellt wurde, tendenziell erhöht (Abbildung 35).

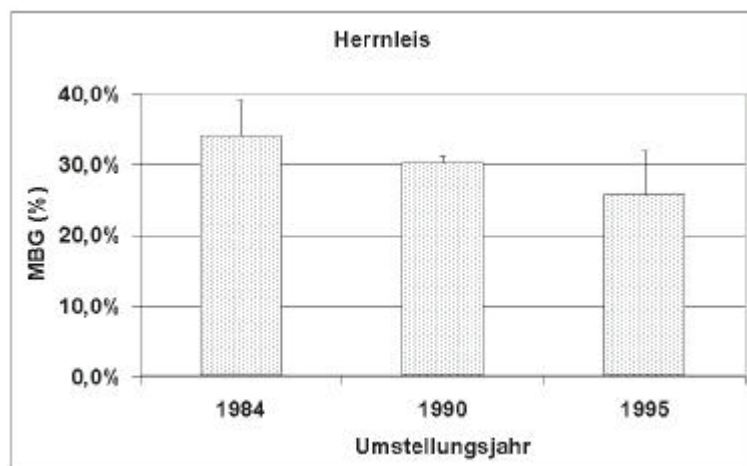


T ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 36: WLD_{inf} von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung am Betrieb Alt Prerau.

Bezüglich der WLD_{inf} von Winterweizen war entsprechend dem hohen MBG eine tendenzielle Erhöhung nach einer Ökologischen Bewirtschaftungsdauer von 12 Jahren (Umstellungsjahr 1988) festzustellen (Abbildung 36).

Standort Herrnleis

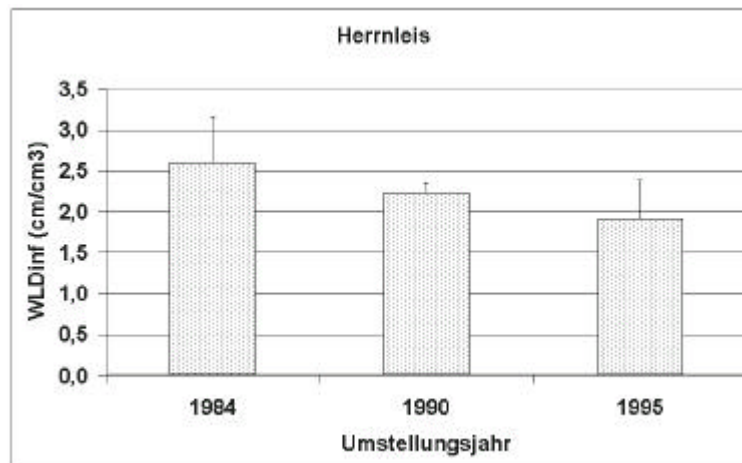


T ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 37: MBG von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung am Betrieb Herrnleis.

In den Topfkulturen mit den Bodenproben des untersuchten landwirtschaftlichen Betriebes Herrleis war eine tendenzielle Erhöhung des MBG von Winterweizen nach einer Bewirtschaftungsdauer von ca. 16 (Umstellungsjahr 1984) Jahren festzustellen (Abbildung 37).

Am Betrieb Herrleis konnten keine Unterschiede bezüglich der WLD von Winterweizen von der Umstellungsdauer festgestellt werden (ohne Abbildung).



T ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

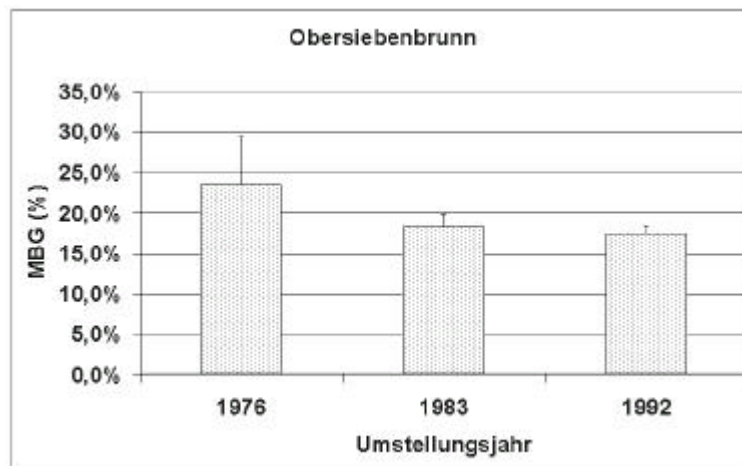
Abbildung 38: WLD_{inf} von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung am Betrieb Herrleis.

Die WLD_{inf} von Winterweizen war nach einer Bewirtschaftungsdauer von ca. 16 Jahren (Umstellungsjahr 1984) tendenziell erhöht (Abbildung 38).

Standort Neubau

In den Topfkulturen mit den Bodenproben des untersuchten landwirtschaftlichen Betriebes Neubau konnte keine Abhängigkeit des MBG und der WLD sowie der kolonisierten WLD von Winterweizen von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung festgestellt werden (ohne Abbildungen). Der MBG war in allen Varianten mit ca. 35% relativ hoch, weiters ist die durchschnittliche Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung der untersuchten Parzellen mit 16 Jahren als hoch einzustufen.

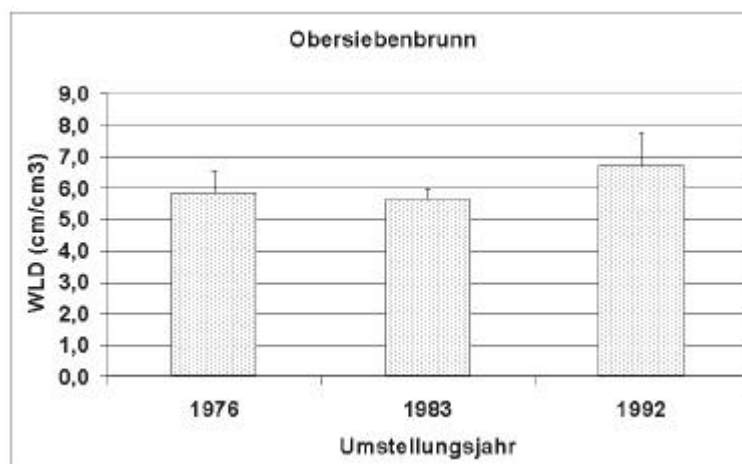
Standort Obersiebenbrunn



T ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 39: MBG von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung am Betrieb Obersiebenbrunn.

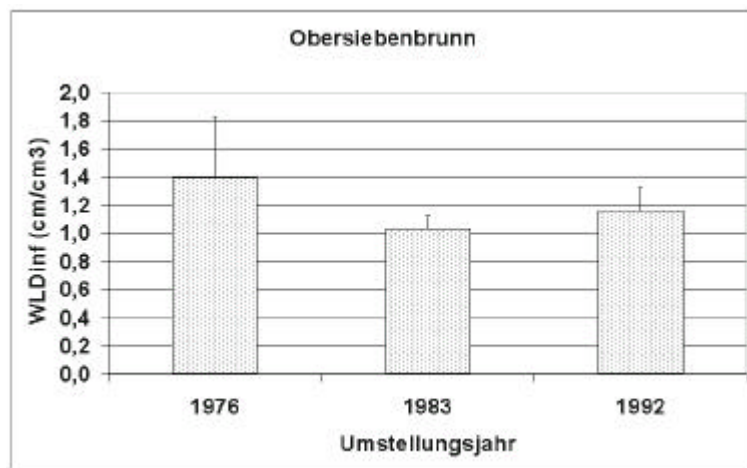
In den Topfkulturen mit den Bodenproben des untersuchten landwirtschaftlichen Betriebes Obersiebenbrunn war der MBG von Winterweizen nach einer Bewirtschaftungsdauer von ca. 24 Jahren (Umstellungsjahr 1976) tendenziell erhöht (Abbildung 39).



T ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 40: WLD von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung am Betrieb Obersiebenbrunn.

Die WLD von Winterweizen war im Boden, der 1992 auf ÖL umgestellt wurde, gegenüber den länger umgestellten, tendenziell erhöht (Abbildung 40).

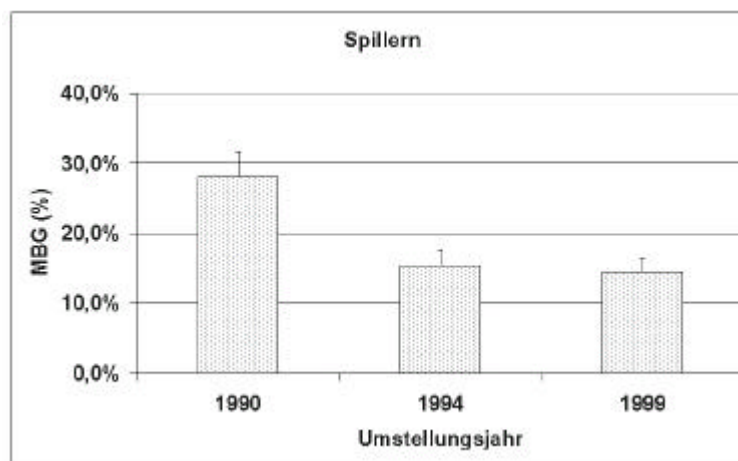


T ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 41: WLD_{inf} von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung am Betrieb Obersiebenbrunn.

Die WLD_{inf} von Winterweizen war in den Böden der Flächen, die 1976 auf ÖL umgestellt wurde tendenziell erhöht (Abbildung 41).

Standort Spillern

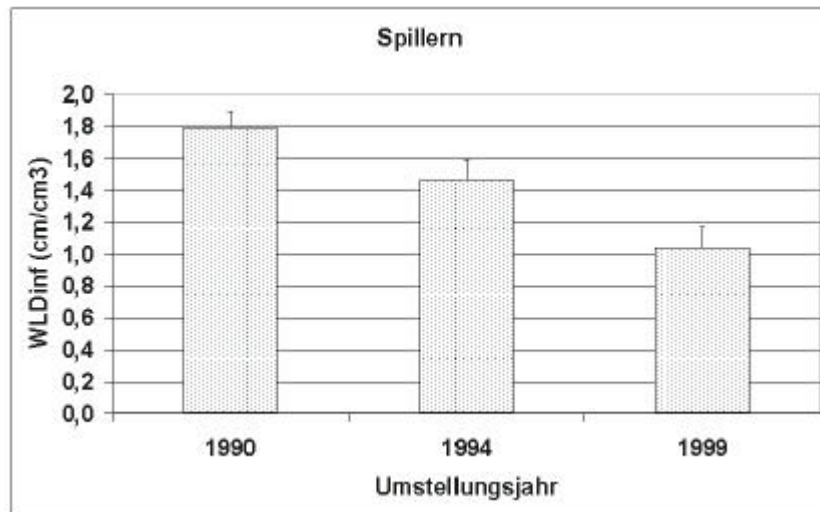


T ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 42: MBG von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung am Betrieb Spillern.

In den Topfkulturen mit den Bodenproben des untersuchten landwirtschaftlichen Betriebes Spillern, war der MBG von Winterweizen nach einer Bewirtschaftungsdauer von ca. 10 Jahren (Umstellungsjahr 1990) tendenziell erhöht (Abbildung 42).

Am Betrieb Spillern konnten keine Unterschiede bezüglich der WLD von Winterweizen von der Umstellungsdauer festgestellt werden (ohne Abbildung).

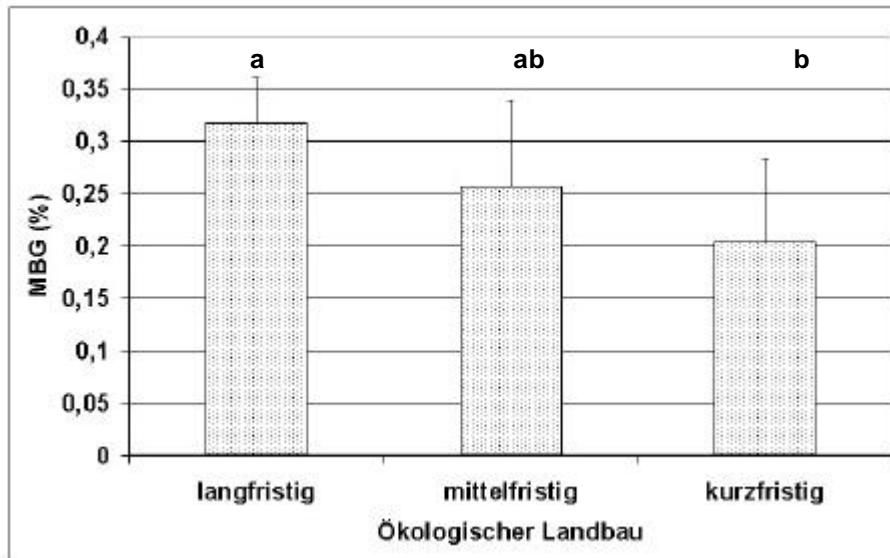


I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar

Abbildung 43: WLD_{inf} von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung

Der Winterweizen in den Topfkulturen mit Bodenproben von Flächen mit dem Umstellungsjahr 1990 hatte eine tendenziell höhere WLD_{inf} als der Winterweizen in den Topfkulturen mit Bodenproben von Flächen mit dem Umstellungsjahr 1999 (Abbildung 43).

8.3.2 Vergleich zwischen den Betrieben

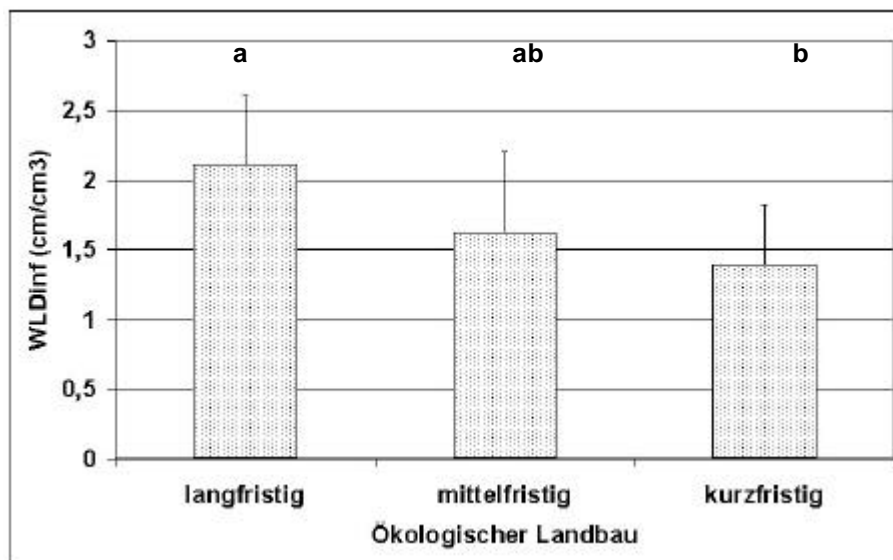


kurzfristig ... ? 8 Jahre, mittelfristig ... ? 13 Jahre, langfristig ... ? 18 Jahre Ökolandbau
I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar
a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 44: MBG von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung

Beim Vergleich der Topfkulturen zwischen den Betrieben, war der MBG von Winterweizen mit einer langfristigen Ökologischen Bewirtschaftungsdauer signifikant erhöht (Abbildung 44).

Bei der WLD von Winterweizen war keine Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung festzustellen (ohne Abbildung).



kurzfristig ... ? 8 Jahre, mittelfristig ... ? 13 Jahre, langfristig ... ? 18 Jahre Ökolandbau
 I ... Fehlerbalken stellen den Standardfehler des Mittelwertes dar
 a, b, c ... Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede (Tukey-Test: $P < 0,05$).

Abbildung 45: WLD_{inf} von Winterweizen (*Triticum aestivum*) in Abhängigkeit von der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung.

Die WLD_{inf} von Winterweizen war in den Böden mit einer langfristigen Ökologischen Bewirtschaftungsdauer signifikant erhöht (Abbildung 45).

8.4 Diskussion

In mehreren Untersuchungen konnten die positiven Auswirkungen der Ökologischen Bewirtschaftungsweisen auf die Bodenfruchtbarkeit bzw. auf die Belebung des Bodens festgestellt werden (Diez et al. 1986, Foissner et al. 1986, Foissner 1987, Gehlen 1987, Maidl et al. 1988, Diez et al. 1991). Dabei spielen der erhöhte Humusgehalt, infolge der Düngung mit Stallmistkompost, und die geringere Lagerungsdichte, infolge konservierender Bodenbearbeitung, der Ökologisch bewirtschafteten Böden eine bedeutende Rolle.

In den letzten Jahren wurden mehrere vergleichende Untersuchungen zwischen Ökologisch und konventionell bewirtschafteten Standorten durchgeführt (Sattelmacher et al. 1991, Ryan et al. 1994, Douds et al. 1995, Mäder et al. 2000, etc.). Zur Auswirkung der unterschiedlichen Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die AM liegen aber zur Zeit keine ausreichend abgesicherten Erkenntnisse vor.

Bei der Untersuchung der Auswirkungen der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die AM auf den Flächen innerhalb der Betriebe konnte bei 2 der 5 untersuchten landwirtschaftlichen Betriebe (Alt Prerau und Spillern) eine tendenzielle Erhöhung des MBG ab einer Bewirtschaftungsdauer von ca. 10 Jahren festgestellt werden.

Werner (1997) konnte schon nach einer Umstellungsdauer von 2 Jahren eine signifikante Erhöhung des MBG unter Apfelkulturen (*Malus domestica*) feststellen, welcher jedoch möglicherweise durch das vermehrte Auftreten von hochmykotrophen Ackerbeikräutern bedingt sein könnte.

In den Topfkulturen mit den Bodenproben vom Betrieb in Obersiebenbrunn konnte eine tendenzielle Erhöhung des MBG erst nach einer Bewirtschaftungsdauer von ca. 20 Jahren festgestellt werden. In den Bodenproben vom Betrieb in Neubau konnten keine Unterschiede im MBG, der WLD und der WLD_{inf} von Winterweizen festgestellt werden, wobei die Umstellungsdauer der am kürzesten umgestellten Fläche (1988) relativ lang ist (12 Jahre) und der MBG generell als hoch (>30%) einzustufen ist. In diesem Falle ist die Wiederherstellung eines intakten Bodenlebens anscheinend bereits erfolgt.

Beim Vergleich zwischen den Betrieben konnte eine signifikante Erhöhung des MBG von Winterweizen unter den Bedingungen des ÖL erst ab einer Dauer von durchschnittlich 18 Jahren festgestellt werden. Die Abweichung von den Ergebnissen aus der Untersuchung innerhalb der Einzelbetriebe ist grösstenteils im relativ hohen, konstanten MBG des Betriebes Neubau begründet.

Bei der Mehrzahl der Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass mit zunehmender Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung der MBG und die kolonisierte Wurzellänge von Winterweizen ansteigt, und damit die Arbeitshypothese bestätigt werden.

Folgende Gründe dafür können genannt werden:

- + kein Einsatz von leichtlöslichen Mineraldüngern, Fungiziden und Herbiziden sowie
- + die Etablierung einer stabilen autochtonen Population von AMP

Aufgrund der Ergebnisse der Untersuchung kann ab einer Umstellungsdauer von ca. 15 Jahren von einer Wiederbesiedelung der Flächen mit einer stabilen autochtonen Population von AMP ausgegangen werden. Dadurch kann eine jahreszeitlich frühere Kolonisation der Wirtspflanzenwurzeln mit AMP erfolgen und die Wirtspflanze früher von der Symbiose profitieren.

9. Einfluss der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die Biodiversität von AMP

9.1 Problemstellung und Herleitung der Arbeitshypothese

Landwirtschaftlich genutzte Böden dienen i.a. einer komplexen Lebensgemeinschaft von AMP als Lebensraum, wobei die Zusammensetzung der Population vorwiegend von der Nutzpflanzenart und dem landwirtschaftlichen Produktionssystem abhängt (Douds et al. 1993). Im ÖL wird im allgemeinen eine signifikante Erhöhung der Sporenanzahl von AMP im Boden (Kurle und Pfleger 1994) sowie eine Erhöhung der Biodiversität der AMP beobachtet (Douds et al. 1993). Im allgemeinen sind in Ackerböden relativ wenige AMP-Arten zu finden, wobei an den Standort gut angepasste AMP überwiegen.

AMP beeinflussen i.a. die Entwicklung und Produktivität ihrer Phytosymbionten (Bever et al. 2001, Brussaard et al. 2001, Dodd et al. 2002). Die Biodiversität an AMP am Standort ist dadurch ein wichtiger Bestimmungsfaktor der Sukzession, der Erhaltung der Biodiversität und Artenzusammensetzung der Pflanzengesellschaften (Van der Heijden et al. 1998). Die Verbreitung der AMP kann durch Wind- und Wasserverfrachtung, sowie durch Bodentiere wie Erdhörnchen, Wühlmäuse, Regenwürmer, u.a. erfolgen (Allen et al. 1992).

Die AMP besetzen als einzige ökologische Nische die Wurzelrinde ihrer Wirtspflanzen (Bever et al. 2001). Gegenwärtig sind ca. 150 morphologisch unterscheidbare Arten an AMP bekannt, die mit ca. 80 % (Trappe 1987) aller Pflanzenarten eine Symbiose eingehen können.

Bemerkenswert ist auch, dass AMP trotz ihrer asexuellen Fortpflanzung eine hohe genetische Vielfalt besitzen, die sich in einer hohen Anzahl (bis einige Tausend) Zellkernen in einer Spore ausdrückt. Gegenwärtig ist bei AMP keine sexuelle Fortpflanzung bekannt.

Eine Pflanzengesellschaft assoziiert sich durchschnittlich mit ca. 10 bis 20 verschiedenen Arten von AMP (Douds 1999). In natürlichen Ökosystemen konnten bis zu 46 Arten an AMP gefunden werden (Blaszkowski 1993).

Im allgemeinen zeigen AMP kaum Wirtsspezifität, das heisst dass mehrere verschiedene Arten von AMP mit einer einzigen Pflanzenart eine Symbiose bilden können und dass eine

einzigste Art von AMP eine Symbiose mit mehreren Pflanzenarten eingehen kann. In natürlichen Pflanzengesellschaften zeigen die AMP unterschiedliche Präferenzen gegenüber ihren Wirtspflanzen. Manche AMP bevorzugen bestimmte Pflanzenarten, d.h. sie bilden mit diesen Pflanzenarten eine effiziente Symbiose aus, während derselbe Pilz bei einer anderen Pflanzenart derselben Pflanzengesellschaft nur geringe Effizienz bzw. indifferente Auswirkungen in der Symbiose zeigt (Feldmann 1998).

Die Toleranz von Beikräutern im ÖL unterstützt die Etablierung und Erhaltung effektiver autochtoner AMP mit einer hohen Biodiversität, und damit das Reaktionsvermögen derselben auf neu eingebrachte Kulturpflanzenarten (Hamel 1996).

Die Artenvielfalt einer Pflanzengesellschaft steigt mit steigender Artenzahl von AMP. Bestimmte Pflanzenarten werden durch die Anwesenheit von bestimmten AMP gefördert. Ist eine bestimmte AMP-Art an einem Standort nicht mehr vorhanden, ändert sich die Struktur der Pflanzengesellschaft an diesem Standort, da bestimmte Pflanzenarten ohne ihren effektiven Mykosymbionten den Konkurrenzdruck durch andere Pflanzenarten nicht überstehen würden (Bever et al. 2001). Doch auch die Struktur der Pflanzengesellschaft hat Auswirkungen auf die Population der AMP, die Pflanzenpopulation und Pilzpopulation sind voneinander in hohem Ausmass abhängig (Bever et al. 2001). Dominiert am Standort ein bestimmter arbuskulärer Mykorrhizapilz, der das Wachstum einer bestimmten Pflanzenart fördert, wird diese Pflanzenart in der Pflanzengesellschaft am Standort häufig vertreten sein, wie z.B. *Acaulospora colossica* die Etablierung von Weingartenlauch (*Allium vineale*) fördert. AMP sind nicht auf bestimmte Wirtspflanzen angewiesen, sie bilden jedoch mit bevorzugten Pflanzenarten eine effizientere Symbiose aus (Bever et al. 2001).

In natürlichen Ökosystemen besteht vermutlich eine gewisse Selektivität zwischen den AMP und ihren potentiellen Phytosymbionten. Die Präsenz mehrerer unterschiedlicher Arten an AMP ist wichtig für die Struktur und Produktivität einer Pflanzengesellschaft. Eine hohe Diversität an AMP am Standort ist ein bedeutender Einflussfaktor für die Pflanzensukzession (Daniell et al. 1999).

Manche AMP sind in ihrer Entwicklung saisonabhängig, d. h. diese Pilze keimen bevorzugt im Herbst, oder brauchen zur Überwindung der Ruhephase (Dormanz) einen Kälteschock und keimen im darauffolgenden Frühjahr. So keimt z.B. der AMP *Acaulospora colossica* vorwiegend in der kühleren Jahreszeit, ebenso seine Wirtspflanze *Allium vineale*, daher gehen diese beiden Arten bevorzugt eine Symbiose ein (Newsham et al. 1995).

Nach gegenwärtigem Stand des Wissens lässt sich folgende Arbeitshypothese zum Einfluss der Dauer der ökologischen Bewirtschaftung auf die AM formulieren:

"Die Diversität von AMP steigt mit der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung aufgrund der höheren Artenvielfalt an Kulturpflanzen in der Fruchtfolge, der Wiederherstellung eines autochtonen Edaphons und einer Erhöhung der bodenbiologischen Aktivität infolge der Ökologischen Bewirtschaftung."

9.2 Untersuchungsvarianten zum Einfluss der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die Biodiversität von AMP

Die Untersuchung zur Biodiversität von AMP wurde im Rahmen des Topfversuches zum Einfluss der Dauer der ökologischen Bewirtschaftung durchgeführt (Kapitel Bewirtschaftungsdauer). Dabei wurden je 4 Töpfe mit Bodenproben von den am kürzesten und am längsten nach den Richtlinien des ÖL bewirtschafteten Flächen der 5 untersuchten Betrieben befüllt und mit einem Gemisch aus Gräsern und Leguminosen bepflanzt.

Nach der Etablierung der AM wurden an mehreren Stellen aus den Topfkulturen Proben gezogen und Wurzelmaterial für die molekularbiologische Identifizierung entnommen sowie Sporen aus den Proben isoliert und morphologisch identifiziert.

Die morphologische Identifikation der AMP in den Proben der 5 Biobetriebe erfolgte mit Hilfe von Dr. Christopher Walker, Biological Research and Imaging Laboratory, 2 Penny Hedge, New Milton, Hampshire BH25 7TB, UK. Die Abbildungen der isolierten und identifizierten Sporen der AMP sind auf Wunsch beim Autor (manfred.gollner@boku.ac.at) erhältlich.

Die molekularbiologische Identifikation der AMP in den Proben der 5 Biobetriebe erfolgte mit Hilfe von Dr. M. Gorfer, Ecowork Laboratories, Längenfeldgasse 27/B/2; A-1120 Wien, www.ecowork.at.

9.3 Ergebnisse

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Auswirkung der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die Biodiversität von AMP ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 34: AMP in den Bodenproben von den Flächen mit unterschiedlich langer Umstellungsdauer der untersuchten landwirtschaftlichen Betriebe

Betrieb	Umstellungsjahr	AMP
Alt Prerau	1985	5
	1992	11
Herrnleis	1984	11
	1995	8
Neubau	1979	10
	1988	7
Obersiebenbrunn	1976	8
	1992	5
Spillern	1990	14
	1999	12

9.3.1 Betrieb Alt Prerau

Die räumliche Lage der untersuchten Schläge ist in Abbildung 46 dargestellt.

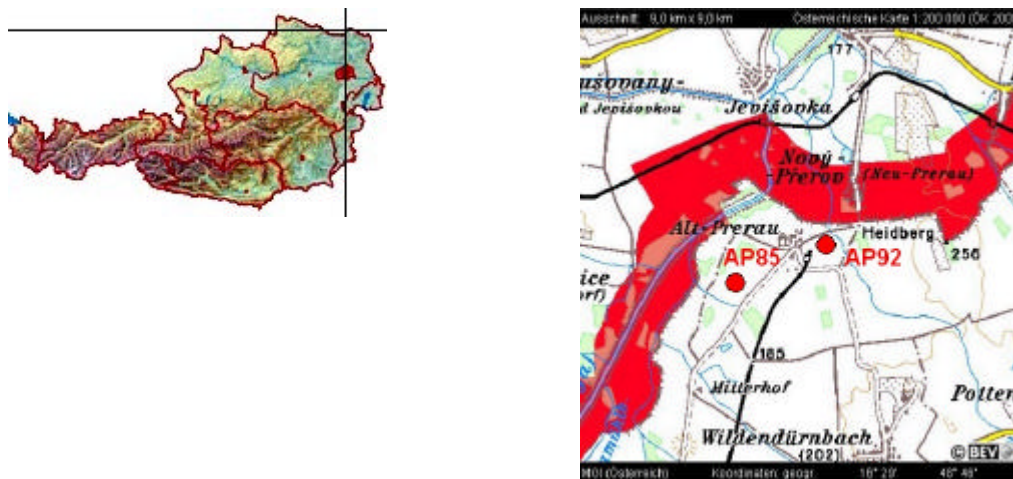


Abbildung 46: Lage der untersuchten Schläge des Betriebes Alt Prerau

Die morphologisch unterschiedlichen AMP auf den Flächen mit der Umstellung 1992 und 1985 am Betrieb Alt Prerau sind in Tabelle 35 und in Tabelle 36 aufgelistet.

Tabelle 35: Isolierte AMP aus den Bodenproben des Betriebes Alt Prerau, Umstellungsjahr 1992

Pilzfamilie	Pilzart	Anzahl
<i>Glomus</i>	<i>mosseae</i>	häufig
	<i>albidum oder gibbosum</i>	häufig
<i>Archaeospora</i>	<i>trappei</i>	sehr häufig
<i>Glomus</i>	' <i>pinkreacting</i> '	häufig
	<i>lamellatum</i>	vereinzelt
	<i>paleinnerwall</i>	häufig
	<i>hyalineinnerwall</i>	häufig
	<i>paleyellow</i>	häufig
	<i>constrictum</i>	Leblos
	<i>etunicatum</i>	häufig
<i>Sclerocystis</i>	<i>sp.</i>	leblos

Tabelle 36: Isolierte AMP aus den Bodenproben des Betriebes Alt Prerau, Umstellungsjahr 1985

Pilzfamilie	Pilzart	Anzahl
<i>Glomus</i>	<i>mosseae</i>	häufig
	<i>pinkreacting</i>	sehr häufig
	<i>constrictum</i>	vereinzelt
	<i>etunicatum</i>	vereinzelt
<i>Acaulospora</i>	<i>sp.</i>	vereinzelt

Nach der RFLP der Proben vom Betrieb Alt Prerau waren keine unterschiedlichen Bandenmuster erkennbar (Abbildung 47), die klonierte DNA stammt offensichtlich von einem einzigen Pilz. Aus der Sequenzierung der DNA und dem Vergleich mit Sequenzen in öffentlich zugänglichen Datenbanken konnte die DNA dem AMP *Glomus mosseae* zugeordnet werden.

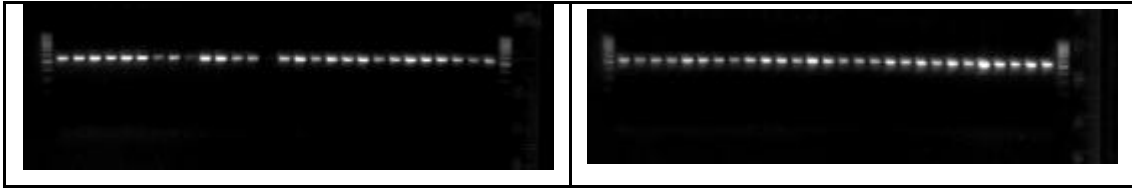


Abbildung 47: RFLP Muster ausgewählter Klone aus der Probe Alt Prerau 1985 (links) und 1992 (rechts).

9.3.2 Betrieb Herrtleis

Die räumliche Lage der untersuchten Schläge ist in Abbildung 48 dargestellt.

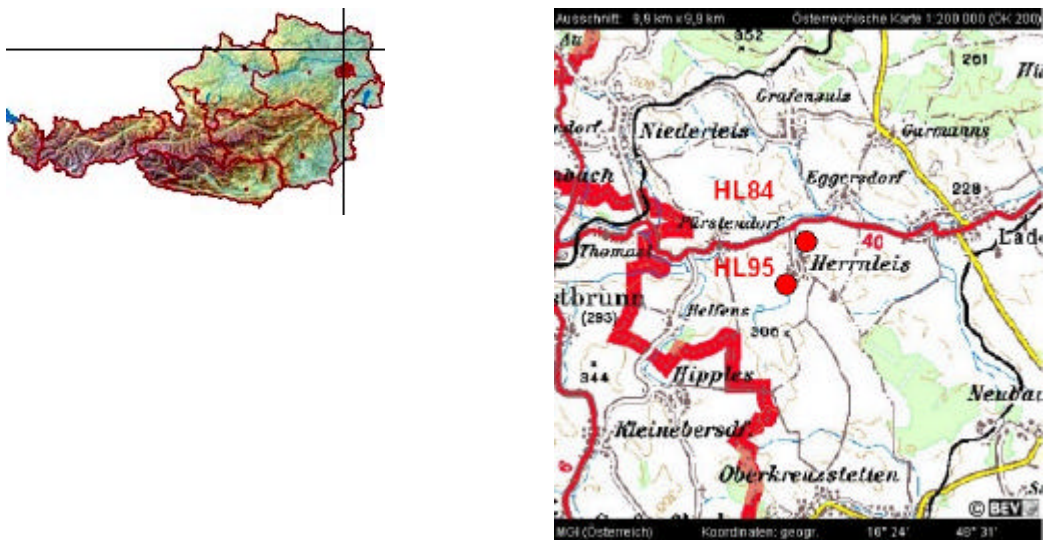


Abbildung 48: Lage der untersuchten Schläge des Betriebes Herrtleis

Die morphologisch unterschiedlichen AMP auf den Flächen mit der Umstellung 1995 und 1984 am Betrieb Herrtleis sind in Tabelle 37 und in Tabelle 38 aufgelistet.

Tabelle 37: Isolierte AMP aus den Bodenproben des Betriebes Herrnleis, Umstellungsjahr 1995

Pilzfamilie	Pilzart	Anzahl
<i>Glomus</i>	<i>mosseae ssp.</i>	häufig
	<i>mosseae ssp.</i>	häufig
	<i>sp.</i>	häufig
	<i>sp.</i>	häufig
<i>Paraglomus</i>	<i>occultum</i>	häufig
<i>Glomus</i>	<i>geosporum</i>	häufig
	<i>constrictum</i>	leelos
	<i>invermaium</i>	leelos

Tabelle 38: Isolierte AMP aus den Bodenproben des Betriebes Herrnleis, Umstellungsjahr 1984

Pilzfamilie	Pilzart	Anzahl
<i>Glomus</i>	<i>mosseae</i>	häufig
	<i>sp.</i>	häufig
	<i>caledonium</i>	häufig
	<i>geosporum</i>	häufig
<i>Scutellospora</i>	<i>calospora</i>	häufig
<i>Glomus</i>	<i>constrictum</i>	leelos
<i>Paraglomus</i>	<i>occultum</i>	häufig
<i>Glomus</i>	<i>sp.</i>	häufig
	<i>pinkreacting</i>	häufig
	<i>sp.</i>	häufig
	<i>etunicatum</i>	häufig

Nach der RFLP der Proben vom Betrieb Herrnleis waren keine unterschiedlichen Bandenmuster erkennbar (Abbildung 49), die klonierte DNA stammt offensichtlich von einem einzigen Pilz. Aus der Sequenzierung der DNA und dem Vergleich mit Sequenzen in öffentlich zugänglichen Datenbanken konnte die DNA dem AMP *Glomus mosseae* zugeordnet werden. Abweichende Banden wurden ebenfalls sequenziert und stellen unspezifische PCR-Produkte dar.

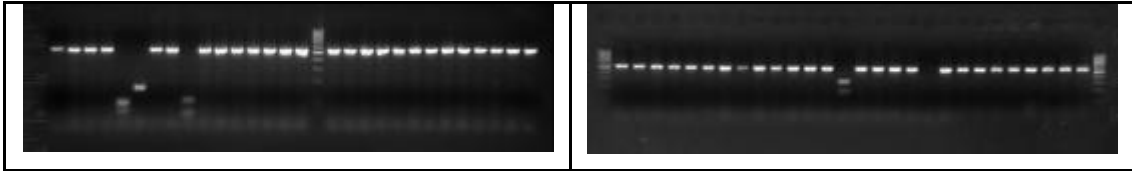


Abbildung 49: RFLP Muster ausgewählter Klone aus der Probe Herrnleis 1984 (links) und Herrnleis 1995 (rechts).

9.3.3 Betrieb Neubau

Die räumliche Lage der untersuchten Schläge ist in Abbildung 50 dargestellt.

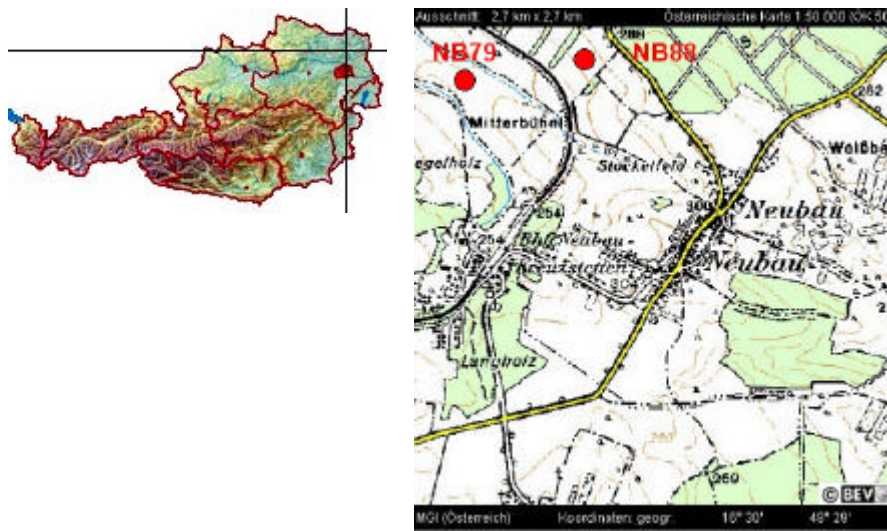


Abbildung 50: Lage der untersuchten Schläge des Betriebes Neubau

Die morphologisch unterschiedlichen AMP auf den Flächen mit der Umstellung 1979 und 1988 am Betrieb Neubau sind in Tabelle 39 und in Tabelle 40 aufgelistet.

Tabelle 39: Isolierte AMP aus den Bodenproben des Betriebes Neubau, Umstellungsjahr 1979

Pilzfamilie	Pilzart	Anzahl
<i>Glomus</i>	<i>mosseae ssp.</i>	häufig
	<i>mosseae ssp.</i>	häufig
	<i>sp.</i>	häufig
<i>Paraglomus</i>	<i>occultum</i>	häufig
<i>Sclerocystis</i>	<i>sinuosa</i>	lemblos
<i>Glomus</i>	<i>constrictum</i>	lemblos
	<i>white reticulate</i>	häufig
	<i>mosseae ssp.</i>	häufig
	<i>caledonium</i>	häufig
<i>Sclerocystis</i>	<i>rubiformis</i>	lemblos

Tabelle 40: Isolierte AMP aus den Bodenproben des Betriebes Neubau, Umstellungsjahr 1988

Pilzfamilie	Pilzart	Anzahl
<i>Glomus</i>	<i>palegold</i>	häufig
	<i>ivorymosseae</i>	häufig
	<i>palemosseae</i>	häufig
<i>Paraglomus</i>	<i>occultum</i>	häufig
<i>Scutellospora</i>	<i>calospora</i>	selten
<i>Sclerocystis</i>	<i>rubiformis</i>	lemblos
<i>Glomus</i>	<i>constrictum</i>	lemblos

Nach der RFLP der Proben vom Betrieb Neubau waren keine unterschiedlichen Bandenmuster erkennbar (Abbildung 51), die klonierte DNA stammt offensichtlich aus nur einem Pilz. Aus der Sequenzierung der DNA und dem Vergleich mit Sequenzen in öffentlich zugänglichen Datenbanken konnte die DNA dem AMP *Glomus mosseae* zugeordnet werden. Abweichende Banden wurden ebenfalls sequenziert und stellen unspezifische PCR-Produkte dar.

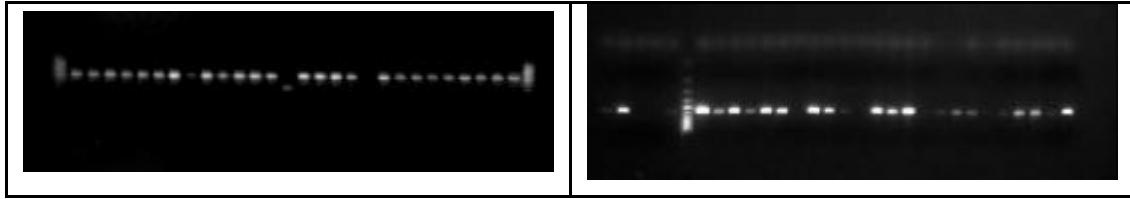


Abbildung 51: RFLP Muster ausgewählter Klone aus der Probe Neubau 1979 (links) und 1988 (rechts).

9.3.4 Betrieb Obersiebenbrunn

Die räumliche Lage der untersuchten Schläge ist in Abbildung 52 dargestellt.



Abbildung 52: Lage der untersuchten Schläge des Betriebes Obersiebenbrunn

Die morphologisch unterschiedlichen AMP auf den Flächen mit der Umstellung 1976 und 1992 am Betrieb Obersiebenbrunn sind in Tabelle 41 und in Tabelle 42 aufgelistet.

Tabelle 41: Isolierte AMP aus den Bodenproben des Betriebes Obersiebenbrunn, Umstellungsjahr 1976

Pilzfamilie	Pilzart	Anzahl
<i>Glomus</i>	<i>mosseae</i>	häufig
	<i>ivorymosseae</i>	häufig
	<i>yellowwinnerwall</i>	häufig
<i>Glomus</i> oder <i>Acaulospora</i>	<i>sp.</i>	häufig
<i>Glomus</i>	<i>sp.</i>	selten
	<i>white reticulate</i>	häufig
<i>Archaeospora</i>	<i>trappei</i>	selten
<i>Scutellospora</i>	<i>savannicola</i>	häufig

Tabelle 42: Isolierte AMP aus den Bodenproben des Betriebes Obersiebenbrunn, Umstellungsjahr 1992

Pilzfamilie	Pilzart	Anzahl
<i>Glomus</i>	<i>mosseae</i>	häufig
	<i>ivorymosseae</i>	häufig
	<i>paleyellow</i>	häufig
	<i>yellowwinnerwall</i>	häufig
	<i>hyaline</i>	selten

Nach der RFLP der Proben vom Betrieb Obersiebenbrunn waren keine unterschiedlichen Bandenmuster erkennbar (Abbildung 53), die klonierte DNA stammt offensichtlich von einem einzigen Pilz. Aus der Sequenzierung der DNA und dem Vergleich mit Sequenzen in öffentlich zugänglichen Datenbanken konnte die DNA dem AMP *Glomus mosseae* zugeordnet werden.

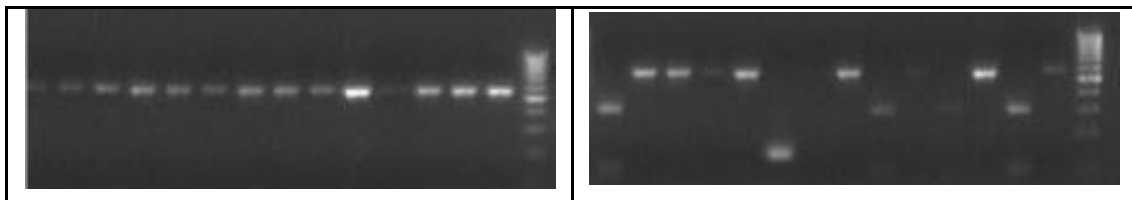


Abbildung 53: RFLP Muster ausgewählter Klone aus der Probe Obersiebenbrunn 1976 (links) und 1992 (rechts).

Von repräsentativen Klonen jeder PFLP-Gruppe wurde Plasmid-DNA isoliert und aufgereinigt (QIAGEN Plasmid Mini Kit; Kat. Nr. 12125). Die aufgereinigte DNA wurde von VBC Genomics mit dem Primer T7 sequenziert. Die erhaltenen Sequenzen wurden mit Sequenzen in öffentlich zugänglichen Datenbanken im Internet verglichen (BLAST-N Search am NCBI-Server) und auf Homologien überprüft (Tabelle 43).

Tabelle 43: Ergebnis der Sequenzüberprüfung

Klon	Suchergebnis	Kommentar
OS76-01	<i>Glomus mosseae</i> BEG69	99 % homolog
OS76-17	<i>Glomus caledonium</i>	
OS92-02	<i>Glomus mosseae</i>	

9.3.5 Betrieb Spillern

Die räumliche Lage der untersuchten Schläge ist in Abbildung 54 dargestellt.

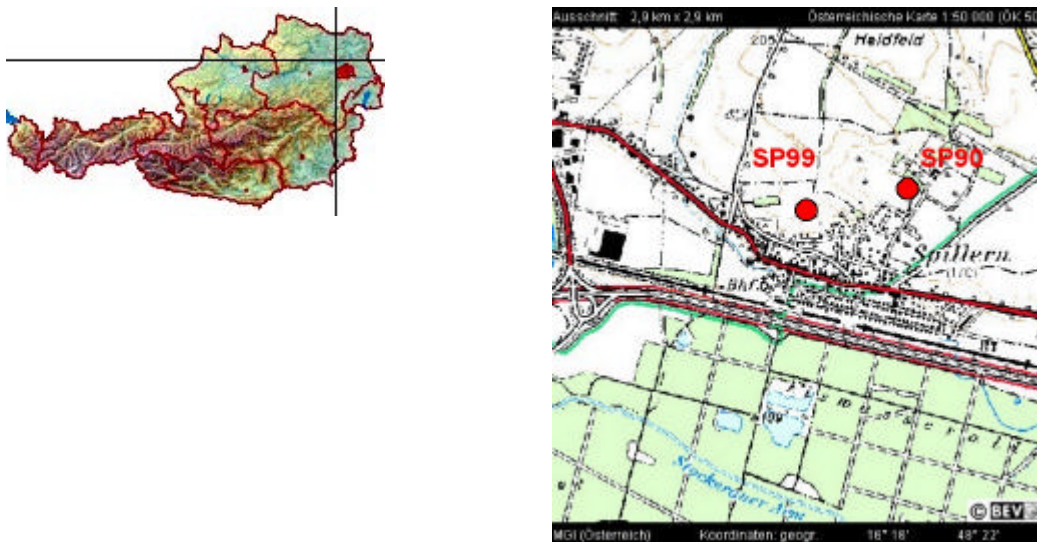


Abbildung 54: Lage der untersuchten Schläge des Betriebes Spillern

Die morphologisch unterschiedlichen AMP auf den Flächen mit der Umstellung 1990 und 1999 am Betrieb Spillern sind in Tabelle 44 und in Tabelle 45 aufgelistet.

Tabelle 44: Isolierte AMP aus den Bodenproben des Betriebes Obersiebenbrunn, Umstellungsjahr 1990

Pilzfamilie	Pilzart	Anzahl
<i>Glomus</i>	<i>mosseae</i>	häufig
	<i>roughmosseae</i>	häufig
	<i>geosporum</i>	häufig
	<i>innerwall</i>	häufig
	<i>redstaining</i>	häufig
	<i>goldvacuolar</i>	häufig
	<i>goldtransparent</i>	häufig
	<i>microhyaline</i>	selten
	<i>hyalineredstaining</i>	häufig
	<i>constrictum</i>	häufig
	<i>sp.</i>	häufig
	<i>sp.</i>	häufig
	<i>etuniclike</i>	häufig
<i>Sclerocystis</i>	<i>sp.</i>	selten

Tabelle 45: Isolierte AMP aus den Bodenproben des Umstellungsjahres 1990

Pilzfamilie	Pilzart	Anzahl
<i>Glomus</i>	<i>mosseae</i>	häufig
	<i>ivorymosseae</i>	häufig
	<i>redstaining</i>	häufig
	<i>palegold</i>	häufig
	<i>microhyaline</i>	häufig
	<i>etuniclike</i>	häufig
<i>Sclerocystis</i>	<i>sp.</i>	selten

Nach der RFLP der Proben vom Betrieb Spillern waren keine unterschiedlichen Bandenmuster erkennbar (Abbildung 55), die klonierte DNA stammt offensichtlich von einem einzigen Pilz. Aus der Sequenzierung der DNA und dem Vergleich mit Sequenzen in öffentlich zugänglichen Datenbanken konnte die DNA dem AMP *Glomus mosseae* zugeordnet werden.

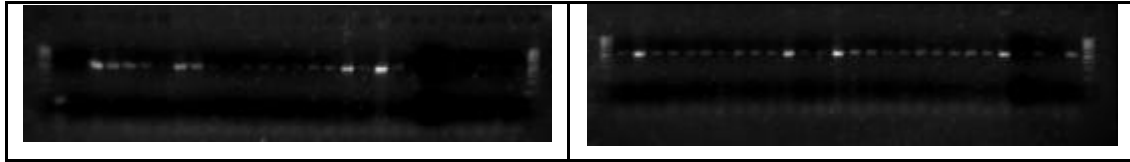


Abbildung 55: RFLP Muster ausgewählter Klone aus der Spillern 1990 (links) und 1999 (rechts).

9.4 Diskussion

In allen untersuchten Bodenproben, ausgenommen die Bodenproben vom Standort Alt Prerau, war die Anzahl der morphologisch unterscheidbaren Sporen von AMP in den länger ökologisch bewirtschafteten tendenziell grösser (Tabelle 34).

Die grosse Ähnlichkeit der Sporen von AMP in den untersuchten Proben könnte durch eine Querkontamination während des Wachstums im Glashaus bzw. im Freiland bedingt sein. Ein an die Bedingungen in den Topfkulturen gut angepasster autochtoner Vertreter der Glomusgruppe könnte durch seine Konkurrenzkraft alle anderen Vertreter der AMP verdrängt haben.

Ein identes Ergebnis lässt sich aus der molekularbiologischen Identifizierung ableiten, da auch aus der Praxis bekannt ist, dass *Glomus mosseae* im Grossteil der ackerbauulich genutzten Böden dominiert und dort mengenmässig meist mehr als 90% der Population an AMP stellt (Helgason et al. 1998; Daniell et al. 2001).

Die Proben OS76 und OS92 wurden intensiv mit mehreren Restriktionsenzymen molekularbiologisch bearbeitet und mehrere Klone sequenziert. Beide Proben waren fast ausschliesslich mit *Glomus mosseae* (Typ A) mykorrhiziert. In OS76 wurde zusätzlich in einem von 48 Fällen eine etwas abweichende Sequenz (Typ B) gefunden, die höchste Homologie zu nicht näher charakterisierten Glomus-Spezies zeigt, und am ehesten mit *Glomus caledonium* verwandt zu sein scheint. Insgesamt sind 27 von 550 Nukleotiden zwischen Typ A und Typ B verschieden. In OS92 wurde zusätzlich eine Sequenz eines *G. mosseae* Stammes (Typ E) gefunden, die sich in zwei Nukleotiden (von 550) von *G. mosseae* Typ A unterscheidet. Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass diese Unterschiede durch Fehlreaktionen während der PCR zu Stande kamen. Weiters wurden aus Wurzelprobe OS92 zwei Fragmente von Pilzen amplifiziert, die nicht näher mit den Glomales verwandt sind, nämlich partielle 18S-RNA-Fragmente von *Fusarium equiseti* (Typ D) und *Acremonium* sp. (Typ F). Diese Typen wurden immerhin fünfmal (Typ D) bzw. viermal (Typ F) in 48 untersuchten Klonen gefunden. Während die Typen D und F noch

18S-rDNA aus einem Pilz enthielten, wurde bei den Klonen OS76-19 (Typ C) und OS92-26 (Typ G) vollkommen andere DNA-Sequenzen erhalten. Beide Klone haben zufälligerweise annähernd die gleiche Grösse wie die erwarteten PCR-Produkte, sind aber wahrscheinlich durch symmetrisches Priming mit Primer AM1 entstanden.

Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass auch andere AMP neben *G. mosseae* und *G. caledonium* in den Wurzeln der Proben OS76 und OS92 vorhanden sind, diese aber nicht detektiert wurden. Einerseits ist es möglich, dass sich manche Spezies nicht aufgrund von verschiedenen RFLP-Mustern mit den verwendeten Enzymen unterscheiden lassen. Andererseits müssten mehr Klone pro Probe untersucht werden, um wirklich repräsentative Aussagen machen zu können. Weiters werden sicherlich nicht alle (partiellen) 18S-rDNAs von verschiedenen AMP mit dem verwendeten Primerpaar gleich effizient amplifiziert, und ist daher ein gewisser Bias zu erwarten.

Sämtliche anderen Proben wurden nur mehr mit einem Enzym behandelt, da nach der ersten intensiven Untersuchung keine grössere Anzahl an AMP in den Proben zu erwarten war. In allen anderen Proben wurde fast ausschliesslich *Glomus mosseae* gefunden, entsprechend den Untersuchungsergebnisse von Helgason et al. 1998 und Daniell et al. 2001.

10. Zusammenfassung / Summary

"Kann die Menschheit ihre Angelegenheiten so regeln, dass ihr hauptsächlichster Besitz, die Fruchtbarkeit des Bodens, aufrecht erhalten wird? - Von der Antwort auf diese Frage hängt die Zukunft der Zivilisation ab."

Sir Albert Howard, Mein landwirtschaftliches Testament, 1940

Als AM bezeichnet man eine Symbiose zwischen Bodenpilzen der Ordnung der Glomales und Gefäßpflanzen (Cormobionta). Mehr als 80% aller landwirtschaftlichen Kulturpflanzen bilden eine AM aus. Nur Vertreter der landwirtschaftlich relevanten Pflanzenfamilien der Kreuzblütler (*Brassicaceae*) und Gänsefußgewächse (*Chenopodiaceae*) bilden keine AM aus.

Der ÖL lässt aufgrund der spezifischen Fruchtfolgen, Dünge- und Bodenbearbeitungsmassnahmen sowie den Verzicht auf chemische Pflanzenschutzmittel ein höheres Besiedlungspotenzial der Böden durch AMP und einen höheren MBG der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen erwarten.

Während die Förderung des Edaphon im allgemeinen durch Anbaumassnahmen im ÖL im Vergleich zum konventionellen Landbau nachgewiesen sind, liegen bisher keine Untersuchungen über die Auswirkungen spezifischer Anbaumassnahmen auf die AM im ÖL vor.

Ziel dieser Arbeit war daher die Untersuchung der Auswirkungen unterschiedlicher ackerbaulicher und pflanzenbaulicher Massnahmen (Fruchtfolge, Düngung, Bodenbearbeitung) im ÖL sowie der Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf den MBG von Getreide (v.a. Winterweizen).

Folgende landwirtschaftliche Kulturmassnahmen zeigten eine signifikante Erhöhung des MBG der Wurzeln der untersuchten landwirtschaftlichen Kulturpflanzen:

- + ein hoher Anteil an Leguminosen in der Vorfrucht sowie in der Fruchtfolge,
- + ein hoher Bodenbedeckungsgrad,
- + die Vermeidung von Schwarzbrache,
- + die Düngung mit Stallmist (Stallmistkompost oder Rottemist statt Gülle) sowie

+ eine nichtwendende, lockernde Bodenbearbeitung statt wendender Bodenbearbeitung (Grubber statt Pflug).

Zur Erhaltung eines hohen Kolonisationspotentials durch AMP sollte nach einer nichtmykotrophen immer eine mykotrophe Kulturpflanze in der Fruchtfolge stehen.

Eine gut ausgeprägte AM dient der Erhöhung der P-Aufnahme des Phytosymbionten, der Erhöhung der Widerstandskraft gegenüber Wurzelpathogenen sowie der Erhöhung der Resistenz gegenüber abiotischen Stressfaktoren in landwirtschaftlichen Produktionssystemen. Die Förderung der AM kann dadurch zur Optimierung des Pflanzenwachstums und zur Sicherung der Erträge beitragen.

Um die Leistungsfähigkeit der Symbiose zwischen den landwirtschaftlichen Kulturpflanzen und den autochthonen AMP am Standort optimal zu fördern, sind die oben genannten landwirtschaftlichen Kulturmassnahmen einzuhalten.

Für ein weiteres Verständnis der Auswirkungen acker- und pflanzenbaulicher Kulturmassnahmen auf die AM sind die Untersuchungen auf weitere Kulturarten und im ÖL zugelassene Dünge- und Pflanzenschutzmittel auszudehnen.

Um detailliertere Aussagen zu den Auswirkungen der Fruchtfolgegestaltung auf die AM tätigen zu können, wäre eine längere Untersuchungsdauer (mindestens zwei ganze Rotationen) erforderlich, um v.a. unterschiedliche Witterungsbedingungen in den Versuchsjahren in der Interpretation berücksichtigen zu können. Weiters müssten zur Abdeckung der Breite der offenen Fragen in der landwirtschaftlichen Praxis mehrere unterschiedliche Fruchtfolgen in unterschiedlichen Klimaräumen in die Untersuchung einbezogen werden. Diese Anforderungen können jedoch im Rahmen einer Dissertation durch die zeitliche Einschränkung und der begrenzten Arbeitsressourcen nicht erfüllt werden. Die vorliegenden Ergebnisse stellen somit den *status quo* der AM dar.

Neben der Ausbildung einer effizienten AM spielen auch andere Faktoren wie die Versorgung mit Stickstoff und Wasser in der Ertragsbildung und dem Proteingehalt im Korn von Getreide eine bedeutende Rolle. Zur Auswirkung der unterschiedlichen Dauer der Ökologischen Bewirtschaftung auf die AM liegen zur Zeit noch keine gesicherten Erkenntnisse vor.

In der Zukunft wird eine Verringerung des Eintrages an Agrochemikalien in die Kulturlandschaften im Mittelpunkt des öffentlichen Interesse stehen, dabei muss der

Bedeutung der AM als wichtige Komponente einer nachhaltigen Landwirtschaft eine höhere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Summary

The arbuscular mycorrhiza (AM) is a symbiosis between soil fungi of the order Glomales and higher plants. About 80 % of agricultural important plants form an AM. Only a few plant families do not form an arbuscular mycorrhiza, e.g. Brassicaceae und Chenopodiaceae.

From the system specific crop rotations, fertilization and tillage management, as the renouncement of conventionally pesticides in organic farming, an enhanced development of the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and the colonization of the crop plants by these fungi can be expected.

There is objective evidence that organic farming is supporting the development and conservation of the edaphon but less is known how system specific agricultural practices in organic farming do effect the AMF. Therefore in this project the effect of agricultural practices (crop rotation, fertilization, tillage) as well as the duration of organic farming on the AMF has been investigated in field trials and greenhouse experiments.

The aim of this study was to explore the effects of agricultural practices on the living conditions of the AMF in organic farming systems to support plant growth and to ensure adequate yields.

Following agricultural practices resulted in a significant increase of the degree of colonization of the crop plants by the AMF:

- + a high proportion of legumes in the crop rotation and/or pre-crop,
- + a high degree of plant cover the soil over the whole year,
- + avoidance of bare fallow,
- + organic fertilization (composted or rotted farmyard manure instead of slurry, and
- + loosening instead of turning soil management (tillering instead of ploughing)

In addition, to ensure a high colonization potential by AMF in the soil, a nonmycorrhizal crop has to be followed by a mycorrhizal crop in the crop rotation.

In order to use the positive effects of the AMF for the crop plants (e.g. enhanced uptake of plant nutrients by the host plant, soil conservation, contribution to plant health by the biological control of plant pathogens, increased resistance against abiotic and biotic stress factors) in agricultural production systems optimally, the life conditions of the AMF should be optimised by considering the agricultural practices mentioned above.

For a more detailed understanding of the effect of agricultural practices to the AM there should be extended studies including more agriculturally important plant species and in organic farming systems permitted fertilizers and pesticides.

Additionally, a better understanding of crop rotation effects to the AM, requires extended studies with two or more rotations, above all to consider different weather conditions during the studies in the discussion of the results. This studies should be carried out in different climate regions to cover the broad range of questions of organic farmers.

When the aim for the future is the reduction of the input of agrochemicals into the environment, a higher attention must be paid to the meaning of AMF in sustainable farming systems.

11. Verzeichnisse

11.1 Literaturverzeichnis

- Abawi GS and Widmer TL, 2000: Impact of soil health management practices on soilborne pathogens, nematodes and root diseases of vegetable crops. *Applied Soil Ecology* 15: 37–47.
- Abbott LK and Robson AD, 1991: Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 35: 121-150.
- Abbott LK, Robson AD and Gazey D, 1992: Selection of inoculant vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Methods in Microbiology*, Volume 24: 1-21. ISBN 0-12-521524-X.
- Al-Karaki GN and Hammad R, 2001: Mycorrhizal influence on fruit yield and mineral content of tomato grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition* 24: 1311-1323.
- Al-Karaki GN, 2000: Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza* 10: 51-54.
- Al-Karaki GN, Hammad R and Rusan M, 2001: Response of two tomato cultivars differing in salt tolerance to inoculation with mycorrhizal fungi under salt stress. *Mycorrhiza* 11: 43-47.
- Allen BL, Jolley VD, Robbins CW and Freeborn LL, 2001: Fallow versus wheat cropping of unamended and manure-amended soils related to mycorrhizal colonization, yield, and plant nutrition of dry bean and sweet corn. *Journal of Plant Nutrition* 24: 921-943.
- Allen MF, Crisafulli C, Friese CF and Jeakins SL, 1992: Re-formation of mycorrhizal symbioses on Mount St Helens, 1980- 1990 - Interactions of rodents and mycorrhizal Fungi. *Mycological Research* 96: 447-453.
- Amijee F, Tinker PB and Stribley DP, 1989: The development of endomycorrhizal root systems VII. A detailed study of effects of soil Pus in colonization. *New Phytologist* 111: 435-446.
- An Z-Q and Hendrix JW, 1993: Populations of spores and propagules of mycorrhizal fungi in relation to the life cycles of tall fescue and tobacco. *Soil Biology and Biochemistry* 25: 813–817.
- An Z-Q, Groove JH, Hendrix JW, Hershman DE and Henson GT, 1990: Vertical distribution of endogenaceous mycorrhizal fungi associated with soybean as affected by soil fumigation. *Soil Biology and Biochemistry* 22: 715-719.

- An Z-Q, Hendrix JW, Hershman DE, Ferris RS and Henson GT, 1993: The influence of crop rotation and soil fumigation on a mycorrhizal fungal community associated with soybean. *Mycorrhiza* 3: 171-182.
- Azcon R and Ocampo JA, 1981: Factors affecting the vesicular-arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. *New Phytologist* 87: 677-685.
- Baltruschat H, 1990: Der Einfluss mineralischer Düngung auf die VA-Mykorrhiza. *Kali-Briefe (Büntehof)* 20: 77-91.
- Baltruschat H, 1993: Zur ökosystemarmen Bedeutung der VA-Mykorrhiza in Agrarökosystemen und Möglichkeiten der praktischen Nutzung dieser Symbiose. *Habilitationsschrift, Justus-Liebig-Universität Giessen*.
- Barea JM and Azcon-Aguilar C, 1983: Mycorrhizas and their Significance in Nodulating Nitrogen Fixing Plants. *Advances in Agronomy* 36: 1-39.
- Barea JM, Azcon R and Azcon-Aguilar C, 1994: Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in nitrogen-fixing systems. In: Norris JR, Read D and Varma AK: *Techniques for mycorrhizal research methods in microbiology*. Academic Press inc., San Diego, Isbn 0-12-521490-1, p. 851-877.
- Berner A, Scherrer D and Alföldi T, 1997: Stickstoffeffizienz von unterschiedlich aufbereiteten Misten in einer Ackerfruchtfolge auf Lösslehm. Posterbeitrag zur 4. Wissenschaftstagung zum ÖL, März 1997. An der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Bever JD, Morton JB, Antonovics J and Schultz PA, 1996. Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland. *Journal of Ecology* 84: 71–82.
- Bever JD, Schultz PA, Pringle A and Morton JB, 2001: Arbuscular mycorrhizal fungi: more diverse than meets the eye, and the ecological tale of why. *Bioscience* 51: 923-931.
- Black R and Tinker PB, 1979: The development of endomycorrhizal root systems II. Effect of agronomic factors and soil conditions on the development of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in barley and on the endophyte spore density. *New Phytologist* 83: 401-413.
- Blaszkowski J, 1993: Comparative studies of the occurrence of arbuscular fungi and mycorrhizae (Glomales) in cultivated and uncultivated soils of Poland. *Acta Mycologica* 28: 93-140.
- Bokhorst JG, 1989: The organic farm at Nagele. In: Zadoks JC: *Development Of Farming Systems*. Pudock, Wageningen: 57-65.
- Brechelt A, 1986: Wirkung verschiedener organischer Düngemittel auf die Effizienz der VA-Mykorrhiza. *Journal of Agronomy Corp Science* 158: 280-286.

- Brundrett M, Melville L and Peterson L, 1994: Practical Methods In Mycorrhizal Research. Mycologue Publications, Waterloo (161 Pp.).
- Brussaard L, Kuyper TW and De Goede RM, 2001: On the relationships between nematodes, mycorrhizal fungi and plants: functional composition of species and plant performance. *Plant and Soil* 232: 155-165.
- Cooper KM, 1984: Physiology of VA mycorrhizal associations. In: Powell LL and Bagyaraj DJ (eds): VA Mycorrhiza. Boca Raton, Florida: CRC Press, INC. pp 155-86.
- Daniell TJ, Hodge A, Young JPW and Fitter A, 1999: How many fungi does it take to change a plant community? *Trends in Plant Science* 4: 81-82.
- Daniell TJ, Husband R, Fitter AH and Young JW, 2001: Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi colonising arable crops. *FEMS Microbiology Ecology* 36: 203-209.
- Dehne HW, 1987: Zur Nutzung der VA Mykorrhiza als Antistressfaktor. *Angewandte Botanik* 61: 135-143.
- Diercks R, Bachthaler G und Pommer G, 1980: Langjährige Auswirkungen unterschiedlicher Fruchtfolge- und Anbausysteme auf Ertrag und Schaderregerbefall von Winterweizen und Sommergerste. *Zeitschrift für Acker- und Pflanzenbau*.149: 454-471.
- Diez T, Beck T, Borchert H, Capriel P, Krauss M und Bauchhenss J, 1991: Vergleichende Bodenuntersuchungen von konventionell und alternativ bewirtschafteten Betriebsschlägen - 2. Mitteilung. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch* 68, 409-443.
- Diez T, Weigelt H, Borchert H, Beck T, Bauchhenss J, Herr S, Amman J und Pommer G, 1986: Vergleichende Bodenuntersuchungen von konventionell und alternativ bewirtschafteten Betriebsschlägen. *Bayerisches Landwirtschaftliches Jahrbuch* 63, 979-1019.
- Dodd JC, 2000: The role of arbuscular mycorrhizal fungi in agro- and natural ecosystems. *Outlook on Agriculture* 29 (1): 55-62.
- Dodd JC, Dougall TA, Clapp JP and Jeffries P, 2002: the role of arbuscular mycorrhizal fungi in plant community establishment at Samphire Hoe, Kent, UK - the reclamation platform created during the building of the channel tunnel between France and UK. *Biodiversity and Conservation*. 11: 39-58.
- Douds DD and Millner PD, 1999: Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environments* 74: 77-93.

- Douds DD, Galvez L, Janke RR and Wagoner P, 1995: Effect of tillage and farming system upon populations and distribution of vesicular-mycorrhizal fungi. *Agriculture, Ecosystems and Environments* 52: 111-118.
- Douds DD, Janke RR and Peters SE, 1993: VAM fungus spore populations and colonization of roots of maize and soybean under conventional and low-input sustainable agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environments* 43: 325-335.
- Emmerling C, 2002: Einfluss reduzierender Grundbodenbearbeitung im ÖL auf bodenökologische Eigenschaften. *Bodenbearbeitung und Bodengesundheit, Schriftenreihe Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Nr. 13*: 25-46.
- Evans DG and Miller MH, 1988: Vesicular-arbuscular mycorrhizas and the soil-disturbance-induced reduction of nutrient absorption in maize I. Causal relations. *New Phytologist* 110: 67-74.
- Evans DG and Miller MH, 1990: The role of the external mycelial network in the effect of soil disturbance upon vesicular-arbuscular mycorrhizal colonization of maize. *New Phytologist* 114: 65-71.
- Feldmann F, 1998: The strain-inherent variability of arbuscular mycorrhizal effectiveness: II. Effectiveness of single spores. *Symbiosis* 25: 131-143.
- Finck A, 1991: *Dünger und Düngung*. 2. Auflage, VCH Verlag, Weinheim.
- Fitter AH and Nichols R, 1988: The use of benomyl to control infection by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 110: 201-206.
- Foissner W, 1987: The micro-edaphon in ecofarmed and conventionally farmed dryland cornfields near Vienna (Austria). *Biology and Fertility of Soils* 3: 45-49.
- Foissner W, Franz H und Adam H, 1986: Untersuchungen über das Bodenleben in Ökologisch und konventionell bewirtschafteten Acker- und Grünlandböden im Raum Salzburg. *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie* 13: 333-339.
- Frank B., 1885: Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft, Band III*: 128-145.
- Franke-Snyder M, Douds DD Jr, Galvez L, Phillips JG, Wagoner P, Drinkwater L and Morton J, 2001: Diversity of communities of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi present in conventional versus low-input agricultural sites in eastern Pennsylvania, USA. *Applied Soil Ecology* 16: 35-48.

- Fraser DG, Doran JW, Sahs WW and Lesoing GW, 1988: Soil Microbial Populations and Activities under Conventional and Organic Management. *Journal of Environmental Quality* 17 (4): 585-590.
- Frey B, Vilariño A, Schüepp H and Arines J, 1994: Chitin and ergosterol content of extraradical and intraradical mycelium of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 711-717.
- Gehlen P, 1987: Bodenchemische, bodenbiologische und bodenphysikalische Untersuchungen konventionell und biologisch bewirtschafteter Acker-, Gemüse-, Obst- Und Weinbauflächen. Dissertation, Universität Bonn.
- George E, Marschner H and Jakobsen I, 1995: Role of arbuscular mycorrhizal fungi in uptake of P and nitrogen from soil. *Critical Reviews in Biotechnology* 15: 257-270.
- Gerdemann JW, 1968: Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza and Plant Growth. *Annual Review of Phytopathology* 6: 397-418.
- Gericke S and Kurmies B, 1954: Die kolorimetrische Psäurebestimmung mit Ammonium-Vanadat-Molybdat und ihre Anwendung in der Pflanzenanalyse. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde* 59: 235-247.
- Gerlach M, 1968: Introduction of *Ophiobolus graminis* into new polders and its decline. *Netherlands Journal of Plantpathology* 74: 1-97.
- Gianinazzi-Pearson V, Branzanti B and Gianinazzi S, 1989: In vitro enhancement of spore hyphal growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus by host root exudates and plant flavonoids. *Symbiosis* 7: 243-255.
- Giovannetti M and Gianinazzi-Pearson V, 1994: Biodiversity in arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycological Research* 98: 705-715.
- Giovannetti M and Mosse B, 1980: An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84: 489-500.
- Glenn MG, Chew FS and Williams PH, 1988: Influence of glucosinolate content of Brassica (Cruciferae) roots on growth of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 110: 217-225.
- Gottschall R, 1984: Kompostierung. *Alternative Konzepte* 45. CF Müller, Karlsruhe.
- Graham JH, 1982: Effect of citrus root exudates on germination of chlamydospores of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus epigaeum*. *Mycologia* 74: 831.

- Grime JP, Mackey JML, Hillier SH and Read DJ, 1987: Floristic diversity in a model system using experimental microcosms. *Nature* 328: 420-422.
- Guo BZ, An Z-Q, Hendrix JW and Dougherty CT, 1993: Influence of a change from tall fescue to pearl millet or crabgrass on the mycorrhizal fungal community. *Soil Science* 155: 393-405.
- Hamel C, 1996: Prospects and problems pertaining to the management of arbuscular mycorrhizae in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 60: 197-210.
- Hamel C, Dalpé Y, Lapierre C, Simard RR and Smith DL, 1994: Composition of the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus population in an old meadow as affected by pH, P_{us} and soil disturbance. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 49: 223-231.
- HAMPL U, 2002: Projektübersicht, Wetter und Ertragsdaten, Bodenbearbeitung und Bodengesundheit, Schriftenreihe Landesanstalt für Pflanzenbau und Pflanzenschutz, Nr. 13: 13-24.
- Harinikumar KM and Bagyaraj DJ, 1988: Effect of crop rotation on native vesicular arbuscular mycorrhizal propagules in soil. *Plant and Soil* 110, 77-80.
- Harley JL, 1989: The significance of mycorrhiza. *Mycological Research* 92: 129-139.
- Hayman DS, 1975: The occurrence of mycorrhiza in crops as affected by soil fertility. In: Sanders E, Mosse B., Tinker PB (eds.): *Endomycorrhizas*. Academic Press, London, England, pp. 495-509. Academic Press.
- Hayman DS, 1987: VA mycorrhizas in field crop systems. In: Safir GR (ed.): *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants*: 172-192. CRC Press.
- Hein W, 2000: Kompostprojekt Gumpenstein: Ergebnisse der ackerbaulichen Versuche. 6. Alpenländisches Expertenforum, 16. - 17. März 2000. Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, A-8952 Irnding, S. 1-10.
- Helgason T, Daniell TJ, Husband R, Fitter AH and Young JPW, 1998: Ploughing up the wood-wide web? *Nature* 394: 431.
- Hendrix JW, Jones KJ and Nesmith WC, 1992: Control of pathogenic mycorrhizal fungi in maintenance of soil productivity by crop rotation. *Journal of Production Agriculture* 5: 383-386.
- Hetrick BAD and Bloom J, 1984: The influence of temperature on colonization of winter wheat by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycologia* 76: 953-956.

- Hetrick BAD, Wilson GWT and Cox TS, 1992: Mycorrhizal dependence of modern wheat cultivars, landraces, and ancestors. *Canadian Journal of Botany* 70: 2032-2040.
- Hetrick BAD, Wilson GWT and Cox TS, 1993: Mycorrhizal dependence of modern wheat varieties and ancestors: a synthesis. *Canadian Journal of Botany* 71: 512-518.
- Hetrick BAD, Wilson GWT and Schwab AP 1994: Mycorrhizal activity in warm- and cool-season grasses: Nutrient uptake strategies. *Canadian Journal of Botany* 72: 1002-1008.
- Hetrick BAD, Wilson GWT and Todd TC, 1996: Mycorrhizal response in wheat cultivars: Relationship to Pus. *Canadian Journal of Botany* 74: 19-25.
- Hooker JE and Black KE, 1995: Arbuscular Mycorrhizal Fungi as Components of Sustainable Soil-Plant Systems. *Critical Reviews in Biotechnology* 15: 201-212.
- Hooker JE, Jaizme-Vega M and Atkinson D, 1994: Biocontrol of plant pathogens using arbuscular mycorrhizal fungi. In: Gianinazzi S, Schüepp H (eds): *Impact of arbuscular mycorrhizas on sustainable agriculture and natural ecosystems*, pp 191-200. Birkh@user Verlag, Basel, Switzerland.
- Jäggi W, 1974: Bodenmikrobiologische Untersuchungen in einem Düngerversuch. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung* 13: 531-547.
- Jakobsen I and Nielsen NE, 1983: Vesicular-arbuscular mycorrhiza in field-grown crops I. Mycorrhizal infection in cereals and peas at various times and soil depths. *New Phytologist* 93: 401-413.
- Jasper DA, Abbott LK and Robson AD, 1989a: Hyphae of a vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus maintains infectivity in dry soil except when soil is disturbed. *New Phytologist* 112: 101-108.
- Jasper DA, Abbott LK and Robson AD, 1989b: Soil disturbance reduces the infectivity of external hyphae of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 112: 93-100.
- Jasper DA, Abbott LK and Robson, 1991: The effect of soil disturbance on vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soils from different vegetation types. *New Phytologist* 118: 471-476.
- Jensen A and Jakobsen I, 1980: The occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhiza in barley and wheat grown in some danish soils with different fertilizer treatments. *Plant and Soil* 55: 403-414.
- Johnson CR, Jarrell WM and Menge JA, 1984: Influence of ammonium : nitrate ratio and solution pH on mycorrhizal infection, growth and nutrient composition of *Chrysanthemum morifolium* var. *circus*. *Plant and Soil* 77: 151-157.

- Johnson NC and Pflieger FL, 1992: Vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultural stresses. In: Bethlenfalvay GJ, Linderman RG (eds.): *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture*. pp 71-100. ASA Special Publication no. 54. Agronomy Society of America, Madison, WI, USA.
- Johnson NC, 1993: Can fertilization of soil select less mutualistic mycorrhizae? *Ecological Applications* 3: 749-753.
- Johnson NC, Pflieger FL, Crookston RK, Simmons SR and Copeland PJ, 1991: Vesicular-arbuscular mycorrhizas respond to corn and soybean cropping history. *New Phytologist* 117: 657-664.
- Jungk AO, 1996: Dynamics of nutrient movement at the soil-root interface. In: Waisel H, Eshel A and Kafkafi U (eds): *Plant roots - the hidden half*: 529-556. Marcel Dekker, New York.
- Koide RT 1991: Nutrient supply, nutrient demand and plant response to mycorrhizal infection. *New Phytologist* 117: 365-386.
- Kormanik PP and McGraw AC, 1984: Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In: Schenk NC (ed): *Methods And Principles Of Mycorrhizal Research*. Pp 37-45. The American Phytopathological Society, St. Paul, MN.
- Koske RE and Gemma JN, 1989: A modified procedure for staining roots to detect va mycorrhizas. *Mycological Research* 92: 486-505.
- Kruckelmann HW, 1973: Die Vesikulär-AM und ihre Beeinflussung in landwirtschaftlichen Kulturen. Dissertation an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Technischen Universität Braunschweig.
- Kruckelmann HW, 1975: Effects of fertilizers, soils, soil tillage and plant species on the frequency of endogone chlamydospores and mycorrhizal infection in arable soils. In: Sanders FE, Mosse B, Tinker PB (eds): *Endomycorrhizas*. Academic Press, London, England, Pp. 511-25.
- Kucey RMN and Paul EA, 1983: Vesicular arbuscular mycorrhizal spore populations in various Saskatchewan soils and the effect of inoculation with *Glomus mosseae* on faba bean growth in greenhouse and field trials. *Canadian Journal of Soil Science* 63: 87-95.
- Kurle JE and Pflieger FL, 1994: Arbuscular mycorrhizal fungus spore populations respond to conversions between low-input and conventional management practices in a corn-soybean rotation. *Journal of Agronomy* 86: 467-475.
- Kurle JE and Pflieger FL, 1996: Management influences on arbuscular mycorrhizal fungal species composition in a corn-soybean rotation. *Agronomy Journal* 88: 155-161.

- Land S, 1990: Auftreten und Charakterisierung der Vesikulär-Arbuskulären (VA) Mykorrhiza in intensiv genutzten Ackerböden. Dissertation an der Universität Hannover.
- Lee KE and Pankhurst CE, 1992: Soil Organisms and Sustainable Productivity. *Australian Journal for Soil Research* 30: 855-892.
- Leyval C, Berthelin J, Schontz J, Weissenhorn I and Morel JL, 1991: Influence of endomycorrhizas on maize uptake of Pb, Cu and Cd applied as mineral salts and sewage sludge. In: Farmer JG (ed): *Heavy Metals in the Environment*. CEP Consultants LTD., pp 204-207.
- Li X-L, George E and Marschner H, 1991: P and N depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VA mycorrhizal white clover fertilized with ammonium. *New Phytologist* 119: 397-404.
- Liebhart WC, Andrews RW, Culik MN, Harwood RR, Janke RR, Radke JK and Rieger-Schwartz SL, 1989: Crop production during conversion from conventional to low-input methods. *Agronomy Journal* 81: 150-159.
- Limonard T and Ruissen MA, 1989: The significance of VA-mycorrhiza to future arable farming in the Netherlands. *Netherlands Journal Of Plant Pathology* 95: 129-136.
- Lindenthal T, Vogl Ch und Hess J, 1996: Forschung im ÖL. Integrale Schwerpunktthemen und Methodikkriterien. Sonderausgabe der Zeitschrift "Förderungsdienst" 2c/1996. 92 S.
- Mäder P, Edenhofer S, Boller T, Wiemken A and Niggli U, 2000: Arbuscular mycorrhizae in a long-term field trial comparing low-input (organic, biological) and high-input (conventional) farming systems in a crop rotation. *Biology and Fertility Of Soils* 31, No. 2: 150-156.
- Mäder P, Hüscher S und Niggli U, 1995: DOK-Versuch: Der Einfluss der Bewirtschaftung auf die mikrobielle Biomasse und Aktivität sowie auf den metabolischen Quotienten (qCO₂) von Bodenmikroorganismen-Populationen. In: Dewes T, Schmitt L (eds.): *Wege zu dauerfähiger, naturgerechter und sozialverträglicher Landbewirtschaftung*. Wissenschaftlicher Fachverlag, Giessen: S. 89-92.
- Mäder P, Pfiffner L, Jäggi W, Wiemken A, Niggli U und Beson JM, 1993: DOK-Versuch: Vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen biologisch-Dynamisch, Organisch-biologisch und Konventionell. III: Mikrobiologische Untersuchungen. *Schweizerische Landwirtschaftliche Forschung* 32(4): 20-56.
- Maidl FX, Demmel M und Fischbeck G, 1988: Vergleichende Untersuchungen ausgewählter Parameter der Bodenfruchtbarkeit auf konventionell und alternativ bewirtschafteten Standorten. *Landwirtschaftliche Forschung* 41, 3-4, 231-245.

- Marschner H and Dell B, 1994: Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159: 89-102.
- Marschner H, 1995: *Mineral Nutrition Of Higher Plants*. 2nd Edition. Academic Press, London.
- Martyniuk S and Wagner GM, 1978: Quantitative and qualitative examination of soil microflora associated with different management systems. *Soil Science* 125: 343-350.
- McGonigle TP and Miller MH, 1993: Mycorrhizal development and P₂O₅ absorption in maize under conventional and reduced tillage. *Soil Science Society American Journal* 57: 1002-1006.
- McGonigle TP, Evans DG and Miller MH, 1990a: Effect of degree of soil disturbance on mycorrhizal colonisation and P₂O₅ absorption by maize in growth chamber and field experiments. *New Phytologist* 116: 629-636.
- McGonigle TP, Miller MH, Evans DG, Fairchild GL and Swan JA, 1990b: A new method which gives an objective measure of colonisation of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 115: 495-501.
- Medina A, Probanza A, Gutierrez Mañero FJ and Azcón R, 2002: Interactions of arbuscular-mycorrhizal fungi and bacillus strains and their effects on plant growth, microbial rhizosphere activity (thymidine and leucine incorporation) and fungal biomass (ergosterol and chitin). *Applied Soil Ecology* 626: 1–14.
- Menze H, 1987: Wechselwirkungen zwischen Azospirillum und VA- Mykorrhiza auf Wachstum und Nährstoffaufnahme von tropischen Futtergräsern. *Göttinger Beiträge zur Land- und Forstwirtschaft in den Tropen und Subtropen*. H. 25, Göttingen.
- Merryweather J and Fitter A, 1996: Phosphorus nutrition of an obligately mycorrhizal plant treated with the fungicide benomyl in the field. *New Phytologist* 132: 307-311.
- Merryweather J, 2001: Meet the Glomales - the ecology of mycorrhiza. *British Wildlife*, December 2001: 86-93.
- Miller DD, Domoto PA and Walker C, 1985: Mycorrhizal fungi at 18 apple rootstock plantings in the United States. *New Phytologist* 100: 379–391.
- Miller RM and Jastrow JD, 1992: The role of mycorrhizal fungi in soil conservation. In: *Mycorrhizae in Sustainable Agriculture*. Bethlenfalvay GJ, Linderman RG (Eds). pp. 29-44. ASA Special Publication no. 54. Agronomy Society of America, Madison, WI.
- Miller RM and Jastrow JD, 2000: Mycorrhizal fungi influence soil structure. In: Kapulnik Y, Douds DD (Eds.), *Arbuscular Mycorrhizae: Molecular Biology and Physiology*, Kluwer Academic Publishers, The Netherlands, pp. 3-18.

- Morton JB and Benny GL, 1990: Revised Classification of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (Zygomycetes): A new Order, Glomales, two new Suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new Families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an Emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37: 471-491.
- Mosse B and Thompson JP, 1984: Vesicular-arbuscular endomycorrhizal inoculum production. I. Exploratory experiments with beans (*Phaseolus vulgaris*) in nutrient flow culture. *Canadian Journal of Botany* 62: 1523-1530.
- Newman EI and Redell P, 1987: The distribution of mycorrhizas among families of vascular plants. *New Phytologist* 106: 745-752.
- Newman EI, 1966: A method of estimating the total length of a root in a sample. *Journal Of Applied Ecology* 11: 309-314.
- Newsham KK, Fitter AH and Watkinson AR, 1995a: Multi-functionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Tree* 10: 407-411.
- Newsham KK, Fitter AH and Watkinson AR, 1995b: Arbuscular mycorrhiza protect an annual grass from root pathogenic fungi in the field. *Journal of Ecology* 83 (6): 991-1000.
- Ocampo JA, Martin J and Hayman DS, 1980: Influence of plant interactions on vesicular-arbuscular mycorrhizal infections. I. Host and non-host plants grown together. *New Phytologist* 84: 27-35.
- O'Halloran LP, Miller MH and Arnold G, 1986: Absorption of P by corn (*Zea mays* L.) as influenced by soil disturbance. *Canadian Journal of Soil Science* 66: 287-302.
- O'Halloran LP, Stewart JWB and De Jong E, 1987: Changes in P forms and availability as influenced by management practices. *Plant and Soil* 100: 113-126.
- Plenchette C, Fortin JA and Furlan V, 1983: Growth response of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate p-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant and Soil* 70: 199-209.
- Rillig MC and Steinberg PD, 2002: Glomalin production by an arbuscular mycorrhizal fungus: a mechanism of habitat modification? *Soil Biology and Biochemistry* 34 (2002) 1371–1374.
- Römer W and Schilling G, 1986: Pous requirements of wheat plant in varios stages of life cycle. *Plant and Soil* 91: 221-229.
- Ryan MH, Chilvers GA and Dumaresq DC, 1994: Colonisation of wheat by VA-mycorrhizal fungi was found to be higher on a farm managed in an organic manner than on a conventional neighbour. *Plant and Soil* 160: 33-40.

- Saif SR, 1981: The influence of soil aeration on the efficiency of VA-mycorrhizae. *New Phytologist* 88: 649-659.
- Sattelmacher B, Reinhard S and Pomikalko A, 1991: Differences in mycorrhizal colonization of rye (*Secale cereale*) grown in conventional or organic (biological-dynamic) farming systems. *Journal of Agronomy and Crop Science* 167: 350-355.
- Schönbeck F, 1987: Mycorrhiza und Pflanzengesundheit. Ein Beitrag zum Biologischen Pflanzenschutz. *Angewandte Botanik* 61: 9-13.
- Schreiner RP and Bethlenfalvay GJ, 1995: Mycorrhizal interactions in sustainable agriculture. *Critical Reviews In Biotechnology* 15, NO. 3-4: 271-285.
- Schreiner RP and Koide RT, 1993a: Stimulation of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi by mycotrophic and nonmycotrophic plant root systems. *Applied and Environmental Microbiology* 59: 2750-2752.
- Schreiner RP and Koide RT, 1993b: Antifungal compounds from the roots of mycotrophic and non-mycotrophic plant species. *New Phytologist* 123: 99-105.
- Schreiner RP, Mihara KL, McDaniel H and Bethlenfalvay GJ, 1997: Mycorrhizal fungi influence plant and soil functions and interactions. *Plant and Soil* 188: 199-209.
- Schüepp H, Dehn B and Sticher H, 1987: VA mycorrhiza and heavy metal stress. *Angewandte Botanik* 61: 85-96.
- Schwab SM, Menge JA and Leonard RT, 1983: Quantified and qualified effects of Pus on extracts and exudates of sudan grass in relation to vesicular-arbuscular mycorrhizal formation. *Plant Physiology* 73: 761-765.
- Schweiger PF, Thingstrup I and Jakobsen I, 1999: Comparison of two test systems for measuring plant phosphorus uptake via arbuscular mycorrhiza fungi. *Mycorrhiza* 8: 207-213.
- Sieverding E, 1980: Einfluss der Bodenfeuchte auf die Entwicklung und Effektivität der VA-Mykorrhiza. Dissertation Universität Göttingen.
- Simon L, Bousquet J, Lévesque RC and Lalonde M, 1993: Origin and Diversification of Endomycorrhizal Fungi and Coincidence with Vascular Land Plants. *Nature* 363: 67-69.
- Simon L, Lalonde M and Bruns TD, 1992: Specific amplification of 18S fungal ribosomal genes from vesicular-arbuscular endomycorrhizal fungi colonizing roots. *Applied and Environmental Microbiology* 58: 291-295.

- Smith SE, Gianinazzi-Pearson V, Koide R and Cairney JWG, 1994: Nutrient transport in mycorrhizas - structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis. *Plant and Soil* 159: 103-113.
- Smucker AJM, Mc Burney SL and Srivastava AK, 1982: Quantitative separation of roots from compacted soil profiles by the hydropneumatic elutriation system. *Agronomy Journal* 74: 500-503.
- St. John TV and Koske RE, 1988: Statistical treatment of endogonaceous spore counts. *Transactions of the British Mycological Society* 91: 117-121.
- St. John TV, Coleman DC and Reid CPP, 1983: Association of VA mycorrhizal hyphae with soil organic particles. *Ecology* 64: 957-959.
- Steffan H, 1983: Entwicklung der VA-Mykorrhiza in Kulturpflanzen bei Einfluss unterschiedlicher Wirtschaftsweisen. Diplomarbeit Systematisch-Geobotanisches Institut Göttingen.
- Steffan H, 1985: Entwicklung der Mykorrhiza in Kulturpflanzen bei Einfluss unterschiedlicher Wirtschaftsweisen. *IFOAM-Bulletin* 53. ISSN 0171-7456.
- Subramanian KS, Charest C, Dwyer LM and Hamilton RI, 1995: Arbuscular mycorrhiza and water relations in maize under drought stress at tasselling. *New Phytologist* 129: 643-650.
- Sylvia DM, Hammond LC, Bennett JM, Haas JH and Linda SB, 1993: Field response of maize to a VAM fungus and water management. *Agronomy Journal* 85: 193-198.
- Talukdar NC and Germida JJ, 1993: Occurrence and isolation of vesicular-arbuscular mycorrhizae in cropped field soils of Saskatchewan, Canada. *Canadian Journal Of Microbiology* 39: 567-575.
- Taylor TN, Remy W, Hass H and Kerp H, 1995: Fossil Arbuscular Mycorrhizae from the Early Devonian. *Mycologia* 87 (4): 560-573.
- Tennant D, 1975: A test of modified line intersect method of estimating root length. *Journal of Ecology* 63: 995-1001.
- Tews LL and Koske RE, 1986: Toward a sampling strategy for vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Transactions of the British Mycological Society* 87: 353-358.
- Thompson JP and Wildermuth GB, 1989: Colonization of crop and pasture species with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and a negative correlation with root infection by *Bipolaris sorokiniana*. *Canadian Journal of Botany* 67: 687-693.

- Thompson JP, 1987: Decline of vesicular-arbuscular mycorrhizae in long fallow disorder of field crops and its expression in P deficiency sunflower. *Australian Journal of Agricultural Research* 38: 847-867.
- Thompson JP, 1990: Soil sterilisation methods to show VA-mycorrhizas aid P and Zn nutrition of wheat in vertisols. *SOIL BIOLOGY AND BIOCHEMISTRY* 22: 229-240.
- Thompson JP, 1994a: What is the potential for management of mycorrhizas in agriculture? In: Robson AD, Abbott LK and Malajczuk N,; Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Thompson JP, 1994b: Inoculation with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi from cropped soil overcomes long-fallow disorder of linseed (*Linum usitatissimum* L.) by improving P and Zn uptake. *Soil Biology and Biochemistry* 26: 1133-1143.
- Tisdall JM and Oades JM, 1979: Stabilization of soil aggregates by the root segments of ryegrass. *Australian Journal of Soil Research* 17: 429-441.
- Toth R, Toth D, Starke D, Smith DR, 1990: Mycorrhizal colonization in cowpea is host dependent and heritable. *Plant and Soil* 121: 292-294.
- Trappe JM, 1987: Phylogenetic and Ecological Aspects of Mycotrophy in the Angiosperms from an Evolutionary Standpoint. In: *Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants*, Ed.: Safir G.R., pp. 5-25. Boca Raton, Florida, CRC Press.
- Van der Heijden MGA, Klironomos JN, Ursic M, Moutoglis P, Streitwolf-Engel R, Boller T, Wiemken A and Sanders IR, 1998: Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396 (6706): 69-72.
- Vestberg M, Jakobsen I, Thingstrup I, Joner E and Kahiluoto H: Benefit of mycorrhiza in sustainable agriculture. Pus balance and utilization in agriculture – towards sustainability. *K. Skogs-o. Lantbr.akad. Tidskr.* 137:7: 219-221.
- Vierheilig H and Ocampo JA, 1990a: Role of root extract and volatile substances of nonmycorrhizal plants on vesicular-arbuscular mycorrhizal spore germination. *Symbiosis* 9: 199-202.
- Vierheilig H and Ocampo JA, 1991a: Susceptibility and effectiveness of vesicular-arbuscular mycorrhizae in wheat cultivars under different growing conditions. *Biology and Fertility of Soils* 11: 290-294.

- Vierheilig H and Ocampo JA, 1991b: Receptivity of various wheat cultivars to infection by VA-mycorrhizal fungi as influenced by inoculum potential and the relation of VAM-effectiveness to succinic dehydrogenase activity of the mycelium in the roots. *Plant and Soil* 133: 291-296.
- Vierheilig H, Coughlan AP, Wyss U and Piche Y, 1998: Ink and vinegar, a simple staining technique for arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied and Environmental Microbiology* 64: 5004-5007.
- Vivekanandan M and Fixen PE, 1991: Cropping systems effects on mycorrhizal colonization, early growth, and P uptake of corn. *Soil Science Society America Journal* 55: 136-140.
- Walker C and Vestberg M, 1994: A simple and inexpensive method for producing and maintaining closed pot cultures of arbuscular mycorrhizal fungi. *Agricultural Science in Finland* 3: 233-240.
- Walker C, 1991: Methods Sheets to the Workshop at the 3rd European Conference on Mycorrhiza, Sheffield.
- Weissenhorn I, Mench M and Leyval C, 1995: Bioavailability of heavy metals and arbuscular mycorrhiza in a sewage-sludge-amended sandy soil. *Soil Biology and Biochemistry* 27 (3): 287-296.
- Werner MR, 1997: Soil quality characteristics during conversion to organic orchard management. *Applied Soil Ecology* 5: 151-167.
- Wright SF and Upadhyaya A, 1998: A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil* 198: 97-107.
- Wulff K, 1996: Einfluss von Kulturmassnahmen auf die AM in landwirtschaftlichen Nutzflächen. Dissertation am Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 106 Seiten, Verlag Ulrich E. Grauer, Stuttgart 1996, ISBN 3-86186-160-7.
- Yao MK, Tweddell RJ, Désilets H, 2002: Effect of two vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on the growth of micropropagated potato plantlets and on the extent of disease caused by *Rhizoctonia solani*. *Mycorrhiza* 12:235–242.
- Yost, R.S. and Fox, R.L. "Contribution of mycorrhizae to P nutrition of crops growing on an oxisol." *Agronomy Journal* 71 (1979): 903-908.
- Young JL, Davis EA, Rose SL, 1985: Endomycorrhizal fungi in breeder wheats and triticale cultivars field grown on fertile soils. *Agronomy Journal* 77: 219-224.

11.2 Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: SCHEMA DER BODENPROBENNAHME FÜR DIE UNTERSUCHUNG DES MBG DURCH AMP.....	14
ABBILDUNG 2: DETAIL DER BODENPROBENNAHME FÜR DIE BONITUR DER WURZELPARAMETER... 15	
ABBILDUNG 3: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DER WURZELWASCHMASCHINE DER FA. GILLISON (USA).....	16
ABBILDUNG 4: BESTIMMUNG DES MBG MITTELS "MAGNIFIED INTERSECTION METHOD".....	17
ABBILDUNG 5: KARTE DES KLONIERUNGSVEKTORS PCR2.1.	20
ABBILDUNG 6: DÜNGERRÖHREN, GESCHLOSSEN MIT UND OHNE NETZ (V. L. N. R.).....	31
ABBILDUNG 7: AUFBAU DER VERSUCHSGEFÄSSE MIT DEN EINGEBAUTEN DÜNGERRÖHREN (SCHEMATISCHE DARSTELLUNG, SCHNITT IM AUFRISS)	31
ABBILDUNG 8: AUFBAU DER DÜNGERRÖHREN MIT DER LEICHT LÖSLICHEN P-QUELLE IM KERNBEREICH (SCHEMATISCHE DARSTELLUNG, SCHNITT IM AUFRISS)	32
ABBILDUNG 9: MITTLERE P-GEHALTE IM SPROSS MYKORRHIZIERTER (M+, <i>GLOMUS MOSSEAE</i>) UND NICHT MYKORRHIZIERTER (M-) WEIZENSORTEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>).....	34
ABBILDUNG 10: MITTLERE P-GEHALTE IM SPROSS DER UNTERSUCHTEN WEIZENSORTEN IN ABHÄNGIGKEIT VOM MBG MIT DEM AMP <i>GLOMUS MOSSEAE</i>	35
ABBILDUNG 11: MITTLERE SPROSS-TROCKENMASSE DER MIT DEM AMP <i>GLOMUS MOSSEAE</i> MYKORRHIZIERTEN (M+) UND NICHT MYKORRHIZIERTEN (M-) WEIZENSORTEN.	36
ABBILDUNG 12: LAGE DES PROJEKTES ÖKOLOGISCHE BODENBEWIRTSCHAFTUNG.....	40
ABBILDUNG 13: MBG VON WINTERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) IN ZWEI BODENTIEFEN (0-10CM UND 10-27CM) IN ABHÄNGIGKEIT DER BODENBEARBEITUNGSINTENSITÄTEN	44
ABBILDUNG 14: WLD VON WINTERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) IN ZWEI BODENTIEFEN (0-10CM UND 10-27CM) IN ABHÄNGIGKEIT DER BODENBEARBEITUNGSINTENSITÄTEN	45
ABBILDUNG 15: WLD _{INF} VON WINTERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) IN ZWEI BODENTIEFEN (0-10CM UND 10-27CM) IN ABHÄNGIGKEIT DER BODENBEARBEITUNGSINTENSITÄTEN	46
ABBILDUNG 16: ERTRAG VON WINTERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) IN ABHÄNGIGKEIT DER BODENBEARBEITUNGSINTENSITÄTEN.....	47
ABBILDUNG 17: LAGE DES LEGUMINOSENFELDVERSUCHES GROß-ENZERSDORF.....	52

ABBILDUNG 18: WITTERUNGSVERLAUF WÄHREND DER VEGETATIONSPERIODE 2001	53
ABBILDUNG 19: MBG VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ZWEI BODENTIEFEN (0-10CM UND 10-27CM) IN ABHÄNGIGKEIT VOM ANTEIL AN LUZERNE (<i>MEDICAGO SATIVA</i>) IM FELDFUTTERGEMENGE BZW. IN DER FRUCHTFOLGE.....	55
ABBILDUNG 20: WLD VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ZWEI BODENTIEFEN (0-10CM UND 10-27CM) IN ABHÄNGIGKEIT VOM ANTEIL AN LUZERNE (<i>MEDICAGO SATIVA</i>) IM FELDFUTTERGEMENGE BZW. IN DER FRUCHTFOLGE.....	56
ABBILDUNG 21: WLD _{INF} VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ZWEI BODENTIEFEN (0-10CM UND 10-27CM) IN ABHÄNGIGKEIT VOM ANTEIL AN LUZERNE (<i>MEDICAGO SATIVA</i>) IM FELDFUTTERGEMENGE BZW. IN DER FRUCHTFOLGE.....	57
ABBILDUNG 22: ERTRAG VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VOM ANTEIL AN LUZERNE (<i>MEDICAGO SATIVA</i>) IM FELDFUTTERGEMENGE UND DEM MYKORRHIZABESIEDELUNGSGRAD).....	58
ABBILDUNG 23: PROTEINGEHALT VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VOM ANTEIL AN LUZERNE (<i>MEDICAGO SATIVA</i>) IM FELDFUTTERGEMENGE UND DEM MYKORRHIZABESIEDELUNGSGRAD).....	58
ABBILDUNG 24: LAGE DES DAUERROGGENVERSUCHES GROß-ENZERSDORF	62
ABBILDUNG 25: MBG VON WINTERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN DÜNGERVARIANTEN, DER FRUCHTFOLGE UND DER BODENTIEFE.....	67
ABBILDUNG 26: WLD VON WINTERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN DÜNGERVARIANTEN, DER FRUCHTFOLGE UND DER BODENTIEFE.....	68
ABBILDUNG 27: MITTLERE WLD _{INF} VON WINTERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN DÜNGERVARIANTEN, DER FRUCHTFOLGE UND DER BODENTIEFE.....	69
ABBILDUNG 28: ERTRAG VON WINTERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) IM JAHR 2000 IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN UNTERSCHIEDLICHEN DÜNGERVARIANTEN.....	70
ABBILDUNG 29: LAGE DES KOMPOSTDÜNGERVERSUCH GUMPENSTEIN	72
ABBILDUNG 30: SCHEMA DES KOMPOSTDÜNGEVERSUCHES IN GUMPENSTEIN	74
ABBILDUNG 31: MBG VON SOMMERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN DÜNGERVARIANTEN UND DER BODENTIEFE.....	75
ABBILDUNG 32: WLD VON SOMMERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN DÜNGERVARIANTEN UND DER BODENTIEFE.....	76

ABBILDUNG 33: WLD _{INF} VON SOMMERROGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DEN DÜNGERVARIANTEN UND DER BODENTIEFE.....	77
ABBILDUNG 34: MBG VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG AM BETRIEB ALT PRERAU.....	84
ABBILDUNG 35: WLD VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG AM BETRIEB ALT PRERAU.....	84
ABBILDUNG 36: WLD _{INF} VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG AM BETRIEB ALT PRERAU.....	85
ABBILDUNG 37: MBG VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG AM BETRIEB HERRNLEIS.....	85
ABBILDUNG 38: WLD _{INF} VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG AM BETREIB HERRNLEIS.....	86
ABBILDUNG 39: MBG VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG AM BETRIEB OBERSIEBENBRUNN.....	87
ABBILDUNG 40: WLD VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG AM BETRIEB OBERSIEBENBRUNN.....	87
ABBILDUNG 41: WLD _{INF} VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG AM BETRIEB OBERSIEBENBRUNN.....	88
ABBILDUNG 42: MBG VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG AM BETRIEB SPILLERN.....	88
ABBILDUNG 43: WLD _{INF} VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG.....	89
ABBILDUNG 44: MBG VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG.....	90
ABBILDUNG 45: WLD _{INF} VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>) IN ABHÄNGIGKEIT VON DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG.....	91
ABBILDUNG 46: LAGE DER UNTERSUCHTEN SCHLÄGE DES BETRIEBES ALT PRERAU.....	96
ABBILDUNG 47: RFLP MUSTER AUSGEWÄHLTER KLONE AUS DER PROBE ALT PRERAU 1985 (LINKS) UND 1992 (RECHTS).....	98
ABBILDUNG 48: LAGE DER UNTERSUCHTEN SCHLÄGE DES BETRIEBES HERRNLEIS.....	98

ABBILDUNG 49: RFLP MUSTER AUSGEWÄHLTER KLONE AUS DER PROBE HERRNLEIS 1984 (LINKS) UND HERRNLEIS 1995 (RECHTS).....	100
ABBILDUNG 50: LAGE DER UNTERSUCHTEN SCHLÄGE DES BETRIEBES NEUBAU.....	100
ABBILDUNG 51: RFLP MUSTER AUSGEWÄHLTER KLONE AUS DER PROBE NEUBAU 1979 (LINKS) UND 1988 (RECHTS).	102
ABBILDUNG 52: LAGE DER UNTERSUCHTEN SCHLÄGE DES BETRIEBES OBERSIEBENBRUNN.....	102
ABBILDUNG 53: RFLP MUSTER AUSGEWÄHLTER KLONE AUS DER PROBE OBERSIEBENBRUNN 1976 (LINKS) UND 1992 (RECHTS).....	103
ABBILDUNG 54: LAGE DER UNTERSUCHTEN SCHLÄGE DES BETRIEBES SPILLERN	104
ABBILDUNG 55: RFLP MUSTER AUSGEWÄHLTER KLONE AUS DER SPILLERN 1990 (LINKS) UND 1999 (RECHTS).....	106

11.3 Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: LANDWIRTSCHAFTLICHE NUTZPFLANZEN OHNE AM.....	11
TABELLE 2: REAKTIONSANSATZ FÜR DIE PCR MIT DEN SPEZIFISCHEN PRIMERN	19
TABELLE 3: STRUKTUR DES PCR-PROGRAMMS.....	19
TABELLE 4: STRUKTUR DER VERWENDETEN PRIMER.....	19
TABELLE 5: ZUSAMMENSETZUNG DER LB-KANN/X-GAL PLATTEN	21
TABELLE 6: TOPO-TA-REAKTIONSANSATZ.....	22
TABELLE 7: ZUSAMMENSETZUNG DES SOC MEDIUMS.....	22
TABELLE 8: REAKTIONSANSATZ FÜR DIE PCR FÜR DEN RESTRIKTIONSSCHNITT.....	23
TABELLE 9: STRUKTUR DES PCR-PROGRAMMS FÜR DEN RESTRIKTIONSSCHNITT	23
TABELLE 10: REAKTIONSANSATZ FÜR DEN RESTRIKTIONSSCHNITT	23
TABELLE 11: ÜBERSICHT ÜBER EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE KOLONISATION DURCH AMP UND DIE VERSUCHSSTANDORTE.....	24

TABELLE 12: NÄHRSTOFFKONZENTRATIONEN IN DER DÜNGERLÖSUNG FÜR DAS GRUNDSUBSTRAT	29
TABELLE 13: ZUSAMMENSETZUNG DER PUFFERLÖSUNG NACH RINGER (PH 7,4).....	30
TABELLE 14: NÄHRSTOFFKONZENTRATIONEN IN DER DÜNGERLÖSUNG FÜR DIE SUBSTRATE IM AUSSENRAUM UND INNENRAUM DER DÜNGERRÖHREN	32
TABELLE 15: ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE ZUR P-AUFNAHME DURCH AMP IN DEN SPROSS VON WEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>).....	34
TABELLE 16: ALLGEMEINE PARAMETER ZUM PROJEKT ÖKOLOGISCHE BODENBEWIRTSCHAFTUNG.	41
TABELLE 17: FRUCHTFOLGE DES VERSUCHS EICHENHOF IM PROJEKT ÖKOLOGISCHE BODENBEWIRTSCHAFTUNG.....	41
TABELLE 18: UNTERSUCHUNGSVARIANTEN DER AUSWIRKUNG UNTERSCHIEDLICHER BODENBEARBEITUNGSSYSTEME AUF DIE KOLONISIERUNG VON WINTERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) NACH DER GRÜNBRACHE IM JAHR 2001.....	43
TABELLE 19: ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE ZUR AUSWIRKUNG UNTERSCHIEDLICHER BODENBEARBEITUNGSINTENSITÄTEN AUF DIE AM UND DEN KORNERTRAG VON WINTERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>).	43
TABELLE 20: ALLGEMEINE PARAMETER ZUM LEGUMINOSENFELDVERSUCH GROß-ENZERSDORF ...	52
TABELLE 21: UNTERSUCHUNGSVARIANTEN ZUM EINFLUSS ZUNEHMENDER ANTEILE AN LUZERNE (<i>MEDICAGO SATIVA</i>) IM FELDFUTTERGEMENGE IM LEGUMINOSENFELDVERSUCH GROß-ENZERSDORF.....	54
TABELLE 22: ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE ZUR P-AUFNAHME DURCH ARBUSKULÄRE MYKORRHIZAPILZE.....	54
TABELLE 23: ALLGEMEINE PARAMETER ZUM DAUERROGGENVERSUCH GROß-ENZERSDORF	63
TABELLE 24: SPEZIELLE BODENPARAMETER ZUM DAUERROGGENVERSUCH GROß-ENZERSDORF ...	63
TABELLE 25: SCHEMA DES DAUERROGGENVERSUCHES AM VERSUCHSHOF GROß-ENZERSDORF.....	64
TABELLE 26: AUSGEBRACHTE NPK-MENGEN IM DAUERROGGENVERSUCHES AM VERSUCHSHOF GROß-ENZERSDORF.....	64
TABELLE 27: ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE ZUR AUSWIRKUNG VON LANGZEITDÜNGUNG MIT STALLMIST IM VERGLEICH ZU MINERALDÜNGUNG AUF DIE KOLONISIERUNG VON WINTERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) MIT AMP IM DAUERROGGENVERSUCH GROß-ENZERSDORF	66

TABELLE 28: ALLGEMEINE PARAMETER ZUM KOMPOSTDÜNGERVERSUCH GUMPENSTEIN.....	73
TABELLE 29: FRUCHTFOLGE DES KOMPOSTDÜNGERVERSUCHES GUMPENSTEIN.....	73
TABELLE 30: AUSGEBRACHTE NPK-MENGEN IM KOMPOSTDÜNGERVERSUCH GUMPENSTEIN.....	73
TABELLE 31: ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE ZUR AUSWIRKUNG VON VERSCHIEDENEN ORGANISCHEN DÜNGERN (KOMPOST, ROTTEMIST UND GÜLLE) AUF DIE KOLONISIERUNG VON SOMMERROGGEN (<i>SECALE CEREALE</i>) MIT AMP IM KOMPOSTVERSUCH GUMPENSTEIN.....	75
TABELLE 32: BEWIRTSCHAFTUNGSMASSNAHMEN VOR DER PROBENAHME (HERBST 2000) DER BÖDEN IM GEFÄSSVERSUCH ZUR DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG.....	82
TABELLE 33: ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE ZUR AUSWIRKUNG DER DAUER DER ÖKOLOGISCHEN BEWIRTSCHAFTUNG AUF DIE AM VON WINTERWEIZEN (<i>TRITICUM AESTIVUM</i>).	83
TABELLE 34: AMP IN DEN BODENPROBEN VON DEN FLÄCHEN MIT UNTERSCHIEDLICH LANGER UMSTELLUNGSDAUER DER UNTERSUCHTEN LANDWIRTSCHAFTLICHEN BETRIEBE.....	96
TABELLE 35: ISOLIERTE AMP AUS DEN BODENPROBEN DES BETRIEBES ALT PRERAU, UMSTELLUNGSJAHR 1992.....	97
TABELLE 36: ISOLIERTE AMP AUS DEN BODENPROBEN DES BETRIEBES ALT PRERAU, UMSTELLUNGSJAHR 1985.....	97
TABELLE 37: ISOLIERTE AMP AUS DEN BODENPROBEN DES BETRIEBES HERRNLEIS, UMSTELLUNGSJAHR 1995.....	99
TABELLE 38: ISOLIERTE AMP AUS DEN BODENPROBEN DES BETRIEBES HERRNLEIS, UMSTELLUNGSJAHR 1984.....	99
TABELLE 39: ISOLIERTE AMP AUS DEN BODENPROBEN DES BETRIEBES NEUBAU, UMSTELLUNGSJAHR 1979.....	101
TABELLE 40: ISOLIERTE AMP AUS DEN BODENPROBEN DES BETRIEBES NEUBAU, UMSTELLUNGSJAHR 1988.....	101
TABELLE 41: ISOLIERTE AMP AUS DEN BODENPROBEN DES BETRIEBES OBERSIEBENBRUNN, UMSTELLUNGSJAHR 1976.....	103
TABELLE 42: ISOLIERTE AMP AUS DEN BODENPROBEN DES BETRIEBES OBERSIEBENBRUNN, UMSTELLUNGSJAHR 1992.....	103
TABELLE 43: ERGEBNIS DER SEQUENZÜBERPRÜFUNG	104

TABELLE 44: ISOLIERTE AMP AUS DEN BODENPROBEN DES BETRIEBES OBERSIEBENBRUNN, UMSTELLUNGSJAHR 1990.....	105
TABELLE 45: ISOLIERTE AMP AUS DEN BODENPROBEN DES UMSTELLUNGSJAHRES 1990.....	105

Bibliographische Angaben zu diesem Dokument:

Gollner, Manfred (2003) Auswirkungen acker- und pflanzenbaulicher Maßnahmen sowie der Dauer der ökologischen Bewirtschaftung auf die arbuskuläre Mykorrhiza im Ökologischen Landbau [Effects of agronomic practices and duration of organic management on arbuscular mycorrhiza (AM) in organic agriculture]. Dissertation, Institut für Ökologischen Landbau, Universität für Bodenkultur, Wien.

Das Dokument ist in der Datenbank „Organic Eprints“ archiviert und kann im Internet unter <http://orgprints.org/00001304/> abgerufen werden.