

Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt  
für Land- und Forstwirtschaft  
Berlin-Dahlem



## Anwendung arbuskulärer Mykorrhizapilze im Pflanzenbau

Arbeitstagung am 13. und 14. Januar 1997 in Braunschweig

Bearbeitet von

**Dr. Georg F. Backhaus**

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Pflanzenschutz im Gartenbau, Braunschweig

und

**Dr. Falko Feldmann**

Institut für Angewandte Botanik der Universität Hamburg

Heft 332

Berlin 1997

*Herausgegeben*

*von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Berlin-Dahlem*

Parey Buchverlag Berlin  
Kurfürstendamm 57, D-10707 Berlin

ISSN 0067-5849

ISBN 3-8263-3166-4

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

**Anwendung arbuskulärer Mykorrhizapilze im Pflanzenbau:** Arbeitstagung am 13. und 14. Januar 1997 in Braunschweig / hrsg. von der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Berlin-Dahlem. Bearb. von Georg F. Backhaus und Falko Feldmann. – Berlin: Parey, [in Komm.], 1997. (Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem; H. 332)  
ISBN 3-8263-3166-4

© Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrages, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

1997 Kommissionsverlag Parey Buchverlag Berlin, Kurfürstendamm 57, 10707 Berlin Printed in Germany by Arno Brynda, Berlin

<b>Inhaltsverzeichnis/Contents</b>		<b>Seite/Page</b>
G.F. BACKHAUS	Vorwort <i>Preface</i>	4
H.-W. DEHNE	Arbuskuläre Mykorrhizapilze als Faktoren im Integrierten Pflanzenbau  <i>Arbuscular mycorrhizal fungi as factors of integrated plant production</i>	8
H.D. MOHR	Mykorrhiza im deutschen Weinbau - Bestandsaufnahme und Perspektiven  <i>Mycorrhiza in german viticulture - stocktaking and prospects</i>	19
M. PETGEN A. SCHROPP H. MARSCHNER V. RÖMHELD	Untersuchungen über das Vorkommen der arbuskulären Mykorrhiza in verschiedenen Rebschulböden der Pfalz sowie deren praktische Anwendung in der Rebschule  <i>Investigations on the occurrence of arbuscular mycorrhizae in some grapevine nurseries and the practical management of field inoculation with arbuscular mycorrhizae</i>	32
H.M. HELAL	Zur Bedeutung der Mykorrhiza in einer umweltschonenden Landwirtschaft  <i>Significance of mycorrhizal fungi for an environment - conserving agriculture</i>	47
F. FELDMANN	Stabilität und Reproduzierbarkeit der Wirksamkeit von Inokulum arbuskulärer Mykorrhizapilze  <i>Stability and reproducibility of arbuscular mycorrhizal effectiveness</i>	54
F. FELDMANN C. BOYLE	Qualitätskontrolle von kommerziellem Inokulum arbuskulärer Mykorrhizapilze  <i>Quality control of the inoculum of arbuscular mycorrhiza used commercially</i>	66
H.J. BELKE	Anforderungen der Dachbegrünung an das Mykorrhiza-Inokulum  <i>Requirements of grassed rooves for the inoculum of mycorrhiza</i>	82

## Vorwort

Die Mehrzahl aller Pflanzenarten lebt unter natürlichen Bedingungen in Gemeinschaft mit symbiontischen Pilzen, die eine arbuskuläre Mykorrhiza ausbilden. Die arbuskuläre Mykorrhiza wurde bereits vor über 100 Jahren beschrieben. Sie wird von obligat-biotrophen Vertretern der Familie der Endogonaceae gebildet und stellt die weitaus häufigste aller mykorrhizaartigen Erscheinungsformen dar. Trotz ihres biotrophen Charakters zeichnen sich diese Pilze durch einen weiten Wirtspflanzenkreis aus. Bis heute sind über 6000 Arten bedecktsamiger Pflanzen auf ihre Mykorrhizierung hin untersucht worden, darunter eine Vielzahl bedeutender Nutzpflanzen. 70 % dieser Pflanzenarten bilden im Regelfall eine Mykorrhiza aus, 12 % nur gelegentlich, 18 % wurden als nicht mykorrhiziert beobachtet. Lediglich an Pflanzen bestimmter Pflanzenfamilien, wie beispielsweise den Ericaceae, Pinaceae, Fagaceae oder Betulaceae, die ihrerseits eigene Mykorrhizaformen entwickelt haben, wird keine arbuskuläre Mykorrhiza gebildet. Auch geographisch muß ihre Verbreitung als ubiquitär bezeichnet werden, sie fehlt lediglich auf extrem wasser- und schattenreichen Böden.

Die Wechselwirkungen zwischen Mykorrhizapilzen und den mit ihnen vergesellschafteten Pflanzen sind vielfältig. Unter natürlichen Bedingungen besitzen die Symbionten eine erhebliche Bedeutung für das Wachstum und die Entwicklung, an Extremstandorten auch für das Überleben der Pflanzen. Verbesserungen der Versorgung der Pflanzen mit verschiedenen Nährstoffen, Veränderungen der Pflanzenreaktion auf ungünstige Umweltbedingungen, wie Trockenheit, hohe Salzgehalte im Boden oder ungünstige pH-Werte (Streßtoleranz), Veränderungen in Hormonhaushalt und physiologischer Reaktion der Pflanzen und Veränderungen des Resistenzverhaltens gegenüber dem Angriff phytopathogener Organismen wurden in den vergangenen Jahrzehnten vielfach nachgewiesen, ebenso wie wachstums- und ertragsfördernde Wirkungen unter ungünstigen Kulturbedingungen. Die vielfältigen Forschungsergebnisse führten bereits vor längerer Zeit naturgemäß auch zur Frage der gezielten Nutzung der verschiedenen Wirkungspotentiale dieser Symbionten für den Pflanzenbau. Dementsprechend wurden zwischenzeitlich potentielle Anwendungsbereiche definiert und verschiedene Methoden zur Produktion und Applikation von Inokula unterschiedlicher Isolate von Mykorrhizabildnern entwickelt und teils sogar patentiert. Trotz aller in der wissenschaftlichen und praxisorientierten Literatur beschriebenen Vorteile und trotz der sich daraus ergebenden Möglichkeiten, My-

korrhizen im Rahmen des Integrierten Pflanzenbaus zu nutzen, hat sich die Mykorrhizatechnologie in Deutschland und anderen europäischen Ländern bislang nicht durchgesetzt.

Das Interesse aus der Praxis besonders des gärtnerischen Pflanzenbaus ist jedoch in den vergangenen Jahren deutlich gestiegen. Es finden sich zunehmend auch Unternehmen, die eine Vermarktung selektierter Mykorrhizabildner vorbereiten oder die bereits Inokulum am Markt anbieten. Allerdings konnten bei vielen Gesprächen mit Interessierten auch erhebliche Informationsdefizite und Unsicherheiten hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten, Wirkungssicherheiten und Produktionsverfahren von Mykorrhizapilzen festgestellt werden. Aus diesem Grunde wurde im Januar 1997 in der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Braunschweig eine Arbeitstagung organisiert, während der die Gesamtproblematik der Nutzung und Anwendung arbuskulärer Mykorrhizapilze durch Vorträge und intensive Diskussionen zwischen Vertretern wissenschaftlicher Einrichtungen, interessierter Gartenbaubetriebe und Substratproduzenten, potentieller Inokulumproduzenten für Mykorrhizapilze und von Versuchsanstalten beleuchtet wurde. Dabei wurde ein breites Spektrum an Ursachen für die bislang bestehenden Probleme bei der Akzeptanz der Mykorrhizatechnologie identifiziert und die maßgeblichen Schwierigkeiten bei Herstellung und Anwendung von Inokulum herausgearbeitet. Leider ist es nicht vollständig gelungen, sämtliche von den Teilnehmerinnen und Teilnehmern der Tagung diskutierten Aspekte auch in Form von Artikeln in diesem Band repräsentativ wiederzugeben.

Von erheblicher Bedeutung für alle Beteiligten war die Tatsache, daß aus der Diskussion heraus erste gemeinsame Vorstellungen darüber entwickelt wurden, in welchen Bereichen der Mykorrhizatechnologie ein gemeinsamer Arbeits- und Forschungsbedarf im Hinblick auf ihre Nutzung im praktischen Pflanzenbau besteht. Folgende Arbeitsfelder mit Handlungs- bzw. Forschungsbedarf wurden identifiziert:

#### 1. Arbeitsfelder mit unmittelbarem Anwendungsbezug und vorrangiger Dringlichkeit

- Formulierung konkreter, exakt definierter Einsatzbeispiele als Ansatzpunkte für Wissenschafts-Transfer-Projekte zwischen Wissenschaft, Beratung und Praxis;

- Verbesserung des Informationstransfers zwischen Forschung und Anwendern auf allen Ebenen, insbesondere Einbindung von Multiplikatoren in den Prozeß der Informationsweitergabe und Beratung, sowie Schaffung von Beratungsmöglichkeiten durch die Multiplikatoren bis hin zur Schulung von Beratern, z.B. in der Substratindustrie;
- Optimierung der Verfahrenstechnik der Inokulumsproduktion, insbesondere in Bezug auf die Auswahl des Wirtspflanzenmaterials und die Wahl der Methode für spezielle Problemlösungen;
- Weiterentwicklung der „most-probable-number-Methode“ als Instrument zur Sicherung der Vergleichbarkeit des Mykorrhiza-Infektionspotentials verschiedener Inokula;
- Anpassung vorhandener Methoden bzw. Entwicklung neuer Ansätze zur Erfassung von Fremdkontaminationen im Inokulum (Erkennung sowohl von Pathogenen als auch von fremden Mykorrhizapilzen), insbesondere durch Anwendung von Biotests und molekularbiologischen Methoden;
- Vereinheitlichung der Qualitätskontrolle und Produktdeklaration von AMP-Inokulum;
- Definition der Lagerungsbedingungen für AMP-Inokulum und Ermittlung der Lagerungsfähigkeit; Prüfung der Einführung von „Verfallsdaten“;
- Klärung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen.

## 2. Themenbezogene Grundlagenforschung

- Definition und Erarbeitung von Kennwerten für pilzliche Symbiosepartner (Besiedlungsverhalten, Sporulationsverhalten, Konkurrenzverhalten) als Grundlage für die Komposition von Pilz-Mischinokula;
- Verfahrenstechnische Handhabung von Spezifitätsphänomenen;

- Klärung der Bedeutung populationsbiologischer Parameter (z.B. Populationsfluß, -modell und -struktur) für Zustandekommen und Erhaltung der Wirksamkeit der Symbiose;
- Erfassung phänotypischer und genotypischer Variabilität von AMP-Inokulum;
- Identifizierung zentraler Selektionsfaktoren für AMP im Produktionsprozeß von Inokulum.

Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer der Arbeitstagung beschlossen, zukünftig einen regelmäßigen Informationsaustausch in Form jährlich stattfindender Arbeitstagungen zu pflegen und beauftragten Herrn Dr. Feldmann mit der Koordination der Zusammenarbeit zwischen den mit Fragen der Anwendung arbuskulärer Mykorrhizen befaßten Forschungseinrichtungen, Versuchsanstaltern und Unternehmen, insbesondere auch im Hinblick auf die Bearbeitung der identifizierten Arbeitsfelder.

Braunschweig, Juni 1997

Georg F. Backhaus

Institut für Pflanzenschutz im Gartenbau

H.-W. Dehne

Institut für Pflanzenkrankheiten, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

## **Arbuskuläre Mykorrhizapilze als Faktoren im Integrierten Pflanzenbau**

### Einleitung

An ihrem natürlichen Standort, aber auch im Nutzpflanzenanbau sind Pflanzen mehr oder minder großen Belastungen durch Umweltfaktoren ausgesetzt, die deren Wachstum und Entwicklung einschränken. Ziel des Pflanzenschutzes ist es, die Auswirkungen dieser Begrenzungsfaktoren so gering wie möglich zu halten – seien diese nun abiotischer oder biotischer Natur. Die Erkenntnisse von PEUSS (1957) zur Bedeutung der arbuskulären Mykorrhiza, nach denen sich "... die Pflanze durch die Mykorrhiza sich ungünstigeren Umweltfaktoren besser anzupassen vermag ...", wurde lange Zeit vernachlässigt oder sehr einseitig auf den Mangel an Nährstoffen bezogen. Die Möglichkeit, mit Hilfe der Symbiose die Auswirkungen von Stresssituationen beeinflussen zu können, hat erst in den vergangenen Jahren wieder wissenschaftliche Beachtung gefunden. In der phytomedizinischen Forschung stehen zwar biotische Stressfaktoren, also die unterschiedlichsten Schaderreger im Vordergrund des Interesses. Als Krankheitsursachen sind jedoch auch abiotische Belastungen zu berücksichtigen, die schon allein, vor allem aber gemeinsam mit Krankheiten biotischen Ursprungs die Pflanzenentwicklung nachhaltig beeinträchtigen können.

Nahezu alle Studien, die unter dem Stichwort "Stressforschung" durchgeführt werden, betrachten die Pflanze und deren Reaktion auf Belastungen isoliert. Die Pflanze wird dabei gerade im Hinblick auf die Anpassung an Stresssituationen als völlig eigenständig, auf sich allein gestellt angesehen. Unberücksichtigt bleibt dabei, daß unter natürlichen Bedingungen keine Pflanze allein, sondern mit den verschiedensten Organismen an ihrem Standort zusammenlebt. Meist bilden höhere Pflanzen sogar mit symbiontischen Wurzelpilzen die außerordentlich enge Lebensgemeinschaft – nämlich die Mykorrhizen.



Es ist heute allgemein akzeptiert, daß die Bildung und die Entwicklung dieser Symbiose nicht nur die Pflanze selbst verändert, sondern vor allem auch deren Reaktionslage gegenüber Stresseinwirkungen beeinflußt (GIANINAZZI et al. 1995).

### Entwicklung der Mykorrhizaforschung

Den Grundstein zur heutigen Mykorrhizaforschung legte vor mehr als 100 Jahren FRANK (1885) mit der Erstbeschreibung der Symbiosen. Diese grundlegenden Beobachtungen wurden durch weitere Untersuchungen zunächst von FRANK (FRANK 1887, 1888), später aus der Arbeitsgruppe um WINTER (WINTER 1951, 1953, WINTER und BIRGEL 1953, WINTER und MELOH 1958, PEUSS 1957, 1958, MELOH 1963) ergänzt.

Erst vor 40 Jahren führten die Arbeiten von MOSSE (1957) und PEUSS (1957), in denen der eusymbiotische Charakter der arbuskulären Mykorrhizen eindeutig belegt wurde, zu einem breiten, wissenschaftlichen Interesse auch in anderen Ländern. In der Literatur findet sich seither eine ständig wachsende Fülle von Berichten über die Symbiose.

Als besonders augenfällig erwies sich die Abhängigkeit höherer Pflanzen von der Ausbildung einer funktionsfähigen Wurzelsymbiose auf Böden mit geringer Nährstoffverfügbarkeit – insbesondere von Phosphat. Liegt ein relativer Mangel oder eine Festlegung von Phosphat im Boden vor, so können an diesem Standort die meisten Pflanzen nur dann wachsen, wenn sie mykorrhiziert sind (MOSSE 1973, HARLEY und SMITH 1983, ABBOTT und ROBSON 1984). Verantwortlich für die effizientere Ausnutzung des im Boden vorhandenen, häufig aber gebundenen Phosphats ist sowohl die deutlich größere, resorbierende Oberfläche mykorrhizahaltiger Wurzelsysteme als auch deren spezifisch verbessertes Aneignungsvermögen (RHODES und GERDEMANN 1978, MOSSE et al. 1981, COOPER 1984).

Oft wurden danach Wechselwirkungen zwischen der Phosphatverfügbarkeit im Boden und der Bildung der Symbiose nachgewiesen. So war die arbuskuläre Mykorrhiza nicht

nur besonders intensiv ausgebildet und förderte wirkungsvoll die Aufnahme in Mangelsituationen, für eine hohe Phosphatverfügbarkeit wurde sogar ein negativer Einfluß auf das Auftreten und die Entwicklung der Symbiose beschrieben (MOSSE 1973, HARLEY und SMITH 1983). Aus diesen Beobachtungen ist auch die Verallgemeinerung zu erklären, arbuskuläre Mykorrhizen seien ausschließlich auf Phosphatmangelböden von Bedeutung, in fruchtbaren, intensiv bewirtschafteten Böden käme ihnen hingegen keine Funktion zu bzw. seien sie gar nicht anzutreffen (MOSSE 1973, MOSSE et al. 1981). Diese experimentellen Erfahrungen führten dazu, daß sich das wissenschaftliche Interesse an der arbuskulären Mykorrhiza leider lange Zeit auf mehr oder minder nährstoffarme Böden konzentrierte.

#### Auftreten der arbuskulären Mykorrhiza

Schon die Untersuchungen von STAHL (1900), PEYRONEL (1923), WINTER (1951, 1953), später auch von KRUCKELMANN (1975) sowie eigene Erhebungen (BALTRUSCHAT und DEHNE 1982) haben belegt, daß arbuskuläre Mykorrhizen auch in fruchtbaren, intensiv bewirtschafteten Ackerböden anzutreffen sind. Unter diesen Bedingungen, die in den Böden der gemäßigten Breiten eher die Regel darstellen, kommt der arbuskulären Mykorrhiza eben die bereits von PEUSS (1957) beschriebene Funktion zu, der Wirtspflanze eine bessere Anpassung an ungünstigere Umweltfaktoren zu ermöglichen. Entsprechend adaptierte Mykorrhizapilze sind in der Lage, auch bei guter Nährstoffversorgung die Widerstandsfähigkeit gegenüber abiotischen und biotischen Stressfaktoren zu verbessern und die Pflanzenentwicklung zu fördern (DEHNE 1987). Leider ist die Nutzung der arbuskulären Mykorrhiza in der landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Praxis bislang nur zufällig gegeben – die positiven Wirkungen der Symbiose werden an Nutzpflanzen, die in artifiziellen oder dekontaminierten Substraten angezogen und kultiviert werden, bislang nicht gezielt genutzt. Dieses Potential gilt es im Interesse eines Pflanzenbaus, der alle Möglichkeiten zur Erhaltung und Förderung der

Pflanzengesundheit ausschöpft, zukünftig verfügbar und in der breiten, pflanzenbaulichen Praxis nutzbar zu machen.

### Biologie und Entwicklung der arbuskulären Mykorrhiza

Arbuskuläre Mykorrhizapilze sind an nahezu allen Pflanzen zu finden und vermögen mit diesen eine intensive symbiontische Beziehung einzugehen. Dabei dringen sie wie pathogene Pilze in die Wirtspflanze ein. Während des gesamten Entwicklungsgangs wird dabei das Plasmalemma der Wirtszellen niemals penetriert, sondern wie auch bei obligatbiotrophen, phytopathogenen Pilzen kommt es in den Rindenparenchymzellen nur zu einer Einstülpung der Wirtszellmembranen. Neben dem meist intensiven, intrazellulärem Wachstum ist auch eine interzelluläre Entwicklung im Wirtsgewebe möglich. Als Interaktionsorgan für den Stoffaustausch zwischen Wirtspflanze und Pilz werden vor allem in den inneren Rindenschichten die charakteristischen Arbuskeln gebildet, die mit ihren bäumchenartigen Verzweigungen der Vergrößerung der Austauschfläche zwischen den Symbiosepartnern dienen. Schon FRANK erkannte, daß nach dem Zustandekommen der Beziehung die beiden Symbiosepartner nicht nur zusammenleben, sondern daß diese Lebensgemeinschaft etwas völlig Eigenständiges, Einzigartiges und Unteilbares darstellt – die "Pilzwurzel" oder "Mykorrhiza" (FRANK 1885, 1887, 1888).

Arbuskuläre Mykorrhizen sind an nahezu allen Pflanzen anzutreffen – zu den wenigen Ausnahmen zählen *Cruciferen* und *Chenopodiaceen*, bei denen die Infektion zwar möglich ist, aber nicht oder selten zur Bildung der charakteristischen Arbuskeln führt. Über die Bedeutung der Symbiose an diesen Pflanzen kann gegenwärtig nur spekuliert werden – entsprechende Untersuchungen fehlen bislang.

Neben einer Förderung der Phosphataufnahme, die unter den entsprechenden Bedingungen eingeschränkter Verfügbarkeit im Boden zu verzeichnen ist, vermag diese Symbiose auch das Auftreten bodenbürtiger, phytopathogener Pilze, Bakterien und

Nematoden nachhaltig zu reduzieren (DEHNE 1987). Darüber hinaus sind mykorrhizierte Pflanzen unempfindlicher gegenüber abiotischen Belastungen - wie sie von Versalzung, ungünstigen Temperaturen oder Wassermangel ausgehen. Dabei wirkt sich die Bildung von arbuskulären Mykorrhizen besonders positiv auf die Auswirkungen latenter oder temporärer Stressoren aus. Insbesondere in gärtnerischen Kulturen wurden spezifisch-fördernde Einflüsse der Symbiose auf die Bewurzelung von Stecklingen, das Wachstum und die Entwicklung von Jungpflanzen ebenso beschrieben, wie die Beschleunigung der generativen Entwicklung – ein Faktor, der im Zierpflanzenbau von besonderer Bedeutung ist (BACKHAUS 1984).

#### Möglichkeiten zur Förderung der Mykorrhizierung

Arbuskuläre Mykorrhizen sind an nahezu allen Pflanzen zu finden und treten auf allen Standorten auf. Die Wirtsspezifität der Symbiose ist nur gering, die Spezifität einzelner Mykorrhizapilze kann jedoch sehr hoch sein – gleiches gilt für die Standortspezifität. Der Auswahl geeigneter Wirtsgenotypen, die zur Bildung der Symbiose besonders geeignet sind bzw. die auf die Mykorrhizierung besonders positiv reagieren, kann als ein effizientes Instrument zur Nutzung der Mykorrhiza gelten, das bislang noch kaum genutzt wird. Andererseits wird die Häufigkeit und Intensität des Auftretens arbuskulärer Mykorrhizen durch die Umweltbedingungen wesentlich beeinflusst, wobei Nährstoffverfügbarkeit, Klima und Kulturmaßnahmen einen erheblichen Einfluß nehmen können.

Die pflanzenbaulichen Möglichkeiten zur Förderung der Mykorrhizierung bestehen zunächst zum einen im Anbau von Nutzpflanzensorten mit intensiver Bildung der Symbiose und einer standortgemäßen Nährstoffversorgung. Für gärtnerische Kulturen in dekontaminierten und inerten Substraten gilt es, deren Eignung für die Entwicklung zu ermitteln. In diesen Substraten fehlt jedoch das unter Feldbedingungen vorhandene Inokulum der arbuskulären Mykorrhizapilze. Gerade für gärtnerische Nutzpflanzen, die

in mykorrhizafreien Substraten vorgezogen oder generell kultiviert werden, gilt es, die arbuskulären Mykorrhizapilze einzufügen. Im Hinblick auf eine praktische Nutzung der Symbiose müssen hierfür geeignete symbiontische Pilze ausgewählt und angereichert werden.

Ein besonderes Problem bei der wissenschaftlichen Bearbeitung der arbuskulären Mykorrhizen, insbesondere aber ein Hindernis für deren Nutzung in der breiten, pflanzenbaulichen Praxis ist die obligate Biotrophie der symbiontischen Endophyten. Es fehlte lange Zeit vor allem an lagerfähigen, wirksamen Inokula. Die zur Verfügung stehenden Verfahren zur Inokulumproduktion und -anwendung waren sehr aufwendig (HAYMAN 1982, POWELL 1984, GIANINAZZI et al. 1995). Erst im letzten Jahrzehnt konnten neue Wege zur Inokulation mit den symbiontischen Pilzen aufgezeigt werden (ELMES et al. 1984). Praxisrelevante Möglichkeiten zur Anreicherung arbuskulärer Mykorrhizapilze bieten auch die Verfahren zur Inokulumproduktion an anorganischen Trägerstoffen (BACKHAUS, G.F., 1984, DEHNE und BACKHAUS 1986, DEHNE 1987, GRUNEWALDT-STÖCKER und DEHNE 1989).

Auch eine einmal etablierte Mykorrhiza zwischen geeigneten Symbiosepartnern kann weiter gefördert werden – so beispielsweise durch die Applikation physiologisch wirksamer Substanzen (JABJI-HARE und KENDRICK 1985, DEHNE 1986). Die Gesunderhaltung der Assimilationsflächen beeinflußt nicht nur das Wurzelwachstum und den Mykorrhizierungsgrad, sondern auch die Gesundheit des Wurzelsystems (VIZAROVA, 1975, DEHNE 1987). Eine intensive Mykorrhizierung führt nicht nur zu Veränderungen in der Wirtspflanze, sondern sie wirkt sich auch quantitativ und qualitativ auf die Entwicklung der Rhizosphärenflora aus (MEYER und LINDERMAN 1986, DEHNE 1987). Neuere Ergebnisse zeigen, daß die Bildung einer arbuskulären Mykorrhiza es zudem ermöglicht, insbesondere solche Mikroorganismen zu fördern, die synergistisch zu verbessertem Pflanzenwachstum führen und zur Erhaltung der Pflanzengesundheit beitragen können (GIANINAZZI et al. 1995).

### Möglichkeiten und Grenzen

Eine Nutzung der arbuskulären Mykorrhiza in der landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Praxis bietet die Möglichkeit, die Pflanzengesundheit auch im intensiven Nutzpflanzenanbau zu fördern. Die Anwendung der Symbiose erscheint besonders interessant in gartenbaulichen Kulturen, in denen dekontaminierte oder inerte Substrate verwendet werden und die damit einer gezielten Inokulation mit geeigneten, adaptierten Mykorrhizapilzen besonders günstige Voraussetzungen bieten. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit mit geeigneten Inokula gerade in gartenbaulich genutzten Substraten gleichzeitig auch synergistische Mikroorganismen auszubringen, die ihrerseits durch die Mykorrhizabildung in ihrer Entwicklung gefördert werden und zur Gesunderhaltung der Nutzpflanzen beitragen können. Insofern bietet die arbuskuläre Mykorrhiza ein Instrumentarium für den Integrierten Pflanzenschutz, mit dessen Hilfe die Toleranz von Pflanzen gegenüber abiotischen und biotischen Stressfaktoren erhalten und gefördert werden kann.

Die Grenzen der praktischen Nutzbarkeit ergeben sich zunächst aus der obligaten Biotrophie der arbuskulären Mykorrhizapilze – es gibt zwar erste Ansätze für die Produktion effizienter Inokula, doch fehlen hier noch praxisreife und kostengünstige Verfahren zur Inokulumproduktion. Die Auswahl geeigneter Wirtspflanzensorten vermag die Mykorrhizierung maßgeblich zu beeinflussen – gerade in gartenbaulichen Kulturen wird die Sortenwahl jedoch häufig durch Markteinflüsse oder technologische Eignung bestimmt und ist zudem einem häufig schnellen Wechsel unterworfen. Auch diese Bedingungen werfen zweifellos Probleme hinsichtlich einer praktischen Nutzung der arbuskulären Mykorrhiza auf. Wie in allen Fällen, in denen es um die Realisierung Integrierter Pflanzenschutztechniken geht, stellt sicher auch die Nutzung dieser Symbiose in der gärtnerischen und landwirtschaftlichen Praxis erhöhte Anforderungen an den Anwender. In jedem Fall bietet sie aber eine Bereicherung der Instrumentariums im

innovativen Pflanzenschutz – die vorhandenen Forschungsdefizite sollten entsprechender Ansporn sein.

### Zusammenfassung

Die arbuskuläre Mykorrhiza wird von nahezu allen Pflanzen zwischen obligat-biotrophen Pilzen und den Wurzeln höherer Pflanzen gebildet. Diese Symbiose vermag Pflanzenwachstum und –entwicklung insbesondere unter dem Einfluß abiotischer und biotischer Stressfaktoren zu fördern. Diese Wirkung wurde im praktischen Pflanzenbau bislang nicht gezielt genutzt. Neue Verfahren zur Anreicherung und Inokulumproduktion der arbuskulären Mykorrhizapilze ermöglichen die Anwendung geeigneter symbiontischer Endophyten und deren Integration in die pflanzenbauliche Praxis zur Erhaltung und Förderung der Pflanzengesundheit.

### Literatur

- ABBOT, L.K. und A.D. ROBSON, 1984: The effect of VA mycorrhizae on plant growth. In: POWELL, C.L., und D.J. BAGYARAJ: VA mycorrhiza. CRC Press, Boca Raton, Florida, 113-130
- BACKHAUS, G.F., 1984: Untersuchungen zur Nutzung der endotrophen (VA) Mykorrhiza in der gärtnerischen Pflanzenproduktion. Diss. Univ. Hannover
- BALTRUSCHAT, H., und H.-W. DEHNE, 1982: Zum Auftreten der endotrophen Mykorrhizen in verschiedenen Getreidefruchtfolgen und Düngungssystemen. Med. Fac. Landbouww. Rijksuniv. Gent 47, 831-839
- COOPER, K.M., 1984: Physiology of VA mycorrhizal associations. In: POWELL, C.L., und D.J. BAGYARAJ: VA mycorrhiza. CRC Press, Boca Raton, Florida, 155-186

- DEHNE, H.-W., 1986: Mykorrhiza und Stress bei Pflanzen. Bericht über ein internationales Symposium an der Universität Hannover. *Gesunde Pflanzen* **38**, 117-122
- DEHNE, H.-W., 1987: Zur Bedeutung der vesikulär-arbuskulären (VA) Mykorrhiza für die Pflanzengesundheit. Habilitationsschrift, Universität Hannover, 127 S.
- DEHNE, H.-W., und G.F. BACKHAUS, 1986: The use of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in plant production. I. Inoculum production. *Z. PflKrankh. PflSchutz* **93**, 415-424
- ELMES, R.P. und B. MOSSE, 1984: Vesicular-arbuscular endomycorrhizal inoculum production. II. Experiments with maize (*Zea mays*) and other hosts in nutrient flow culture. *Can. J. Bot.* **62**, 1531-1536
- FRANK, A.B., 1885: Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* **3**, 128-145
- FRANK, A.B., 1887: Über neue Mykorrhiza-Formen. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* **5**, 395-409
- FRANK, A.B., 1888: Über die physiologische Bedeutung der Mykorrhiza. *Ber. Dtsch. Bot. Ges.* **6**, 248-269
- GIANINAZZI, S., H. SCHUEPP und J.P. MASSON 1995: Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil-plant systems. *Europ. Comm.*, Brussels, Luxembourg
- GRUNEWALDT-STÖCKER, G., und H.-W. DEHNE, 1989: The use of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in plant production. II. Characterization of inocula on inorganic carrier material. *Z. PflKrankh. PflSchutz* **96**, 615-626
- HARLEY, J.L., und S. SMITH, 1983: *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London, New York
- HAYMAN, D.S., 1982: Practical aspects of vesicular-arbuscular mycorrhiza. In: SUBBARAO, N.S. (ed.): *Advances in agricultural microbiology*, Oxford and IBM Publ. Co., 325-373
- JABAJI-HARE, S.H., und W.B. KENDRICK, 1985: Effects of fosetyl-al (Aliette) on root exudation and the composition of extracts of mycorrhizal and non-mycorrhizal leek plants. *Can. J. Plant Path.* **7**, 118-126
- KRUCKELMANN, H.W., 1975: Effects of fertilizers, soils, soil tillage and plant species on the frequency of *Endogone* chlamydospores and mycorrhizal infection in arable soils. In: SANDERS, F.E., B. MOSSE and P.B. TINKER: *Endomycorrhizas*. Proc. of Symposium held at University of Leeds, July 1974, Academic Press, London, 511-525



- MELOH, K.A., 1963: Untersuchungen zur Biologie der endotrophen Mykorrhiza bei *Zea mays* L. und *Avena sativa* L. *Archiv für Mikrobiologie* **46**, 369-381
- MEYER, J.R., und R.G. LINDERMAN, 1986: Selective influence on populations of rhizosphere or rhizoplane bacteria and actinomycetes by mycorrhizas formed by *Glomus fasciculatum*. *Soil Biol. Biochem.* **18**, 191-196
- MOSSE, B., 1957: Growth and chemical composition of mycorrhizal and nonmycorrhizal apples. *Nature (London)* **179**, 922-926
- MOSSE, B., 1973: Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. IV. In soil given additional phosphate. *New Phytol.* **72**, 127-136
- MOSSE, B., D.P. STRIBLEY und F. LETACON, 1981: Ecology of mycorrhizae and mycorrhizal fungi. *Adv. Microb. Ecol.* **5**, 137-142
- PEUSS, H., 1957: Untersuchungen zur Ökologie und Bedeutung der Tabakmykorrhiza. *Die Naturwissenschaften* 1957, 592
- PEUSS, H., 1958: Untersuchungen zur Ökologie und Bedeutung der Tabakmykorrhiza. *Archiv f. Mikrobiol.* **29**, 112-142
- PEYRONEL, B., 1923: Fructification de l'endophyte a arbuscules et a vesicules des mycorrhizes endotrophes. *Bull. Soc. Mycol. France* **39**, 119-126
- POWELL, C.L., 1984: Field inoculation with VA mycorrhiza fungi. In: POWELL, C.L. und D.J. BAGYARAJ: VA mycorrhiza. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, 205-222
- RHODES, L.H., und J.W. GERDEMANN, 1978: Hyphal translocation and uptake of sulphur by vesicular-arbuscular mycorrhizae of onion. *Soil Biol. Biochem.* **70**, 355-360
- STAHL, E., 1900: Der Sinn der Mykorrhizenbildung. *Jahrb. Wiss. Bot.* **34**, 534-538
- VIZAROVA, G., 1975: Effect of powdery mildew on the level of endogenous cytokinins in barley with regard to resistance. *Phytopath. Z.* **84**, 105-114
- WINTER, A.G., 1951: Untersuchungen über die Verbreitung und Bedeutung der Mykorrhiza bei kultivierten Gramineen und einigen anderen landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. *Phytopathol. Zeitschrift* **17**, 421-432
- WINTER, A.G., 1953: Altes und Neues von der Mykorrhiza. *ORION, naturw.-techn. Zeitschrift für Jedermann* **9**, 1-5

- Winter, A.G., und G. Birgel, 1953: Untersuchungen über die Verbreitung, Ökologie und funktionelle Bedeutung der endotrophen Mykorrhiza bei gärtnerischen Kulturpflanzen. *Die Naturwissenschaften* 14, 393-394
- Winter, A.G., und K.A. Meloh, 1958: Untersuchungen über den Einfluß der endotrophen Mykorrhiza auf die Entwicklung von *Zea Mays*. *Die Naturwissenschaften* 45, 319

Horst D. Mohr

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft,  
Institut für Pflanzenschutz im Weinbau, Bernkastel-Kues

## **Mykorrhiza im deutschen Weinbau - Bestandsaufnahme und Perspektiven**

### 1 Einleitung

Ziel einer nachhaltigen Landwirtschaft ist es, die Bodenfruchtbarkeit zu erhalten und möglichst zu steigern. Das im Boden gespeicherte Niederschlagswasser soll, zusammen mit den aus der Düngung stammenden Nährstoffen, möglichst optimal für die Kulturpflanzen nutzbar gemacht werden. Nährstoffverluste sind, auch zum Schutze der Umwelt, zu vermeiden. Der chemische Pflanzenschutz soll im Sinne des Pflanzenschutzgesetzes auf das notwendige Maß beschränkt werden. Ein weiteres, in letzter Zeit an Bedeutung gewinnendes Ziel ist es, Beeinträchtigungen der Pflanze durch Streßfaktoren wie Hitze, Trockenheit oder parasitäre Krankheiten mit Hilfe von Kultur- oder Züchtungsmaßnahmen zu reduzieren (SEIDEL 1996).

In diesem Zusammenhang ist die arbuskuläre Mykorrhiza (AM), eine Symbiose aus bodenbewohnenden Pilzen und Pflanzenwurzeln, ein wichtiger Faktor. Vielfältige positive Wirkungen auf die Pflanze wurden bereits nachgewiesen. In der hier vorliegenden Arbeit soll die Bedeutung der AM für die Rebe, soweit bekannt, dargelegt werden. Im zweiten Teil wird erörtert, welchen Beitrag die AM im modernen Weinbau leisten könnte. Dabei wird auf einer früheren Publikation (MOHR 1992) aufgebaut.

### 2 AM im Weinbau - eine Bestandsaufnahme

#### 2.1 Verbreitung der arbuskulären Mykorrhiza (AM)

Die AM wurde weltweit im Weinbau gefunden, so z.B. in Australien (POSSINGHAM u. GROOT OBBINK 1971), im Staat New York (DEAL et al. 1972), in Spanien (HAYMAN et al. 1976), Griechenland (JEFFRIES et al. 1988) und der Schweiz (FREY 1990). In verschiedenen deutschen Weinbaugebieten wurde sie von BRENDEL et al. (1990), LINDEMANN (1991), MOHR (1992) und SCHROPP et al. (1996) nachgewiesen. Es ist daher anzunehmen, daß AM-Pilze in allen Weinbaugebieten der Erde vorkommen.

## 2.2 Wurzel- und Sproßwachstum

DEAL et al. (1972) wiesen bei Rebsämlingen innerhalb von 15 Tagen nach Erscheinen der Wurzeln eine Mykorrhizierung nach. Bei Anwesenheit alter, AM-infizierter Rebwurzelstücke im Boden erhöhte sich die Mykorrhizierungsrate z.T. erheblich. EIBACH (1982) stellte bei AM-infizierten Rebstecklingen eine frühere Seitenwurzelbildung fest. SIEVERS (1958) beobachtete bei mykorrhizierten Rebwurzeln eine koralloide Verzweigung mit verdickten Seitenwurzeln. RAVOLANIRINA (1990) fand bei mykorrhizierten Reben, die 'in vitro' gewonnen worden waren, einen höheren Verzweigungsgrad des Wurzelsystems und kürzere Seitenwurzeln als bei nicht infizierten Pflänzchen. Auch bei anderen Holzpflanzen (*Theobroma cacao*, *Hevea*, *Populus*) wurde eine stärkere Feinwurzelbildung nach Besiedlung mit AM-Pilzen beobachtet (FELDMANN 1990, AZIZAH CHULAN et al. 1992, HOOKER et al. 1992). Diese und andere Wachstumseffekte könnten maßgeblich durch hormonelle Einflüsse bedingt sein. Tatsächlich wurden in mykorrhizierten Pflanzen erhöhte Cytokin- und Auxingehalte gefunden (s. bei RAVOLANIRINA 1990).

EIBACH (1982) fand in Gefäßversuchen bei AM-infizierten wurzelechten Reben, Pfropfreben und Sämlingen ein verstärktes Triebängenwachstum und eine größere Einzelblattfläche. Bei niedrigem Phosphatgehalt des Bodens förderte die Mykorrhiza vornehmlich das Wurzelwachstum, bei höherem Phosphatgehalt dagegen das Sproßwachstum. Bodentrockenheit begünstigte, insbesondere bei Anwesenheit von AM, die Wurzelbildung, so daß das Sproß/Wurzel-Verhältnis enger wurde. Daraus schloß EIBACH auf eine höhere "Trockentoleranz" mykorrhizierter Reben. Dies war umso erstaunlicher, als der Mykorrhizierungsgrad in trockenem Boden mit 7 % deutlich geringer war als in feuchtem, wo er 32 % betrug. Dies ist ein Hinweis darauf, daß die Mykorrhizierungsrate kein absolutes Maß für die Wirksamkeit einer AM-Infektion ist.

In einem eigenen Gefäßversuch wuchsen AM-infizierte Reben bei einem P-Gehalt des Bodens von 12 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g Boden (CAL-Auszug) weitaus besser als nicht infizierte (Abb. 1). Auch GIOVANETTI et al. (1988) fanden eine starke Zunahme des Rebwachstums durch AM-Pilze. Diese kann z.T. damit erklärt werden, daß sich der Einzugsbereich der Rebwurzeln vergrößert. Die Wurzelhaare von Rebwurzeln sind mit einer Länge von ca. 0,1 - 0,2 mm (max. 0,5 mm) deutlich kürzer als etwa die von Mais (ca. 2 - 3 mm) und scheinen nicht regelmäßig vorzukommen (MOHR 1988; vergl. auch RICHARDS 1983). Die Hyphen von AM-Pilzen können dagegen mindestens 10 cm lang werden (LI et al. 1991).

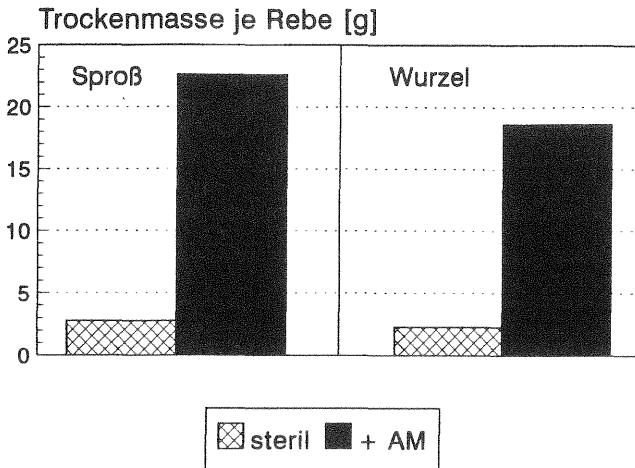


Abb. 1: Einfluß arbuskulärer Mykorrhiza (AM) auf die Sproß- und Wurzelmasse acht verschiedener Rebsorten am Ende eines zweijährigen Gefäßversuchs (Mittelwerte).

### 2.3 Bodeneigenschaften

Eine Erhebungsuntersuchung in 28 Weinbergen der Mittleren Mosel führte zu folgendem Ergebnis: In allen Weinbergen wurden mykorrhizierte Rebwurzeln gefunden, allerdings schwankte der Mykorrhizierungsgrad in Abhängigkeit von den Bodeneigenschaften erheblich. Mit steigendem Skelett-, Sand-, Humus- und P-Gehalt des Bodens nahm die Mykorrhizierung ab, mit steigendem Schluffanteil des Bodens und mit zunehmendem Bedeckungsgrad der Beikräuter dagegen zu. Der pH-Wert hatte nur einen geringen Einfluß (MOHR 1997). Letzterer Befund stimmt mit Ergebnissen von WANG et al. (1993) bei Ackerkulturen überein. Die Autoren fanden allerdings einen deutlichen Einfluß der Bodenreaktion auf die Sporenzahl, die mit sinkendem pH abnahm.

EIBACH (1982) fand in Gefäßversuchen mit Reben und in Proben aus verschiedenen deutschen Anbaugebieten bei steigendem Phosphatgehalt des Bodens eine deutliche Abnahme der Mykorrhizierung. Der Infektionsgrad der Rebwurzeln ging von 31 % bei 1 mg  $P_2O_5/100$  g auf 5 % bei 50 mg  $P_2O_5/100$  g Boden (CAL-Auszug) zurück. BRENDEL et al. (1990) stellten eine entsprechende Beziehung zwischen dem Phosphatgehalt und dem Vorkommen von AM-

Sporen fest. In Gefäßversuchen wuchsen AM-infizierte Reben bei einem niedrigen Phosphat-Gehalt des Bodens (11 mg  $P_2O_5$ /100 g im CAL-Auszug) wesentlich besser als nicht infizierte (MOHR 1992).

#### 2.4 Mineralische Ernährung der Rebe

BÄRTSCHI und GARREC (1980) fanden eine Anreicherung von P in den AM-Hyphen, die in der Rinde von Rebwurzeln wuchsen. BAVARESCO und FOGHER (1991) ermittelten nach Inokulation von Rebstecklingen mit *Glomus mosseae* und *Pseudomonas fluorescens* erhöhte N-, P-, Fe-, Mn, Cu- und B-Gehalte in der Blattfrischmasse. In Gefäßversuchen von EIBACH (1982) wuchsen die Reben nach AM-Infektion erheblich besser, der Phosphatgehalt in der Trockensubstanz nahm um 18 - 188 % zu. WASCHKIES (1992) fand in mykorrhizierten Topfreben bei etwa verdoppelter Sproßtrockenmasse keine wesentlich veränderten P-, K-, Ca- und Mn-Gehalte und nur einen leichten, nicht signifikanten Anstieg des Fe-Gehalts. Die AM gedeiht häufig am besten in phosphorarmen Böden. So waren in eigenen Gefäßversuchen Rebwurzeln bei einem Phosphatgehalt des Bodens von 50 mg  $P_2O_5$  je 100 g nur schwach, bei 1 bzw. 11 mg  $P_2O_5$  je 100 g (CAL-Auszug) dagegen gut mykorrhiziert. DEAL et al. (1972) stellten in einem Gefäßversuch mit Reben bei einer Mykorrhizierungsrate der Wurzeln von 82 % ein vierfach höheres Frischgewicht und doppelt so viel P und K, aber weniger Ca, Mg, Na, Zn, Fe, Cu, B und Al in der Trockensubstanz fest als bei Pflanzen mit nur 9 % Mykorrhizierung. Bei der Interpretation solcher Ergebnisse ist u.a. zu berücksichtigen, daß das bessere Wachstum mykorrhizierter Pflanzen i.d.R. eine "Verdünnung" ihres Nährstoffgehalts bewirkt. Generell ist bei AM-infizierten Pflanzen eine verstärkte Aufnahme von P, N, K, Ca, Zn und Cu zu erwarten (MARSCHNER u. DELL 1994; MÄDER 1996). PEARSON und JAKOBSEN (1993) konnten bei Kürbis zeigen, daß die Wurzel wenig P aufnimmt, wenn der AM-Pilz viel P liefert.

#### 2.5 Trockenresistenz

EIBACH (1982) fand, daß Bodentrockenheit, insbesondere bei Anwesenheit von AM, die Wurzelbildung förderte, so daß das Sproß/Wurzel-Verhältnis enger wurde. Daraus leitete die Autorin eine höhere "Trockentoleranz" mykorrhizierter Reben ab. Auf eine stärkere Beeinträchtigung der AM durch Trockenheit schloß EIBACH (1982), weil sie in Braunerde eine fast doppelt so hohe Infektionsrate wie in Sandboden fand. Feuchter Boden förderte auch in Untersuchungen von YOCOM et al. (1987) die AM-Infektion von Getreidewurzeln stärker

als trockener. Die Bedeutung der AM für die Wasserversorgung der Rebe ist ungeklärt. Es ist jedoch generell davon auszugehen, daß mykorrhizierte Pflanzen stärker transpirieren. Dies hängt mit der erhöhten stomatären Leitfähigkeit zusammen (SMART u. COOMBE 1983). Das verbrauchte Wasser wird dabei allerdings effektiver umgesetzt, d. h., je Mengeneinheit Bodenwasser wird mehr Pflanzsubstanz gebildet (SIEVERDING 1980). Die Folge kann aber sein, daß die Wasservorräte eines Standorts stärker erschöpft werden.

## 2.6 Begrünung

LINDEMANN (1991) untersuchte in den Weinbaugebieten Ahr, Mosel/Saar/Ruwer, Rheingau, Franken und Markgräflerland anhand einiger Stichproben die Mykorrhizierung von Rebwurzeln. Er fand in unbegrünten Anlagen Mykorrhizierungsraten von 21 bis 60 %. In begrünten Anlagen war die Mykorrhizierung um 50 bis 100 % stärker. NAPPI et al. (1985) fanden in Weinbergsböden von Piedmont/Italien eine statistisch gesicherte Korrelation zwischen der Masse feiner Rebwurzeln und dem Vorkommen von AM-Sporen. Während aber die Sporenzahl mit zunehmender Bodentiefe abnahm, veränderte sich der Mykorrhizierungsgrad der Rebwurzeln bis in 170 cm Tiefe kaum. Die Mykorrhizierung der Rebwurzeln war in nährstoff- und humusarmen Böden am höchsten, während die begrünten oder mit Rindenmulch bedeckten Böden das höchste Sporenvorkommen hatten. Mykorrhizierung und Sporulation verliefen also nicht gleichsinnig. Auch MOHR (1996) und SCHROPP et al. (1996) konnten eine Förderung der Mykorrhizierung von Rebwurzeln durch Begrünungspflanzen feststellen. In Untersuchungen von HENDRIX et al. (1995) aus dem Feldbau wurde das AM-Artenspektrum stark durch die Begrünungspflanzen beeinflusst. Untersuchungen von KÜHN et al. (1991) und KÜHN (1991) an spontan angesiedelten Pflanzen einer Ackerbrachfläche ergaben deutliche Unterschiede im zeitlichen Verlauf der AM-Infektion und dem schließlich erreichten Mykorrhizierungsgrad der Wurzeln. SCHENCK u. SEQUEIRA (1987) fanden in Agroökosystemen höhere Sporenzahlen, aber weniger AM-Arten als in natürlichen Ökosystemen. Umgekehrt wurde bei Anwesenheit von AM-Pilzen eine artenreichere Flora festgestellt, da insbesondere Arten mit kleinen Samen und dementsprechend geringem Nährstoffvorrat gefördert wurden (GRIME et al. 1987). MOHR (1994) fand bei 15 spontanen angesiedelten Pflanzenarten einer Rebschulbrache stets eine Mykorrhizierung, die allerdings unterschiedlich stark war. Diese Befunde sprechen für artenreiche Begrünungen im Weinbau.

### 2.7 Bodenverdichtungen, Chlorose

Die Chlorose (Bleichsucht) ist eine wirtschaftlich bedeutsame physiologische Störung, die im Weinbau gemäßiger Klimate auf verdichteten, insbesondere kalkreichen, Böden vorkommt. Grundsätzlich scheint die Mykorrhizierung in verdichteten Böden nicht geringer zu sein als in unverdichteten, wie NADIAN et al. (1996) bei *Trifolium subterraneum* zeigen konnten. Die Durchwurzelung ist aber schwächer. BAVARESCO u. FOGHER (1991) berichteten von einer Steigerung des Fe- und Chlorophyllgehalts chloroseanfälliger Rebsorten nach Inokulation des Kalkbodens mit *Glomus mosseae* und *Pseudomonas fluorescens*. Eine Förderung der Fe-Aufnahme bei AM-infizierten Pflanzen scheint aber nicht die Regel zu sein (GNEKOW u. MARSCHNER 1989; CUENCA et al. 1990; MARSCHNER u. DELL 1994; KARAGIANNIDIS et al. 1995).

### 2.8 Pflanzenschutz, Bodenentseuchung, Schwermetalle

Beeinflussungen und z. T. auch Schädigungen von AM-Pilzen durch Fungizidwirkstoffe wurden nachgewiesen, wobei die Befunde jedoch uneinheitlich sind (DOMSCH 1992). In Gefäßversuchen fand EIBACH (1982) nach Behandlung von Reben mit Pflanzenschutzmitteln unterschiedliche Einflüsse auf AM-Pilze. Während die Wirkstoffe Captan und Mancozeb (Pomuran) sowie Triadimefon (Bayleton) die Symbiose geringfügig beeinträchtigten, wirkte Benomyl stärker hemmend. Dieses systemische Fungizid wird aber im deutschen Weinbau nicht mehr eingesetzt. Nach Behandlung von Pflanzen mit Kupfer wurde eine Förderung der AM festgestellt (s. bei EIBACH 1982), was sich mit der verbesserten Assimilationsleistung der geschützten Blätter erklären läßt. Über Beeinflussungen von AM-Pilzen durch bestimmte Herbizid-Wirkstoffe wurde berichtet, im Falle von Paraquat auch über langanhaltende Schädigungen (DOMSCH 1992). Weit größer dürfte jedoch die indirekte Schadwirkung sein, die aus der Beseitigung von Beikräutern im Weinberg resultiert. Da aber im deutschen Weinbau fast nur noch Blattherbizide eingesetzt werden, kann sich, vor allem im Winterhalbjahr, eine Beikrautflora entwickeln. In Versuchen von AN et al. (1993) tötete eine Bodenentseuchung die meisten AM-Pilze in den obersten 15 Zentimetern ab. Sie erholten sich unterschiedlich gut. Der Soja-Ertrag war dennoch erhöht. Dies stimmt mit Erfahrungen aus dem Weinbau überein: Der in der Vergangenheit zur Bodenentseuchung eingesetzte Schwefelkohlenstoff bewirkte, daß sich die Jungreben oft besonders gut entwickelten. Dies war auf die Abtötung von Bodenorganismen, insbesondere von Viren und anderen Schadorganismen, sowie auf den daraus resultierenden Nährstoffeffekt zurückzuführen.



Bei AM-infizierten Pflanzen wurde eine schwächere Nematoden-Vermehrung gefunden als bei AM-freien. Diese Ergebnisse beziehen sich auf endoparasitisch lebende Nematoden der Gattung *Meloidogyne*. Diese kommen zwar weltweit auch an Reben vor (PEARSON u. GOHEEN 1988), haben im deutschen Weinbau aber keine Bedeutung. Ob die bei unseren Reben als Überträger von Nepoviren bedeutsamen ektoparasitischen Nematoden der Gattungen *Xiphinema* und *Longidorus* ebenfalls durch AM in ihrer Entwicklung behindert werden, bleibt zu klären. Wenig ermutigend sind allerdings Befunde, wonach AM die Virusvermehrung in der Pflanze förderte, und zwar vor allem in der Nähe der Arbuskeln. Was die sog. Rebmüdigkeit von Rebschulböden betrifft, so konnte WASCHKIES (1992) in Gefäßversuchen beachtliche Erfolge mit AM-Pilzen erzielen. Nach ihren Untersuchungen sind fluoreszierende Pseudomonaden, die auf der Oberfläche von Rebwurzeln leben, eine wesentliche Ursache der Rebmüdigkeit. AM-Pilze, insbesondere ein Isolat von *Glomus mosseae*, erwiesen sich dabei als wirksame Gegenspieler. Sie führten zu einem signifikanten Rückgang der Pseudomonaden auf der Wurzeloberfläche, was zu einem verbesserten Wurzel- und Sproßwachstum führte.

Unter den Schwermetallen wirkt Kupfer nicht nur auf Pflanzenwurzeln (MOHR 1985), sondern möglicherweise auch auf AM-Pilze stark toxisch (IETSWAART et al. 1992). Die Untersuchungen von WEISSENHORN et al. (1994) weisen darauf hin, daß AM-Pilze unterschiedlich stark durch Schwermetalle wie Cd oder Zn geschädigt werden und z. T. in kurzer Zeit eine Toleranz entwickeln können.

### 3 Perspektiven

Im folgenden soll erörtert werden, welchen Beitrag die AM im Rahmen des modernen, integrierten Weinbaus leisten kann. Dabei wird auch auf offene Fragen hingewiesen.

#### 3.1 Chlorose, Begrünung

Wieweit bei der Vermeidung bzw. Behebung der Chlorose (Bleichsucht) Unterstützung von AM-Pilzen zu erwarten ist, ist ungeklärt. Ein positiver Einfluß der Begrünung auf die Mykorrhizierung von Reben wurde in eigenen Untersuchungen, sowohl im Gefäßversuch als auch im Freiland, nachgewiesen. Auch aus vielen anderen Gründen ist die Begrünung ein äußerst wichtiger Baustein im Ökosystem Weinberg. Artenreiche Einsaaten sind artenarmen vorzuziehen. Kreuzblütler, zu denen so wichtige Begrünungspflanzen wie Raps, Senf oder

Ölrettich zählen, werden nicht durch AM besiedelt und sollten daher nicht mehrere Jahre hintereinander angesät werden.

### 3.2 Wasser, Nährstoffe

Die AM ermöglicht der Pflanze unter Wasserstreß-Bedingungen eine effektivere Ausnutzung des Bodenwassers. Dabei wird aber u. U. der Wasservorrat des Standorts stärker erschöpft als ohne AM. Nach TOBAR et al. (1994) wird die Nährstoffaufnahme der Pflanze durch AM besonders bei Trockenheit verbessert. Eingehende Untersuchungen an Reben zu diesen Fragen fehlen bisher. Über den Einfluß der Bodeneigenschaften auf die Mykorrhizierung von Rebwurzeln liegen vereinzelte Befunde vor. So zeigte eine an der Mittleren Mosel durchgeführte Erhebungsuntersuchung, daß die Mykorrhizierung von Rebwurzeln zwar mit zunehmendem P-Gehalt der Böden abnahm, aber selbst bei dem relativ hohen Gehalt von 79 mg  $P_2O_5/100$  g Boden (CAL-Auszug) noch nachzuweisen war (MOHR 1997). Dabei konnte allerdings keine Aussage über das Artenspektrum der AM-Pilze gemacht werden. Es ist gegenwärtig auch nicht möglich, zu beurteilen, welcher Mykorrhizierungsgrad bei Rebwurzeln mindestens erforderlich ist, um nachweisbare Reaktionen der Rebe auszulösen.

### 3.3 Pflanzenschutz, Bodenentseuchung, Schwermetalle

Die Gefahr, die von den heute zugelassenen Pflanzenschutzmitteln, Herbizide eingeschlossen, auf AM-Pilze ausgeht, dürfte eher gering sein. Neue, sog. interspezifische Rebsorten sind, wie sich inzwischen gezeigt hat, häufig nicht völlig resistent gegenüber Pilzkrankheiten wie Echtem und Falschem Mehltau oder Rotem Brenner. Daher ist ein gewisser Pflanzenschutz auch bei diesen Sorten erforderlich. In Gefäßversuch gehen wir z. Z. der Frage nach, wie sich eine Inokulation der Rebwurzeln mit AM-Pilzen auf den Befall der Blätter mit Echtem Mehltau (*Oidium*) auswirkt. Bodenentseuchungsmittel wurden im deutschen Weinbau in den letzten Jahren nicht mehr verwendet. Seit kurzem kann jedoch Schwefelkohlenstoff in reblausverseuchten Weinbergen grundsätzlich wieder eingesetzt werden, wenn auch unter voraussichtlich restriktiven Bedingungen. Wie stark und nachhaltig hierdurch AM-Pilze geschädigt werden, ist unbekannt. Zu klären bleibt auch, ob AM-Pilze im Freiland zur Verringerung der sog. Rebmüdigkeit beitragen. Ungeklärt ist ferner, in welchem Maße die erhöhten Kupfergehalte "alter" Weinbergsböden AM-Pilze schädigen.

### 3.4 Einsatz von AM-Inokulum in der Praxis

Angesichts der wachstumsfördernden Wirkungen der AM lag der Gedanke nahe, Pflanzen schon in einem frühen Stadium zu inokulieren. RAVOLANIRINA (1990) zog Reben in

Gewebekultur an und inokulierte sie sowohl 'in vitro' als auch 'post vitro'. Während in der in-vitro-Phase erhebliche Schwierigkeiten auftraten, konnte in der frühen Anpassungsphase (post vitro) eine starke Mykorrhizierung erreicht werden. Dadurch wurde die Entwicklung beschleunigt und qualitativ hochwertiges Pflanzenmaterial gewonnen. 100 g Inokulum reichten zur Gewinnung von 500 vitalen Rebplänzchen aus. Auch SCHUBERT et al. (1990) inokulierten Unterlagsreben nach in vitro-Anzucht mit verschiedenen AM-Pilzen und fanden eine Wachstumsförderung. Zwei dieser AM-Pilze tolerierten auch höhere P-Düngungsstufen. KUO et al. (1987) inokulierten aus Gewebekultur hervorgegangene Reben nach 30 Tagen, beim Umpflanzen in ein Vermikulit-Torf-Sand-Boden-Substrat. Sie stellten drei Wochen nach der Inokulation eine Infektion der Rebwurzeln und später ein signifikant besseres Wachstum der Rebpflanzen fest. In Deutschland ist bisher kein routinemäßiger Einsatz von AM-Inokulum bei der in-vitro-Vermehrung von Reben bekannt geworden.

HEINZEMANN und WERITZ (1990) erzielten bei Gurkenpflanzen, die sie in einem Hydrokultursystem mit Steinwolle kultivierten, eine gute AM-Infektion und -Vermehrung. Ob sich solche oder ähnliche Substrate für die Rebenvermehrung eignen, bleibt zu prüfen. SCHROPP et al. (1996) konnten bei der Herstellung von Rebpflanzgut ein verbessertes Wachstum AM-infizierter Topfreben feststellen. KUO et al. (1987) fanden nach dem Auspflanzen mykorrhizierter Reben ins Freiland ein signifikant stärkeres Wachstum. Hierzu sind Versuche auch im deutschen Weinbau erforderlich. Die Frage, wie lange sich die inokulierten AM-Pilze im Weinberg halten, ist offen. Ob sich AM-inokuliertes Rebpflanzgut auf dem Markt durchsetzt, wird sich nicht zuletzt an der Kostenfrage entscheiden. Routinemäßig eingesetzt werden AM-Pilze z. B. im Citrusanbau, in der Blaubeerproduktion und bei der Stecklingsvermehrung von Obstgehölzen (GIANINAZZI et al. 1990; LOVATO et al. 1994).

#### 4 Zusammenfassung

Der Einfluß der arbuskulären Mykorrhiza (AM) auf Wachstum, Wasserversorgung und mineralische Ernährung der Rebe wird dargelegt. Gezeigt wird weiterhin, welche Bedeutung Bodeneigenschaften, Bodenpflege, Pflanzenschutz, Bodenentseuchung und Schwermetalle für die AM haben. Erörtert wird, welchen Beitrag die AM zum modernen Weinbau leisten könnte.

Von besonderem Interesse sind Hinweise auf eine Verbesserung der Resistenz von Reben gegenüber abiotischen (z. B. Trockenheit) und biotischen Faktoren (z. B.

Pilzkrankheiten). Eine erhöhte Anpassungsfähigkeit der Reben wäre insbesondere an schwierigen Standorten (z. B. in Steillagen) von großer praktischer Bedeutung. Die AM paßt gut in den Rahmen eines umweltfreundlichen, geringe Düngermengen benötigenden Weinbaus mit weitgehend geschlossenen Stoffkreisläufen. Hierzu sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Die Erzeugung mykorrhizierten Rebpfanzguts eröffnet, auch im Hinblick auf einen verbesserten Anwuchs im Weinberg, neue Möglichkeiten, die genutzt werden sollten. In älteren Rebanlagen können die autochthonen AM-Pilze vom Winzer gefördert werden. Dies geschieht durch Maßnahmen, die ohnehin im Rahmen des integrierten Weinbaus gefordert werden: mäßige Düngung (vor allem beim Phosphor) und artenreiche Begrünungen. Insbesondere die Dauerbegrünung ist im deutschen Weinbau auf dem Vormarsch, wenn auch die letzten trockenen Jahre die Grenzen dieser umweltfreundlichen Bodenpflegevariante demonstriert haben.

#### Literatur

- AN, Z.-Q., HENDRIX, J. W., HERSHMAN, D. E., FERRIS, R. S. and HENSON, G. T. 1993: The influence of crop rotation and soil fumigation on a mycorrhizal fungal community associated with soybean. *Mycorrhiza* 3, 171-182.
- AZIZAH CHULAN, H. and MARTIN, K. 1992: The vesicular-arbuscular (VA) mycorrhiza and its effects on growth of vegetatively propagated *Theobroma cacao* L.. *Plant and Soil* 144, 227-233.
- BÄRTSCHI, H. et GARREC, J. P. 1980: Étude comparative de la repartition cytologique de quelques éléments minéraux dans l'écorce de racines saines et d'endomycorhizes de *Vitis vinifera* L.. *C. R. Acad. Sc. Paris, Série D*; 290; 919-922.
- BAVARESCO, L. and FOGHER, C. 1991: Effect of *Pseudomonas fluorescens* and *Glomus mosseae* on chlorosis occurrence in grapevine ungrafted rootstocks. Tagungsband der OILB, Arbeitsgruppe "Lutte intégrée en viticulture", Conegliano, Italien, 26.-28.2.1991.
- BRENDEL, G., BÜSCHER, E. und STEINBERG, B. 1990: Untersuchungen über das Vorkommen der vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza in Weinbergböden des Rheingaus. *Vitic. Enol. Sci* 45, 97-100.
- CUENCA, G., HERRERA, R. and MENESES, E. 1990: Effects of VA mycorrhiza on the growth of cacao seedlings under nursery conditions in Venezuela. *Plant and Soil* 126, 71-78.
- DEAL, D. R., BOOTHROYD, C. W. and MAI, W. F. 1972: Replanting of vineyards and its relationship to vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Phytopathology* 62, 172-175.
- DOMSCH, K. H. 1992: Pestizide im Boden. Mikrobieller Abbau und Nebenwirkungen auf Mikroorganismen. VCH-Verlag Weinheim, New York, Basel, Cambridge.

- EIBACH, H. 1982: Die vesikuläre-arbuskuläre Mykorrhiza der Rebe. Diss. Hohenheim.
- FREY, B. 1990: Ein Pilz als Koordinator interdisziplinärer Forschung. Schweiz. Zeitschrift für Obst- und Weinbau 126, 692-694.
- GIANINAZZI, S., TROUVELOT, A. and GIANINAZZI-PEARSON, V. 1990: Role and use of mycorrhizas in horticultural crop production. Planary lecture presented at the XXIII International Horticultural Congress - International Society for Horticultural Science - Firenze (Italy), 27.8.-1.9.1990, 25-30.
- GIOVANETTI, M., SCHUBERT, A., CRAVERO, M. C. and SALUTINI, L. 1988: Spore production by the vesicular-arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus monosporum* as related to host species, root colonization and plant growth enhancement. Biol. Fertil. Soils 6, 120-124.
- GNEKOW, M. A. and MARSCHNER, H. 1989: Role of VA-mycorrhiza in growth and mineral nutrition of apple (*Malus pumila* var. *domestica*) rootstock cuttings. Plant and Soil 119, 285-293.
- HAYMAN, D. S., BAREA, J.-M. and AZCON, R. 1976: Vesicular-arbuscular mycorrhiza in Southern Spain: its distribution in crops growing in soil of different fertility. Phytopathologia mediterranea 15, 1-6.
- HEINZEMANN, J. und WERITZ, J. 1990: Steinwolle: ein neuer Trägerstoff zur Vermehrung von vesikulär-arbuskulären Mykorrhizapilzen. Angew. Botanik 64, 271-274.
- HOOKE, J. E., MUNRO, M. and ATKINSON, D. 1992: Vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi induced alteration in poplar root system morphology. Plant and Soil 145, 207-214.
- IETSWAART, J. H., GRIFFIOEN, W. A. J. and ERNST, W. H. O. 1992: Seasonality of AM infection in three populations of *Agrostis capillaris* (Gramineae) on soil with or without heavy metal enrichment. Plant and Soil 139, 67-73.
- JEFFRIES, P., SPYROPOULOS, T. and VARDAVARKIS, E. 1988: Vesicular-arbuscular mycorrhizal status of various crops in different agricultural soils of northern Greece. Biol. Fertil. Soils 5, 333-337.
- FELDMANN, F. 1990: Die Mykorrhiza des Kautschukbaumes *Hevea spec.* Müell. Arg.: Vorkommen am Naturstandort und in Plantagen - Wirkung auf das Resistenzverhalten - Nutzung im Plantagenbau. Diss. Braunschweig.
- GRIME, J. P., MACKAY, J. M. L., HILLIER, S. H. and READ, D. J. 1987: Mechanisms of floristic diversity: a key role for mycorrhizae. Proceedings of the 7th North American Conference on Mycorrhizae, Gainesville, Florida, May 3-8, 151.
- KARAGIANNIDIS, N., NIKOLAOU, N., MATTHEOU, A. (1995): Influence of three arbuscular mycorrhiza species on the growth and nutrient uptake of three grapevine rootstocks and one table grape cultivar. Vitis 34, 85-89.
- KÜHN, K.-D. 1991: Distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on a fallow agriculture site. II. Wet habitat. Angew. Botanik 65, 187-203.
- KÜHN, K.-D., WEBER, H.-Chr., DEHNE, H.-W. and GWORGWOR, N. A. 1991: Distribution of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on a fallow agriculture site. I. Dry habitat. Angew. Botanik 65, 169-185.
- KUO, S. C., BI, K. C. and LI, Z. S. 1987: Effects of VA mycorrhizae on the growth of tissue-cultured grapevine shoots. Proceedings of the 7th North American Conference on Mycorrhizae, Gainesville, Florida, May 3-8, 29.
- LI, X.-L., GEORGE, E. and MARSCHNER, H. 1991: Extension of the phosphorus depletion zone in VA-mycorrhizal white clover in a calcareous soil. Plant and Soil 136, 41-48.
- LINDEMANN, A. 1991: persönliche Mitteilung.

- LOVATO, P. E., HAMMATT, N., GIANINAZZI-PEARSON, V. and GIANINAZZI, S. 1994: Mycorrhization of micropropagated mature wild cherry (*Prunus avium* L.) and common ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Agricultural Science in Finland* 3, 297-302.
- MÄDER, P. 1996: Stickstoffversorgung durch Mykorrhizapilze. *Ökologie und Landbau* 24 (97), 36.
- MARSCHNER, H. and DELL, B. 1994: Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant and Soil* 159, 89-102.
- MOHR, H. D. 1985: Schwermetalle in Boden, Rebe und Wein - Untersuchungen zur Anreicherung von Schwermetallen aus Siedlungsabfällen (Müllkompost, Müllklärschlammkompost) in Weinbergböden, Reben, Most und Wein. Schriftenreihe des Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A: Angewandte Wissenschaft, Heft 308, 1-213.
- MOHR, H. D. 1988: Untersuchungen zum Wachstum von Rebwurzeln in Wurzelbeobachtungskästen. *Deutsches Weinbau-Jahrbuch* 40, 87-96.
- MOHR, H. D. 1992: Mykorrhiza bei Reben: Eine Lebensgemeinschaft mit Perspektiven. *Deutsches Weinbau-Jahrbuch* 1993 (44), 133-148.
- MOHR, H. D. 1994: Verteilung und Mykorrhizierung der Wurzeln von Reben und Begrünungspflanzen im Boden - Methodik und Anwendungsbeispiele. Aus: *Begrünung im Weinbau*. Sonderausgabe der Zeitschrift "Förderungsdienst", Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft Wien, 60-68.
- MOHR, H. D. 1996: Verteilung und Mykorrhizierung von Rebwurzeln bei unterschiedlicher Bodenpflege. *Obstbau Weinbau* 33, 204-205.
- MOHR, H. D. 1997: Wachstum und Mykorrhizierung von Rebwurzeln in Weinbergen des Moseltals. *Boden und Landschaft* (im Druck).
- NADIAN, H., SMITH, S. E., ALSTON, A. M. and MURRAY, R. S. 1996: The effect of soil compaction on growth and P uptake by the *Trifolium subterraneum*: interactions with mycorrhizal colonisation. *Plant and Soil* 182, 39-49.
- NAPPI, P., JODICE, R., LUZZATI, A. and CORINO, L. 1985: Grapevine root system and VA mycorrhizae in some soils of Piedmont (Italy). *Plant and Soil* 85, 205-210.
- PEARSON, R. C. and GOHEEN, A. C. 1988: *Compendium of grape diseases*. APS Press. The American Phytopathological Society.
- PEARSON, J. N. and JACOBSEN, I. 1993: The relative contribution of hyphae and roots to phosphorus uptake by arbuscular mycorrhizal plants, measured by dual labelling with  $^{32}\text{P}$  and  $^{33}\text{P}$ . *New Phytol.* 124, 489-494.
- POSSINGHAM, J. V. and GROOT OBBINK, J. G. 1971: Endotrophic mycorrhiza and the nutrition of grape vines. *Vitis* 10, 120-130.
- RAVOLANIRINA, F. 1990: L'endomycorrhization VA des plantes ligneuses (vigne, pommier et poirier) micropropagées: Techniques d'inoculation, analyse de la morphogenèse racinaire et approches biochimique et immunologique. Thèse. Université de Bourgogne.
- RICHARDS, D. 1983: The grape root system. *Horticultural Reviews* 5, 127-168.
- SCHENCK, N. C. and SEQUEIRA, J. O. 1987: Ecology of VA mycorrhizal fungi in temperate agroecosystems. *Proceedings of the 7th North American Conference on Mycorrhizae*, May 3-8, Gainesville, USA, 2-4.
- SCHUBERT, A., MAZZITELLI, M., ARIUSSO, O. and EYNARD, I. 1990: Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on micropropagated grapevines: Influence of endophyte strain, P fertilization and growth medium. *Vitis* 29, 5-13 (1990).
- SCHROPP, A., PETGEN, M., MARSCHNER, H. 1996: Untersuchungen über den Einfluß der VA-Mykorrhiza an verschiedenen Unterlagensorten auf die Nährstoffaufnahme

- und die Bedeutung für den umweltschonenden Weinbau. Forschungsring des Deutschen Weinbaues, Jahresbericht 1995, 21-23.
- SEIDEL, P. 1996: Toleranz von Pflanzen gegen Stress - das Stiefkind der phytopathologischen Forschung? Berichte aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Heft 18.
- SIEVERDING, E. 1980: Einfluß der Bodenfeuchte auf Entwicklung und Effektivität der vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza. Diss. Göttingen.
- SIEVERS, E. 1958: Zur Mycorrhiza der Reben und ihrem Verhältnis zur Reiskrankheit. Weinberg und Keller 5, 139-146.
- SMART, R. E. and COOMBE, B. G. 1983: Water relations of grapevines. From: Water deficits and plant growth. Edited by T. T. Koslowski. Vol. VII: Additional woody crop plants. Academic press, 137-196.
- TOBAR, R., AZCON, R. and BAREA, J. M. 1994: Improved nitrogen uptake and transport from <sup>15</sup>N-labelled nitrate by external hyphae of arbuscular mycorrhiza under water-stressed conditions. New Phytol. 126, 119-122.
- WANG, G. M., STRIBLEY, D. P., TINKER, P. B. and WALKER, C. 1993: Effects of pH on arbuscular mycorrhiza. I. Field observations on the long-term liming experiments at Rothamsted and Woburn. New Phytol. 124, 465-472.
- WASCHKIES, Chr. 1992: Untersuchungen über die Ursachen der Rebenmüdigkeit auf Rebschulböden. Diss. Stuttgart-Hohenheim.
- WEISSENHORN, I., GLASHOFF, A., LEYVAL, C. and BERTHELIN, J. 1994: Differential tolerance to Cd and Zn of arbuscular mycorrhizal (AM) fungal spores isolated from heavy metal-polluted and unpolluted soils. Plant and Soil 167, 189-196.
- YOCOM, D. H., BOOSALIS, M. G., FLESSNER, T. R. and CUNNINGHAM, E. A. 1987: The effects of prolonged drought on the yield of mycorrhizal and nonmycorrhizal grain crops. Proceedings of the 7th North American Conference on Mycorrhizae, May 3-8, Gainesville, USA, 41.

**Matthias Petgen<sup>1</sup>, Alfons Schropp<sup>1</sup>, Horst Marschner†<sup>2</sup> und Volker Römheld<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Staatliche Lehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Weinbau und Gartenbau,  
Fachbereich Phytomedizin, 67435 Neustadt/Weinstraße

<sup>2</sup>Universität Hohenheim, Institut für Pflanzenernährung (330), 70593 Stuttgart

## **Untersuchungen über das Vorkommen der arbuskulären Mykorrhiza in verschiedenen Rebschulböden der Pfalz sowie deren praktische Anwendung in der Rebschule**

### 1. Einleitung

Die arbuskuläre Mykorrhiza (AM) mit Pilzarten aus der Familie der *Endogonaceae* ist als pilzliche Symbiose in Wurzeln höherer Pflanzen weit verbreitet. So findet man bei fast allen Pflanzenfamilien Mykorrhizen. Ausnahmen sind z.B. die Pflanzenfamilien der *Brassicaceae* und der *Chenopodiaceae*, die diese Symbiose nicht bilden. Die Symbiose basiert auf einem regen Stoffaustausch zwischen der Pflanze und dem Pilz, wobei die Pflanze den Pilzpartner mit Photoassimilaten versorgt und im Gegenzug dafür vor allem Nährstoffe über die Hyphen erhält. Durch die Besiedlung mit diesem Pilz kann das Wachstum der Pflanzen verbessert werden, was in erster Linie auf die verbesserte Nährstoffversorgung der Pflanzen zurückgeführt wird. Insbesondere auf phosphatarmen Böden kommt der arbuskulären Mykorrhiza eine große Bedeutung zu und kann essentiell für das Pflanzenwachstum sein. Aber auch in intensiv geführten Ackerbaukulturen kommt die Symbiose vor (BALTRUSCHAT und DEHNE, 1982). Die wachstumsfördernden Effekte der Mykorrhizabildung werden aber nicht nur auf eine verbesserte Nährstoffzufuhr zurückgeführt, sondern die Symbiose kann auch die Gesundheit der Wirtspflanzen in wesentlichem Ausmaß durch Unterdrückung von Pathogenen fördern.

Auch bei der Rebe konnte die arbuskuläre Mykorrhiza bereits in zahlreichen Weinbergböden nachgewiesen werden (POSSINGHAM und OBBINK, 1971; DEAL et al., 1972; GEBBING et al., 1977; MENGE et al., 1983; NAPPI et al., 1985; SCHUBERT und CRAVERO, 1985; BRENDEL et al., 1990). Bei den aufgeführten Untersuchungen handelte es sich um Ertragsanlagen, die bereits mehrere Jahre im Ertrag standen. Inwieweit die arbuskuläre Mykorrhiza auch in Rebschulen vorkommt, in denen die veredelten Pfropfreben für die Dauer einer Vegetationsperiode kultiviert und erst danach an den endgültigen Standort im Weinberg verpflanzt werden, war ein Ziel der vorliegenden Untersuchung. Aus der Literatur sind bisher zu diesem Themenkomplex keine Untersuchungen bekannt.



Als Qualitätskriterium für verkaufsfähiges Rebenpflanzgut gelten optimal ausgeprägte und gesunde Sprosse und Wurzeln der Jungreben. Voraussetzung für die optimale Rebenentwicklung ist ein gut vorbereitetes Pflanzbeet in der Rebschule und günstige Temperaturen und Niederschläge zur Zeit der Pflanzung. Aus zahlreichen Veröffentlichungen ist bekannt, daß in Gefäßversuchen durch Inokulation mit unterschiedlichen Mykorrhizastämmen enorme Wachstumssteigerungen bei Reben erzielt werden (SCHUBERT et al., 1988; SCHUBERT et al., 1990; KARAGIANNIDIS et al., 1995). Im Freiland konnte durch Inokulationen mit arbuskulären Mykorrhizen, z.B. bei Mais (*Zea mays* L.) die Biomasseproduktion deutlich erhöht werden (BALTRUSCHAT, 1987). Inwieweit solch ein positiver Wachstumseffekt auch im Freiland in Rebschulen bei Pfropfreben erreicht werden kann, sollte in einem praxisnahen Verfahren untersucht werden.

## 2. Material und Methoden

### 2.1 Untersuchung zum Mykorrhizierungsgrad von Jungreben in Rebschulen

Auf zehn verschiedenen Rebschulflächen in der Pfalz wurden in der Zeit vom 15.07. - 19.07.1996 Wurzelproben von den Pfropfkombinationen Riesling (*Vitis vinifera* L.) mit SO4 (*V. berlandieri* x *V. riparia*) und Müller-Thurgau (*V. vinifera*) mit 5BB (*V. berlandieri* x *V. riparia*) entnommen. Dazu wurde mit einem Spaten bei 5 bis 7 Reben an einer Seite der Mulchfolie aus einer Tiefe von etwa 30 cm gegraben (Abbildung 1), die Wurzeln entnommen und der AM-Infektionsgrad bestimmt. Für die Bestimmung des Infektionsgrades wurden nur lebende Wurzeln mit einem Durchmesser von weniger als 2 mm berücksichtigt.

Die Wurzelproben wurden in Anlehnung an die Methode von KOSKE und GEMMA (1989) in 10 % KOH für ca. 1 Stunde gebleicht, anschließend in alkalischer 3 % iger H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> für 10 Minuten nachgebleicht. Danach wurden die Wurzeln mit saurer Glycerinlösung (0,05% ig an Trypanblau) gefärbt. Die Bestimmung des Infektionsgrades der Wurzeln erfolgte mit der Intersektionsmethode nach GIOVANNETTI und MOSSE (1980). Bei der Wurzelprobenentnahme wurden gleichzeitig Bodenproben aus dem Oberboden (0-30 cm) gezogen und auf Phosphat untersucht (CAL-Methode). Pro Pfropfkombination und Standort wurden jeweils vier Proben zufällig verteilt auf dem Standort entnommen.

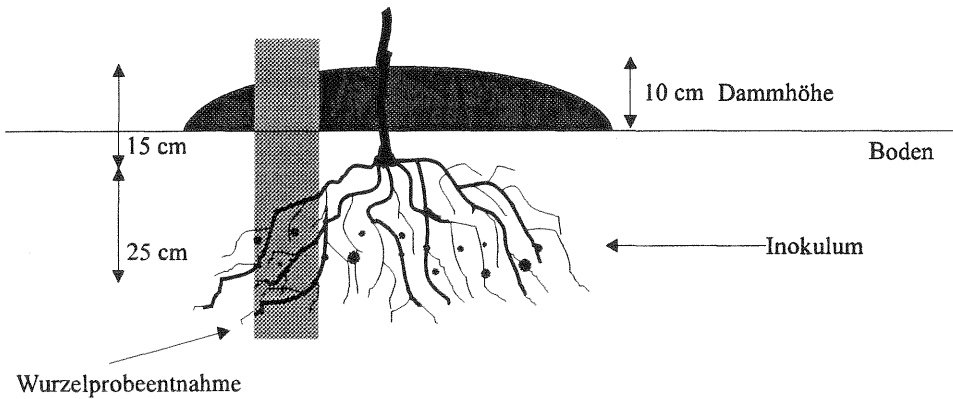
## 2.2 Feldversuch zur praktischen Anwendung einer Mykorrhiza-Inokulation in Rebschulen

Der Feldversuch zur Ausbringung von Mykorrhiza-Inokulum wurde auf zwei Rebschulflächen (Standort Harthäuser und Steingebiß) der Staatlichen Lehr- und Forschungsanstalt (SLFA) in Neustadt durchgeführt. Der Standort Harthäuser wurde seit 1974 als Rebschule genutzt, wobei nur alle 3 Jahre die Fläche mit Reben bepflanzt war. In den dazwischenliegenden Jahren wurde Ölrettich (*Raphanus sativus oleiformis* L.) als Zwischenfrucht eingesät. Beim Boden handelte es sich um einen sandigen Lehm mit einem pH-Wert von 7,1 (CaCl<sub>2</sub>) und einem Humusgehalt von 3,59%. Die Gehalte (mg / 100 g Boden) an extrahierbaren Nährstoffen lagen bei: 28,4 P (CAL), 28 K (CAL), 14 Mg (CaCl<sub>2</sub>).

Auf der zweiten Versuchsfläche wurden zum ersten Mal Reben angebaut. In den letzten 5 Jahren wurde auf dieser Fläche Getreide und Zuckerrüben angebaut. Beim Boden handelte es sich um einen Lehmboden mit einem pH-Wert von 7,85 (CaCl<sub>2</sub>) und einem Humusgehalt von 1,82%. Die Gehalte (mg / 100 g Boden) an extrahierbaren Nährstoffen lagen bei: 12 P (CAL), 7,7 Mg (CaCl<sub>2</sub>), 14,5 K (CAL).

Beide Versuche wurden in 4 Feldwiederholungen angelegt. Jede Variante umfasste 300 Reben auf einer Länge von 20 Metern. Vor dem Verlegen der Pflanzfolie (schwarze Polyethylenfolie) wurde mittels eines Pfluges in dem Bereich der späteren Pflanzreihe eine 25 cm tiefe Furche gezogen. In diese Furche wurde pro laufendem Meter Mulchfolie 100 ml Inokulum ausgebracht. In Abbildung 1 ist schematisch dargestellt, in welcher Tiefe sich das Inokulum befand.

Die Inokulation erfolgte mit Impfmateriel eines arbuskulären Mykorrhizapilzes (*Glomus sp.*), das vom Institut für Gemüsebau der TU München-Weihenstephan bereitgestellt wurde. Das Inokulum enthielt AM-infizierte Wurzeln aus einer Vermehrungskultur von *Glomus sp.* an Tagetes (*Tagetes erecta* L., cv. *Citronenprinz*) in Seramis®. In den Kontrollflächen wurde ebenfalls Seramis® mit Tageteswurzeln ausgebracht, allerdings ohne AM-Infektion an den Wurzeln.



**Abb 1:** Schematische Darstellung: Wurzelprobeentnahme und Inokulation mit *Glomus sp.* von Pfropfreben in der Rebschule

Zusätzlich zum Infektionsgrad der Rebwurzeln sollte der Inokulationserfolg an einer weiteren Pflanzenart untersucht werden. Deshalb wurde in jeder Variante über ein Meter Länge im Bereich der Mulchfolie in der Rebschule Harthäuser Weißklee (*Trifolium repens L., cv. Huja*) und in der Rebschule Steingeiß Mais (*Zea mays L., cv. Gelber Badischer Landmais*) als Indikatorpflanzen ausgesät, an denen ebenfalls der AM-Infektionsgrad untersucht wurde.

Die Ausbringung des Mykorrhiza-Materials erfolgte am 07.05.1996. Die Pfropfreben Riesling (*Vitis vinifera L.*) mit 5C (*V. berlandieri x V. riparia*) in der Versuchsfläche Harthäuser und Müller-Thurgau (*V. vinifera*) mit 5BB (*V. berlandieri x V. riparia*) in der Versuchsfläche Steingeiß wurden am 14.05.1996 gesteckt. Weißklee bzw. Mais wurden am 5.06.1996 ausgesät. Die erste Wurzelprobenentnahme erfolgte 5 Wochen nach dem Stecken der Reben. Um einen zeitlichen Verlauf des Infektionsgrades von den Rebwurzeln zu erhalten, wurden an zwei weiteren Terminen (7 und 17 Wochen nach dem Stecken der Reben) Wurzelproben entnommen. Die Wurzelprobenentnahme von der Indikatorpflanze Weißklee erfolgte nach 11 Wochen, die von Mais vergleichbar der Probenahme wie bei den Reben. Nach dem Austrieb der Reben wurden die Pflanzen auf einen Trieb gestellt. In 14-tägigem Abstand wurde das Triebblängenwachstum von jeweils 20 Reben pro Variante gemessen. Die Pflanzenschutz- und Düngungsmaßnahmen wurden in praxisüblicher Weise bei allen Varianten einheitlich durchgeführt.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Untersuchung zum Mykorrhizierungsgrad von Jungreben in Rebschulen

Auf allen 10 untersuchten Versuchsflächen konnte arbuskuläre Mykorrhiza festgestellt werden. Der niedrigste Infektionsgrad bei der Untersuchung über das Vorkommen der arbuskulären Mykorrhiza in Rebschulen lag bei 2,1% bei der Pfropfkombination Riesling/SO4 auf dem Standort Wachenheim, der höchste mit 10,1% auf dem Standort Bad Dürkheim, ebenfalls bei Riesling/SO4. Zwischen den beiden Pfropfkombinationen traten auf dem gleichen Standort keine signifikanten Unterschiede im Mykorrhizierungsgrad auf.

In Abbildung 2 ist die Beziehung zwischen dem Bodenphosphatgehalt und dem Infektionsgrad der Rebwurzeln dargestellt. Tendenziell bestand ein Zusammenhang zwischen dem P-Gehalt und der Mykorrhizierung. Bei hohen P-Gehalten im Boden waren die Infektionsgrade sehr gering, dagegen stiegen die Infektionsgrade mit abnehmendem P-Gehalt. Die Korrelation war mit  $r = 0,3826$  gering. Bei den Nährstoffen Kalium und Magnesium konnte keine Korrelation zwischen dem Infektionsgrad festgestellt werden.

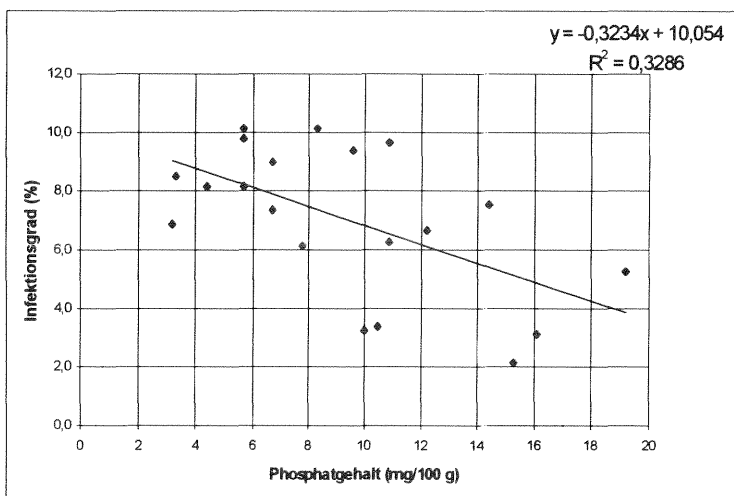


Abb. 2: Beziehung zwischen dem Bodenphosphatgehalt und dem AM-Infektionsgrad (in % der Wurzellänge) auf unterschiedlichen Rebschulstandorten in der Pfalz bei den Pfropfkombinationen Riesling/SO4 und Müller-Thurgau/SBB (Mittelwerte von 10 Rebschulstandorten und 2 Pfropfkombinationen)

### 3.2. Praktische Anwendung

#### 3.2.1 Standort Harthäuser

Die Reben zeigten 5 Wochen nach dem Auspflanzen sowohl in den Kontrollen (< 1%) als auch in den inokulierten Varianten (3%) nur sehr geringe Infektionsgrade auf (Abbildung 3). Ein Einfluß der Inokulation mit *Glomus sp.* war jedoch nach 5 Wochen tendenziell erkennbar. Nach weiteren 2 Wochen hatte die Mykorrhizierung in den Rebwurzeln der nicht inokulierten Varianten, die durch die natürliche Mykorrhizapopulation vom Standort hervorgerufen wird, nur geringfügig zugenommen (5% Infektionsgrad). Dagegen war durch die Inokulation mit *Glomus sp.* der Infektionsgrad auf etwa 11% angestiegen. Dieser Unterschied war statistisch abgesichert. Gegen Ende der Versuchsphase (Wurzelprobenentnahme nach 17 Wochen) war der Infektionsgrad bei den Kontrollreben unverändert. Durch die Inokulation mit Mykorrhiza war der Infektionsgrad im Vergleich zu den Werten nach 7 Wochen nur noch geringfügig auf 12% angestiegen.

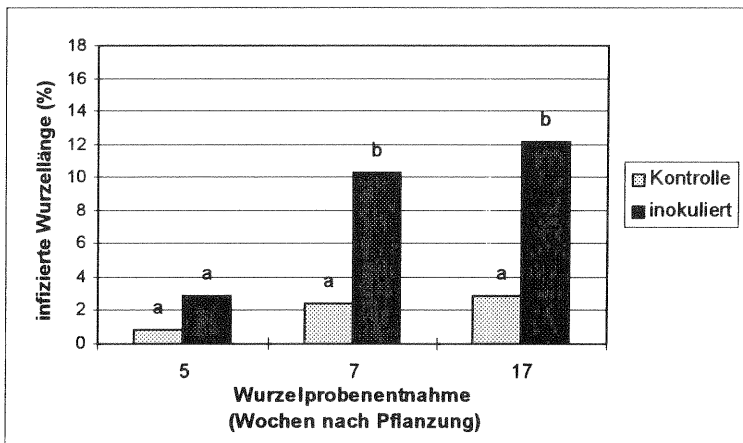


Abb. 3: Einfluß der Inokulation mit *Glomus sp.* auf den AM-Infektionsgrad (in % der Wurzellänge) bei Riesling/5C (Rebschule Harthäuser)  
(Mittelwerte n=4, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede bei  $p < 0,05$ )

Der Einfluß der Inokulation mit *Glomus sp.* auf den Infektionsgrad bei der Indikatorpflanze Weißklee war bei der Entnahme der Wurzelprobe nach 10 Wochen bereits deutlich erkennbar. Durch die natürliche Mykorrhizapopulation wurde, ähnlich wie bei den Reben, nur eine sehr geringe Infektion festgestellt (1,7% Infektionsgrad). Dagegen konnte durch die Inokulation der Infektionsgrad bei Weißklee auf 9,2% erhöht werden.

Das Wachstum der inokulierten Reben war tendenziell stärker als das der nicht inokulierten Varianten (s. Abbildung 4). Der Wachstumsunterschied war bereits nach 10 Wochen nachzuweisen und nach 14 Wochen statistisch absicherbar.

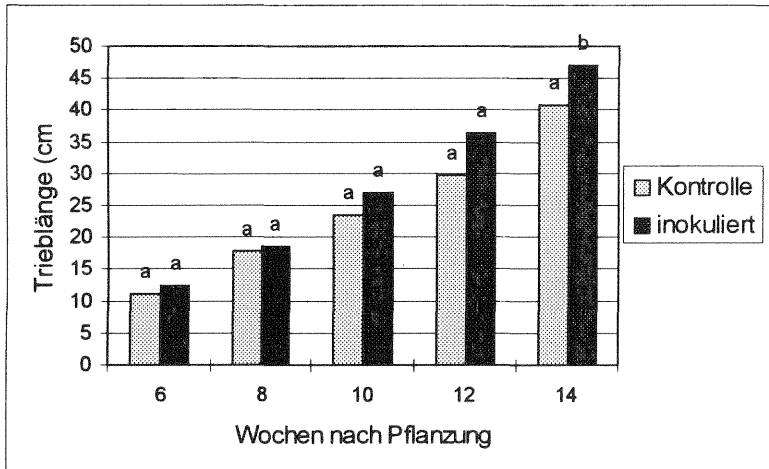


Abb. 4: Einfluß der Inokulation mit *Glomus sp.* auf das Trieb­längenwachstum bei Riesling/5C (Rebschule Harthäuser) (Mittelwerte n=4 mit je 20 Einzelmessungen, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede bei  $p < 0,05$ )

### 3.2.2 Standort Steingebiß

Nach 5-wöchiger Wachstumsphase betrug der AM-Infektionsgrad der Jungreben in den Kontrollen 1,5% und in den inokulierten Varianten 8%. Im Vergleich zur Rebschule Harthäuser machte sich in der Rebschule Steingebiß der Einfluß der Inokulation auf die Infektion der Rebwurzeln früher bemerkbar. Allerdings waren die Unterschiede zu diesem frühen Zeitpunkt zwischen Kontrolle und Inokulation nicht absicherbar (Abbildung 5). Gegen Ende der Versuchsphase (Wurzelprobenentnahme nach 17 Wochen) war die Mykorrhizierung in den Rebwurzeln durch die natürliche Mykorrhizapopulation in den nicht inokulierten Varianten auf 5% angestiegen. Durch die Inokulation mit *Glomus sp.* konnte der Infektionsgrad auf 17% erhöht werden.

Der Einfluß der Inokulation mit *Glomus sp.* auf den Infektionsgrad bei Mais ist in der Abbildung 5 dargestellt. Die Kontrollen zeigten zu allen Zeitpunkten höhere Infektionsgrade auf als die Reben. Nach 17-wöchigem Wachstum lag der Infektionsgrad bei 8%. Auch hier machte sich die Inokulation mit *Glomus sp.* bemerkbar. Nach 7 Wochen waren die Unterschiede bereits statistisch absicherbar

und gegen Ende der Versuchsphase betrug der Infektionsgrad bei Mais 14% und war somit etwas geringer als der Infektionsgrad der Reben nach 17 Wochen mit 17%.

Anhand des Triebblängenwachstums (Abbildung 6) konnte nachgewiesen werden, daß auch in der Rebschule Steingeiß die inokulierten Reben gegen Ende der Versuchsphase tendenziell ein stärkeres Wachstum aufzeigten als in den Kontrollen. Der Wachstumsunterschied betrug etwa 10 cm, war aber erst nach 14 Wochen statistisch absicherbar.

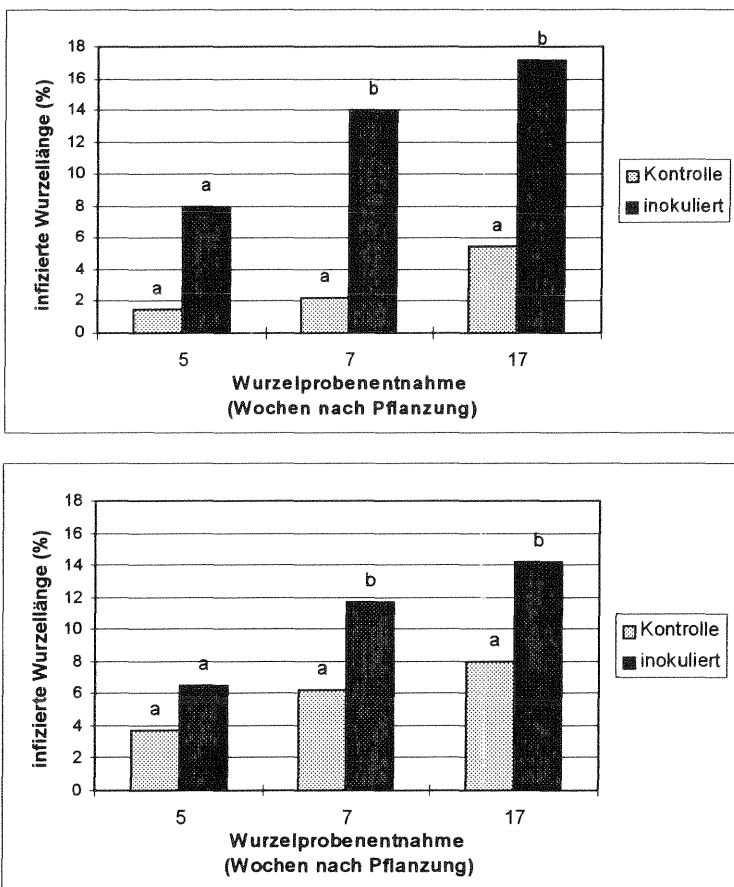


Abb. 5: Einfluß der Inokulation mit *Glomus sp.* auf den AM-Infektionsgrad (in % der Wurzellänge) bei Müller-Thurgau/5BB (oben) und Mais (unten) (Rebschule Steingeiß) (Mittelwerte n=4, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede bei  $p < 0,05$ )

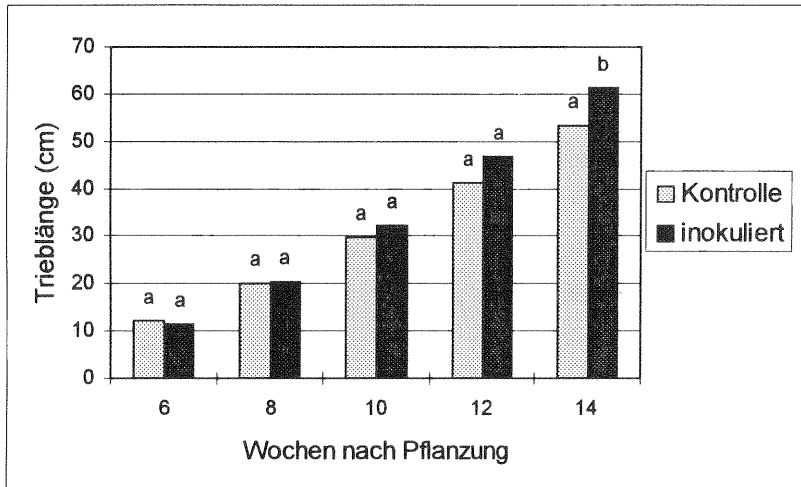


Abb. 6: Einfluß der Inokulation mit *Glomus sp.* auf das Triebängenwachstum bei Müller-Thurgau/5BB (Rebschule Steingebiß)  
(Mittelwerte n=4 mit 20 Einzelmessungen, unterschiedliche Buchstaben symbolisieren signifikante Unterschiede bei  $p < 0,05$ )

### 3. Diskussion

Die Wahl der beiden Pfropfkombinationen (Riesling/SO4 und Müller-Thurgau/5BB) fiel auf die Unterlagssorten SO4 und 5BB, weil es sich bei diesen Sorten um die geläufigsten Unterlagen im deutschen Weinbau handelt. Die aus den verschiedenen Rebschulflächen gewonnenen Daten zeigen, daß die arbuskuläre Mykorrhiza bei der Rebe auch an jungen Pfropfreben vorkommt, allerdings waren die Infektionsgrade (infizierte Wurzellänge in %) nur sehr gering. Im Mittel aller untersuchter Rebschulflächen betrug der Infektionsgrad bei den Pfropfkombinationen Riesling/SO4 und Müller-Thurgau/5BB 6,7%. SCHUBERT und CRAVERO (1985) fanden in Rebwurzeln aus verschiedenen Weinbergen in Nord-West-Italien deutlich höhere Infektionsgrade ( $> 25\%$ ). Allerdings handelte es sich bei ihren Untersuchungen um Ertragsanlagen, in denen sich bereits über mehrere Jahre ein weit verzweigtes Wurzelsystem ausbreiten konnte. Die von der arbuskulären Mykorrhiza gebildeten Dauersporen könnten so über einen längeren Zeitraum auskeimen und das Wurzelsystem der Rebe infizieren. Dagegen ist bei den Pfropfreben in der Rebschule nur ein Kontakt der infektiösen Strukturen mit dem Boden von etwa 4 Monaten gegeben. Damit ist zu erklären, daß es in Rebschulen nicht zu einer vergleichbaren Mykorrhizierung wie in Ertragsanlagen kommt.



Die Präsenz der autochthonen Mykorrhizapopulation auf dem jeweiligen Standort steht im Zusammenhang mit dem ermittelten Phosphatgehalt im Boden (Abbildung 2). Die untersuchten Rebschulflächen zeigten Bodenphosphatgehalte von 3,2 - 19,2 mg P (CAL)/100 g Boden auf. Der Großteil der Rebschulen war mit Phosphat übersorgt. In diesen phosphatreichen Böden kommt es nur bedingt zu einer Infektion mit Mykorrhiza, was bereits aus zahlreichen Gefäßversuchen bekannt ist. So berichten NAGAHASHI et al. (1996), daß es bei hohen P-Konzentrationen zu einer Hemmung des Hyphenwachstums bei Sporen von *Gigaspora margarita* kommt. Dagegen konnte in unseren Untersuchungen auch in den phosphatreichen Böden, wenn auch nur in geringem Umfang, eine Infizierung an den Rebwurzeln festgestellt werden. Hierfür können P-tolerante Pilzspecies verantwortlich sein, die an die hohen P-Gehalte im Boden angepaßt sind. Solche Befunde wurden ebenfalls von DOUDS und SCHENK (1990) in Gefäßversuchen beschrieben.

Auf der Versuchsfläche Harthäuser konnte in den Kontrollen nur ein sehr geringer Infektionsgrad festgestellt werden (Abbildung 3). Dies läßt darauf schließen, daß das Potential der autochthonen Mykorrhiza auf diesem Standort sehr gering ist. Die geringe Infektion des Weißklees bestätigt diese Annahme. Eine Ursache für das geringe Auftreten der Mykorrhiza könnte der sehr hohe Bodenphosphatgehalt mit 28 mg CAL extrahierbares P /100 g Boden sein. Obwohl SCHUBERT und CRAVERO (1985) bei ihren Untersuchungen keinen Zusammenhang zwischen dem P-Gehalt des Bodens und dem Infektionsgrad herausfanden, muß bei den eigenen Untersuchungen von einem Zusammenhang zwischen dem P-Gehalt des Bodens und dem Infektionsgrad ausgegangen werden. Eine Ursache könnte sein, daß das Sporenvorkommen im Boden mit dem P-Gehalt negativ korreliert ist (SCHUBERT und CRAVERO, 1985). Eine andere Ursache für das geringe Auftreten der autochthonen Mykorrhiza könnte die Fruchtfolge sein. Auf der Versuchsfläche Harthäuser wurde mehrmals in den letzten Jahren Ölrettich als Zwischenfrucht angebaut. Beim Anbau dieser Nichtwirtspflanze für die arbuskuläre Mykorrhiza kann der jahreszeitliche Aufbau der Mykorrhizapopulation für eine Vegetationsperiode unterbrochen werden und die arbuskuläre Mykorrhiza kann nur mit Hilfe ihrer Dauersporen überdauern. Insbesondere ein mehrjähriger Anbau von Nichtwirtspflanzen könnte ein Verlust infektiöser Strukturen der A-Mykorrhiza nach sich ziehen und das Mykorrhizierungspotential beeinflussen. Zu gleichen Ergebnissen kommen HARINIKUMAR und BAGYARAJ (1988), die nach dem Anbau einer Bohnenart (*Vigna unguiculata* L.) eine zweijährige Bepflanzung der Nichtwirtspflanze Senf (*Brassica juncea* L.) durchführten. Dies führte bei den Bohnenpflanzen zu reduzierten Infektionsbedingungen an Mykorrhiza.

Durch die angewendete Inokulationsmethode konnte der AM-Infektionsgrad auf beiden Versuchsflächen sowohl bei den Reben als auch bei den Indikatorpflanzen Mais und Weißklee erhöht werden. Die Besiedlung mit dem ausgebrachten Mykorrhizapilz erfolgte erst nach einer Wachstumsphase von 7 Wochen (Abbildung 3 und 5). Für die praktische Anwendung der arbuskulären Mykorrhiza im Weinbau sollten die zu verwendenden Pilzstämme dominanter sein als die autochtone Mykorrhizaflora, die auf allen zu untersuchenden Flächen vorzufinden war. Durch die Inokulation konnte das Wachstum der Pfropfreben deutlich verbessert werden. Der Effekt war allerdings nicht so groß wie der in Gefäßversuchen erzielte. So berichteten BAVARESCO und FOGHER (1996) durch Inokulation mit *Glomus mosseae* bei der Propfkombination *Pinot blanc* mit 3309C und 41B von wesentlichen höheren Sproßlängenzuwächsen. HAMEL (1996) zeigt in einem Übersichtsartikel über die Anwendung der arbuskulären Mykorrhiza bei landwirtschaftlichen Kulturpflanzen mögliche Probleme der Freilandinokulation auf und berichtet über unzureichende Inokulationserfolge. Die vorliegenden Untersuchungen zeigen eine Methode, die es unter praxisüblichen Bedingungen ermöglicht, Mykorrhizainokulum auszubringen. Die Pfropfreben reagierten, ähnlich wie in Gefäßversuchen gezeigt, mit einem verbesserten Wachstum. DEHNE (1994) berichtet von ausgewählten Mykorrhizapilzen, die die Wurzelgesundheit der Wirtspflanzen fördern und den Befall mit Wurzelpathogenen verringern können. WASCHKIES et al. (1994) stellten in ihren Untersuchungen über die Rebenmüdigkeit fest, daß die fluoreszierenden Pseudomonaden, als einer der Verursacher für diese Fruchtfolgekrankheit, die nach mehrmaliger Nutzung eines Standortes als Rebschule auftreten kann, mitverantwortlich ist. In einem Gefäßversuch mit rebmüdem Boden konnten sie durch massive Beimpfung mit *Glomus mossea* diese Bakterienpopulation signifikant zurückdrängen. In der vorliegenden Untersuchung ist auf keinem der beiden Versuchsflächen Rebenmüdigkeit aufgetreten. Weiterführende Untersuchungen sind nötig, um eine sinnvolle Anwendung der arbuskulären Mykorrhiza bei Rebenmüdigkeit im Freiland zu prüfen.

## 5. Zusammenfassung

Bei einer Untersuchung über das Vorkommen von autochthonen arbuskulären Mykorrhizapilzen (AM) in zehn verschiedenen Rebschulböden der Pfalz konnte auf jedem Standort eine Infizierung an den Rebwurzeln festgestellt werden. Als Maß für die Infektion von AM diente die infizierte Wurzellänge in %. Im Mittel aller untersuchter Rebschulflächen betrug der Infektionsgrad jedoch nur 6,7% und streute zwischen 2,1 und 10,1%.

Eine praktische Methode wird vorgestellt, die es unter praxisüblichen Bedingungen ermöglicht, Mykorrhizainokulum in Rebschulen auszubringen. Durch die Inokulation mit *Glomus sp.* konnte in zwei verschiedenen Rebschulen der AM-Infektionsgrad bei den Pfropfkombinationen Riesling (*Vitis vinifera* L.) mit 5C (*V. berlandieri* x *V. riparia*) und Müller-Thurgau (*V. vinifera*) mit 5BB (*V. berlandieri* x *V. riparia*) erhöht werden. Der Inokulationserfolg wurde an den Indikatorpflanzen Weißklee (*Trifolium repens* L., cv. *Huja*) und Mais (*Zea mays* L., cv. *Gelber Badischer Landmais*) bestätigt. Hieraus resultierte ein verbessertes Wachstum der Pfropfreben, das 12 bzw. 14 Wochen nach dem Stecken der Reben signifikant erhöht war. Die Bedeutung der arbuskulären Mykorrhiza in der Rebschule und die geringe Präsenz der autochtonen Mykorrhizapopulation wird im Zusammenhang mit der hohen P-Versorgung der Rebschulböden und dem Anbau von Nicht-AM-Symbionten (*Brassica*) diskutiert.

## 6. Danksagung

Wir danken dem Forschungsring des Deutschen Weinbaues (FDW) bei der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) für die finanzielle Unterstützung der vorliegenden Untersuchung. Für die Bereitstellung des Mykorrhiza-Inokulums danken wir Herrn Prof. Dr. W. H. Schnitzler von der TU München (Lehrstuhl für Gemüsebau).

## 7. Literatur

- BALTRUSCHAT, H. und DEHNE, H.W. (1982): Zum Auftreten der endotrophen Mykorrhizen in verschiedenen Getreidefruchtfolgen und Düngungssystemen. Med. Fac. Landbouww. Rjksuniv. Gent **47**, 832-839.
- BALTRUSCHAT, H. (1987): Field inoculation of maize with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi by using expanded clay as carrier material for mycorrhiza. Z. PflKrankh. PflSchutz **94**, 419-430.
- BAVARESCO, L. and FOGHER, C.: Lime-induced chlorosis of grapevine as affected by rootstock and root infection with arbuscular mycorrhiza and *Pseudomonas fluorescens*. *Vitis* **35**, 119-123.

- BRENDEL, G., BÜSCHER, E. und STEINBERG, B. (1990): Untersuchungen über das Vorkommen der vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza in Weinbergböden des Rheingaus. *Vitic. Enol. Sci.* **45**, 97-100.
- DEAL, D.R., BOOTHROYD C.W. and MAI, W.F. (1972): Replanting of vineyards and its relationship to vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Phytopathology* **62**, 172-175.
- DEHNE, H.W. (1994): Interaktionen bei der Regulierung von Schaderregerpopulationen - Mykorrhiza und Pflanzengesundheit. *Berichte über Landwirtschaft, Sonderheft* **209**, 93-101.
- DOUDS, D.D. and SCHENK, N.C. (1990): Relationship of colonization and sporulation by VA mycorrhizal fungi to plant nutrition and carbohydrate contents. *New Phytol.* **116**, 621-627.
- GEBBING, H., SCHWAB, A. und ALLEWELDT, G. (1977): Mykorrhiza bei Reben. *Vitis* **16**, 279-285.
- GIOVANETTI, M. and MOSSE, B. (1980): An evaluation for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection. *New Phytol.* **84**, 489-500.
- HAMEL, C. (1996): Prospects and problems pertaining to the management of arbuscular mycorrhizae in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* **60**, 197-210.
- HARINIKUMAR, K.M. and BAGYARAY, D.J. (1988): Effect of crop rotation on native vesicular arbuscular mycorrhizal propagules in soil. *Plant and Soil* **110**, 77-80.

- KARAGIANNIDIS, N., NIKOLAOU, N. und MATTHEOU, A. (1995): Wirkung dreier VA-Mykorrhizapilze auf Ertrag und Nährstoffaufnahme von drei Unterlagen und einer Tafeltraubensorte.  
*Vitis* **34**, 85-89.
- KOSKE, R.E. and GEMMA, J.N. (1989): A modified procedure for staining roots to detect VA-mycorrhizas.  
*Mycol. Res.* **92**, 486-488.
- MENGE, J.A., RASKI, D.J., LIDER, L.A., JOHNSON, E.L.V., JONES, N.O., KISSLER, J.J. and HEMSTREET, C.L. (1983): Interactions between mycorrhizal fungi, soil fumigation and growth of grapes in california.  
*Am. J. Enol. Vitic.* **34**, 117-122.
- NAGAHASHI, G., DOUDS Jr, D.D. and ABNEY, G.D. (1996): Phosphorus amendment inhibits hyphal branching of the VAM fungus *Gigaspora margarita* directly and indirectly through its effect on root exudation.  
*Mycorrhiza* **6**, 403-408.
- NAPPI, P., JODICE, R., LUZZATI, A. and CORINO, L. (1985): Grapevine root system and VA mycorrhizae in some soils of Piedmont (Italy).  
*Plant and soil* **85**, 205-210.
- POSSINGHAM, J.V. and OBBINK, J.G. (1971): Endotrophic mycorrhiza and the nutrition of grape vines.  
*Vitis* **10**, 120-130.
- SCHUBERT, A. and CRAVERO, M.C. (1985): Occurrence and infectivity of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in north-western Italy vineyards.  
*Vitis* **24**, 129-138.

- SCHUBERT, A., CAMMARATA, S. and EYNARD, I. (1988): Growth and root colonization of grapevines inoculated with different mycorrhizal endophytes.  
Hort Science **23**, 302-303.
- SCHUBERT, A., MAZITELLI, M., ARIUSSO, O. and EYNARD, I. (1990): Effects of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi on micropropagated grapevines: Influence of endophyte strain, P fertilization and growth medium.  
Vitis **29**, 5-13.
- WASCHKIES, C., SCHROPP, A. and MARSCHNER, H. (1994): Relations between grapevine disease and root colonization of grapevine (*Vitis sp.*) by fluorescent pseudomonas and endomycorrhizal fungi.  
Plant and soil **162**, 219-227.

H. M. Helal, Institut für Produktions- und Ökotoxikologie, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft ( FAL ), Braunschweig- Völkenrode

## **Zur Bedeutung der Mykorrhiza in einer umweltschonenden Landwirtschaft**

### 1. Einleitung

Die Landwirtschaft ist in den letzten Jahren ins Zentrum der öffentlichen Umweltdiskussion geraten. Hierbei ist nicht nur die Belastung von Kulturpflanzen durch organische und anorganische Schadstoffe von Bedeutung, sondern auch die Rolle der Landwirtschaft selbst als Verursacher von Umweltschäden. In diesem Zusammenhang wird zunehmend erkannt, daß durch die Intensivierung der Landwirtschaft -und hier insbesondere durch die intensive Düngung- die Böden vielerorts übernutzt sind. Das Agrarökosystem ist oft nicht mehr in der Lage, die Düngereinträge zu verarbeiten, was zur schwerwiegenden Folgen führt. Hierzu gehören der Schwund von Wurzelsystemen, die Beeinträchtigung der Bodendurchwurzelung und die Verkümmern von mikrobiellen Wurzel- Symbiosen, um nur einige Beispiele zu nennen. Unausweichliches Ergebnis dieser Entwicklung ist die niedrige Ausnutzung von Mineraldünger ( Helal et. al. 1996 ). So werden beträchtliche Anteile der Düngernährstoffe N und S durch die Pflanze nicht aufgenommen und entweichen oft dem System um Gewäßer und Luft auf verschiedene Weisen zu belasten. Gleichzeitig wird zunehmend erkannt, daß angesichts des rapiden Zuwachses des globalen Nahrungsbedarfs ( UNO, 1989 ) besondere Anstrengungen getroffen werden müssen, um ökonomische und ökologische Aspekte der Landnutzung in Einklang zu bringen (Helal u.Issa,1994).

### 2. Landnutzung in ökologisch benachteiligten Gebieten

Vor diesem Hintergrund wurde in den letzten Jahren verschiedene Konzepte entwickelt ( Conway, 1987 ), um die ökologische Verträglichkeit der Landnutzung zu verbessern. Dies gilt

in besonderem Maße für ökologisch benachteiligte Gebiete, wo zahlreiche Streßbedingungen ( Dürre, Salinität, nährstoffarme Sandböden ) die Ausnutzungseffizienz von Wasser und Düngernährstoffen einschränken und hierdurch die Produktivität limitieren (Helal u. Al-Niemi,1992). Unter diesen Bedingungen ist es unumgänglich auch aus ökonomischen Gründen, Wasser- und Düngereinträge auf das standortverträgliche Maß zu reduzieren. Um hierbei dennoch akzeptable Erträge zu erzielen, versuchen „Low Input“- Strategien durch verschiedene Maßnahmen, die Wasser- und Nährstoffausnutzungseffizienz zu verbessern. Wichtigste Möglichkeiten hierzu ergeben sich aus der Auswahl standörtlich adaptierter Kulturen und der Nutzung vorteilhafter Aspekte von nährstoffärmeren Bedingungen. Hierzu gehört die Förderung der Entwicklung von Wurzelsystemen sowie Wurzel / Mikroorganismen - Symbiosen durch die Aufrechterhaltung einer relativ knappen Nährstoffversorgung oberhalb des schweren Mangelbereiches.

Bei zahlreichen Wurzel / Boden - Interaktionen, die hierbei wirksam werden, spielen Mykorrhizen eine wichtige Rolle. Obgleich eine vorteilhafte Wirkung von Mykorrhizen auf Wachstum und Ertrag von Kulturpflanzen allgemein bekannt ist, sind zahlreiche Literaturangaben zum Teil widersprüchlich und unreproduzierbar. Der Versuch wirksame vesikulär- arbuskulärer Mykorrhiza (VAM-) Präparate durch den Handel zugänglich zu machen, ist zwar sehr zu begrüßen. Die Variabilität der angestrebten Wirkung demonstriert jedoch nicht nur die Komplexität der Mykorrhiza - Wirkung, sondern auch die Tatsache, daß zahlreiche Aspekte dieser Beziehungen kaum geklärt sind und so bei der Entwicklung von VAM- Präparaten unberücksichtigt bleiben. Dies gilt in besonderem Maße für Interaktionen, die erst unter Streßbedingungen wirksam werden. Im folgenden wird an Hand von zwei experimentellen Beispielen aus Felduntersuchungen aus dem Nubaria- Gebiet, Ägypten, auf einige Aspekte der Anti-streßwirkung von Mykorrhizen aufmerksam gemacht.

### 3. Mykorrhiza als Antistreßfaktor

#### 3.1 Material und Methoden

Das Untersuchungsgebiet Nubaria, nordwestlich vom Nildelta ( jährliche Niederschläge ca. 100 mm während der Zeit Nov.- Feb. ), besteht aus alluvialen Sandböden, die erst seit etwa 40 Jahren landwirtschaftlich genutzt wurden (Nilwasser). Tab. 1 zeigt einige Eigenschaften zweier



Standorte. Gemeinsam zeichnen sie sich durch niedrige Ton-, Humus- und Nährstoffgehalte aus. Eine Differenzierung im Hinblick auf die Salzanreicherung und die Schwermetallbelastung des Oberbodens erfolgte durch unterschiedliche Bewässerungs- und Düngungspraktiken. Die Salinität des Standortes NU 3 geht auf sekundäre Versalzung durch die Bewässerung zurück. Eine leichte Zn und Cd- Belastung des Oberbodens wird auf die Anwendung belasteter Komposte zurückgeführt.

Die in dieser Arbeit präsentierten Daten vergleichen VAM -beimpfte und nicht beimpfte Maispflanzen bei knappem Wasserangebot ( NU 1 ), Salzstreß ( NU 3 ) und Schwermetallbelastung unter Feldbedingungen. Nach einer reduzierten NP- Düngung (10 kg P als Superphosphat und 50 kg N als Harnstoff/ ha ) erfolgte die Feldbeimpfung mit VAM- Sporen, ( *Glomus mossae* / *Glomus etunicatum* ).

**Tab. 1** Bodenmerkmale zweier Standorte des Nubariagebiets (Ägypten)( NU 1 und NU 3 ).

Standort	NU 1	NU 3
% Sand	83	79
% Schluff	12	13
% Ton	5	8
pH ( H <sub>2</sub> O )	7,5	7,8
Elektrische Leitfähigkeit, mS/cm	2,4	5,2
% Na - Sättigung	5,3	16,4
Org. C, %	0,62	0,79
CAL - P, mg/100g	2,1	6,8
CAL - K, mg/100g	7,3	17,4
Gesamt N, mg/kg	382	457
Gesamt Zn, mg/kg	8,2	26
Gesamt Cd, mg/kg	0,12	0,53

Hierzu wurde eine Sporensuspension ca. 5cm unter dem Saatbett eingebracht. Auf dem Standort NU 3 erfolgte die Sprinklerbewässerung einmal wöchentlich ( optimale Bewässerung). Auf dem Standort NU 1 wurde dagegen ein Streßprogramm eingehalten, wonach die Bewässerung erst nach Eintreten von Welkeerscheinungen ( vormittags ) durchgeführt wurde. Auf beiden Standorten wurden die Wassereinträge quantifiziert. Die Ernte erfolgte 45 Tage nach der

Aussaat, da Wurzelsysteme danach schnell degenerieren ( Helal u. Al- Niemi, 1992 ) und hierdurch eine Evaluierung der Bodendurchwurzelung zur Zeit der Reife erschweren. Eine Quantifizierung der Durchwurzelung von Ober- bzw. Unterböden erfolgte durch die Entnahme von Stichzylinderproben. Die Auszählung von Wurzeln in Bodenproben wurde mittels einer Intersektionsmethode ( Helal u. Al- Niemi, 1992 ) durchgeführt.

Als Indikator für den Wasserstreß wurde der Prolingehalt der Blätter verwendet. Zur Beurteilung ionenspezifischer Effekte unter Salzstreß wurde das Na / K - Verhältnis der Blätter herangezogen ( Helal, 1983 ).

### 3.2 Ergebnisse und Diskussionen

Wie die Tab. 2 zeigt, standen die Pflanzen unter Trockenstress. Dafür sprechen die relativ niedrigen Trockensubstanzerträge sowie die Anreicherung von Prolin. Weiterhin ist aus Tab. 2 zu erkennen, daß eine VAM - Beimpfung des Bodens den Ertrag signifikant erhöhte, während der Prolingehalt abnahm. Dies läßt den Schluß zu, daß Mykorrhiza - Pilze dem Trockenstreß entgegenwirken. Ähnliche Effekte wurden von Müller und Höfner ( 1991 ) berichtet. Schwieriger zu

**Tab. 2** Bodendurchwurzelung, Wachstum und Elementgehalte von Maispflanzen unter Dürrestreß ( Standort NU 1 ) in Abhängigkeit von der VAM - Beimpfung.

VAM - Beimpfung	( - )	( + )
Infizierte Wurzeln, %	7	38*
Trockensubstanzertrag, kg/ha	2140	2930*
Durchwurzelung Oberboden, cm/cm <sup>3</sup>	2,82	3,24
Durchwurzelung Unterboden, cm/cm <sup>3</sup>	1,21	2,90*
N- Gehalt, % TS	1,20	1,35
P- Gehalt, % TS	0,22	0,34*
Prolingehalt, micromol/g FS	5,80	3,35*

\* Signifikanter Unterschied zur unbeimpften Variante ( LSD 0.05 ).

**Tab. 3** Bodendurchwurzelung, Wachstum und Elementgehalte von Maispflanzen in Abhängigkeit von der VAM - Beimpfung unter Salz und Schwermetallbelastung des Standortes NU 3.

VAM - Beimpfung	( - )	( + )
Infizierte Wurzeln, %	4	26*
Trockensubstanzertrag, kg/ha	1890	2840*
Durchwurzelung Oberboden, cm/cm <sup>3</sup>	1,93	2,17
Durchwurzelung Unterboden, cm/cm <sup>3</sup>	1,08	2,83*
Na - Gehalt, %	0,84	0,53
Na / K - Verhältnis	0,59	0,31*
Zn - Gehalt, mg/kg	73	48*
Cd - Gehalt, mg/kg	0,28	0,21

\* Signifikanter Unterschied zur unbeimpften Variante ( LSD 0.05 ).

beantworten ist dagegen die Frage nach den Mechanismen dieses Antistreibeffektes. Neben direkter Förderung der Wasseraufnahme ist eine indirekte Beeinflussung des Wasserhaushaltes über die verbesserte P - Versorgung ( Mengel 1989 ) denkbar.

Eine ähnlich fördernde Wirkung der VAM - Beimpfung auf die Wurzelentwicklung und die Ertragsbildung von salz - und schwermetallbelasteten Pflanzen läßt sich aus Tab. 3 ableiten. Parallel hierzu nahmen die Na- und Zn- Konzentrationen der Pflanzen ab. Auch hier bleibt die Frage nach den Mechanismen, die hierbei die primäre Rolle gespielt haben, offen. Angesichts der Tatsache, daß die Na - Aufnahme passiv erfolgt ( Helal, 1983 ), lassen die Angaben von Tab. 3 jedoch die Annahme zu, daß VAM- Pilze die Aufrechterhaltung der Integrität alternder Wurzeln fördern und hierdurch die passive Permeabilität der Wurzeln reduzieren. Alternativ hierzu wäre eine reduzierte Salz- und Schwermetallaufnahme einfach auf die veränderte Bodendurchwurzelung zurückzuführen. Hierfür spricht die Tatsache, daß Salz- bzw. Schwermetallanreicherung vor allem im Oberboden vorkommt. Die VAM - Förderung der Durchwurzelung des Unterbodens verschafft deshalb der Pflanze die Möglichkeit, auf weniger belastete Bodenbereiche auszuweichen.

#### 4. Schlußfolgerungen

Diese Arbeit demonstriert, daß unter Dürre und Salzstreß sowie bei Schwermetallbelastung, eine VAM- Beimpfung des Bodens dem Streß entgegenwirkt. Hierbei beeinflusst die VAM-Beimpfung nicht nur das Pflanzenwachstum, sondern auch die Bodendurchwurzelung sowie den Nähr- und Schadstoffhaushalt. Eine Klärung dieser Zusammenhänge ist erforderlich, um die Wirkungssicherheit von VAM- Präparaten zu verbessern.

#### Danksagung:

Diese Arbeit wurde im Rahmen Deutsch- Ägyptischer Zusammenarbeit in der Umweltforschung mit Unterstützung des BMBF ( Projekt Nr. 1.3 OB. 3A.EGY. ) durchgeführt. Herrn Direktor und Professor Dr. H. J. Weigel danke ich für die Durchsicht des Manuskriptes.

#### Literatur:

CONWAY G. R. 1987: The properties of agroecosystems. Agric. Systems 24, 95- 117

HELAL H. M. 1983: Einfluß von Natriumchlorid auf den Nährstoffhaushalt, den Energiestatus und die Substanzbildung einiger Kulturpflanzenarten. Habilitationsschrift. Universität Gießen.

HELAL H. M., AL- NIEMI S. 1992: Damage and regeneration of maize roots under drought stress. pp. 97- 100. In: Root Ecology and its practical Applications. Eds. L. Kutschera et. al. Verein für Wurzelforschung, Klagenfurt.

HELAL H. M., ISSA I. 1994: Low Input Concept for Desert Agriculture. pp. 239- 250. In: Egyptian- German Seminar on Environmental Research. Eds. H. F. Aly and D. Nentwich. KFA Jülich.

HELAL H. M., GADALLA A., Ragab A., Sallam F. 1996: Nitrogen use efficiency on sandy soils under dry conditions of the Inshas desert of Egypt. pp. 415- 417. In: 9th Nitrogen Workshop Transactions. TU Braunschweig.

MENGEL S. 1989: Die Unterschiedliche Sensibilität verschiedener Stoffwechselabschnitte in ihrer Reaktion auf Phosphatmangel untersucht am Beispiel des Spinats. Dissertation Justus-Liebig Universität Gießen.

MÜLLER I., HÖFNER W. 1991: Einfluß der VA- Mykorrhiza auf P- Aufnahme und Regenerationsfähigkeit von Mais unter Wasserstreß. z. Pflanzenernährung und Bodenkunde 154, 321- 323.

UNITED NATIONS 1989: Prospekts of world urbanization. Department of International economics and social affairs. New York. Population study No. 112.

F. FELDMANN, Institut für Angewandte Botanik, Universität Hamburg. Postanschrift:  
Konstantin-Uhde-Str. 13, D-38106 Braunschweig

### **Stabilität und Reproduzierbarkeit der Wirksamkeit von Inokulum arbuskulärer Mykorrhizapilze**

#### Einleitung

Die wohl wesentlichste Anforderung, die von der gartenbaulichen Praxis an ein Mykorrhizapilzinokulum gestellt wird, ist die Vorhersagbarkeit seiner Wirksamkeit auf den Zielorganismus. Eine Gewährleistung der Wirksamkeit, d.h. des quantitativen Aspektes einer Wirkung, werden angesichts drohender Regreßforderungen aber heute noch von keinem Anbieter von kommerziellem Inokulum übernommen. Gründe hierfür liegen in dem Wesen des Zustandekommens einer Mykorrhizawirkung: sowohl der Genotyp der Pflanze, der der arbuskulären Mykorrhizapilze (AMP), als auch die modifizierenden Einflüsse der Umweltfaktoren prägen die Wirksamkeit der Symbiose in einer für Anbieter und Produzenten von Inokulum noch nicht exakt vorhersagbaren Weise. Besonders Veränderungen der Inokulumseigenschaften selbst, zu denen es im Laufe der Zeit kommt, sind bislang erst selten untersucht worden. Während das Pflanzenmaterial durch geeignete Vorauswahl standardisiert werden kann und Kulturbedingungen in relativ engen Grenzen vorgegeben werden können, stehen über die AMP noch sehr wenig Informationen zur Verfügung, um auch den pilzlichen Symbiosepartner zuverlässig einschätzen zu können.

Trotzdem bedarf es schon heute eines pragmatischen Ansatzes bei der Beurteilung der voraussichtlichen Wirkungen eines Inokulums und einer Einschätzung der Stabilität seiner Wirksamkeit. Erst dann wird eine tragfähige Grundlage dafür geschaffen sein, mit einer Einführung der Mykorrhizatechnologie in die gartenbauliche Praxis und in die Vermarktung erfolgreich beginnen zu können.

Es werden hier Ergebnisse von Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Wirksamkeit detailliert charakterisierter Linien der AMP *Glomus etunicatum* Becker & Gerdemann und *Glomus intraradices* Smith und Schenck dargestellt. Dazu werden Langzeitstudien mit hintereinander folgenden Wiederholungen von Experimenten bei standardisierter Anzucht des vorausgewählten Pflanzenmaterials in den Mittelpunkt gestellt, um potentielle, pilzbedingte Veränderungen der Wirksamkeit des Inokulums in die Untersuchungen mit einzubeziehen.

### Material und Methode

Die vorgestellten Versuche wurden im wesentlichen mit Sämlingen verschiedener Maissorten (Badischer Landmais, einer frei abblühenden Landsorte, FAO 290; Blizzard, einer Dreifachhybride, FAO 230; Felix, einer Einfachhybride, FAO 220; und den brasilianischen Einfachhybriden BR5102 und BR 5110) und der Arten *Triticum aestivum*, *Helianthus annuus* und *Petroselinum crispum*, sowie Stecklingen verschiedener Pflanzenarten (*Pelargonium zonale* Hybriden, *Trifolium repens* und *Baptisia tinctoria*) durchgeführt. 14 Tage nach Aussaat bzw. erfolgter Bewurzelung wurden gleich große Pflanzen ausgewählt und mit 5 Sporen/ cm<sup>3</sup> Substrat inokuliert. Topfgröße und Kulturdauer: in Mais-Versuchen wurden jeweils 2 Pflanzen in einen 4l-Topf gepflanzt und - wenn nicht anders angegeben - unter Gewächshausbedingungen 95 Tage lang kultiviert; in den übrigen Fällen wurden 1l-Töpfe verwendet und eine Versuchsdauer von 60 Tagen eingehalten. Im Zeitraum von April-Oktober wurde keine Zusatzbeleuchtung gegeben, in den übrigen Monaten 480μE · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup> von SON-T AGRO 400 Philipps Lampen, 14h/d; minimale Temperatur 15°C, maximale Temperatur 25°C; 40-60% relative Luftfeuchte; Bewässerung unterhalb Feldkapazität; Substrat in Mais-Versuchen war Leca-Dan Blähton, ca 2mm Partikelgröße, ansonsten 50% Einheitserde P, 20% lehmiger Promenadengrunt, 20% Quarzsand und 10% Blähton (als Inokulumsträger); Düngung 2mal wöchentlich mit einer Menge, die 10% des verwendeten Topfvolumens entsprach, einer Nährlösung (Flory 9), pH 5.5; Inhalt: 15% N (10% Nitrat, 5% Ammonium), 7% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 22% K<sub>2</sub>O, 6% MgO, 0.03% B, 0.05% Mn, 0.01 Zn.

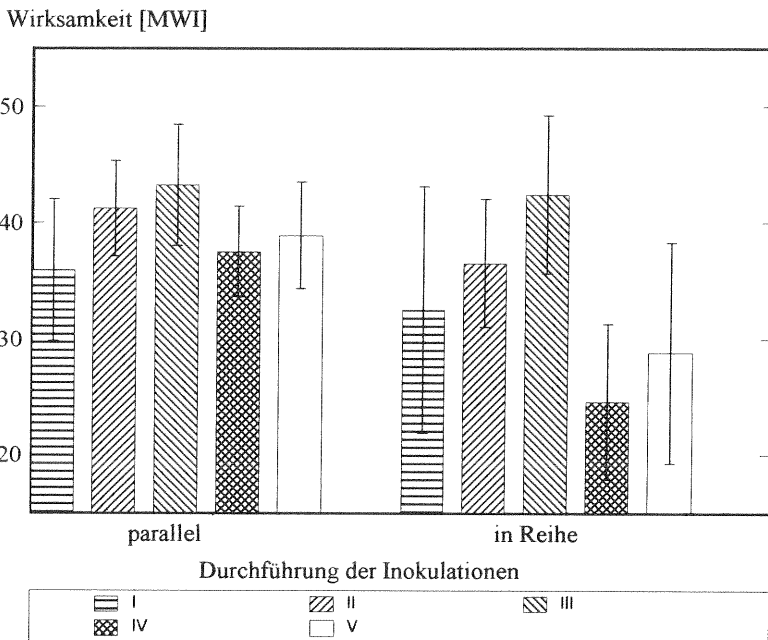
Die Analyse des Besiedelungsverhaltens der AMP wurde nach Kormanik & Mc Graw (1984) und Giovannetti & Mosse (1980) durchgeführt, der Mykorrhiza-Wirkungs-Index nach Plenchette et al. (1983) wie folgt kalkuliert: (Wert der mykorrhizierten Variante / Wert der nicht-mykorrhizierten Variante - 1) x 100 = MWI

### Ergebnisse

Wiederholt man die Inokulation einer Population von Mais-Sämlingen (var. Blizzard) gleichzeitig mit demselben Inokulum des AMP *Glomus etunicatum* (paralleler Ansatz, Abbildung 1), so wird eine gute Reproduzierbarkeit der Wirksamkeit des AMP-Inokulums deutlich. Keine der Wiederholungen ist von den anderen signifikant unterschiedlich. Die Standardabweichung der Meßwerte innerhalb einer Wiederholung liegt bei maximal 12,5% des Mittelwertes. Ganz anders erweist sich die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, wenn aus einer Charge zwischenzeitlich gelagerten Inokulums Wiederholungen des Versuches hintereinander durchgeführt werden. Nach einer Steigerung der Wirksamkeit kommt es in der 4.

Wiederholungen zu einem signifikanten Einbruch der Wirksamkeit und einem Verbleiben auf diesem Niveau bei der 5. Wiederholung des Experimentes. Insgesamt sind bei der Durchführung der Wiederholung „in Reihe“ (Abb. 1) die Standardabweichungen wesentlich größer. Der maximale Wert liegt hier bei 41,2% des Mittelwertes. Da das Trockengewicht der Kontrollpflanzen bei beiden Behandlungen gut reproduzierbar ist ( $23,8 \pm 4,2$  g/Pflanze), müssen die Gründe für die Variabilität der Wirksamkeit im Inokulum selbst liegen und hängen wahrscheinlich mit der Alterung der Infektionseinheiten zusammen, d.h. mit der Reifung der Sporen einerseits und dem gegenläufigen Nachlassen der Infektiosität von Mycelstrukturen andererseits (s. auch Feldmann & Boyle, in diesem Band).

Abbildung 1: Reproduzierbarkeit der Wirksamkeit [MWI] von *Glomus etunicatum* HH13 auf die Trockenmasseentwicklung von *Zea mays* var. Blizzard



Dargestellt sind jeweils fünf Wiederholungen eines Inokulationsexperimentes (I-V). Einmal wurde gleichzeitig in parallelen Wiederholungen inokuliert, im anderen Fall aus der gleichen Inokulumsscharge nacheinander inokuliert, d.h. das Inokulum zwischenzeitlich gelagert. Die Trockenmasseentwicklung nicht-myorrhizierter Kontrollpflanzen war gut reproduzierbar und lag über alle Wiederholungen gemittelt bei  $23,8 \pm 4,2$  g/Pflanze. Der Stichprobenumfang war  $n=50$  in jeder Wiederholung. Der Mykorrhiza-Wirkungs-Index (MWI) wurde nach Plenchette et al. (1983) kalkuliert.

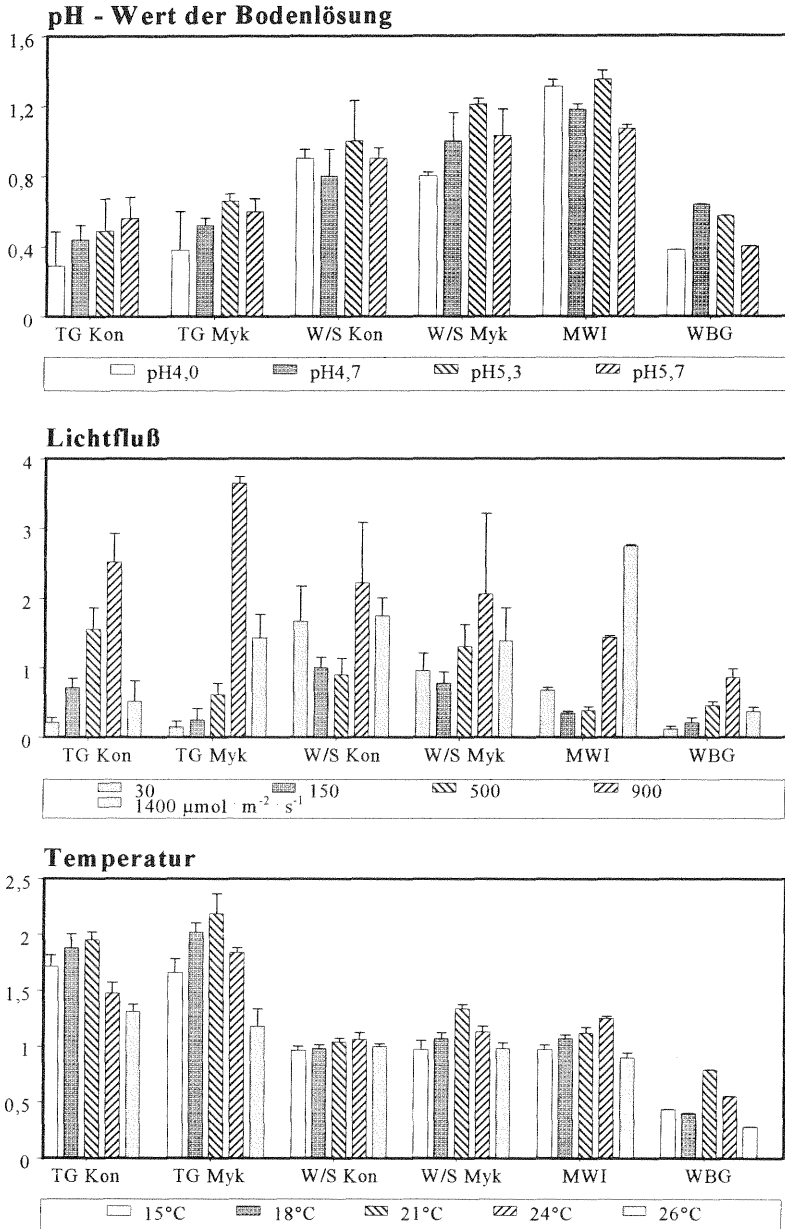


Schwankungen von Umweltfaktoren können starken Einfluß auf die Wirksamkeit von Symbiosen und damit auf die Reproduzierbarkeit von Ergebnissen nach AMP-Inokulationen nehmen (Abb.2a und 2b). Der Mykorrhiza-Wirkungsindex (MWI) sensu Plenchette et al. (1983) kann bis zum Faktor 10 schwanken (s. Lichtfluß, Abb.2a). Solche Umwelteinflüsse auf die Wirksamkeit des Inokulums zeigen sich insbesondere dann, wenn es sich bei der untersuchten Pflanzenart um eine fakultativ mykotrophe Art (sensu Janos, 1987) handelt, wie hier im Falle von *Petroselinum crispum*. Bei Pflanzenarten, die obligat mykotroph sind, d.h. stets der Mykorrhiza notwendig bedürfen, erweisen sich die MWI wesentlich stabiler. Wie das Beispiel *Pelargonium zonale* zeigt (Abb. 3), ist die Wirksamkeit des eingesetzten AMP dort am höchsten, wo nicht-mykorrhizierte Pflanzen am wenigsten Frischgewicht bilden können, in Balkonkästen mit starken Licht-, Trocken- und Windstreß. Die Symbiosen bleiben hier aber wirksam, wenn die Pflanzen aus der Stress-reichen Umwelt in optimale Bedingungen gelangt. Dies hätte bei einer fakultativ mykotrophen Pflanze einen starken Verlust der Wirksamkeit der Symbiose zur Folge. Es ist offensichtlich, daß die genetisch fixierte Eignung der Pflanze zur Mykorrhizabildung unter den jeweiligen Umweltbedingungen von herausragender Bedeutung für das Zustandekommen eines Effektes und die Reproduzierbarkeit der Wirksamkeit ist.

In der Praxis bedeutet dies, daß vor dem Einsatz eines Inokulums an einer Pflanzenkultur also zunächst die Frage zu klären ist, ob der im Inokulum enthaltene AMP in der Lage ist, die Pflanze unter den gegebenen Verhältnissen überhaupt zu besiedeln. Das Wissen um die prinzipielle Mykorrhizierfähigkeit der Zielpflanze läßt sich oft aus der vorhandenen Literatur recherchieren. Ist noch unbekannt, ob die kultivierte Art arbuskuläre Mykorrhizen bilden kann, bedarf es hierzu eines Testes mit verschiedenen AMP. Da bei den AMP von einem breiten Wirkkreis ausgegangen werden kann, ist bei Ausbleiben einer Besiedelung durch mehrere AMP entweder die generelle, genetisch fixierte Empfänglichkeit der Pflanzenart sehr gering oder aber die kulturtechnischen Rahmenbedingungen führen zu einem Ausbleiben der Besiedelung, obwohl prinzipielle Mykorrhizierfähigkeit vorliegt. So führen Feldmann et al. (1996) *Phlox drummondii* noch als durch *Glomus etunicatum* nicht mykorrhizierbar auf, mittlerweile konnte *Phlox* aber unter veränderten Bedingungen besiedelt werden. Darin zeigt sich erneut die umweltbeeinflusste Abhängigkeit der Wirtspflanzen von der Mykorrhizierung.

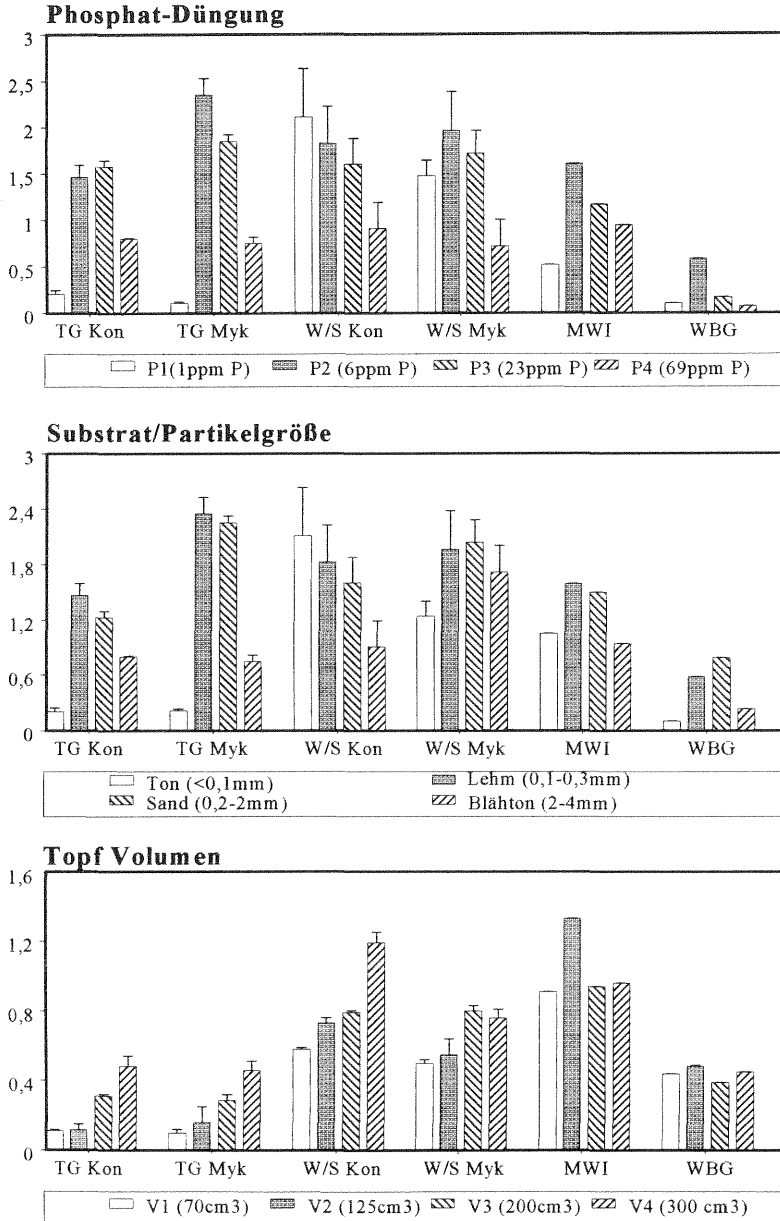
Ob ein Inokulum die erhofften Wirkungen haben kann oder nicht, kann sich dann mit der nötigen Sicherheit nur durch einen Test erweisen, d.h. man muß die AMP/Pflanze-Kombination „ausprobieren“. Die Vorhersagbarkeit einer Wirkung wird umso wahrscheinlicher, umso mehr über den Grad der Abhängigkeit von der Mykorrhizaausprägung der Zielpflanze bekannt ist.

Abbildung 2a: Variabilität der Wirksamkeit von *Glomus etunicatum* auf *Petroselinum crispum* bei Veränderung von Parametern der Pflanzenkultur



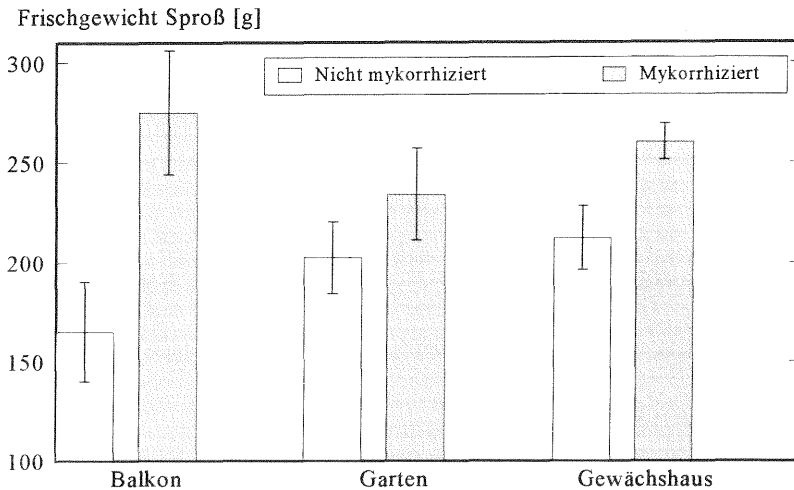
Erklärung der Abkürzungen: Kon: Kontrollpflanzen; Myk: Mykorrhizierte Pflanzen; TG: Trockengewicht [10g/Pflanze]; W/S: Wurzel/Sproß-Relation; MWI: Mykorrhiza-Wirkung (DWMyc/DWCon); WBG: (x 100) Wurzelsystembesiedlungsgrad [%]

Abbildung 2b: Variabilität der Wirksamkeit von *Glomus etunicatum* auf *Petroselinum crispum* bei Veränderung von Parametern der Pflanzenkultur



Erklärung der Abkürzungen: Kon: Kontrollpflanzen; Myk: Mykorrhizierte Pflanzen; TG: Trockengewicht [10g/Pflanze]; W/S: Wurzel/Sproß-Relation; MWI: Mykorrhiza-Wirkung (DWMyc/DWCon); WBG: (x 100) Wurzelsystembesiedelungsgrad [%]

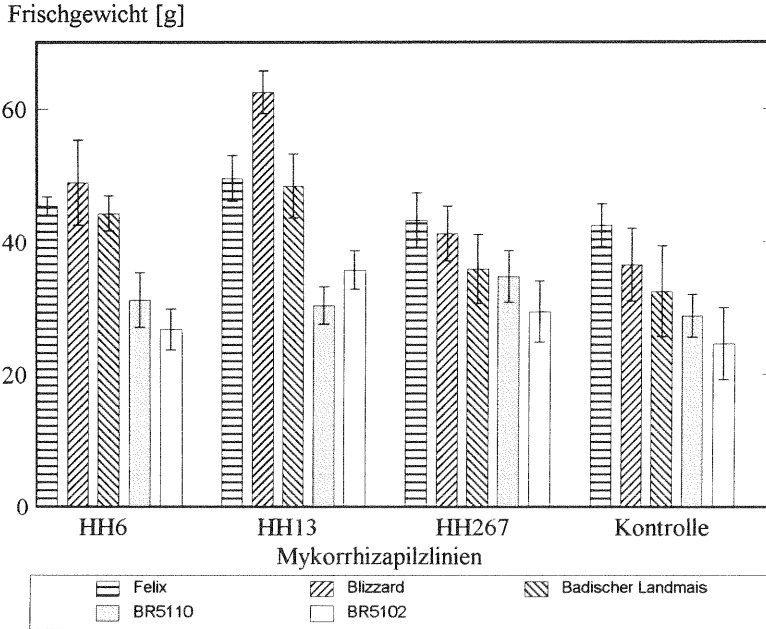
Abbildung 3: Frischgewicht von *Pelargonium zonale* Hybriden unter dem Einfluß von *Glomus etunicatum* HH13.



Je 20 Pflanzen pro Versuchsvariante wurden als Stecklinge inokuliert und von Februar bis April vorgezogen. Von Mai bis August wurden sie unter Praxisbedingungen an verschiedenen Standorten aufgezogen.

Die Bedeutung des pflanzlichen, aber auch des pilzlichen Genotyps läßt sich besonders eindrucksvoll am Auftreten spezieller Wechselwirkungen zwischen Wirt und AMP auf dem Niveau der Sorten/AMP-Linien Kombination zeigen. In vergleichenden Studien kommt es zu sehr unterschiedlichen Wirksamkeiten der Symbiose auf die Pflanze (Abb.4). Die Sorte Felix, die unter den Testbedingungen ohne Mykorrhizabildung das höchste Trockengewicht erzielt, erscheint als eine fakultativ mykotrophe Sorte, die wegen der für sie guten Kulturbedingungen der Mykorrhiza nicht bedarf und deshalb sehr geringe MWI zeigt. Die brasilianischen Sorten BR 5102 und BR5110, die hier unter suboptimalen Bedingungen im Vergleich zu ihren sonstigen Wuchsleistungen und Aufnahmebereitschaft für Mykorrhizapilze (Feldmann et al., 1995) nur schlecht besiedelt wurden und schlecht wuchsen, sprachen jedoch - wahrscheinlich wegen des Minderwuchses aus physiologischen Gründen - auf die Mykorrhizierung nur wenig an.

Abbildung 4: Sortenspezifische Wirksamkeit dreier Mykorrhizapilzlinien (*Glomus etunicatum* HH6, HH13; *Glomus intraradices* HH267) auf die Sproßfrischgewicht-entwicklung von *Zea mays* var. Blizzard



Während der Symbiose von *G. etunicatum* mit verschiedenen Maissorten können sich die Eigenschaften des Inokulums in Hinblick auf seine Wirksamkeit verändern. In einem Langzeit-Experiment wurden aufeinanderfolgende Inokulationen durchgeführt, bei denen eine Population von Pflanzen die AMP-Sporen für die darauf folgende Population von Wirten produzierte. Dieser Vorgang wurde mit zwei Maissorten (der Landsorte Badischer Landmais und der Hybride Felix) durchgeführt und die Wirksamkeit der eingesetzten AMP bestimmt.

Nach zwei Vermehrungsschritten wurde eine deutliche Abnahme der Wirksamkeit des Inokulums auf der Sorte Felix beobachtet, nicht aber auf dem Badischen Landmais (Tab. 1). Nach Verlust der Wirksamkeit der AMP auf der Sorte Felix wurden die Inokula vertauscht. Dies hatte eine Regeneration der Wirksamkeit des Inokulums der Sorte Felix auf dem Badischen Landmais und eine Degeneration der Wirksamkeit im umgekehrten Fall zur Folge.

Überträgt man in dieser Weise produziertes, wirksames Inokulum und solches degenerierter Wirksamkeit auf andere Pflanzenarten, so ist von der Wirksamkeit des Inokulums auf die Her-

Tabelle 1: Wirksamkeit [MWI] von *Glomus etunicatum* im Zuge wiederholter Inokulumsvermehrung auf das Sproßfrischgewicht von Pflanzen zweier Sorten von *Zea mays*

Vermehrungsschritt	Maissorte	
	„Badischer Landmais“	„Felix“
I	35	41
II	30	38
III	31	16
IV	36	9
Wirts-/ Inokulumsaustausch		
V	20	25
VI	44	17
VII	36	3

Der Mykorrhizawirkungsindex (MWI) wurde kalkuliert nach Plenchette et al. (1983): positive Werte zeigen eine Förderung des Frischgewichtes an, negative belegen niedrigere Frischgewichte als bei nicht-mykorrhizierten Kontrollpflanzen. Stichprobenumfang n=50; maximale Standardabweichung 7,4% vom angegebenen Mittelwert.

Tabelle 2: Reproduzierbarkeit des Mykorrhiza-Wirkungs-Index in Bezug auf das Frischgewicht von Wirtspflanzen dreier AMP-Linien

Testjahr	<i>G. etunicatum</i> HH6				<i>G. etunicatum</i> HH13				<i>G. intraradices</i> 267			
	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.	1.	2.	3.	4.
<i>Zea mays</i> var. Felix	31	20	15	7	43	37	14	14	27	24	4	5
<i>Pelargonium zonale</i>	26	-	49	30	28	-	56	25	20	-	23	28
<i>Trifolium repens</i>	-	12	20	-	-	30	-1	-	-	13	-1	-
<i>P. etroselinum crispum</i>	-	9	13	21	-	11	-8	-4	-	17	-5	21
<i>Baptisia tinctoria</i>	-	7	-	18	-	5	-	20	-	-2	-	5
<i>Helianthus annuus</i>	1	-3	-	-	-4	2	-	-	5	5	-	-
<i>Triticum aestivum</i>	1	4	-2	-	-16	-9	-15	-	9	19	-1	-

**Fett** gedruckte Werte sind signifikant (t-test,  $p < 0,05$ ) unterschiedlich von Kontrollpflanzenwerten. Der Mykorrhizawirkungsindex wurde kalkuliert nach Plenchette et al. (1983): positive Werte zeigen eine Förderung des Frischgewichtes an, negative belegen niedrigere Frischgewichte als bei nicht-mykorrhizierten Kontrollpflanzen. Stichprobenumfang n=30; maximale Standardabweichung 9,5% vom angegebenen Mittelwert. Das Inokulum für die Beimpfungen wurde jährlich neu auf *Zea mays* var. Felix produziert.

kunstpflanzenart nicht auf die Wirksamkeit bei anderen Testpflanzenarten zu schließen (Tab. 2). Inokulum, das auf Mais unwirksam wird, kann auf anderen Pflanzenarten sogar eine zunehmende Wirksamkeit haben. Obligat mykotrophe Pflanzen, wie *Pelargonium zonale*, lassen eine Wiederholbarkeit der positiven Wirkung (aber nur in ihrer Qualität, nicht in exakter Stärke) nach Inokulation mit allen drei getesteten AMP-Linien erkennen, wohingegen die Symbiose dieser AMP mit fakultativ mykotrophen Arten, wie *Petroselinum crispum*, indifferente, nicht vorhersagbare Wirksamkeiten der Symbiose, einschließlich Wirkungslosigkeit, zeigen.

### Diskussion

Inokulum arbuskulärer Mykorrhizapilze wurde bislang als eine Einheit behandelt, der man spezielle Eigenschaften, z.B. Wirksamkeit, als charakteristisch zuschrieb. Diese Einheit, früher als Isolat, später als Linie oder „strain“ bezeichnet, war Gegenstand von Auswahlverfahren, die auf die „wirksamste“ Linie arbuskulärer Mykorrhizapilze abzielte. Diese Einheit gibt es nicht. Die AMP-Linie besteht, je nach eingesetzter Menge, aus hunderten, tausenden oder hunderttausenden einzelner Sporen, von denen jede einzelne speziell wirksam sein kann und hoch variabel (Feldmann, 1997) und genetisch verschieden von den anderen ist (Hurek, 1997). Abkömmlinge einer einzelnen Spore können positive, neutrale und sogar negative Wirksamkeiten auf ihre Wirte haben (Feldmann, 1997). Wir kennen heute noch nicht die Mechanismen, die hinter der unglaublichen Variabilität stecken; der Umstand, daß die Sporen von AMP, insbesondere auch von *G. etunicatum*, in bestimmten Entwicklungsstadien vielkernig sind (Wood & Cummings, 1994; Feldmann et al., 1997), könnte ein Grund für hohe Variabilität sein. Sollte sich erweisen, daß Heterocaryosis vorliegt, würde sie sich noch einmal um ein Vielfaches erhöhen.

Wie soll man eine so variable Vielfalt wie eine AMP-Linie beherrschen und handhabbar machen? Unsere Daten deuten daraufhin, daß durch die Wirtspflanzen eine gerichtete Selektion von Genotypen aus der Population der AMP, zusammengefaßt in einem Inokulum, erfolgen könnte. In welche Richtung selektioniert wird, sogar, ob überhaupt selektioniert wird, hängt von der genetischen Konstitution der Pflanze ab. Inokulumsvermehrungen auf der heterogenen Landsorte „Badischer Landmais“ führen im Untersuchungszeitraum nicht zum Verlust der Wirksamkeit, wie dies bei der Hybridsorte „Felix“ der Fall ist. Es ist anzunehmen, daß die relativ höhere Homogenität des Pflanzenmaterials auf dem Niveau der Pflanzenpopulation bei der Hybridsorte „Felix“ zu einer raschen Auswahl solcher AMP-Genotypen geführt hat, die sich dann als weniger effektiv erwiesen. Es muß hier offen bleiben, ob es allein die genetische Heterogenität des Badischen Landmais' ist, die zur Vermeidung dieses Phänomens führt. Möglicherweise kommt

aber noch eine weitere Komponente hinzu, z.B. eine höhere, prinzipielle Abhängigkeit der Pflanze von bzw. Reaktionsbereitschaft auf die Symbioseausbildung. Die Regeneration der Wirksamkeit auf dem Badischen Landmais deutet zudem auf die Selektion bestimmter, wirksamer AMP-Genotypen hin, deren Anteil an der Population bevorzugt aufgebaut zu werden scheint, bis die frühere (unter den gegebenen Bedingungen maximale?) Wirksamkeit wiederhergestellt wurde. Langzeitstudien müssen hier ansetzen und Erklärungsmodelle liefern.

Die Übertragbarkeit an einer Pflanzensorte ermittelter Symbiose-Wirksamkeit auf eine andere Sorte oder gar Art erscheint in gewissem Umfang möglich. Potentielle Wirtspflanzen sind offenbar durch ihre genetisch fixierte Veranlagung und die herrschenden Umweltbedingungen in der Lage, einen Phänotyp auszubilden, der bestimmte, oft nicht-wirksame, aber auch wirksame AMP-Genotypen bei der Zusammensetzung der nächsten Sporenpopulation bevorzugt (Feldmann, 1997). Von obligat mykotrophen Pflanzen wissen wir, daß positive Wirksamkeit auch dann zustandekommt, wenn die Wirksamkeit auf der Ursprungspflanze sehr gering war. Möglicherweise prägt ein AMP-Genotyp verschiedene Phänotypen in großer Plastizität aus; oder die Pflanze „entscheidet“ auch in positiver Richtung darüber, „was gut für sie ist“.

Die praktische Konsequenz aus alledem ist, daß wir bei der Inokulumsproduktion darauf achten müssen, ein genetisch möglichst heterogenes AMP Inokulum zu produzieren (ob Mischinokula aus verschiedenen AMP dem gleichwertig sind, kann hier nicht diskutiert werden, wird aber wegen interspezifischer Konkurrenzphänomene zumindest offen gehalten).

Weiterhin sollte es - wie es bei der Durchführung der Qualitätskontrolle kommerziellen Inokulums geplant ist - immerhin möglich sein, die augenblickliche Wirksamkeit eines Inokulums auf einer Standardpflanze zu charakterisieren. Wenn diese und die spätere Zielpflanze obligat mykotrophe Arten oder Sorten sind, kann mit großer Wahrscheinlichkeit die *Art der Wirkung* vorhergesagt werden. Der quantitative Aspekt, die *Wirksamkeit*, wird wegen noch zusätzlich einwirkender Umweltfaktoren nicht exakt, sondern allenfalls in gewissem Umfang und für einen mehr oder weniger großen Bereich vorhergesagt werden können.

Am einfachsten stellt sich die Vorhersagbarkeit der Symbiose-Wirksamkeit dar, wenn eine Charge eines Inokulums unter konkreten Einsatzbedingungen charakterisiert („ausprobiert“) wird und dann unter identischen oder nur wenig veränderten Bedingungen eingesetzt wird. Selbst wenn dann mit gealtertem Inokulum gearbeitet wird, kann von einer relativ sicheren Reproduktion zuvor ermittelter Wirkungen - nicht exakter Wirksamkeit- gerechnet werden.



Zitierte Literatur

- FELDMANN, F., (1997): The Strain - Inherent Variability of Arbuscular Mycorrhizal Effectiveness: II. Effectiveness of single spores, *Symbiosis*, eingereicht
- FELDMANN, F. & BOYLE, C. (1997): Stabilität der Wirksamkeit arbuskulärer Mykorrhizasymbiosen, *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt*, ebenfalls in diesem Band
- FELDMANN, F., KRUSE, W., BOYLE, C. & LIEBEREI, R., (1997): The Strain - Inherent Variability of Arbuscular Mycorrhizal Effectiveness: I. Development of a Test System Using *Petroselinum crispum* as Host, *Symbiosis*, eingereicht
- FELDMANN, F. WERITZ, J., BOYLE, C. & BACKHAUS, G.F. (1996): Symbiotische Mykorrhizapilze im Pflanzenbau, *Deutscher Gartenbau*, 1, 10-13
- FELDMANN, F., IDCZAK, E., MARTINS, G., NUNES, J., GASPAROTTO, L., PREISINGER, H., MORAES, V.H.F. & LIEBEREI, R. (1995): Recultivation of degraded, fallow lying areas in central Amazonia with equilibrated polycultures: Response of useful plants to inoculation with VA-mycorrhizal fungi, *Angewandte Botanik*, 69, 111-118
- GIOVANNETTI, M. & MOSSE, B. (1980): An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* 84, 489-500.
- HUREK, T. 1997. Expression pilzspezifischer Gene bei der arbuskulären Mykorrhiza. DFG-Meeting on Mycorrhizas, 13.-14. February 1997, Leichlingen, Germany. p. 18.
- JANOS, D.P. 1987. VA mycorrhizas in humid tropical ecosystems. In: G.R. Safir, ed. *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants*. CRC Press, Florida, USA. 107-134.
- KORMANIK, P.P. & MC GRAW, A.-C. (1984): Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In: Schenck, N.C. (ed.), *Methods and principles of mycorrhizal research*, The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA
- PLENCHETTE, C., FORTIN, J.A., FURLAN, V. 1983. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant Soil* 70 199-209.
- WOOD, T., CUMMINGS, B. (1992): Biotechnology and the future of VAM commercialization. In: M. J. Allen, ed. *Mycorrhizal functioning*. Chapman & Hall, New York, pp.468-487.

## Qualitätskontrolle von kommerziellem Inokulum arbuskulärer Mykorrhizapilze

F. FELDMANN\* & C. BOYLE°

\*Institut für Angewandte Botanik, Universität Hamburg; Postadresse: Konstantin Uhde Str. 13, D-38106 Braunschweig; ° Institut für Mikrobiologie, Technische Universität Braunschweig, Spielmannstr. 7, D-38106 Braunschweig

### Einleitung

Eine Vermarktung von Inokulum arbuskulärer Mykorrhizapilze (AMP) oder mit Symbionten behandelte Pflanzen erfolgt bislang in Deutschland nicht in nennenswertem Umfang. Gründe hierfür liegen in der mangelnden Akzeptanz der Technologie beim potentiellen Anwender - ausgelöst insbesondere durch ein bislang noch unkalkulierbares Risiko, das beim Einsatz von Mykorrhizapilzinokulum zum gegenwärtigen Zeitpunkt eingegangen werden muß. Als obligat biotrophe Mikroorganismen können AM-Pilze nur in den Wurzeln lebender Pflanzen vermehrt werden. Das in den Handel gelangende Pilzinokulum, mit dem dann weitere Pflanzen inokuliert werden, besteht infolgedessen nahezu immer aus dem Pflanzsubstrat dieser ersten Vermehrungspflanzen und beinhaltet neben Besiedelungseinheiten der Symbionten (Sporen, Mycelstückchen) auch eine Vielzahl anderer Rhizosphärenmikroorganismen.

Ist die Kulturführung im Zuge der Inokulumsproduktion ungeeignet, besteht die Gefahr, daß auch phytopathogene Pilze verbreitet werden könnten. Einen Schutz vor dem daraus erwachsenden Haftungsrisiko gibt es bislang für Hersteller von Inokulum nur durch den Einsatz selektiv wirksamer Fungizide. Es werden deshalb eine große Zahl dieser Wirkstoffe erprobt und eingesetzt, was seinerseits die Akzeptanz der als umweltverträglichen, biologischen Bodenverbesserungsmaßnahme einsetzbaren Symbionten zusätzlich mindert.

In inokulumherstellenden Betrieben gibt es bis heute keine vorgeschriebenen oder freiwillig durchgeführten, einheitlichen Kontrollen der Qualität, so daß der Anwender des Inokulums keinerlei Möglichkeiten hat, das Risiko, das mit dem Einsatz des Inokulums verbunden sein könnte, abzuschätzen. Wegen der geringen Zahl von Anbietern arbuskulärer Mykorrhizapilze und des niedrigen Bekanntheitsgrades der Möglichkeiten des Mykorrhizapilzeinsatzes ist darüber hinaus noch nicht einmal der Bedarf einer Qualitätskontrolle formuliert worden. Es gibt also bis

heute keinerlei einheitliche Kriterien für eine Deklaration des Inokulums und eine Kennzeichnung des Produktes unterbleibt entweder völlig oder erfolgt nichtssagend.

“Qualität” eines Inokulums im Sinne der praktischen Anwendung ist insbesondere die Pathogenfreiheit bzw. geringe Belastung des Substrates durch schädliche Organismen bei gleichzeitig hohem Besiedelungspotential durch AMP. Hinzu kommt die Sicherung der Wirksamkeit der Mykorrhizasymbiosen als ein weiteres wichtiges Kriterium.

In einer Befragung wurde die achtjährige Tradition eines Inokulumsproduzenten und -händlerbetriebes im Hinblick auf die regionale Vermarktung von Inokulum im gärtnerischen Hobbybereich ausgewertet und potentielle, professionelle Anwender in Einzelgesprächen befragt. Es stellte sich heraus, daß die Skepsis gegenüber den Risiken, die dem Inokulumseinsatz anhaften könnten, die Bereitschaft zum Einsatz überwiegt. Eine detaillierte Prüfung des Produktes und Informationen für die Anwender zur Kennzeichen des Inokulums würden eine hohe Akzeptanz der umweltfreundlichen und umweltschonenden Mykorrhizatechnologie mit sich bringen.

Ziel diesen Beitrages ist es, den Stand der Forschung auf dem Gebiet der Qualitätskontrolle von Mykorrhizapilzinokulum aufzuzeigen. Dazu werden eine Reihe von Untersuchungsergebnissen dargestellt, die als vorläufige Daten eines laufenden Forschungsprojektes erhoben wurden. Anschließend wird diskutiert, was als Basis für eine freiwillige Selbstverpflichtung zur Qualitätskontrolle durch potentielle Produzenten und Anwender der Technologie zugrunde gelegt werden könnte. Richtlinien für die Durchführung einer Qualitätskontrolle und spätere Produktdeklaration sind jetzt erforderlich, um eine einheitliche Form der Durchführung der Qualitätskontrolle zu gewährleisten und dadurch die Akzeptanz für die Mykorrhizatechnologie insgesamt nachhaltig zu erhöhen.

## Material und Methoden

**Parameter für die Qualitätskontrolle**, zu denen hier Ergebnisse dargestellt werden, sind:

- als AMP-bezogene Eigenschaften des Inokulums die Sporenzahl (Daniels & Skipper, 1984),
- die Schätzung der Besiedelungseinheiten im Inokulum, **MPN** (Most Probable Number-Schätzung nach Alexander, 1965; Porter, 1979; Feldmann & Idczak, 1992),
- das Besiedelungsverhalten (Kormanik & Mc Graw, 1984; Giovannetti & Mosse, 1980),
- der Mykorrhiza-Wirkungs-Index, **MWI** (Plenchette et al. 1983) und
- die Quantifizierung der Belastung des Inokulums mit Begleitorganismen: Mikroorganismen (Pilze, Bakterien), Insekten (Eier) und Nematoden.

## Ergebnisse

### *1. Mykorrhizapilzbezogene Faktoren der Qualität*

Wichtigste Grundlage für die Bemessung des kommerziellen Wertes eines Inokulums ist quantitative Bestimmung der darin enthaltenen Besiedelungseinheiten, Angaben zur garantierten Wirkung, zur Haltbarkeit und der Zusammensetzung des Inokulums.

#### *1.1 Quantifizierung von Besiedelungseinheiten arbuskulärer Mykorrhizapilze*

##### *1.1.1 Sporenzahl*

Die Anzahl gebildeter Sporen wird gewöhnlich über eine Nassiebungsprozedur bestimmt, d.h. es erfolgt eine Ausschwemmung der Pilzsporen aus Substrat und Wurzelballen, mit anschließender

mikroskopischer Zählung. Da die meisten der heute für die kommerzielle Nutzung ausgewählten AM-Pilze ihre Sporen außerhalb der Wurzel in Hohlräumen des Substrates bilden, hängt die Exaktheit der Bestimmung der Sporenzahl wesentlich vom Substrattyp ab (Tab.1).

Tabelle 1: Unterschätzung der tatsächlichen Sporenzahl im Substrat nach Nasssiebung

Substrattyp	Sporenzahl in 1g Substrat <sup>1</sup>	extrahierte Sporen (Anzahl)	Wiederfunde (%)	Anteil lebender Sporen (%)
Blähton	115 ± 39	23 ± 19	23 ± 6	78 ± 5
Einheitserde	76 ± 28	48 ± 23	59 ± 4	87 ± 4
Quarzsand	57 ± 36	49 ± 29	84 ± 7	88 ± 4

<sup>1</sup> Die Sporenzahl wurde nach Wägung von 1g Substrat und Aufschwemmen mikroskopisch ermittelt. Dieselbe Probe wurde anschließend naß ausgesiebt und so die extrahierbare Sporenzahl bestimmt. Der Anteil lebender Sporen wurde nach der Methode von Glenner (1977) ermittelt. Der Versuch wurde dreimal wiederholt.

Sporen können aus Quarzsand leicht ausgewaschen werden, so daß es lediglich zu einer Fehleinschätzung von 16% kommt. In Einheitserde werden bereits 41% der Sporen durch den Extraktionsprozeß nicht erfaßt. In Blähton ist eine Bestimmung der Sporenzahl durch Nasssiebung nahezu unmöglich, 77% der Sporen werden nicht erfaßt. Im Praxisbetrieb ist die diesem Test zugrundeliegende vor der Extraktion durchgeführte mikroskopische Analyse wegen des enormen Zeitaufwandes und der geringen Probenmengen, die so bearbeitet werden können, nicht praktikabel.

### 1.1.2 Schätzung der Anzahl von Besiedelungseinheiten arbuskulärer Mykorrhizapilze

Sporenzahl und Anzahl der Besiedelungseinheiten unterscheiden sich, da Infektionen auch von Mycelabschnitten ausgehen können. Diese können nur über einen Biotest erfaßt werden, in dem eine bestimmte Pflanzenzahl mit verschiedenen Verdünnungsstufen des Inokulums beimpft und anschließend mit statistischen Verfahren die "wahrscheinliche Zahl der Infektionseinheiten" (Most Probable Number of Propagules, MPN) berechnet wird.

In einem Biotests mit Inokulum von *Glomus etunicatum*, in dem zuvor durch Nasssiebung 50 Sporen/ml Substrat (Quarzsand) festgestellt wurde, erweist sich die Problematik der MPN-Schätzung (Tab. 2): die unter Verwendung mehrerer Pflanzenarten und Sorten ermittelte MPN schwankt zwischen 13 und 62 Infektionseinheiten, abhängig von der jeweilig verwendeten Testpflanze. Dabei unterscheiden sich nicht nur Arten, sondern auch Sorten in ihrer Besiedelbarkeit innerhalb des Versuchszeitraumes.

Tabelle 2: Schätzung der wahrscheinlichen Zahl von Infektionseinheiten (MPN) in einem Inokulum von *Glomus etunicatum* unter Verwendung von verschiedenen Testpflanzen

Gattung Sorte	Mais			Petersilie	Lein	Gauchheil
	Felix	Bad. LM	Blizzard	Mooskrause		
MPN	13 ± 7	20 ± 8	28 ± 6	32 ± 4	37 ± 12	62 ± 9

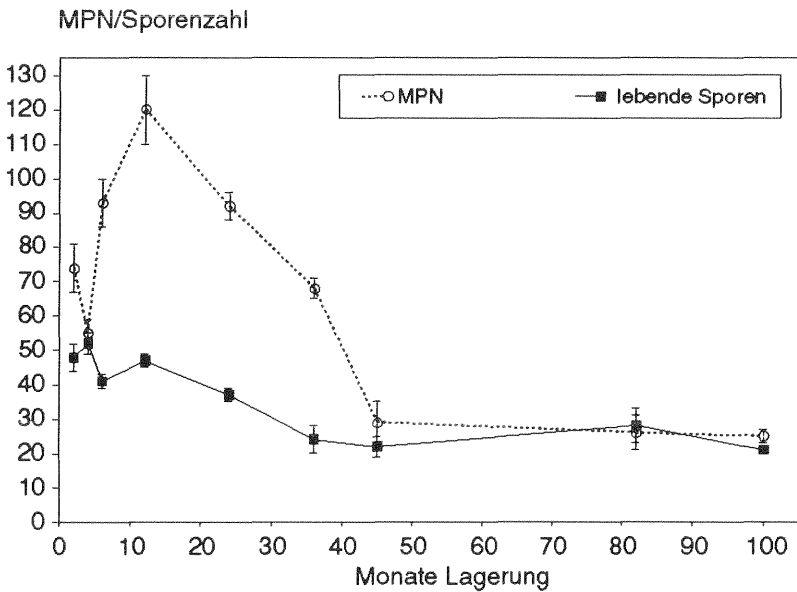
In dem getesteten Substrat wurde zuvor durch Nasssiebung eine Sporenzahl von 50/ml ermittelt. Der Versuch wurde dreimal wiederholt.

Aus Tab. 2 wird deutlich, daß die MPN maßgeblich von der Zahl der Mycelstückchen beeinflusst wird, die sich neben den Sporen im Substrat befinden. Hinzu kommt, daß der Grad der MPN Veränderungen auch der Alterung des Inokulums unterworfen ist. In Abb. 1 wird die Veränderung der MPN mit zunehmender Lagerzeit dargestellt und gleichzeitig untersucht, ob sich die Menge lebender, im Substrat befindlicher Sporen verändert.

Über die Haltbarkeit von Inokulum liegen bislang nur wenige Berichte vor. Das Beispiel zeigt jedoch, daß es während der Lagerung (Raumtemperatur, 20% relative Feuchte, Dauerdunkel, Belüftung) zunächst zu einem Anstieg der MPN bei gleichbleibendem Anteil an lebenden Sporen kommen kann. Dieser Anstieg kann im Sinne einer Sporenreifung oder Beendigung der Ruhephase der Sporen interpretiert werden. Beide Parameter gleichen sich nach vier Jahren Lagerung unter konstanten Bedingungen auf niedrigem Niveau an. Doch selbst nach acht Jahren ist noch ein Potential an infektiösen Einheiten des AMP, noch lebenden Sporen, vorhanden.

Zusammenfassend kann zu Angaben über die Menge an infektiösen Mykorrhizapilzeinheiten gesagt werden, daß die Anzahl lebender Sporen in Verbindung mit dem Einlagerungsdatum des Inokulums eine Einschätzung der MPN erwarten läßt, die mindestens vom Inokulum erfüllt werden kann. Die aktuelle MPN wird bei frischem Inokulum mit großer Wahrscheinlichkeit höher liegen. Umgekehrt liegt bei Angaben ausschließlich der MPN wahrscheinlich keine Übertragbarkeit von der Testpflanze auf potentielle Einsatzpflanze vor, da möglicherweise bereits lagerungsbedingte Veränderungen seit Durchführung des MPN-Tests aufgetreten können.

Abbildung 1: Veränderung von MPN und Anzahl lebender Sporen im Zuge der Lagerung von AMP Inokulum (*Glomus etunicatum*); Testpflanze *Zea mays* var. "Badischer Landmais"



## 1.2. Angaben zur garantierten Wirkung kommerziellen Inokulums

Spezifische Wechselwirkungen zwischen Wirt und AMP auf dem Sorten/Linien Niveau verhindern, daß eine exakte Vorhersage der Wirksamkeit einer Inokulation möglich ist (Feldmann & Boyle, an anderer Stelle dieses Bandes). Insofern erscheint es heute von Produzentenseite aus unmöglich, die Wirkungen eines angebotenen Inokulums in einer bestimmten Höhe zu garantieren. Nichtsdestoweniger bringt das Fehlen von Angaben zur Wirksamkeit zwangsläufig einen beträchtlichen Akzeptanzverlust beim potentiellen Anwender mit sich. Eine Qualitätskontrolle, die sich dieses Dilemmas bewußt ist, kann hier entscheidende Hilfestellung geben.

Es wird dazu ein Verfahren vorgeschlagen, was in der Lage ist, einen AM-Pilz in einem Standardtestsystem zu charakterisieren. Welches seine prinzipielle Leistungsfähigkeit vergleichbar dargestellt, ohne über das Problem der möglichen mangelhaften Übertragbarkeit auf andere Wirte hinwegzutäuschen. Käme in weiteren Schritten die zentrale Sammlung von Pflanzenkennwerten hinzu, etwa ihre Einordnung in Mykotrophiestufen, so wäre eine praktikable Zwischenlösung zur Handhabung der Problematik denkbar.

Der Wirt in einem solchen Testsystem müßte eine obligat mykotrophe Pflanze sein, um umweltbedingte Schwankungen der Mykorrhiza-Abhängigkeit gering zu halten. Er müßte im Labor leicht handhabbar, reproduzierbar in großer Zahl und auf engem Raum herzustellen, selektierbar auf homogene Wachstumskriterien und mit bekanntem genetischen Hintergrund ausgestattet sein, d.h. in möglichst genau beschriebenen Sorten allgemein verfügbar. Darüber hinaus sollte die Testpflanze für spätere, weiterführende Charakterisierungen der AMP in Hinblick auf morphometrische, physiologische, biochemische und gentechnologische Methoden leicht analysierbar sein. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist ein sich langsam entwickelndes Wurzelsystem, um das Verhalten von AMP bei der Besiedelung optimal studieren zu können.

Ein in dieser Weise bereits ausgearbeitetes Testsystem, wie es demnächst von Feldmann et al. (1997) vorgestellt wird, kann nicht allen Anforderungen der Qualitätskontrolle gerecht werden, weil die verwendete Testpflanze *Petroselinum crispum* eine fakultativ mykotrophe Pflanze ist. In der Tat bedarf es noch weiterer Studien, um geeignete Wirte für das



notwendige StandardtestsysteM zu identifizieren. Es ist jedoch abzusehen, daß erste Vorschläge dafür in Kürze vorgelegt werden können.

## 2 *Kontaminationen des Inokulums mit Fremdorganismen*

Arbuskuläre Mykorrhizapilze können nicht in axenischer Kultur vermehrt werden, sondern bedürfen eines Wirtes, um ihre Vermehrungseinheiten, die Sporen bilden zu können. Da der Prozeß der Inokulumsproduktion in der Regel 3-4 Monate dauert, besteht insbesondere bei der Massenproduktion von AMP-Inokulum die Gefahr, daß das Substrat, welches später als Inokulum verbreitet wird, mit Fremdorganismen kontaminiert wird. Aufgabe der Qualitätskontrolle muß es hier sein, einerseits die tatsächliche Belastung des Inokulums nach Abschluß des Produktionsprozesses zu erfassen, andererseits das davon ausgehende Gefahrenpotential zu bewerten und gegebenenfalls z.B. Verdünnungsanweisungen zum Unterschreiten von Schwellenwerten auszusprechen.

Das Vorkommen von Fremdorganismen an sich stellt in den seltensten Fällen direkt eine Beeinträchtigung der Inokulumsqualität dar. Im Gegenteil haben z.B. viele Bakterien direkte oder indirekte Vorteile für AMP und mittelbar für den Mykorrhizawirt. Sichergestellt werden muß allerdings, daß die vorhandenen Fremdorganismen keine Schädigungen bei den zukünftigen Wirten während des Einsatzes von Inokulum hervorrufen. Die Qualitätskontrolle muß also quantitative Nachweise mit qualitativen Tests verbinden.

Vorgeschlagen wird hier eine Kombination aus einfachen, mikrobiologischen Testverfahren und Bioassays unter Verwendung besonders anfälliger Pflanzenarten. Die Wahl geeigneter Nährmedien (Minimal-, Voll-, Spezialmedien, Wasseragar, Antibiotikazusätze) und Verdünnungsreihen erlauben eine Identifikation eventueller mikrobieller Kontaminanten. In Tab. 3 wurden beispielhaft zwei kommerzielle AMP-Inokula aus Bodensubstrat

Standardverfahren zur Erfassung von Mikroorganismen unterzogen. Die Befunde zeigen das Vorkommen vor allem von ubiquitär verbreiteten nicht phytopathogenen Bodenpilze an, die je nach Kultursubstrat und Medium unterschiedlich dominieren.

Tabelle 3: Fremdkontaminationen in zwei kommerziell angebotenen AMP-Inokula, Auswertung 5 Tage nach Inokulation bei 20°C, nachfolgend 9 Tage bei 11°C, Hell-/Dunkelwechsel (16:8), + = häufig, ++ = sehr häufig

Kulturmedium	Inokulum 1 (Deutschland)	Inokulum 2 (Kolumbien)
Wasser	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ++ Algen: Chlorococcales, Kieselalgen, Cyanobakterien</li> <li>• + Rädertierchen</li> <li>• ++ nicht phytophage Nematoden</li> <li>• Fungi Imperfeki: nematophag Pilze, Acremonium</li> <li>• diverse Mucorales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fusarium spec., Penicillium spec., Verticillium spec. Rädertierchen</li> <li>• nicht phytophage Nematoden</li> <li>• diverse Mucorales</li> </ul>
Maismehldekot	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ++ Fusarium spec., Acremonium spec., Cladosporium spec., ++ Alternaria spec., Cladotrichium spec., diverse Mucorales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fusarium spec., Acremonium spec., Cladosporium spec., Trichoderma spec</li> </ul>
Biomalz + Antibiotika	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ++ diverse Mucorales</li> <li>• Trichoderma spec., Penicillium spec.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mucorales</li> </ul>

Ein anschließender Keimlingstest (Kresse) in Sand-Inokulum gefüllten Petrischalen erlaubt eine schnelle Aussage über eine hemmende bzw fördernde Wirkung der entsprechenden Inokula im Vergleich zu Kontrollen (Tab. 4). Wenn der Einsatzbereich des zu prüfenden Inokulums vorab bekannt ist, können praktischerweise in diesem Bioassay die zukünftigen Wirtspflanzen der AMP eingesetzt werden.

Welche Standardtestmethoden in einem solchen Verfahren einheitlich durchgeführt werden sollen, muß in enger Zusammenarbeit mit den kommerziellen Nutzern geklärt werden.

Tabelle 4: Vergleich zweier kommerziell angebotener AMP-Inokula im Kressetest (30g verd. Probenmaterial + 15 Kressesamen pro Ansatz), Auswertung nach drei und sieben Tage (20°C, Hell-/Dunkelwechsel (16:8), (e) = einheitlich, (h) = heterogen)

	gekeimt (drei T.n.Aussaat)	Sproß <sub>Minimallänge:Maximal-cm</sub> (7 T.n.A)
Quarzsand-Wasser-Kontrolle	15 : 15	1,5 - 2,3 <sup>(e)</sup>
Inokulum 1 (Deutschland)	14 : 15	(1,5) -2,3-4,5 <sup>(h)</sup>
Inokulum 2 (Kolumbien)	13 : 15	2,5 - 3,3 <sup>(e)</sup>

Im Zuge der Analyse von Inokulumproben können im Substrat enthaltene Protisten, Insekten oder Nematoden miterfaßt werden. Die Schwierigkeit der Beurteilung ihrer Schädlichkeit ist sehr unterschiedlich. Im Falle leicht erkennbarer Organismen (z.B. Möhrenfliegenlarve, Nematoden mit Mundstachel) fällt es leicht, eine Beurteilung abzugeben. Bei anderen Organismengruppen, wie den Collembolen, ist dies ungleich schwerer.

Die Komplexität der Wechselwirkungen kann innerhalb eines "Mikrokosmos", den ein Pflanztopf bereits nach vier Monaten Inokulumproduktion darstellen, belegt werden, wenn man unter Praxisbedingungen arbeitet, d.h. keine Vorreinigung des Gießwassers, keine Abschottung von außen und nur partiell geregelte Umweltfaktoren. Die faunistische Erhebung liefert eine ganze Reihe von Tierarten: hemiedaphische Collembolen der Gattung *Entomobrya* (Entomobyidae), Milben der Unterordnungen *Astigmata* (meist *A. saprophag*) und *Cryptostigmata* (paraphag oder Räuber), Kugelspringer der Gattung *Arrhopalites* (*Sminthuridae*, phytophag, saprophag). In einem 200ml-Topf wurden durchschnittlich 267 Tiere gezählt. Die Hypothese verschiedener Autoren ist, daß die entstehenden Nahrungsnetze im "Mikrokosmos" wesentlich auf den Hyphen von Mykorrhizapilzen, ihren Sporen und besiedelten Wurzeln basieren (Moore et al., 1985; Warncock et al., 1982).

Tatsächlich vergrößert sich die Population von Collembolen, die man einem Substrat zusetzt, im Falle mykorrhizierter Petersilienpflanzen als Nahrungsquelle, während sie sich in Kontrolltöpfen ohne AMP verkleinert (Tab. 5). AMP, die Sporen innerhalb der Wurzeln bilden (*Glomus intraradices*) und zudem als schlechte Außenmycelbildner bekannt sind (Feldmann, unveröffentlicht), fördern die Populationsentwicklung weit weniger als solche

AM-Pilze, die starkes Außenmycel und extraradiculäre Sporen bilden (*Glomus manihotis*, *Glomus etunicatum*). Solche Beobachtungen suggerieren einen schädlichen Einfluß dieser Fremdorganismen im Inokulum auf den Wirt. Bei Versuchen zur Optimierung der Verfahrenstechnik der Inokulumsproduktion werden deshalb Collembolen bisweilen gezielt chemisch dezimiert.

Tabelle 5: Individuenzahl von *Folsomia candida* in Gegenwart verschiedener AMP-Linien der Gattung *Glomus* auf *Petroselinum crispum* nach siebenwöchiger Kultur in Quarzsand

Collembolenart	Mykorrhizapilzlinie				Kontrolle ohne AMP
	<i>G. intraradices</i>	<i>G. manihotis</i>	<i>G. etunicatum</i> HH6	<i>G. etunicatum</i> HH13	
<i>Folsomia candida</i>	69,4	152,6	154,8	237,6	52,3

Test unter Standardkulturbedingungen (Feldmann et al. 1997), 3 Wiederholungen, 3 Töpfe/Variante, Standardabweichung max. 6%.

Betrachtet man die Wechselwirkungen zwischen Collembolen und Mykorrhiza genauer, werden die komplexen Verhältnisse deutlicher (Tab. 6). Zwar fressen alle getesteten Collembolen nachweisbar sowohl Sporen, Mycel, als auch besiedelte Wurzeln. Unabhängig von der Collembolenart tritt ein Fraß von AMP-Material (Mycel und Sporen) offenbar größtenteils wurzelnah auf, was aber nicht zur Beeinflussung der wurzelinternen Pilzentwicklung, nur geringfügig zu verminderter Ausbreitung zwischen den Wurzeln und zu einer derartig geringen Reduzierung der Sporenzahl pro Mikrokosmos führt, daß sie statistisch nicht nachweisbar ist. Im Gegenteil wird im Falle von *Folsomia candida* und *Onychiurus fimatus* eine verstärkte Sporulation des AMP beobachtet, möglicherweise gerade wegen der Beweidung mit der Folge einer verstärkten Verzweigung des Mycels. Dies trifft zu, obwohl gerade diese Arten im Gegensatz zu *Sinella coeca* besiedelte Wurzeln im Nahrungswahlversuch präferieren.

Tabelle 6: Mykorrhizapilzentwicklung auf *Petroselinum crispum* in Gegenwart dreier Collembolenarten im offenen Mikrokosmos (Zeilen 1-5) und Nahrungswahl von Collembolen im Petri-Schalen-Testsystem (Zeilen 6-8)

ermittelte Parameter	Collembolenart			Kontrolle ohne Col- lembolen
	<i>Folsomia candida</i>	<i>Onychiu- rus fima- tus</i>	<i>Sinella coeca</i>	
Wurzellänge der Wirtspflanze (cm)	30,2	26,9	24,0	27,1
Wurzellänge mit Rhizosphärensporen (%)	9,7	9,3	12,8	24,8
Sporenzahl pro 200 ml-Topf	1188	792	590	594
Besiedelungsgrad (%)	85,4	86,6	86,4	94,0
Besiedelungsintensität (%)	27,9	27,2	28,1	28,9
von 40 Sporen gefressen:	21	28	29	/
Fraßhäufigkeit "Wurzel mit AMP" (%)	77,6	83,7	10,1	/
Fraßhäufigkeit "Wurzel ohne AMP" (%)	22,3	16,2	89,9	/

Test unter Standardkulturbedingungen (Feldmann et al. 1997), 3 Wiederholungen, 3 Töpfe/Variante, Standardabweichung max. 7,5%. Direkter Sporenfrassversuch einmal durchgeführt. Methodik s. Material & Methodenteil

Zusammenfassend stellen die Collembolen in der genannten Menge offenbar keinen negativen Einflußfaktor auf die Symbionten dar. Im Inokulum weiterverbreitet werden offenbar die wenigsten faunistischen Komponenten, da sie sich bei der Trocknung des Materials selbst aus dem Inokulum zurückziehen (vergl. Tab. 3). Diese Ergebnisse mögen beispielhaft zeigen, wie vielschichtig die Bewertung eines Inokulums sein könnte und in Zweifelsfällen wahrscheinlich auch sein muß.

Eine Qualitätskontrolle, die gewährleisten soll, daß ein vorliegendes Inokulum für den Anwender einschätzbar wird, muß sich zwar dem gesamten Spektrum der möglichen Fremdkontaminationen stellen, muß aber aus pragmatischen Gründen vereinfachen und verallgemeinern.

## Schlußfolgerungen

Qualität von kommerziellem Inokulum muß durch eine Reihe von Parametern beschrieben werden, die eine Vergleichbarkeit der Angebote für den potentiellen Anwender schaffen und eine akzeptanzsteigernde Risikominderung mit sich bringen.

Wenngleich prinzipiell schon heute Methoden vorliegen, mit denen die verschiedenen Teilaspekte der Qualitätskontrolle durchgeführt werden können, bedarf es der Klärung spezieller Fragen, wie z.B. der Auswahl geeigneter Pflanzenarten für die aufgeführten Bioassays. Weiterhin ist es erforderlich, in einer praxisorientierten Machbarkeitsstudie alle notwendigen Methoden zu einem konkreten Verfahren zusammenzuführen. Dabei gilt es, einzelne methodische Komponenten zu optimieren, möglichst viele zu vereinfachen und praktikable, kostengünstige Schnelltests zu entwickeln, um so - möglicherweise in speziell orientierten unabhängigen Instituten - routinemäßig standardisierte Qualitätskontrolle von kommerziellem AMP Inokulum zu ermöglichen.

Eine Zertifikation und Produktdeklaration sollte mindestens die in Tabelle 7 aufgeführten Punkte enthalten.

Eine rechtsverbindliche Durchführung einer Qualitätskontrolle von kommerziellem Inokulum besteht derzeit nicht. Wegen der enormen Bedeutung der durch sie zu prüfenden Produktcharakteristika für die Akzeptanz des Produkte ist jedoch zu erwarten, das Hersteller von arbuskulärem Mykorrhizapilzinokulum eine Zertifikation durch ein unabhängiges Institut als wertsteigerndes Merkmal in ihre Preiskalkulationen miteinbeziehen und sich der freiwilligen Kontrolle unterziehen werden. Voraussetzung dafür ist eine möglichst rasche Lösung der noch offenen Fragen.

Tabelle 7: Vorschlag zur Produktzertifizierung und -deklaration von kommerziellem Mykorrhizapilz-Inokulum

Zertifizierung durch das Kontrollinstitut	daraus abzuleitende Herstellerangaben (auf Verpackung oder Begleitzettel)
AMP-Arten und Zusammensetzung	Hinweis auf lebende Organismen im Substrat, Dosierungsanleitung s.o.
Sporenzahl	
MPN von Infektionseinheiten	
Fremdkontaminationen	
- Zusammensetzung	
- Wirkung im Standardtest	
Wirksamkeit der AMP im Standardtest	zu erwartende Wirkung
Zertifikationsnr.	ggf. Angabe des Kontrollinstitutes
	Herstellungs-, Abfüll-, ggf. Verfallsdatum

### Danksagung

Teile der vorgestellten Ergebnisse (Nahrungswahlversuche der Collembolen) wurden von Frau Dipl.-Biol. G. Meyer im Rahmen ihrer von uns mitbetreuten Diplom-Arbeit bearbeitet und nicht veröffentlicht. Wir danken ihr für die Möglichkeit, die Daten in neu aufgearbeiteter Form hier vorstellen zu können.

### Zitierte Literatur

ALEXANDER, M. (1965): Most Probable Number method for microbial populations. In: Methods of soil analysis II, Black, C.A. (ed.), American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA

- DANIELS, B.A. & SKIPPER, H.D. (1984): Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. In: *Methods and principles of mycorrhizal research*, Schenck, N.C. (ed.), The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA, 29-38.
- DUNGER, W., FIEDLER, H.J. (1989): *Methoden der Bodenbiologie*, Springer, Berlin
- FELDMANN, F. & BOYLE, C. (1997): Stabilität der Wirksamkeit arbuskulärer Mykorrhizasymbiosen, *Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt*, ebenfalls in diesem Band
- FELDMANN, F. & IDCZAK, E. (1992): Inoculumproduction of VAM fungi for use in tropical nurseries. In: A.K. Varma, J.R. Norris, D.J. Read, eds. *Methods in Microbiology: Experiments with mycorrhiza* **24**, 339-357.
- FELDMANN, F., KRUSE, W., BOYLE, C., LIEBEREI, R., (1997): The Strain - Inherent Variability of Arbuscular Mycorrhizal Effectiveness: I. Development of a Test System Using *Petroselinum crispum* as Host, *Symbiosis*, eingereicht
- FELDMANN, F., (1997): The Strain - Inherent Variability of Arbuscular Mycorrhizal Effectiveness: II. Effectiveness of single spores, *Symbiosis*, eingereicht
- GIOVANNETTI, M. & MOSSE, B. (1980): An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist* **84**, 489-500.
- GLENNER, G.G. (1977): Formazans and tetrazolium salts. In: Lillie, R.D. (ed.) *Biological stains*, Williams & Wilkins Co. Baltimore, 225-235.
- KORMANIK, P.P. & MC GRAW, A.-C. (1984): Quantification of vesicular-arbuscular mycorrhizae in plant roots. In: Schenck, N.C. (ed.), *Methods and principles of mycorrhizal research*, The American Phytopathological Society, St. Paul, Minnesota, USA
- MOORE, J.C., ST.JOHN, T.V. & COLEMAN, D.C. (1985): Ingestion of vesicular arbuscular mycorrhizal hyphae and spores by soil microarthropods. *Ecology* **66**, 1979-1981.
- PLENCHETTE, C., FORTIN, J.A., FURLAN, V. 1983. Growth responses of several plant



species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant Soil* **70** 199-209.

PORTER, W.M. (1979): The most probable number method for enumerating infective propagules of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in soil. *Australian Journal of Soil Research*, **17**, 515-519.

WARNSCOCK, A.J., FITTER, A.H. & USHER, M.B. (1982): The influence of springtail *Folsomia candida* on the mycorrhizal association of leek (*Allium porrum*) and the vesicular arbuscular mycorrhizal endophyte *Glomus fasciculatus*. *New Phytologist* **90**, 285-292.

H.J. BELKE, BEGA-PLAN Grüngestaltung, Winkhausen 39, 57392 Schmallenberg

### **Anforderungen der Dachbegrünung an das Mykorrhiza - Inokulum**

Die Erwartungen, die der Erwerbsgartenbau mit der Mykorrhiza - Forschung verbindet, sind hoch.

Bedingt durch die Veröffentlichungen von Versuchsergebnissen über den Einsatz von VA-Mykorrhizapilzen in der gartenbaulichen Fachpresse begegnet den Substratherstellern immer häufiger der Wunsch nach präparierten Substraten.

### Dachbegrünung als neues Aufgabenfeld

Begrünte Dächer werden europaweit immer populärer. Zu offensichtlich sind die ökonomischen und ökologischen Vorteile, als daß man noch ernsthafte Einwände gegen diese wirkungsstarke Maßnahme gegen zunehmende Versiegelung vorbringen könnte.

Eine Dachbegrünung ist aber, selbst eine optimale Ausführung vorausgesetzt, ein bodenunabhängiger, isolierter Standort. Zwar sind, gerade in der extensiven Begrünung von Dachflächen, Pflanzen in der Verwendung, die als „Hunger- und Durstkünstler“ zu bezeichnen sind, dennoch stellen gerade Wasser - und Nährstoffversorgung die elementarsten Probleme der Dachbegrünung dar.

### Begrünungsformen

Die Praxis unterscheidet bei der Begrünung von Dächern die :

- **extensive Dachbegrünung**, gekennzeichnet durch niedrige Aufbauhöhen, relativ geringe Lasten, nahezu humusfreie Substrate und robuste, regenerationsfähige Stauden und Gräser.
- **intensive Dachbegrünung**, gekennzeichnet durch Aufbauhöhen oberhalb von 20 cm, höheren Lasten, Substraten mit höheren Anteilen an organischer Substanz und anspruchsvolleren Stauden, Gräsern, Zwiebeln und Gehölzen.

Die Übergänge zwischen den beiden Begrünungsformen sind fließend. So kann eine „anspruchsvolle Extensivbegrünung“ mit Substrathöhen von ca. 15 - 20 cm gleichzeitig auch Ausprägungen einer anspruchsarmen Intensivbegrünung zeigen.

Die Anteile am Dachbegrünungsmarkt liegen zu hohen Prozentzahlen in der Extensivbegrünung, wenn ausschließlich die Fläche betrachtet wird. Der Bedarf an geeigneten Substraten ist in der Intensivbegrünung aber ebenfalls hoch. Hier spielen die deutlich höheren Substratstärken eine entscheidende Rolle.

### Wasserversorgung

Grundvoraussetzung eines jeden begrünten Daches ist die absolute Dichtigkeit und die Wurzelfestigkeit zum darunter liegenden Baukörper. Das Vegetationssubstrat hat somit die Aufgabe, auftretendes Niederschlagswasser zu binden und pflanzenverfügbar zu speichern.

Ein Rechenbeispiel läßt die Dimensionen hinsichtlich der Wasserspeicherung deutlich werden:

Ein Extensivsubstrat, das die FLL- Richtlinien 1995 für die Ausführung von Dachbegrünungen einhält, ist in der Lage, bei einer Schütthöhe von ca. 10 cm bis zu 45 Liter Wasser je qm zu binden. Dieser Zustand tritt aber nur sehr selten ein, zumeist dann, wenn die Pflanzen jahreszeitlich bedingt keinen hohen Wasserbedarf haben.

In den Sommermonaten besteht sehr häufig eine Wassermangelsituation für die Vegetationsschicht auf dem Dach. Pflanzen mit ausgeprägtem Wurzelwerk, Speicherorganen in der Wurzel oder im Sproß und Pflanzen mit Schutzfunktionen, wie reflektierendem Blattwerk, sind eindeutig bevorzugt.

Gerade Gräser sind in der Dachbegrünung unter gestalterischen Aspekten durch ihre strukturbildende Funktion sehr beliebt. Die Wasseransprüche zahlreicher, ansprechender Gräser sind aber höher als die der meist verwendeten Dachpflanzen, den Sedum - Arten.

### Nährstoffversorgung

Dachstauden der extensiven Begrünung gelten als wenig nährstoffbedürftig. Nach der Auspflanzung, bzw. der Aussaat bringen die Ausgangskomponenten des frischen Substrates ausreichend Nährstoffe aufs Dach. Hohe Nährstoffgrundversorgungen sind aufgrund der Auswaschungsgefahr und der damit verbundenen Belastung des Oberflächenwassers auch nicht gewünscht. Hohe Nährstoffversorgung in den Substraten läßt auch negative Folgen für die Winterhärte der Dachstauden und Gehölze befürchten.

Der Stickstoffeintrag aus der Luft in die Substratschicht des Daches ist regional sehr unterschiedlich. Zumeist reicht dieser Eintrag nicht aus um eine ausreichende Sproßentwicklung in der extensiven Begrünung zu gewährleisten.

Kalium und Phosphor, als weitere Hauptnährstoffe, stehen je nach Ausgangsmaterial auch nur für einen begrenzten Zeitraum zur Verfügung.

In der gängigen Unterhaltungspraxis werden Dächer entweder gar nicht oder bestenfalls mit ummantelten Depotdüngern gedüngt. Trotz der relativ gut vorhersehbaren Wirkungsweise bleibt die Gefahr von Nährstoffauswaschungen bestehen. Eine Optimierung des Substrates in physikalischer und chemischer Hinsicht ist von vorrangigem Interesse, um die Nährstoffaufnahme-fähigkeit der Pflanzen zu verbessern.

### Vegetationsformen

Extensive Dachbegrünung läßt sich auf verschiedene Art und Weise realisieren :

- durch Aussaat
- durch Naßansaat, einem Gemisch aus Wasser, Kleber, Samen
- durch Sprossenansaat
- durch Flachballenpflanzen
- durch vorkultivierte Vegetationsmatten

Allen Formen ist gemein, daß sie relativ schnell mit dem Dachgartensubstrat die geeignete Lebensgrundlage finden müssen. Diesem Bestreben stehen möglicherweise folgende Faktoren entgegen:

- hohe Gesamtsalzgehalte im Substrat
- unpassende pH - Werte
- unzureichende Wasserkapazität
- zu geringe Luftkapazität

### Substratvoraussetzungen

Die Substrate der extensiven Dachbegrünungen sind im Regelfall durch sehr geringe Gehalte an organischer Substanz gekennzeichnet. Einschichtige Begrünungen, in denen die Substratschüttung die Aufgaben der Dränung, der Wasserspeicherung und der Vegetationstragschicht übernimmt, enthalten keine organischen Bestandteile.

Ursächlich durch die mineralischen Ausgangskomponenten bedingt, liegen die pH - Werte der Substrate bei 7.0 - 8.0.

Die Salzgehalte und auch die Nährstoffwerte können je nach Ausgangskomponente relativ hoch sein. Geeignete Substrate, die auf den Einsatz von Klärschlämmen und auf verunreinigten Recycling - Splitt verzichten, können mit Salzwerten von weniger als 1.5 g/ Liter aufwarten.

### Erwartungen der Dachbegrünung an die Mykorrhiza - Forschung

In der Dachbegrünung läßt sich aus den Praxisbedürfnissen recht einfach ein umfangreicher Fragen - und Forderungskatalog erstellen :

1. Ist es ausreichend, Pflanzen auf dem Dach auszubringen, die unter dem Zusatz von Mykorrhiza - Inokulum produziert wurden ?
2. Kann Mykorrhiza - Inokulum flüssig, beispielsweise in Kombination mit Naßansaat aus gebracht werden ?
3. Verbessert eine Mykorrhiza - Symbiose die Wasseraufnahmefähigkeit, bzw. die Trockenstreßtoleranz ?
4. Nehmen mykorrhizierete Dachpflanzen mehr Nährstoffe auf als Pflanzen ohne Symbiose ?

5. Welche Dachgartenpflanzen gehen eine Symbiose mit Mykorrhiza - Inokulum ein ?
6. Gibt es einen Mykorrhiza - Generalisten für Dachbegrünungen?
7. Ist ein nachträgliches Einbringen in bestehende Dachbegrünungen möglich ?
8. Besteht die Notwendigkeit von Nachbehandlungen mit Inokulum bei einem bereits mit Mykorrhiza - Inokulum ausgeführtem Dach ?
9. Berührt der Einsatz von Mykorrhiza auf dem Dach den Einsatz von Pflanzenschutz - und Düngemaßnahmen ?
10. Wie sehr verteuert sich die Dachbegrünung durch die Zumischung von Mykorrhiza - Inokulum in die Dachgartensubstrate?
11. Ist mit einer erweiterten Pflanzenauswahl für die Dachbegrünung zu rechnen, wenn Mykorrhiza - Substrate verwendet werden ?

Sicherlich werden in Zukunft weitere Fragen zu beantworten sein. Das steigende Bedürfnis an funktionierenden Begrünungen eines sensiblen Standortes sollte Grund genug sein, die auftretenden Fragen durch gemeinsame Arbeit der Forschung, der Inokulumproduzenten, der Substratindustrie und der Dachbegrüner zu beantworten.

Die Branche freut sich auf Fortschritte !