

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



**Arbuskuläre Mykorrhiza in der Pflanzenproduktion:
Praxisbeispiele und Perspektiven**

Arbuscular Mycorrhiza in Plant Production:
Examples and Perspectives for Practical Application

Arbeitstagung am 14. und 15. Januar 1999 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 Pflanzenkultur, Solkau

Heft 363

Berlin 1999

Parey Buchverlag Berlin
Kurfürstendamm 57, D-10707 Berlin

Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA)

Präsident: Professor Dr. Fred Klingauf, Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig

Die Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), deren Entstehung auf die 1898 gegründete Biologische Abteilung am Kaiserlichen Gesundheitsamt in Berlin zurückgeht, ist eine selbständige Bundesoberbehörde und Bundesforschungsanstalt im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. Ihre Aufgaben sind im Pflanzenschutz-, Gentechnik- und Bundesseuchengesetz festgelegt und umfassen u. a.:

- Forschungen auf dem Gesamtgebiet des Pflanzen- und Vorratsschutzes,
- Prüfung und Zulassung von Pflanzenschutzmitteln,
- Eintragung und Prüfung von Pflanzenschutzgeräten,
- Mitwirkung bei der Genehmigung zur Freisetzung und dem Inverkehrbringen gentechnisch veränderter Organismen einschließlich Forschung zur biologischen Sicherheit,
- Beteiligung bei der Bewertung von Umweltchemikalien nach dem Chemikalienrecht.

Die Forschungsarbeiten der BBA schaffen Grundlagen für Entscheidungshilfen zur Ernährungs-, Land- und Forstwirtschaftspolitik sowie zur Verbraucherpolitik. Über 900 Mitarbeiter, davon 300 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, sind bei der BBA beschäftigt.

The Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry (BBA)

President: Professor Dr. Fred Klingauf, Messeweg 11/12, D-38104 Braunschweig

The Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry (BBA), which originates from the Biological Division at the Empirical Health Office, founded in Berlin in 1898, is a federal authority in its own right and federal research centre in the jurisdiction of the Federal Ministry of Food, Agriculture and Forestry (BML). Its tasks are mainly defined by the Plant Protection Act as well as the Genetechnology Act and include among others:

- research in the whole field of plant protection and stored products protection,
- examination and authorization of plant protection products,
- registration and examination of plant protection equipment,
- participation in authorizing genetically modified organisms deliberately released and issued, including investigations on biosafety,
- cooperation in assessing chemicals of environmental relevance according to the Chemicals Act.

The research work of the BBA is providing decisional foundations not only in the political field of food, agriculture and forestry but also for consumer policy. There are more than 900 employees, including 300 scientists, who work at the BBA.

Anschrift für Tauschsendungen:

Please address **exchanges** to:

Adressez **échanges**, s'il vous plaît:

Para el canje dirigirse por favor a:

Bibliothek der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Königin-Luise-Straße 19, D-14195 Berlin (Dahlem)

Postanschrift: 14191 Berlin

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



**Arbuskuläre Mykorrhiza in der Pflanzenproduktion:
Praxisbeispiele und Perspektiven**

**Arbuscular Mycorrhiza in Plant Production:
Examples and Perspectives for Practical Application**

Arbeitstagung am 14. und 15. Januar 1999 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 Pflanzenkultur, Solkau

Heft 363

Berlin 1999

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

Parey Buchverlag Berlin
Kurfürstendamm 57, D-10707 Berlin

ISSN 0067-5849

ISBN 3-8263-3247-4

Die Deutsche Bibliothek – CIP-Einheitsaufnahme

Backhaus, Georg F.:

Arbuskuläre Mykorrhiza in der Pflanzenproduktion: Praxisbeispiele und Perspektiven; Arbeitstagung am 14. und 15. Januar 1999 in Braunschweig = Arbuscular mycorrhiza in plant production / Georg F. Backhaus, Falko Feldmann. Hrsg. von der Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. – Berlin: Parey, [in Komm.], 1999.

(Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem; H. 363)

ISBN 3-8263-3247-4

© 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.

1999 Kommissionsverlag Parey Buchverlag Berlin, Kurfürstendamm 57, 10707 Berlin. Printed in Germany by Arno Brynda, Berlin.

| Inhaltsverzeichnis/ <i>Contents</i> | Seite/ <i>Page</i> |
|---|--|
| G.F. BACKHAUS F. FELDMANN | Vorwort <i>Preface</i> 5 |
| F. FELDMANN, I. HUTTER P. NIEMANN J. WERITZ C. GROTKASS C. BOYLE | Einbindung der Mykorrhizatechnologie in die Heil- und Zierpflanzenproduktion sowie den Endverkauf <i>Integration of the mycorrhizal technology into plant production process of medicinal and ornamental plants as well as commercialisation</i> 6 |
| F. KULLMANN W. H. SCHNITZLER | Anzucht von Gemüsejungpflanzen in mykorrhizierten Substraten <i>Production of vegetable transplants in mycorrhized substrates</i> 39 |
| R. HASENBUSCH | Ausbleibender Erfolg beim Einsatz der arbuskulären Mykorrhiza bei <i>Saintpaulia-Ionantha</i> -Hybriden und <i>Streptocarpus</i> -Hybriden unter Praxisbedingungen <i>Ineffective use of arbuscular mycorrhizae in Saint- paulia-Ionantha-Hybrids and Streptocarpus-Hybrids under practical conditions</i> 45 |
| S. JOHNE C. BRANDT | Zur Mykorrhizierung von Laubgehölzen <i>On the mycorrhization of deciduous trees</i> 54 |
| I. WEISSENHORN, F. FELDMANN | Perspektiven der Nutzung der arbuskulären My- korrhiza im niederländischen Gartenbau unter Glas <i>Application of arbuscular mycorrhizae in the Dutch Glashouse Horticulture</i> 65 |
| C. SCHULTZ G. GINTING A.M. MOAWAD P.L.G. VLEK | Verbesserung der Überlebensrate <i>in vitro</i> vermehrter Ölpalmen in der Akklimatisierungsphase durch (V)A-Mykorrhizapilze <i>The role of (vesicular-) arbuscular mycorrhiza in the weaning stage of micropropagated oil palms</i> 74 |

- F. FELDMANN
J.P. SILVA Jr.
A.V.R. JAYARATNE
- Nutzung der arbuskulären Mykorrhiza in Baum-
schulen der Tropen am Beispiel des Kautschukbau-
mes *Hevea spp.*
- Utilization of arbuscular mycorrhiza in tropical
nurseries exemplarily demonstrated for the rubber
tree Hevea spp.*
- 83
- M. HELAL
- Phosphormobilisierung aus örtlich plaziertem Phos-
phatdepot durch mykorrhizierte Wurzeln von
Leucaena leucocephala
- Phosphorus mobilization from a local rock phos-
phate depot through mycorrhizal roots of Leucaena
leucocephala*
- 93
- M. ZUNKER
- Erfolgreicher Einsatz von Endo- und Ektomykorri-
zapilzen in den USA
- Successful use of endo- and ectomycorrhizal fungi in
the USA*
- 99

Vorwort

Am 14. und 15. Januar 1999 fand in der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Braunschweig die vierte Arbeitstagung der *Interessenvertretung Anwendung arbuskulärer Mykorrhiza in der Praxis* statt. Referenten aus Wirtschaftsbetrieben, gartenbaulichen Beratungsstellen, Fachhochschulen und Universitäten berichteten von Fortschritten und Möglichkeiten bei der Integration der Mykorrhizatechnologie in moderne Verfahren der Pflanzenproduktion.

Standen in den vorangegangenen Arbeitstagungen Kriterien der Qualität von Mykorrhizapilz-Inokulum, Methoden der Qualitätskontrolle und Fragen der Vorhersagbarkeit der Symbiosewirksamkeit im Vordergrund (vgl. Heft 332 der Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem, 1997), so waren die Referenten hier aufgerufen, Erfahrungen im Zusammenhang mit der Anwendung des Mykorrhiza-Inokulums in Praxisbetrieben oder unter praxisnahen Bedingungen vorzustellen. An den während der Tagung dargestellten Ergebnissen wurde deutlich, daß von einigen Unternehmen der Schritt von den Untersuchungen im Labormaßstab hin zu Erprobungen im betriebsgerechten Maßstab bereits unternommen wird. So war es auf dieser Basis auch zum ersten Mal möglich, die Kosten-Nutzen-Verhältnisse zu analysieren und auf dieser Basis die Anwendungsmöglichkeiten der natürlichen AM-Symbiosen in der gartenbaulichen Praxis Deutschlands und anderer Länder kritisch zu diskutieren.

Das hier vorliegende Heft gibt einen repräsentativen Ausschnitt aus den wesentlichen Diskussionsthemen der Arbeitstagung wieder. Insbesondere für die Bereiche des Zierpflanzenbaus, der Gemüsejungpflanzen, der Heilpflanzen und der Baumschulgehölze, aber auch für Anwendungen der Symbionten im tropischen Pflanzenbau werden aktuelle Versuchserfahrungen sowie umfangreiche Listen mykorrhizierfähiger Nutzpflanzen dargestellt und bewertet. Wichtig ist, daß im Rahmen dieser Tagung auch Versuchserfahrungen einbezogen, diskutiert und beraten wurden, bei denen der vom Grundsatz her erwartete positive Effekt der Symbiose ausblieb. Gerade derartige Beratungen geben wichtige Aufschlüsse und Hinweise über die Eignung potentieller Anwendungsbereiche, Fehler in der Methodik der Produktion und der Applikation von Inokula, Erfordernisse der gegenseitigen Anpassung von Symbionten und Anbausystemen und selbstverständlich auch die Felder, in denen eine Verwendung der Symbionten nicht als sinnvoll anzusehen ist.

Die Inhalte der hier vorgestellten Arbeiten sind eine essentielle Grundlage für die zukünftige Arbeit mit arbuskulären Mykorrhizapilzen und deren Einführung in Praxiskulturen im Rahmen integrierter Pflanzenschutz- und Anbausysteme.

Braunschweig, im Juni 1999

Dr. Georg F. Backhaus

Dr. Falko Feldmann

FELDMANN, F.*, HUTTER, I.*, NIEMANN, P.+, WERITZ, J. #, GROTKASS, C.*
& BOYLE, C.**

*Fa. *Institut für Pflanzenkultur Solkau*; + Fa. *Chr. Eggers*, Bad Bevensen-Almstorf;
Fa. *Symbionta*, Gifhorn; **Institut für Mikrobiologie der TU Braunschweig

Einbindung der Mykorrhizatechnologie in die Heil- und Zierpflanzenproduktion sowie den Endverkauf

Integration of the mycorrhizal technology into plant production process of medicinal and ornamental plants as well as commercialisation

Abstract

An integration of mycorrhizal technology into the production and commercialisation of medicinal and ornamental plants requires experiments to demonstrate the applicability of this technology for plant production. Experiments were conducted under practical conditions of culture and encompassed the details of the practical steps from producer to consumer necessary for employment of this technology. Several ornamental plant cultivars and the medicinal plant *Baptisia tinctoria* were selected as hosts to exemplify the versified areas in which mycorrhization can benefit commercial plant cultivation. Production and quality control are demonstrated as well as different areas for the employment of arbuscular mycorrhizal inoculum. Possible advantages of the mycorrhizal technology for the ecological balance as well as the economical advantages for the participating companies are discussed.

1 Einführung

Die zukünftige Einbindung der Mykorrhizatechnologie in die Pflanzenproduktion erfordert Demonstrationsversuche, die die praktischen Abläufe auf dem Weg der Nutzpflanzen vom Produzenten bis zum Bestimmungsort beim Endverbraucher im Detail berücksichtigen. Sie stellen den ersten Schritt bei der Prüfung der Umsetzbarkeit der innovativen Technologie in der Praxis dar und sind die Basis für ihre spätere Einführung in großem Maßstab. Vorteile einer pflanzenbaulichen Nutzung von Mykorrhizasymbiosen werden auf ökologischer und ökonomischer Ebene gesehen (WOOD und CUMMINGS, 1992). So kommt besonderes Interesse der Verminderung von Abfall und Emissionen zu, erzielt durch eine mykorrhizabedingte Erhöhung der Pflanzenvitalität und Reduzierung von Standzeiten der Zielpflanzen unter Glas (3.000 Hektar in Deutschland

1995). Die energieaufwendige Methode des Unterglasanbaus führt in Deutschland bei einem Wärmeverbrauch von 1,5 Mrd. Liter Heizöl zu einem jährlichen CO₂-Ausstoß von 4,5 Mio. Tonnen pro Jahr. Eine Verringerung der Standzeiten im gesamten Unterglasanbau in Deutschland um nur einen Tag würde die CO₂-Emission um mindestens 12.000 Tonnen pro Tag vermindern. Zur Entwicklung umweltschonender Pflanzenproduktionsverfahren gehört weiterhin der Versuch, mit reduzierten Mengen an Mineraldünger und Pflanzenschutzmitteln in der Pflanzenproduktion auszukommen.

Eine derart umweltschonende Pflanzenanzucht ist zur Zeit im konventionellen Gartenbau faktisch nicht gegeben. Das zunehmende Umweltbewußtsein der Verbraucher unterstreicht aber den steigenden Bedarf an umweltgerecht produzierten Verbrauchsgütern. Diesem vermehrten Umweltbewußtsein trägt auch der Richtlinienentwurf "Kontrollierter Umweltgerechter Zierpflanzenbau" (KUZ) des Bundesverbandes Zierpflanzen im Zentralverband Gartenbau e.V. Rechnung, der "...in der öffentlichen Diskussion glaubwürdig und aktiv seine Leistungen im verantwortungsbewußten Umgang mit der Umwelt darstellen..." möchte. Um die gängigen Produktionsbedingungen nachhaltig umweltschonender zu gestalten, müssen Wege beschritten werden, die alle biologischen Potentiale ausschöpfen. Dazu müssen alle Kulturmaßnahmen erprobt werden, die bei geringerem Energieeinsatz zu einem optimalen Wachstum der Kulturpflanzen führen und die Pflanzen in der Anzuchtphase toleranter gegen abiotischen und biotischen Stress machen.

Vor diesem Hintergrund analysieren wir seit 1998 in einer Machbarkeitsstudie, die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (Az 11842) finanziell unterstützt wird, die Möglichkeiten der Einbindung von Mykorrhizasymbiosen in zwei exemplarisch ausgewählten Feldern der Pflanzenproduktion:

1. An *in vitro* vermehrten und für den Feldanbau bestimmten Pflanzen (*Baptisia tinctoria*)
2. An Sämlingen bzw. Stecklingen von Zierpflanzen für den Endverkauf im Hobbybereich

In vitro vermehrte Pflanzen

In Deutschland werden jährlich über 20 Millionen Pflanzen (davon allein über 13 Millionen Pflanzen von nur 6 Pflanzenarten) biotechnisch über die *in vitro* Vermehrung produziert. Dabei werden unter sterilen Bedingungen Pflanzen vermehrt, auf künstlichen Nährmedien in Klimakammern kultiviert und erst dann an das Erds substrat gewöhnt. Diese abschließende Akklimatisierung der Pflanzen aus *in vitro* Kulturen ist für die kommerziellen Vermehrungsbetriebe eine der schwierigsten Phasen und oft mit hohen Ausfällen des wertvollen Pflanzenmaterials verbunden. Während in den Kulturgefäßen der Pflanze *in vitro* eine gleichbleibend optimale Temperatur- und

Lichtversorgung herrscht, ein funktioneller Verdunstungsschutz von den Pflanzen nicht ausgebildet werden muß und phytopathogene Krankheitserreger nicht in das abgeschlossene System eindringen können, sind die sehr empfindlichen Pflanzen im Erdsubstrat vielfältigen Stressoren ausgesetzt. Zur Zeit muß die Akklimatisierung mit energieaufwendigen Maßnahmen erreicht werden, um die Verluste auf ein ökonomisch und ökologisch vertretbares Maß zu beschränken. Einige Pflanzenarten mit großer wirtschaftlicher Bedeutung sind allein deshalb nicht kommerziell *in vitro* vermehrbar, weil in der Akklimatisierungsphase der *in vitro* Kultur die Verluste an Pflanzenmaterial zu hoch sind (z.B. *Cyclamen persicum*). Arbuskuläre Mykorrhizapilze konnten im Labormaßstab bei einer Reihe von *in vitro* vermehrten Pflanzen zu Verbesserung dieser Situation beitragen (LOVATO et al., 1995).

In der am Projekt beteiligten Fa. *Institut für Pflanzenkultur* treten bei der noch in der Domestikation befindlichen, *in vitro* vermehrten Medizinalpflanze *Baptisia tinctoria* Verluste an wertvollem Pflanzenmaterial sowohl in der Akklimatisierungsphase als auch später bei der Ausbringung ins Feld auf. 1995 stützte sich die Massenvermehrung noch auf vier Klone, von denen zwei trotz hervorragender Eignung für die Inhaltsstoffgewinnung in der *in vitro* Kultur nur deshalb nicht mehr weiter vermehrt wurden, weil die Ausfälle während der Akklimatisierung im Gewächshaus bis zu 84 % betragen. Damit verbunden war ein kostenintensives, hohes Aufkommen an Plastikmüll (ca. 8-10.000 Töpfe pro Jahr) und gebrauchtem Substrat (ca. 2,5 Tonnen pro Jahr) sowie eine hoher Wärmebedarf von über 21.000 –24.000 KWh, die jährlich durch die Pflanzenausfälle verloren gingen.

Zur Zeit wird intensiv an einer Neuselektion von Klonen gearbeitet, wobei nicht nur die *in vitro* Eignung, sondern vor allem auch die Eigenschaften in der Akklimatisierung im Vordergrund stehen. Der Einsatz von arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMP) als natürliche Symbionten vieler Kulturpflanzen erschien für die Lösung der Probleme bei der Herstellung von *Baptisia tinctoria* als ein begehbarer Weg mit einem hohen Maß an ökologischem, umwelthygienischem und ökonomischem Potential. Die Erprobung von AMP an *Baptisia tinctoria* hatte in Vorversuchen große ökonomische und ökologische Einsparpotentiale aufgezeigt (KELLER et al., 1997; FELDMANN, 1999), die sich in den Bereichen Minimierung der Ausfallraten (auf nur noch 4-10 %), Kräftigung der Pflanzen (höhere Biomasse um bis zu 17 %) und Verkürzung der Standzeiten unter Gewächshausbedingungen (bis zu 14 Tagen) kumulieren. Problematisch war das noch nicht vorhersehbare Zusammenspiel zwischen Faktoren der Pflanzenernährung und den Ansprüchen der AMP (z.B. Stickstoff- und Phosphatgehalt des Substrates) und klonspezifische Wechselwirkungen der Zielpflanze und der eingesetzten AMP.

In diesem Teilprojekt des Demonstrationsvorhabens wurde zum einen eine Überprüfung bisheriger Erfahrungen an neuen, aktuell verwendeten Pflanzenklonen geplant, d.h. die Prüfung der Wirksamkeit eines Inokulums auf *in vitro* nicht bewurzelte und bewurzelte Jungpflanzen in der Akklimatisierungsphase. Es wurden ferner verschiedene Düngungsvarianten getestet und Veränderungen im Verfahrensablauf zur Erleichterung der Etablierung der Symbiosen, z.B. Variation des Inokulationszeitpunktes erprobt. Sehr wichtig war die Messung der Variabilität des Inokulationserfolges bei einer Verzehnfachung der Menge an inokulierten Pflanzen des bisher im Labormaßstab erprobten Einsatzes auf etwa 10 % der Jahresproduktion an Jungpflanzen. Im nachfolgenden Jahr ist dann nach Durchführung notwendiger Anpassungen im Verfahren eine weitere Verzehnfachung des Umfanges geplant.

Zierpflanzen für den Endverkauf

Im Jahr 1995 wurde im Zierpflanzenbau mit 35.000 vollbeschäftigten Arbeitskräften ein Produktionswert von 2,5 Milliarden DM erwirtschaftet (davon 75 % Topf- sowie Beet- und Balkonpflanzen, 25 % Schnittpflanzen). 1,35 Mrd. Zierpflanzen, davon allein 125 Mio. Geranien, wurden produziert (ZENTRALVERBAND GARTENBAU, mündl. Mitteilung 1997). Aufgrund des europäischen - vor allem des holländischen - Wettbewerbs im Gartenbau steht die Verkürzung der Standzeiten im Mittelpunkt einer ökonomischen Produktion der Zierpflanzen. Der Faktor Ausfallraten konnte bislang durch Einsatz von Pflanzenschutzmitteln reduziert werden, während die Verkürzung der Standzeiten insbesondere durch Hochleistungssorten, starke Düngung und hohen Energieeinsatz erreicht wird. Im Zuge der Einführung einer umweltschonenden Pflanzenproduktion sind hier erhebliche Schwierigkeiten vorprogrammiert, wenn nicht frühzeitig Pflanzenbaumaßnahmen wie die Mykorrhizatechnologie so in den Verfahrensablauf eingebunden werden, daß sie unproblematisch für jeden Produzenten zur Verfügung stehen.

Bei der Vermarktung von Zierpflanzen im Endverkaufsbetrieb sind zwei Parameter von besonderer Bedeutung: Kostenreduktion durch Einsparung bei der Kultur und Pflege von Rohware, die vom Jungpflanzenhersteller nicht verkaufsreif geliefert wird und Verbesserung der Kundenzufriedenheit durch Lieferung von Pflanzenmaterial hoher „innerer Qualität“, d.h. hohem Blühvermögen und hoher Streßtoleranz. Problematisch bei der Umsetzung der praktischen Einbindung der Mykorrhiza ist insbesondere der Faktor „Zeit“ zwischen Inokulation und Auftreten einer Wirkung und die Einsetzbarkeit eines einzigen Inokulums an einer ganzen Reihe von Pflanzenarten, d.h. das Auftreten von Wirkungsspezifitäten.

Der am Projekt beteiligte Endverkaufsbetrieb bestellt die Pflanzen für das Frühjahrsgeschäft im Dezember bzw. Januar bei dem beteiligten Jungpflanzenhersteller, bekommt sie als Rohware im

März und April geliefert und bietet die Pflanzen je nach Entwicklungszustand mit bis zu sechswöchiger Verzögerung zum Verkauf an. Weitere Arten werden als Fertigware geliefert und sofort zum Verkauf angeboten. Je nach Witterungslage muß der Endverkaufsbetrieb während der Standzeit der Roh- und Fertigware in seinem Gewächshaus zusätzlich heizen oder Zusatzlicht vorsehen.

Die mehrere Wochen lange Dauer der Entwicklung einer wirksamen Symbiose prädestiniert den Jungpflanzenhersteller als denjenigen, der die Inokulation der Jungpflanzen durchzuführen hat. Dagegen sprechen Erfahrungen von negativen Auswirkungen durch das Besiedelungsverhalten von AMP gerade bei sehr jungen Pflanzen (s. z.B. BETHLENFALVAY et al., 1983; FELDMANN et al., 1998). Die Beteiligung eines Jungpflanzenherstellers in diesem Demonstrationsprojekt erlaubte beispielhaft die Darstellung der Arbeitsteilung bei der Einbindung der Mykorrhizatechnologie in die Jungpflanzenproduktion von Zierpflanzen.

Inokulumbereitstellung

Beide skizzierte Einsatzbereiche können nur erfolgreich sein, wenn exakt beschriebenes Inokulum arbuskulärer Mykorrhizapilze (AMP) zum Einsatz kommen kann. Erst dann ist es möglich, den Einfluß beider Partner der Symbiose auf den erwarteten Effekt einschätzen zu können. Verwendet wurde deshalb eine AMP-Art (*Glomus etunicatum*), die sich in vorangegangenen Inokulumvergleichen als sehr vielseitig in ihren Auswirkungen erwiesen hatte (FELDMANN, 1998b; vergl. DODD und THOMSON, 1994). Der Methode der Produktion von AMP-Inokulum kommt zentrale Bedeutung für die Stabilität der Pilzcharakteristika zu (FELDMANN, 1997a). Die Verwendung von kommerziellem AMP-Inokulum schied von vornherein aus, weil unbekannte Pilzherkünfte und ungerichtete Produktionsverfahren keine prinzipiellen Aussagen über die Nachhaltigkeit der Maßnahme und die Stabilität der Wirkungen erlaubt hätten.

Beim hier angewandten AMP-Produktionsverfahren wurde zunächst geprüft, ob alle Zielpflanzenarten durch den ausgewählten AMP *Glomus etunicatum* besiedelbar waren (vergl. WEISSENHORN und FELDMANN, 1999; FELDMANN et al., 1999 in diesem Band). Daraufhin wurde das Inokulum unter den Verhältnissen produziert, unter dem der spätere Einsatz stattfinden sollte. Ganz entscheidend kam hinzu, daß eine regelmäßige und abschließende Qualitätskontrolle unerwünschten Nebeneffekte – wie die Verbreitung von Schaderregern auszuschließen hatte. Selbstverständlich erlaubte die eigene Herstellung des AMP-Inokulums bereits in dieser Vorkette des Mykorrhizaeinsatzes umweltschonende Maßnahmen wie Abfallvermeidung und Verzicht auf Pflanzenschutzmittel sowie eine schrittweise Rückführung der Menge an chemischen Düngemitteln.

Material und Methode

Allgemeine Mykorrhizaanalytik

Zur Quantifizierung der Symbiosen in Wurzeln wurde eine Klärung eines repräsentativen Ausschnittes aus dem Wurzelsystem (30 Stücke je 1cm Länge) in 10 % KOH für 45 min bei 90° C vorgenommen. Danach wurde in 0,1 N HCl gewaschen, in 0,05 % Trypanblaulösung in Glycerin/Milchsäure/Wasser (2:2:1 V/V/V) für 40 min gefärbt und über Nacht in Glycerin/Milchsäure-Gemisch (1:1) entfärbt. Der prozentuale Anteil der besiedelten Wurzelstücke wurde als Wurzelsystembesiedelungsgrad bezeichnet.

Die qualitative Entwicklung der Symbiose wurde in Abständen von einer Woche, nach Färbung der Wurzeln, mikroskopisch bei 400facher Vergrößerung im Durchlichtverfahren beschrieben. Sporen der arbuskulären Mykorrhizapilze wurden mittels Naßsiebung in einer Siebanalysemaschine der Firma Retsch von Substratpartikeln getrennt (Siebe der Maschenweite 250 µm, 100 µm, 75 µm und 45 µm), durch Saccharose (40 %)-Zentrifugation konzentriert und im Durchlichtverfahren bei 400facher Vergrößerung gezählt. Die Schätzung der wahrscheinlichsten Zahl der Infektionseinheiten arbuskulärer Mykorrhizapilze wurde wie von FELDMANN und IDCZAK (1994) beschrieben ermittelt.

Die Wirksamkeit der Mykorrhizasymbiosen wurde durch den Mykorrhizawirksamkeitsindex (MWI) nach BAGYARAJ (1994) beschrieben;

MWI: $\frac{F_{\text{gInokuliert}} - F_{\text{gNicht-inokuliert}}}{F_{\text{gInokuliert}}} \times 100$, mit Fg als Frischgewicht.

Inokulumproduktion

Als obligat biotrophe Mikroorganismen können AMP nur in den Wurzeln lebender Pflanzen vermehrt werden. Bereits vorhandenes Inokulum (Substrat, das AMP-Sporen enthält) wird unter normales Anzuchtsubstrat gemischt, in das Wirtspflanzen gepflanzt werden. In den Wurzeln vermehren sich die AMP. Nach mehreren Monaten Anzuchtdauer wird die Wirtspflanze entfernt und das Substrat (jetzt Pilzinokulum) je nach vorgesehenem Einsatz weiter behandelt. Das in den Handel gelangende Pilzinokulum, mit dem dann weitere Pflanzen inokuliert werden, besteht infolgedessen immer aus dem Pflanzsubstrat dieser ersten Vermehrungspflanzen sowie einem Teil der Wurzeln und beinhaltet neben Teilen des nützlichen AM-Pilzes (Sporen, Mycelstückchen) auch eine Vielzahl anderer Rhizosphärenmikroorganismen.

In allen Versuchen wurde der arbuskuläre Mykorrhizapilz *Glomus etunicatum* eingesetzt. Das Ursprungsinokulum stammte aus den Untersuchungen von FELDMANN (1998a) und war deshalb

in seiner Zusammensetzung in Bezug auf seine Wirksamkeit genau bekannt. Es wurde in zwei Schritten vermehrt. 1997 wurde im ersten Schritt aus ca. 1000 Sporen der Linie 12, charakterisiert als überwiegend positiv wirksam (FELDMANN 1998a), in 4 l-Töpfen eine Menge von 100 l Inokulum mit 28.000 infektiösen Einheiten pro Liter Inokulum (bestimmt mit *Zea mays* cv. Blizzard) hergestellt. 1998 wurde dieses Inokulum dann im zweiten Schritt erneut vermehrt (auf 25.000l mit 92.000 infektiösen Einheiten pro Liter Inokulum). Die Kulturführung war in beiden Fällen bis auf die verwendeten Pflanzbehälter identisch. 1998 wurden parallele Inokulumsvermehrungen in 8 l Töpfen und in Grundbeeten durchgeführt.

Als Substrat diente eine P_0 -Einheitserde, gedüngt mit 0,5 kg Nährstoffen (12:0:18)/m³. Das Versuchsdesign sah 50 Pflanzen pro Behandlung in einem Grundbeet und 12 parallele Wiederholungen vor, die in einem Folientunnel zufällig verteilt aufgebaut wurden. Als Varianten wurden ausgelegt: Produktion des Inokulums auf *Tagetes erecta* cv. „Gelber Stein“, *Zea mays* cv. „Blizzard“ und ein Gemisch aus beiden. Als Kontrolle dienten nicht-inokulierte Grundbeete mit derselben Bepflanzung. In den Töpfen befanden sich eine Pflanze der genannten Arten oder zwei verschiedener Arten.

Die Inokulummassenproduktion wurde vom 24.06.1998 bis zum 01.09.98 ohne Zusatzbeleuchtung oder Schattierung durchgeführt. Die Beleuchtung war über alle Versuchspartellen hin in engen Grenzen identisch (Abweichung < 5%); minimal wurden an bedeckten Tagen innerhalb des Folientunnels 240 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ gemessen, an sonnigen Tagen maximal 960 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$. Die Temperaturen fielen nachts nicht unter 15 °C, waren im Mittel 22 °C und erreichten an heißen Sonnentagen 45 °C, ohne die Pflanzen zu schädigen. Gegossen wurde in dem nach unten geschlossenen System stets unterhalb der Feldkapazität. Einmal pro Woche wurde mit 50 ml/ Pflanze einer Nährlösung gedüngt (Flory 2, NPK 15:5:25). Zum ersten Mal wurde 14 Tage nach Pflanzung mit einer Konzentration von 1 g/l gegossen, zwei Wochen später wurde die Dosis auf 2 g/l gesteigert und schließlich nach einer weiteren Woche bis zum Ende des Versuches auf 3 g/l eingestellt. Das Düngungsregime erlaubte ein Wachstum der Pflanzen ohne Mangelsymptome, jedoch verblieb Phosphat als limitierender Faktor. Nach Ablauf von zehn Wochen wurde das Gießen eingestellt und die Pflanzen geerntet. Chemische Pflanzenschutzmittel wurden zu keinem Zeitpunkt eingesetzt.

Qualitätskontrolle

Täglich wurden die Vermehrungspflanzen nach makroskopisch erkennbaren Schäden und Krankheiten untersucht. Auftretende Schnecken und Insekten wurden abgesammelt bzw. mit Gelbtafeln reduziert. In regelmäßigen Abständen von 14 Tagen wurden einzelne Bodenproben nach dem

Plattengußverfahren auf Schadpilze analysiert. Zum Ende der Inokulumproduktion, nach Trocknung des Substrates, wurde eine umfangreiche Analyse jeder einzelnen Parzelle bzw. jeder einzelnen Variante vorgenommen.

Faunistische und botanische Analyse

Bei Trocknung des Substrates ziehen sich zahlreiche Komponenten des Edaphons aus dem Substrat zurück. Es wurde eine faunistische Analyse des Substrates vorgenommen, die sicherstellen sollte, daß keine phytophagen Organismen mit dem Inokulum verbreitet werden konnten. Zur Analyse wurde 1 l Substrat in einem Topf mittels einer Lichtquelle nochmals langsam getrocknet und die unteren 100 ml auf Zweiflüglerlarven, Käfer, Springschwänze, Milben, Fadenwürmer, Schnecken und sonstige (Hundertfüßer, Doppelfüßer, Asseln, Enchytraeiden, Regenwürmer etc.) untersucht. Da alle untersuchten Gruppen der Meso- bzw. Makrofauna zum serpentin oder fendenten Edaphon gehören, wurde basierend auf dieser Analyse ihre Konzentration pro Liter Boden angegeben.

Im Gegensatz zur faunistischen Analyse wurde das Vorkommen von Algen in einer Schwemmprobe von 50 ml Volumen bestimmt (*Diatomeae, Cyanophyceae, Chlorophyceae*).

Das Auftreten von Moosen, Farnen und Samenpflanzen wurde während der Inokulumproduktion regelmäßig kontrolliert und Pflanzen ggf. manuell entfernt. Durch einen Keimungstest (drei Wochen in der Wuchskammer bei 25 °C, 10 h Beleuchtung mit Weißlichtlampen) wurde eine eventuelle Kontamination des Substrates mit Begleitflora überprüft. Mit dieser Analyse sollte insbesondere die Verbreitung von Unkrautsamen unterbunden werden (z.B. von *Atriplex patula, Stellaria media, Aegopodium podagraria, Polygonum aviculare, Taraxacum officinale, Cirsium arvense, Agropyron repens, Senecio vulgaris, Poa annua, Cardamine pratensis, Convolvulus arvensis, Galinsoga parviflora*).

Keimhemmtest

Parallel zur faunistischen und botanischen Analyse wurde getestet, ob sich die Eigenschaften des Substrates einschließlich der darin befindlichen Organismen keimungshemmend auf Saatgut verschiedener Nutzpflanzenarten auswirkten. Als Testpflanzen wurden *Lepidium sativum, Lactuca sativa, Phaseolus vulgaris* cv. Saxa und *Lolium perenne* eingesetzt. Die Samen wurden in jeweils drei Petrischalen auf Inokulum-Substrat ausgelegt und in Klimakammern mit 25 °C und 100 % relativer Luftfeuchte Keimungsbedingungen geschaffen. Dieser Versuch wurde dreimal wiederholt. Als Kontrolle dienten Samen, die auf Filterpapier zum Auskeimen ausgelegt wurden.

Plattengußverfahren

100 g Substrat wurden mit 200 ml Leitungswasser vermischt, zwei Stunden gerührt und anschließend mit einem Haushaltssieb abgeseigt. Aus dem Überstand wurde mit einer Pipette 1 ml Flüssigkeit auf ein Nährmedium übertragen und mit einem Drigalskispatel verteilt. Drei Nährmedien wurden verwendet: a) Wasseragar aus 10 g Agar/l Wasser, 50 mg/l Tetracyclin HCl, 60 mg/l Benzyl-Penicillin-K-Salz, 80 mg/l Streptomycinsulfat, b) Biomalz-Agar aus 15 g Agar/l Wasser, 50 g Biomalz/l, 50 mg/l Tetracyclin HCl, 60 mg/l Benzyl-Penicillin-K-Salz, 80 mg/l Streptomycinsulfat, c) Kartoffel-Glukose-Agar (250 g Kartoffeln, Sorte Hansa, in 0,5 l Wasser gekocht, durch Mullwindel gepresst, Flüssigkeit auf 1 l aufgefüllt und mit 20 g D-Glucose und 20 g Agar versetzt) Alle Nährmedien auf pH-Wert 5,6 eingestellt. Die Petrischalen mit den Bodenausstrichen wurden bei 25 °C bebrütet und die Entwicklung von Mikroorganismus-Kolonien registriert. Mikroorganismen, überwiegend Pilze, wurden vereinzelt und bis zur Gattung bestimmt. Der Versuch wurde jeweils dreimal wiederholt. Die Gesamtkeimbestimmung wurde nach ALEF (1991) durchgeführt. Bei der Identifizierung von Mikroorganismen wurde auf potentiell schaderregende Pilze fokussiert.

Ermittlung von Schadschwellen

Von den im Inokulum vorkommenden, potentiell schaderregenden bzw. dominanten Pilzen wurden Reinkulturen angelegt und Pilzmaterial für die Ermittlung von Schadschwellen hergestellt. Jeweils zehn Pflanzen der Zielpflanzenart (*Baptisia tinctoria*) und der Pflanzenart, auf der das Mykorrhizapilzinokulum hergestellt wurde (*Tagetes erecta*), wurden mit verschiedenen Konzentrationen der Isolate über das Gießwasser kontaminiert. Die geringste Konzentration war die im Inokulum ermittelte, vier weitere jeweils um die zehnfache Menge erhöht. Auftretende Schäden, z.B. Läsionen etc. wurden im Verhältnis zu nicht inokulierten Pflanzen registriert.

AMP-Einsatz an *Baptisia tinctoria*

Insgesamt wurde der Einsatz von Inokulum an ca. 10000 Pflanzen in vier Klonen von *Baptisia tinctoria* (BM8, BM9, BK36, BK37) getestet. Die Versuche fanden vom 15.02.99-25.05.99 in Folientunneln der Firma *Institut für Pflanzenkultur* statt (T = 22 °C ± 4 °C; keine Zusatzbeleuchtung; rel. Luftfeuchte >40 %. Gedüngt wurde wöchentlich, erstmals nach 3 Wochen (NPK 15:5:25, 10 g/l, 1 x wöchentlich 10 ml pro Pflanze). Es wurden drei Versuchsvarianten angelegt:

Variante 1: jeweils 500 unbewurzelte Mikrostecklinge pro Klon wurden in Pikierkisten gepflanzt. Im Substrat herrschte P-Mangel (P₀-Erde mit 4 ppm P). Inokuliert wurde mit 92 infektiösen Einheiten (IE) des AMP pro cm³ Substrat, gemessen mit *Zea mays* cv. „Blizzard“, wurden inokuliert;

die Inokulation erfolgte direkt beim Umsetzen in die Akklimatisationsphase.

Variante 2: jeweils 1000 bewurzelte Mikrostecklinge pro Klon wurden in einzelne Töpfe pikiert (Substrat mit P-Mangel, wie oben), 200 IE des AMP pro 200 ml-Topf inokuliert und die Inokulation direkt beim Umsetzen in die Akklimatisationsphase vorgenommen.

Variante 3: 400 bewurzelte Mikrostecklinge wurden in normal gedüngtes Substrat (1,5 kg/m³ Nährsalz NPK 14:16:18, d.h. 140 ppm P) pikiert, 100 IE des AMP pro 200 ml-Topf inokuliert und die Inokulation vier Wochen nach Umsetzen in die Akklimatisationsphase durchgeführt.

Die Mangelbedingungen in den ersten beiden Varianten hatten sich in Vorversuchen als günstig erwiesen (KELLER et al., 1997). Die dritte Variante wäre für die Pflanzenentwicklung im normalen, nicht umgestellten Verfahrensablauf wünschenswert.

AMP-Einsatz an Zierpflanzen

Insgesamt wurden 13 Zierpflanzenarten aus 10 Gattungen mit *Glomus etunicatum* beimpft: *Heliotropium arborescens* cv. „Marine“, *Bidens ferulifolia* cv. „Goldmarie“, *Brachycome iberidifolia*, *Chrysanthemum* cv. „Maja Bofinger“, *Lobelia erinus* cv. „Cobalt Blue“, *Lantana camara* cv. „Feston Rose“, *Sutera cordata* cv. „Snowflake“, *Sanvitalia procumbens* cv. „Gold Braid“, *Pelargonium* „Butterfly“, P. „Leuchtkaskade“, P. „Grand Prix“, *Verbena x hybrida* „Imagination“ V. „Romance“. Zwei Sorten, *Heliotrop* „Marine“ und *Bidens* „Goldmarie“, wurden bereits frühzeitig beim Jungpflanzenhersteller inokuliert (6. Kalenderwoche 1999), weitere 10 Sorten als Rohware an den Endverkaufsbetrieb geliefert und dann dort beimpft (14. Kalenderwoche 1999). *Pelargonium* „Grand Prix“ wurde in Vorversuchen zu drei Entwicklungsstadien der Pflanzen inokuliert (19. KW 1997, 26. KW. 1997, 29. KW 1997). Inokuliert wurde jeweils mit 2 infektiösen Einheiten pro cm³ Substrat.

Die Pflanzenkultur entsprach den für jede Pflanzensorte üblichen Bedingungen. Anpassungen an die Bedürfnisse der Mykorrhizapilze, etwa geringere Düngung als üblich, wurden nicht durchgeführt. Die Inokulation erfolgte durch Beimischung beim Topfen (*Heliotrop* und *Bidens*, sowie punktuelle Gabe in drei 5cm tiefe Bohrlöcher pro Topf (alle übrigen).

Statistische Auswertung

Es fand ein separater Varianz t-Test Anwendung, der davon ausgeht, daß die Standardabweichungen zweier Datenmengen unterschiedlich sind. Die resultierende t-Statistik basiert auf einer Zahl von Freiheitsgraden, die entsprechend der Unterschiede in der Varianz der Daten reduziert wird (UNISTAT, 1995). Wurden mehrere Mittelwerte miteinander verglichen, kam die One-Way-

Analysis of Variance (ANOVA) zum Einsatz, da die Proben ähnliche Verteilungen hatten und unabhängig voneinander waren. Die multiplen Vergleiche wurden gemäß eines Tukey-HSD-Test auf der Basis gemittelter Ränge durchgeführt (UNISTAT, 1995).

Ergebnisse

Qualitätskontrolle des AMP-Inokulums

Wirksamkeit des Inokulums während der Inokulumsvermehrung

Im Startinokulum von *Glomus etunicatum* (Linie 12, FELDMANN, 1998a) befanden sich überwiegend (92 %) auf *Petroselinum crispum* positiv wirksame Sporen. Der Rest der Sporen war nicht wirksam. In der ersten Vermehrungsstufe 1997 wurde die Inokulumsmenge ca. 8.000fach vermehrt (von 1.000 Sporen auf $7,9 \times 10^7$ infektiösen Einheiten), in der zweiten Vermehrungsstufe 1998 wurde die Menge des Inokulums erneut ca. 200fach vermehrt (von $7,9 \times 10^7$ auf $1,55 \times 10^9$ infektiöse Einheiten). Unter dem Einfluß der Mykorrhizierung nahm die phänotypische Variation der Individuen innerhalb der Vermehrungspflanzenpopulation von *Zea mays* cv „Blizzard“ im ersten Vermehrungszyklus zu (Tab. 1). Es traten Individuen mit höherer Biomasse auf, als bei der nicht-inokulierten Variante festgestellt wurden. In der Mykorrhizapilz-inokulierten Varianten war die Häufigkeit der Individuen mit einer Biomasse, die oberhalb des Mittelwertes von Kontrollpflanzen lag, größer, wodurch in der Variante mit Mykorrhizapilz-Inokulation ein höherer Mittelwert für das Frischgewicht zustandekam.

Im zweiten Vermehrungszyklus war die Variation der mykorrhizierten Mais-Pflanzen innerhalb der überwiegenden Mehrheit der Parzellen kleiner als bei Kontrollpflanzen. Nur in einem Fall lagen die individuellen Meßwerte außerhalb denen der Kontrollpflanzen (Abb.1a).

Tab. 1: Phänotypische Variation der Wirtspflanzen nach dem ersten Vermehrungsschritt des Mykorrhizapilzes (AMP) *Glomus etunicatum* (Frischgewicht [g pro Pflanze]; 30 Pflanzen/Variante, 3 Wiederholungen)

| Variante | Leichteste Pflanze | Schwerste Pflanze | Mittelwert der Population | Standardabweichung |
|----------|--------------------|-------------------|---------------------------|--------------------|
| Mit AMP | 47,2 | 122,9 | 93,3 | 19,7 |
| Ohne AMP | 45,7 | 110,6 | 81,0 | 18,1 |

Ebenso verhielt es sich mit der phänotypischen Variation der Vermehrungspflanzen *Tagetes erecta* „Gelber Stein“ (Abb. 1b). Eine wachstumsfördernde Wirkung der vermehrten AMP wurde

bei beiden Vermehrungspflanzenarten im zweiten Vermehrungszyklus beobachtet und führte zu unterschiedlich ertragreichen Parzellen (Abb. 2). Es wird deutlich, daß die Mittelwerte der Erträge von Parzellen mit nicht-inokulierten Pflanzen nur geringe Schwankungen aufweisen, während die Unterschiede in der inokulierten Variante erheblich sind.

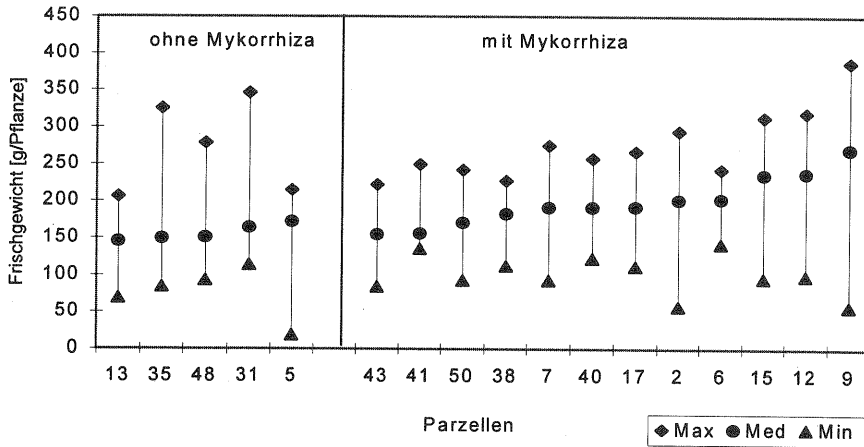


Abb. 1a: Variabilität des Frischgewichtes der Produktionspflanze *Zea mays* nach der Herstellung von Masseninokulum (2. Zyklus) in 300l-Parzellen. Dargestellt ist der Wert des kleinsten (Min), größten (Max) und mittleren (Med) Individuums. „Wirksamkeit“ wurde dann angenommen, wenn die Mittelwerte (Med) zwischen Parzellen signifikant von den Mittelwerten der Kontrollparzellen ohne Mykorrhizierung unterschiedlich waren (t-Test; 95 % Konfidenz).

Die Variabilität der Wirksamkeit der AMP-Populationen in den verschiedenen Parzellen ging nicht auf unterschiedliche Wurzelsystembesiedelungsgrade der Pflanzen in den verschiedenen Parzellen zurück (Tab. 2). Allerdings fiel eine negative Korrelation (Spearman-Korrelation von -0,72 bei 95 % Vertrauensbereich) zwischen Wirksamkeit und Vesikelzahl des AMP in den Wirtswurzeln auf. Die außerhalb der Wurzeln produzierte Sporenzahl war ebenfalls schwach negativ mit der Wirksamkeit korreliert (Spearman-Korrelation von -0,67 bei 95 % Vertrauensbereich). Alle diese Ergebnisse belegen, daß bei der Massenvermehrung unterschiedlich zu charakterisierende Sub-Populationen der eingesetzten AMP-Population entstanden waren, deren unterschiedliche Wirksamkeit sich in der Biomassebildung ihrer Wirtspflanzen zeigten.

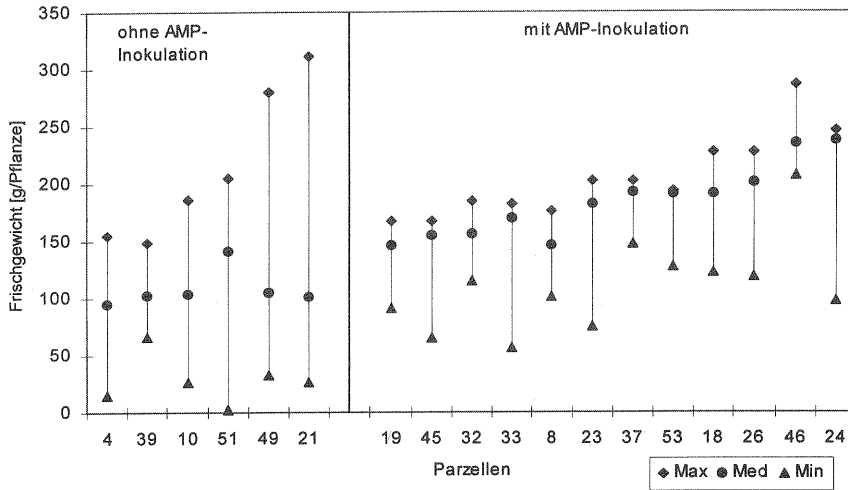


Abb. 1b: Variabilität des Frischgewichtes der Produktionspflanze *Tagetes erecta* nach der Herstellung von Masseninokulum (2. Zyklus) in 300I-Parzellen. Dargestellt ist der Wert des kleinsten (Min), größten (Max) und mittleren (Med) Individuums.

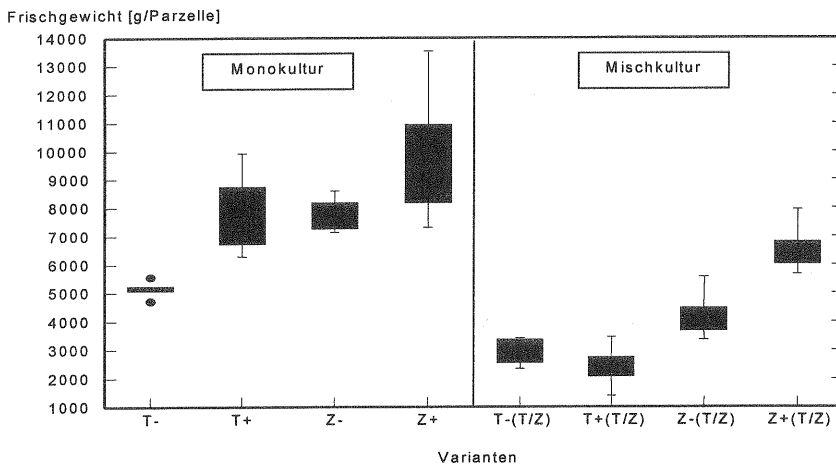


Abb. 2: Biomasseertrag der oberirdischen Pflanzenteile bei der Massenproduktion von AMP-Inokulum. Die Box/Whisker Darstellung wurde auf der Basis des Gesamtertrages pro Parzelle berechnet und gibt die Variabilität der Einzelmessungen (12 Wiederholungen) wieder. „T“ *Tagetes*, „Z“ *Mais*, „T/Z“ Mischkultur. „T, resp. Z(T/Z)“ *Tagetes* oder *Mais* aus Mischkultur.

Im Falle der Mischkultur von *Zea mays* und *Tagetes erecta* kommt es zusätzlich zu Konkurrenz-

phänomenen zwischen den Pflanzenarten, bei denen Mais einseitig von der Symbiose mit den AMP der betreffenden Parzelle profitiert (Abb.2). Wegen der beobachteten Unterschiede zwischen dem Inokulum der einzelnen Parzellen wurden für die weiteren Experimente eine Mischung des Inokulums aller Parzellen hergestellt. Dieses Vorgehen erschien notwendig, da das Mischen zwar große (genetische) Heterogenität innerhalb des Inokulums bedeutete, jedoch alle weiteren Experimente mit einem (in seiner Heterogenität) sehr ähnlichen Inokulum durchgeführt werden konnten.

Charakterisierung des Inokulums

Dünger- und pH-Wert des Inokulums entsprachen dem des eingesetzten, P-armen Substrates, so daß eine düngende Wirkung des Substrates als Auslöser für Effekte nach einer Inokulation ausgeschlossen werden konnten. Die wahrscheinlichste Keimzahl an Infektionseinheiten (MPN) war von Parzelle zu Parzelle ebenso unterschiedlich wie die Sporenzahl in diesen Parzellen (Tab. 2). Da die Sporenzahl in der Regel weit geringer war als die MPN kann davon ausgegangen werden, daß die Infektiosität des Inokulums zum größten Teil auf Mycelabschnitte und besiedelte Wurzelteile zurückging. Die MPN erwies sich als außerordentlich unterschiedlich, wenn eine Probe mit verschiedenen Fangpflanzenarten bestimmt wurde (Tab. 3). Dies bedeutet, daß bestimmte Pflanzenarten in der Lage sind, viel mehr infektiöse Einheiten der AMP zu detektieren als andere. Dieser Sachverhalt war bereits bekannt; die enorme Spanne, die zwischen *Lolium perenne* und *Plantago lanceolata* lag, war absolut erstaunlich. Da die MPN als Ausgangswert für die Verdünnbarkeit des Inokulums beim Einsatz wesentlich ist, birgt die Auswahl der Pflanzenart für ihre Bestimmung das Risiko, den zu inokulierenden Wert falsch zu schätzen. Da wir auch früher schon *Zea mays* cv. „Blizzard“ als Fangpflanze zur MPN-Bestimmung eingesetzt hatten und beim Umgang mit der von „Blizzard“ ermittelten „mittleren“ MPN gute Erfahrungen gemacht hatten, entschlossen wir uns, für unsere weiteren Versuche die zu inokulierende Aufwandmenge über *Zea mays* cv. „Blizzard“ zu schätzen.

Die Bestimmung der Wirksamkeit des Inokulums kann an sich nur in einem Test mit der Zielpflanze selbst sicher ermittelt werden. Wir führten dennoch Tests mit Standardpflanzen unter Standardbedingungen durch, die belegen können, daß die getestete Pilzlinie prinzipiell in der Lage ist, die Biomassebildung eines Wirtes zu fördern. Es zeigte sich, daß die drei inokulierten Pflanzenarten in spezifisch unterschiedlicher Weise von dem Inokulum im Wachstum gefördert wurden (Tab. 4).

Tab. 2: Parzellen-Ertrag und Parameter der Symbioseentwicklung nach der Massenvermehrung von *Glomus etunicatum* (MPN: wahrscheinlichste Zahl infektiöser Einheiten der Mykorrhizapilze; WBG: Wurzelsystembesiedelungs-grad)

| Parzelle | Ertrag [g/Parzelle] | MPN [n/cm ³] | WBG [%] | Vesikelzahl [n/cm] | Sporenzahl [n/cm ³] |
|----------|------------------------|-----------------------------|------------|-----------------------|------------------------------------|
| 45 | 6430 | 1700 | 48 | 120 | 126 |
| 41 | 7730 | 330 | 60 | 224 | 78 |
| 52 | 8150 | 92 | 67 | 334 | 77 |
| 14 | 8700 | 210 | 75 | 178 | 84 |
| 27 | 8995 | 700 | 92 | 45 | 143 |
| 24 | 9920 | 330 | 90 | 65 | 85 |
| 9 | 13520 | 47 | 80 | 98 | 49 |

Tab. 3: Wahrscheinlichste Zahl infektiöser Einheiten im Inokulum von *Glomus etunicatum* in Abhängigkeit von der Testpflanzenart

| | Testpflanzenart | | | |
|-----|-----------------------|-----------------------|-----------------|----------------------------|
| | <i>Lolium perenne</i> | <i>Tagetes erecta</i> | <i>Zea mays</i> | <i>Plantago lanceolata</i> |
| MPN | 22 | 220 | 240 | 700 |

Tab. 4: Mykorrhizawirkungsindex nach Bagyaraj (1994) von *Glomus etunicatum* in Abhängigkeit von der Testpflanzenart unter Standardbedingungen (getestete Wirkung: oberirdisches Frischgewicht nach vier Wochen Kultur; 10 Pflanzen in drei Wiederholungen)

| | Testpflanzenart | | |
|-----|-----------------------|-----------------|---------------------------|
| | <i>Tagetes erecta</i> | <i>Zea mays</i> | <i>Phaseolus vulgaris</i> |
| MWI | 35 ± 3 | 47 ± 5 | 26 ± 3 |

Kontaminationen

Nach der Inokulumproduktion wurde die Identität des eingesetzten AMP lichtmikroskopisch überprüft und festgestellt, daß nach wie vor ein reines Inokulum von *Glomus etunicatum* ohne andere Mykorrhizapilzkontaminanten vorlag. Das Inokulum hatte keine keimungshemmende Wirkung auf verschiedene Pflanzenarten (Tab. 5). Ebenso gab es keine phytophagen faunistischen Kontaminanten oder Unkräuter.

Tab. 5: Qualitätsmerkmale des Inokulums von *Glomus etunicatum* nach der Massenvermehrung

| | | |
|--|----------------|---|
| Ermittelter Parameter | | |
| pH-Wert | | 6,6 |
| Dünger- und Salzgehalt | des Substrates | [mg/l] |
| Stickstoff | | (KCl) 912 |
| Phosphat | | (N) 27 |
| Kalium | | (P ₂ O ₅) 7 |
| Magnesium (Mg) | | (K ₂ O) 29 |
| | | 87 |
| Mykorrhizapilz | | <i>Glomus etunicatum</i> IFP99 |
| Wahrscheinlichste Zahl aktuell besiedelnder Mykorrhizaeinheiten auf Mais cv. „Blizzard“ [n/cm ³] | | 92 ± 34 |
| Wirksamkeit (Zea, Tagetes, Phaseolus) [MWI] | | 36 ± 8 |
| Keimungshemmung (<i>Lactuca</i> , <i>Lolium</i> , <i>Phaseolus</i> , <i>Lepidium</i>) | | Keine |
| Pilzliche Kontaminanten | | |
| Potentielle Phytophagene | | <i>Cladosporium spec.</i> , <i>Fusarium spec.</i> , <i>Alternaria spec.</i> |
| Hyperparasitische Pilze | | <i>Trichoderma harzianum</i> |
| Sonstige, saprophytische Pilze | | <i>Mucor spec.</i> , <i>Penicillium spec.</i> , <i>Epicoccum spec.</i> , <i>Aureobasidium spec.</i> , <i>Paeccillamyces spec.</i> |
| Potentiell phytophage faunistische Kontaminanten | | |
| Zweiflüglerlarven | | Keine |
| Käfer, -larven | | Keine |
| Springschwänze | | Keine |
| Milben | | Keine |
| Fadenwürmer | | Keine |
| Schnecken | | Keine |
| Botanische Kontaminanten | | |
| Algen (Diatomeen, Cyanophyceen, Chlorophyceen) | | Vorhanden |
| „Unkräuter“ | | Keine |

Potentiell phytopathogene Pilze wurden im Inokulum nur wenig gefunden. Allgemein verbreitet waren geringen Mengen an *Cladosporium spec.* Dieser wurde auch in der Substratprobe vor der Inokulumsvermehrung nachgewiesen und stammte ganz offensichtlich aus dem verwendeten Substrat. Er wurde durch das Wachstum der Pflanzen während der Inokulumsvermehrung um das 10fache vermehrt. In einer Parzelle wurde *Fusarium spec.* und *Alternaria spec.* isoliert, ohne daß die Pflanzen dieser Parzelle Schäden aufgewiesen hätten. Diese drei Pilzisolat und zwei weitere häufig auftretende Pilze wurden nach Isolierung massenvermehrt und ihre pathogenen Eigenschaften an Jungpflanzen der Zielpflanze des Mykorrhizaeinsatzes, *Baptisia tinctoria*, ebenso erprobt, wie an der Pflanzenart, auf der die Vermehrung der potentiellen Schädelpilze durchgeführt worden war, *Tagetes erecta*. Weder bei *Baptisia tinctoria* noch bei *Tagetes erecta* konnten irgendwelche durch die Kontaminanten hervorgerufenen Schäden oder Wachstumsdepressionen beobachtet werden. Dies traf auch in Varianten zu, die mit der ca. hunderttausendfachen Menge an Pilzsporen beimpft wurden, die im Inokulum gefunden worden war.

Mykorrhizaeinsatz an *Baptisia tinctoria*

Die Auswirkungen der Mykorrhizainokulation waren in den beiden Versuchsvarianten sehr unterschiedlich und es zeigten sich erhebliche, klonspezifische Besonderheiten. Unbewurzelte Pflanzen, die gewöhnlich vor dem Ausbringen in die Akklimatisierungsphase verworfen werden, wurden bei drei Klonen durch die Mykorrhizainokulation nachteilig beeinflusst, in einem Fall gefördert (BM8). Überlebende Pflanzen waren bei drei Klonen besser bewurzelt, wenn sie mykorrhiziert waren (Tab.6). Sofort inokulierte, bewurzelte Jungpflanzen von *Baptisia tinctoria*, die unter Mangelbedingungen gehalten wurden, wurden durch die Gegenwart der Mykorrhizapilze in ihrer Vitalität nicht gefördert, sondern in einem Fall (Klon BK 36) sogar benachteiligt. Die Ausfallrate lag unter den Umständen der Versuchsvariante 1 bei 24-45 % ohne Mykorrhiza und mit Inokulation zwischen 34 und 54 %. Von den vitalen Pflanzen, die Mykorrhiza gebildet hatten, waren bei der Qualitätsbewertung (gut: für die Pflanzung ins Feld geeignet; schlecht: ungeeignet) allerdings bis zu 16 % besser bewertet als die nicht-mykorrhizierten (Tab. 6).

Ein ganz anderes Bild zeigte sich in der Versuchsvariante 3 (starke Düngung und späte Inokulation). Die starke Düngung führte bei zwei Klonen (BM8 und BM9) dazu, daß eine größere Pflanzenzahl die Akklimatisierungsphase überlebte. Bei den anderen Klonen war die Ausfallrate gleich hoch wie unter Mangelbedingungen. Durch die Mykorrhizapilzinokulation wurde in der Variante 3 die Ausfallrate um 16-30 % reduziert. Gerade solche Klone, die bis zu 40 % Ausfälle hatten, wurden von der Mykorrhiza am besten gefördert. Die Förderung betraf nicht nur die Vitalität der Pflanzen, sondern auch ihre allgemeine oberirdische Biomasseentwicklung: hier schnitten bei der

Bewertung die mykorrhizierten Pflanzen durchweg besser ab als nicht-inokulierte Kontrollpflanzen (Tab. 6).

Tab. 6: Vitalität und Qualität unbewurzelter und bewurzelter Stecklinge von *Baptisia tinctoria* in der Akklimatisationsphase unter dem Einfluß von *Glomus etunicatum*

Variante 1: unbewurzelte Mikrostecklinge in Pikierkisten, Substrat mit P-Mangel, 92 infektiöse Einheiten des AMP/cm³, Inokulation direkt beim Umsetzen in die Akklimatisationsphase; Variante 2: bewurzelte Mikrostecklinge in einzelnen Töpfen, Substrat mit P-Mangel, 200 infektiöse Einheiten des AMP/200 ml-Topf, Inokulation direkt beim Umsetzen in die Akklimatisationsphase; Variante 3: bewurzelte Mikrostecklinge, normal gedüngtes Substrat (140 ppm P), 100 infektiöse Einheiten des AMP/200 ml-Topf, Inokulation vier Wochen nach Umsetzen in die Akklimatisationsphase. Gute Qualität: für das Auspflanzen ins Feld geeignet. Grau: Positive Mykorrhiza-Wirkung. M+ mit Mykorrhiza, M- ohne Mykorrhiza.

| Klon | BM8 | | BM 9 | | BK 36 | | BK 37 | |
|-------------------|-----|----|------|----|-------|----|-------|----|
| | M- | M+ | M- | M+ | M- | M+ | M- | M+ |
| Variante 1 | | | | | | | | |
| Vitalität [%] | 63 | 73 | 89 | 70 | 85 | 34 | 60 | 42 |
| Bewurzelt [%] | 86 | 95 | 91 | 95 | 63 | 66 | 98 | 97 |
| Variante 2 | | | | | | | | |
| Vitalität [%] | 59 | 62 | 76 | 66 | 55 | 46 | 65 | 62 |
| Gute Qualität [%] | 14 | 20 | 21 | 15 | 1 | 2 | 12 | 28 |
| Variante 3 | | | | | | | | |
| Vitalität [%] | 94 | 90 | 80 | 96 | 62 | 92 | 60 | 90 |
| Gute Qualität [%] | 68 | 74 | 70 | 86 | 50 | 72 | 36 | 60 |

Mykorrhizaeinsatz an Zierpflanzen für den Endverkauf

Für den geplanten Einsatz des Inokulums an Zierpflanzen mußte vorab die Aufwandmenge an Inokulum bestimmt werden, bevor die Inokulation der Zierjungpflanzen in den beteiligten Betrieben erfolgen konnte.

Aufwandmenge an Inokulum

Die Inokulation von Jungpflanzen (*Tagetes erecta*) mit unterschiedlichen Mengen des Mykorrhizapilz-Inokulums ergab eine negative Korrelation zwischen Biomasseentwicklung und Aufwandmenge in einem Bereich zwischen 1 und 100 infektiösen Einheiten/cm³ Substrat (Abb. 3). Geringe Mengen von Inokulum führten nicht zu einer signifikanten, negativen Beeinträchtigung der

Testpflanzen. Zwischen Aufwandmenge und Wurzelsystembesiedelung (WBG) lag eine Spearman-Korrelation von 0,76 (95 % Vertrauensbereich) vor. Bei der geringsten Aufwandmenge wurde ein maximaler WBG von 22 % erreicht, bei der höchsten Aufwandmenge ein maximaler WBG von 57 %. Für die geplanten Versuche wurden deshalb Aufwandmengen von maximal 4 infektiösen Einheiten eingesetzt.

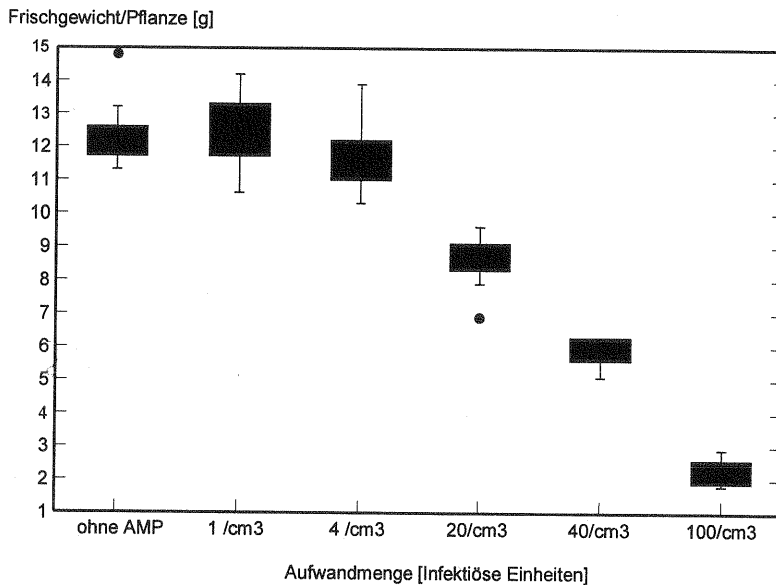


Abb. 3: Frischgewichtsentwicklung von drei Wochen alten *Tagetes erecta*-Sämlingen nach Applikation verschiedener Aufwandmengen eines Inokulums von *Glomus etunicatum* (n=10, 5 Wiederholungen).

Symbioseentwicklung und Wirksamkeit der AMP

Alle Zierpflanzen-Sorten waren nach spätestens drei Wochen zu mindestens 25 % WBG besiedelt (Abb. 4). Der eingesetzte Mykorrhizapilz besiedelte die verschiedenen Sorten unterschiedlich schnell (innerhalb von 1-3 Wochen). Eine sogenannte „verkaufsfördernde Wirkung“ (verstärkte Blütenbildung, ggf. höhere Biomasse) stellte sich nicht bei allen Sorten ein. Die Dauer bis zum Eintreten dieser Wirkung lag sehr variabel zwischen 2 und 5 Wochen. Der Großteil der zum Verkauf angebotenen Pflanzen wurden im Endverkaufsbetrieb innerhalb von fünf Wochen nach Lieferung vom Jungpflanzenhersteller verkauft. Ausnahmen bilden die Pelargonien-Sorte „Butterfly“ und *Chrysanthemum* „Maja Bofinger“, die bei Versuchsende noch nicht vollständig verkaufsfähig

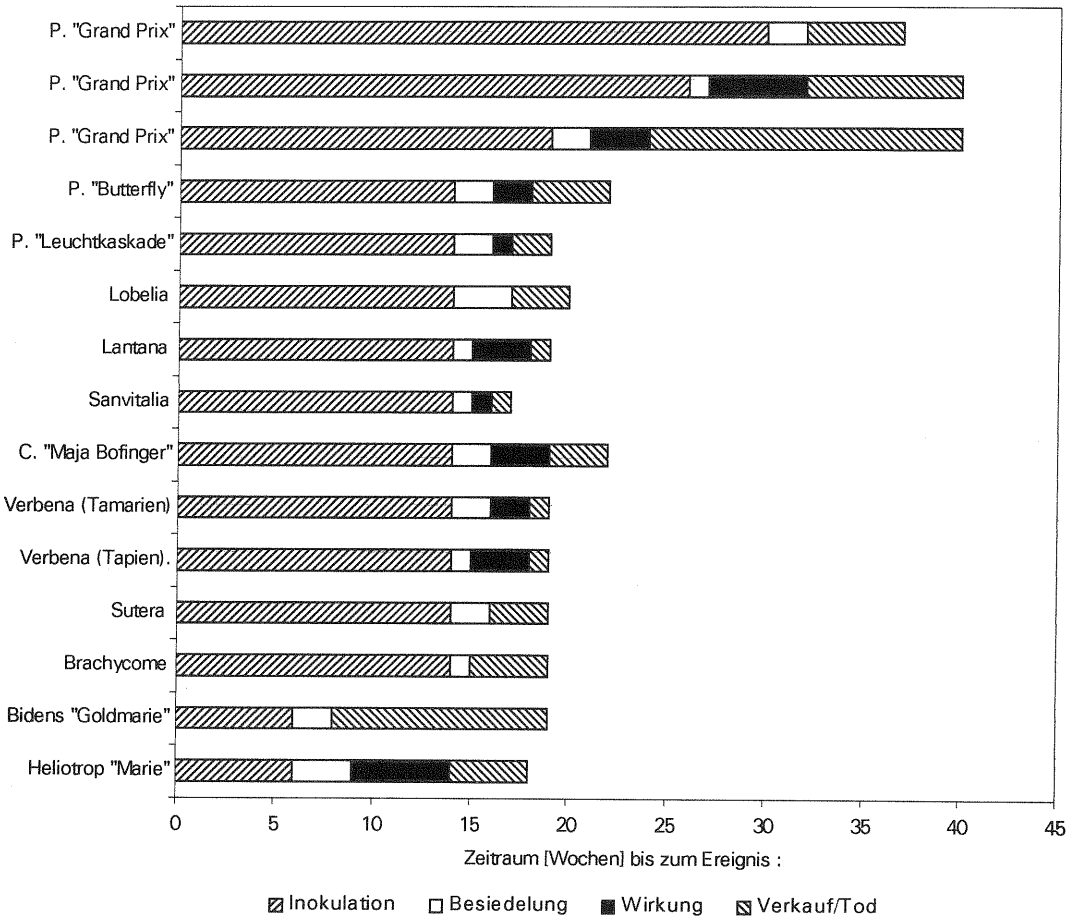


Abb. 4: Inokulationszeitpunkt, Wurzelsystembesiedelung und Wirkung eines AMP Inokulums von *Glomus etunicatum* an Zierpflanzen unter Praxisbedingungen „Besiedelung“ bedeutet Wurzelsystembesiedelungsgrad >25 %; Als „Wirkung“ ist die sog. „verkaufsfördernde Wirkung“ dargestellt, ein Multifaktorenkomplex, der anhand des Käuferverhaltens bestimmt wurde. Die Experimente endeten mit dem Verkauf der Pflanzen. Ausgenommen davon sind die Versuche mit den Pelargonien „Grand Prix“, die als Vorversuche in Balkonkästen dreier Endverbraucher stattfanden. Die Wirkungen waren hier Blütenzahl und Blühdauer, die Versuche endeten mit dem Tod der Pflanzen. Von jeder eingesetzten Pflanzensorte wurden 40 Pflanzen inokuliert, von Pelargonium „Grand Prix“ vier Pflanzen pro Variante mit drei Wiederholungen.

waren. Die in Vorversuchen bereits getestete Pelargonien-sorte „Grand Prix“ wurde unabhängig vom Pflanzenalter innerhalb von 1-2 Wochen zu mehr als 25 % WBG besiedelt, je älter die Pflan-

ze war, umso länger dauerte es, eine Symbiosewirkung (Blütenzahl bzw. Biomasse) zu beobachten. Bei sehr spät in der 28. Woche des Kalenderjahres beimpften Pflanzen blieb die Wirkung aus. Diese Pflanzen wurden von früher inokulierten vier Wochen überdauert und starben erst bei den ersten Frösten ab.

Die verkaufsfördernde Wirkung der AM-Symbiose

Die in diese unter Praxisbedingungen ablaufenden Experimente integrierten Kunden des Endverkaufsbetriebes bewerteten die Qualität der angebotenen Pflanzen multifaktoriell. Im Fall von *Heliotrop* wurden z.B. nicht die höchsten Pflanzen, sondern die am besten verzweigten mit möglichst zahlreichen erkennbaren Knospen gewählt. Pflanzen, die schon vereinzelt blühten, aber wenig Knospen hatten, wurden nicht gewählt. Blühte jedoch eine Pflanze mit zahlreichen Knospen und starker Verzweigung, so wurde diese eindeutig bevorzugt. Diese Unterschiede in der morphologischen Entwicklung sind in der Abb. 5 in drei Entwicklungsklassen der Testpflanzen wiedergegeben. Ein großer Teil der mykorrhizierten Pflanzen war nach diesen Kriterien acht Wochen nach Inokulation und damit zum Zeitpunkt der Lieferung vom Jungpflanzenhersteller besser entwickelt als die Kontrollpflanzen. Die lange Dauer zwischen Inokulation und verkaufsfördernder Wirkung bei *Heliotrop* hätte vermutlich bei späterer Inokulation im Endverkaufsbetrieb zu einem Ausbleiben der Wirkung bis zum Verkauf geführt.

Wie differenziert die Bewertung des Mykorrhizaeinsatzes erfolgen mußte, zeigte das Beispiel von *Bidens* „Goldmarie“. Hier wurde kein verkaufsfördernder Effekt der Symbiose festgestellt, die mykorrhizierten Pflanzen vom Endverkaufsbetrieb aber als höherwertig eingestuft. So bestockten die Pflanzen besser als nicht-mykorrhizierte, bildeten gleichzeitig zu diesem frühen Zeitpunkt aber weniger lange Blütentriebe. Diese wurden von zahlreichen Käufern als Kaufkriterium verwendet, so daß gleichviel qualitativ hochwertigere, mykorrhizierte Pflanzen verkauft wurden wie minderwertigere, nicht-mykorrhizierte Pflanzen.

Während bei *Heliotrop* und *Bidens* im wesentlichen die Sproßverzweigung und die oberirdische Biomasse symbiosebedingt gefördert wurde, sind die getesteten Sanvitalien ein Beispiel für eine rasche Blühinduktion durch die AM-Symbiose (Abb. 6). Sanvitalien waren bereits nach einer Woche besiedelt und zeigten nach einer weiteren Woche bereits eine verkaufsfördernde Wirkung. Sie blühten fünf Tage früher, wenn sie mykorrhiziert waren, und bildeten auch später eine größere Blütenzahl pro Pflanze aus. Die Zahl der Knospen war jedoch im Beobachtungszeitraum nicht verändert; es handelte sich also offenbar nur um eine Vorverlegung der Blüte.

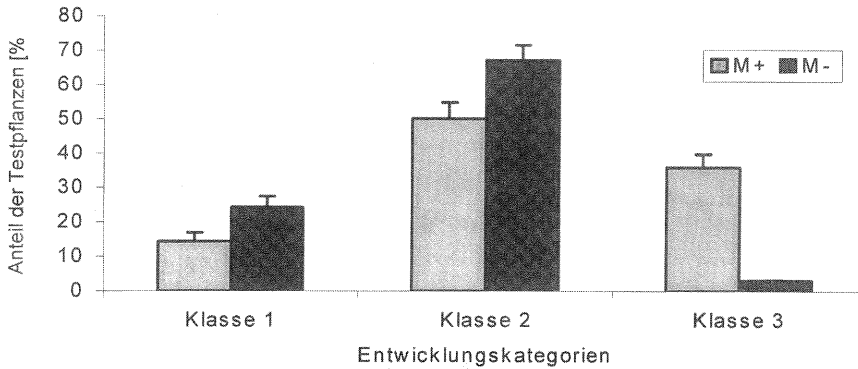


Abb. 5: Biomassebildung von *Heliotrop cv. „Marine“* im Jungpflanzenbetrieb bis zum Zeitpunkt der Lieferung als Rohware an den Endverkaufsbetrieb (Klasse 1: nicht verkaufsfähig; Klasse 2 verkaufsfähig, gut entwickelt; Klasse 3 verkaufsfähig, sehr gut entwickelt (s. Text))

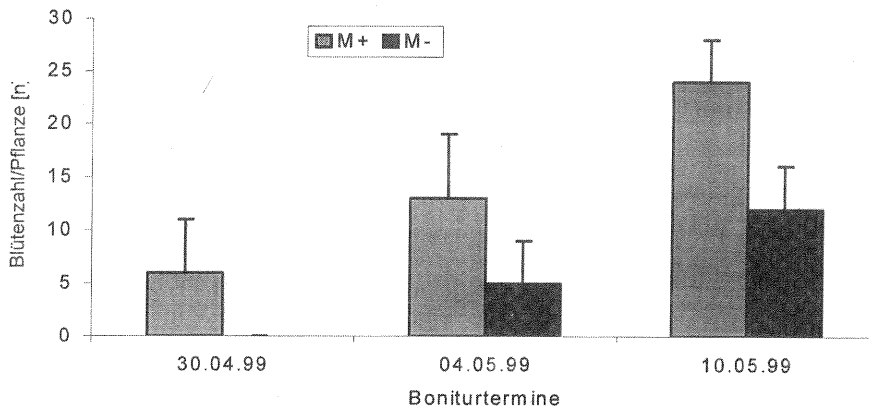


Abb. 6: Entwicklung der Blüte von Sanvitalien-Jungpflanzen im Endverkaufsbetrieb nach Beimpfung mit *Glomus etunicatum*

Vergleicht man die Summen aller mykorrhizierten und nicht-mykorrhizierten Pflanzen aller Sorten im Zuge des Verkaufs an den Endverbraucher (Abb. 7), so zeigt sich eine positive Verkaufsbilanz zugunsten der mykorrhizierten Pflanzen bereits drei Wochen nach der Lieferung der Rohware vom Jungpflanzenhersteller. In der vierten Woche nach Lieferung waren bereits über 80 % der mykorrhizierten Pflanzen verkauft, während 34 % der nicht mykorrhizierten zurückblie-

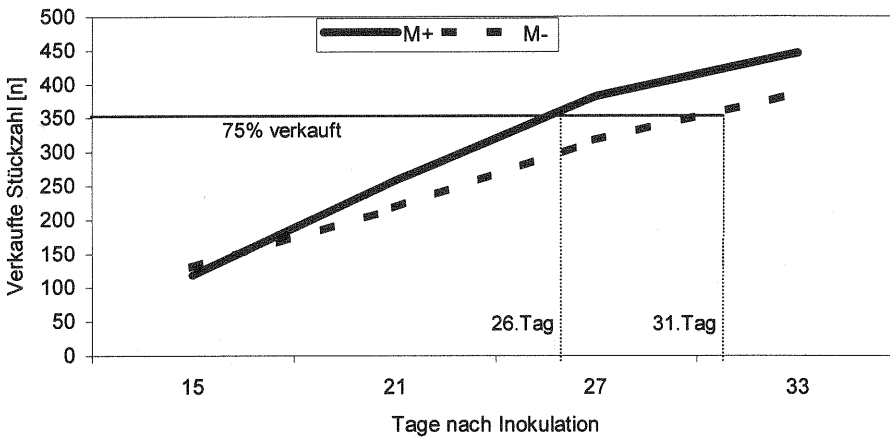


Abb. 7: Endverkauf inokulierter (M+) und nicht-inokulierter (M-) Zierpflanzen verschiedener Arten und Sorten in der Frühjahrssaison 1999

ben. Nach einer weiteren Woche waren nur 7 % mykorrhizierte, nicht verkaufsreife Pflanzen von *Chrysanthemum* „Maja Bofinger“ und *Pelargonium* „Butterfly“ übrig, während bei den nicht-mykorrhizierten Varianten noch 20 % der Pflanzen nicht verkauft waren.

Je drei in gleicher Weise entwickelte mykorrhizierte und nicht-mykorrhizierte Individuen einiger Pflanzenarten wurden nach dem simulierten Verkauf in Balkonkästen gepflanzt und dort unter den Bedingungen eines Südbalkons in ihrer weiteren Entwicklung verfolgt. Drei Wochen nach Auspflanzen zeigte sich bei einem Teil der Pflanzen eine wesentlich stärkere Blüte, wenn die Pflanzen mykorrhiziert waren. Dies traf im besonderen für *Bidens* zu, an der bislang kein deutlicher Effekt beobachtet worden war (Abb. 8).

4 Diskussion

Im ersten Jahr der Durchführung des Projektes konnte durch Gute Gartenbauliche Praxis ohne Einsatz von Pflanzenschutzmitteln qualitativ hochwertiges Inokulum umweltschonend hergestellt werden. Die gleichzeitig erarbeitete Qualitätskontrolle war geeignet, sowohl die Wirksamkeit des Inokulums auf Standardpflanzen zu überprüfen, als auch seine Freiheit von phytopathogenen Begleitorganismen abzusichern. Durch den anschließenden Einsatz des Inokulums an 10 % der Jahresproduktion der *in vitro* vermehrten Heilpflanze *Baptisia tinctoria* konnten erhebliche Steigerungen der Vitalität der Mikrosteckling (bis zu 30 %) erzielt und damit die Voraussetzung geschaffen werden, im folgenden Jahr den anvisierten Vorteil in der Ökobilanz des Betriebes zu erreichen.

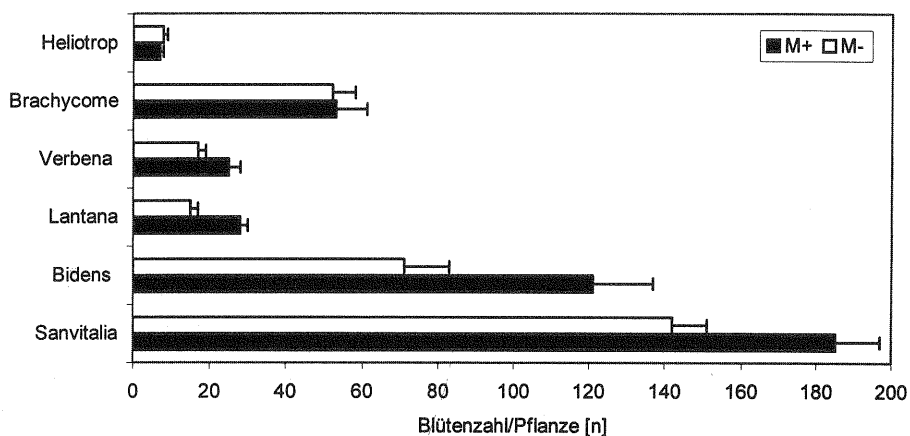


Abb. 8: Blütenzahl von Zierpflanzen drei Wochen nach ihrem simulierten Verkauf und Wachstum im Balkonkasten (jeweils ein Individuum der angegebenen Pflanzen pro Balkonkasten, drei Wiederholungen; Ausnahme *Bidens*, die separat in Einzeltöpfen kultiviert wurde)

Der Einsatz des Inokulums an fünfzehn Zierpflanzensorten bei einem Jungpflanzenhersteller und einem Endverkaufsbetrieb führte zur Verkürzung der Standzeiten der Zierpflanzen bis zu ihrem Verkauf. Die besten Ergebnisse wurden erzielt, wenn die Inokulation der Pflanzen bereits beim Jungpflanzenhersteller als Lieferanten des Endverkaufbetriebes stattfand.

Alle bisherigen Ergebnisse lassen eine positive Prognose im Hinblick auf die erwarteten Ziele des Projektes zu. Im zweiten Jahr des Projektes soll die Wiederholung der Experimente bei gleichzeitiger Vergrößerung des Umfanges sowohl der Inokulumsproduktion als auch des Einsatzes die Grundlagen für eine nachhaltige Etablierung der Mykorrhizatechnologie in den beteiligten Betrieben legen.

Qualitätskontrolle im Rahmen der Inokulumsproduktion

Die Qualitätskontrolle bezieht sich auf zwei Bereiche der Eigenschaften eines Inokulums: a) Menge und Wirksamkeit/der im Inokulum enthaltenen AMP sowie b) im Inokulum enthaltene Kontaminanten.

Wirksamkeit des Inokulums

Das experimentell oder unter Praxisbedingungen eingesetzte Inokulum arbuskulärer Mykorrhizapilze hat entscheidenden Anteil am Erfolg seines Einsatzes. Die Charakteristika des Inokulums werden durch den Genpool der im Inokulum befindlichen AMP bestimmt. Die Häufigkeit - im

Sinne des Einsetzenden - „wirksamer“ Genotypen ist bedeutsam für die Wirksicherheit eines Inokulums. Pflanzenbaumaßnahmen bzw. Umweltbedingungen und die differenziert ausgeprägte „Abhängigkeit“ der Zielpflanzen von den pilzlichen Symbionten modifizieren die Wirksamkeit der zustandekommenden Symbiosen. Inokulumproduktion, besonders die Herstellung von Masseninokulum ermöglicht den vermehrten Pilzen die Linien-inhärente Variabilität seines Genpools auszuprägen. Die Folge können Subpopulationen sein, die im hier gezeigten Experiment große Unterschiede im Parzellenertrag der Vermehrungspflanzen mit sich bringen. Es ist möglich, daß sich in der Massenproduktion im großen Maßstab die Verteilung der Phänotypen widerspiegelt, wie das bei der verwendeten Linie 12 im Experimentalansatz auf *Petroselinum crispum* im Einzelsporenmaßstab gefunden wurde (FELDMANN, 1998a). Wir wissen zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht, ob die Befunde der Wirksamkeit des Inokulums auf die Vermehrungspflanzen direkt übertragbar sind auf die Zielpflanzen. Studien zu diesem Zusammenhang werden derzeit durchgeführt. Voraussichtlich wird sich aber kein Zusammenhang zwischen der Wirksamkeit bei der Inokulumproduktion und beim späteren Einsatz herstellen lassen, da vorausgegangene Untersuchungen in anderen Fällen diesen Zusammenhang nicht verifizieren konnten (FELDMANN, 1998b).

Aufgrund dieser Vorerfahrungen wurde in allen hier dargestellten Untersuchungen ein Gemisch aus Inokulum aller Parzellen eingesetzt, um ein möglichst heterogenes, aber in soweit dann standardisiertes Inokulum für die Versuche zu verwenden. Im Rahmen der Qualitätskontrolle durchgeführte Wirksamkeitstests belegten wie der später erfolgte Einsatz die Bedeutung des Pflanzengenotyps für die zustandekommende Wirksamkeit der Symbiose: spezifische Wechselwirkungen zwischen Standardinokulum und inokulierter Zielpflanze (vergl. hierzu auch VARMA und SCHUEPP, 1994; DHILLION, 1992; AZCON und OCAMPO, 1981). Wegen der Spezifitätsphänomene kann der Sinn von Wirksamkeitstests innerhalb einer Qualitätskontrolle angezweifelt werden. Allerdings sind Tests mit Standardpflanzen für den Inokulumproduzenten unabdingbar, um sein Inokulum über mehrere Vermehrungszyklen hin selbst einschätzen zu können. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf andere Zielpflanzen bleibt in der Tat derzeit gering.

Der Zusammenhang zwischen der Wirksamkeit der Symbiosen auf die Pflanzen einerseits und den Pilzpartner andererseits soll hier nicht ausführlich diskutiert werden. Allerdings drängt sich der – statistisch bislang nicht deutlich absicherbare – Verdacht einer umgekehrt proportionalen Verhältnisses auf: macht sich die Pflanze „den Pilz nutzbar“, so verhindert sie eine übermäßige Bildung von pilzlichen Speicherorganen, kommt es zur Ausbildung von großen Mengen an Pilz, so entsteht die andere Seite des Kommensalismus, d.h. Wirkungslosigkeit bei der Pflanze. Der Pilz als obligat biotropher Organismus steht aber in einer Kosten-Nutzen-Analyse der Symbiose in jedem hier beobachteten Fall auf der positiven (Nutzen-) Seite.

Kontaminanten

Kontaminanten im Inokulum gehörten wie schon in früheren Analysen von Inokulum (FELDMANN und BOYLE, 1997) zur Gruppe der Bakterien, Pilze und Algen. Insbesondere in der Gruppe der Pilze finden sich Isolate aus potentiell phytopathogene Gattungen. Durch gute gartenbauliche Praxis, d.h. insbesondere ausreichende aber nicht zu starke Bewässerung, gezielte Düngung usw. läßt sich das Auftreten und die Einschleppung von Schaderregern in das Substrat in weiten Grenzen vermeiden. Selbst das Auftreten von potentiellen Phytopathogenen muß nicht bedeuten, daß von diesen Organismen eine Gefahr für die Zielpflanzen ausgeht: alle getesteten Organismen erwiesen sich hier auf die Zielpflanzen und die Vermehrungspflanzen als unschädlich. In einem Fall (*Cladosporium spec.*) konnte sogar nachgewiesen werden, daß der Pilz aus dem eingesetzten Torfsubstrat selbst stammte und nur unwesentlich durch die Inokulumproduktion vermehrt wurde.

Insgesamt erwiesen sich die Tests, die hier in der Qualitätskontrolle zusammengefaßt worden waren als wirksame Methode, einen umfassenden Schutz der verschiedensten Jungpflanzenkulturen vor abträglichen Kontaminationen sicherzustellen. Der Aufwand, der hier getrieben wurde, wird unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten wahrscheinlich eine Vereinfachung erzwingen, sodaß vermutlich insbesondere die Zahl der Bioassays reduziert werden wird.

Einbindung der AMP in die Produktion von *Baptisia tinctoria*

In Vorversuchen mit dem Klon BM2 hatten KELLER et al. (1997) gezeigt, daß *Baptisia tinctoria* unter Phosphatmangel besser in der Lage ist zu bewurzeln, wodurch die Ausfallrate unter diesen Bedingungen geringer war, als wenn höhere Phosphatgaben appliziert wurden. Der Versuch der Übertragung dieser Ergebnisse auf die im *Institut für Pflanzenkultur* verwendeten Klone BM8, BM9, BK36 und BK37 erwies sich als fatal. Z.T. mehr als die Hälfte der Pflanzen fielen in der Akklimatisationsphase aus, wenn Phosphatmangelbedingungen herrschten. An diesem Umstand konnte auch die Gegenwart der Mykorrhiza nichts ändern. Vielmehr kam es hier zu einer nur geringen Besiedlung, während diese unter normalen Düngungsverhältnissen höher war.

Phosphat-betonte Düngung führte beim Klon BM8 zu einer wesentlich geringeren Ausfallrate; bei den übrigen Klonen wiederholte sich jedoch das Ergebnis der Versuche unter Mangelbedingungen. Bei diesen Klonen führte die Mykorrhizierung zu entscheidenden Reduktionen der Ausfallrate um bis zu 30 %. Gleichzeitig verbesserte sich die Qualität der überlebenden Pflanzen. Die Wirkung der Mykorrhiza mag in der Verbesserung der jungen Wurzeln der drei Klone liegen, Phosphat zu akquirieren (JAKOBSEN, 1995). Eine bessere Bewurzelung der überlebenden Pflanzen wurde hier nicht festgestellt und kommt als Ursache für die Verlustreduktion nicht in Frage.

Eine Verbesserung der Bewurzelung kommt auch in der Variante 1 (unbewurzelte Stecklinge) nicht vor. Die Ergebnisse bedeuten für den weiteren Betriebsablauf, daß die aufgrund ihrer Inhaltsstoffe wertvollen Klone BK36 und BK37 in der Zukunft mit Mykorrhiza angebaut werden könnten, was ohne diese biologische Maßnahme aus finanziellen Gründen nicht möglich gewesen wäre.

Die erhoffte Standzeitverkürzung trat im Frühjahr 1999 nicht ein. Die Wetterlage, die für die weiter unten dargestellte Situation der Zierpflanzen sehr günstig war, stellte durch starke Sonneneinstrahlung und Wärme offenbar für die Mikrostecklinge einen zusätzlichen Streß dar. Eine Streßminderung durch die Wirkungen der Mykorrhizierung (Wasseraufnahme, Nährstoffaufnahme, VARMA und HOCK, 1995) war hier offenbar nur bei ausreichender Pflanzenernährung möglich. Im kommenden Jahr werden die Experimente mit den hochgedüngten Varianten wiederholt werden.

Einbindung der AMP in die Zierpflanzenproduktion

Die gängige Praxis bei der Vermarktung von Zierpflanzen bringt für die Integration der Mykorrhizatechnologie verschiedene Schwierigkeiten mit sich. Die Dauer der Entwicklung einer funktionsfähigen Symbiose von in der Regel zwei bis drei Wochen (BOWEN, 1987) geht gewöhnlich einher mit einem Ausbleiben eines förderlichen Effektes der Symbiose oder sogar mit einer vorübergehenden negativen Beeinträchtigung von Jungpflanzen durch die Kohlenhydratanprüche der AMP (HAMP und SCHAEFFER, 1995). Erst danach kann sich eine positive Wirkung der AM-Symbiose einstellen. Für die gartenbauliche Praxis bedeutet dieser Umstand, daß in den kurzen Zeiträumen der Produktion der Jungpflanzen überhaupt nur sehr schwer beobachtbare Wirkungen erzielbar sein können, wenn nicht die Charakteristika des Inokulums auf die gekennzeichneten Belange ausgerichtet werden.

Ein Inokulumhersteller muß versuchen, ein rasch besiedelndes Inokulum herzustellen, was eine möglichst kurzfristige Entwicklung der Symbiose bewerkstelligt. Ein Inokulum mit dieser Eigenschaft bringt es aber offenbar mit sich, daß schwerwiegende Nachteile für die Pflanze entstehen können, wenn sich eine Symbiose gleichzeitig aus zu zahlreichen infektiösen Einheiten des AMP aufbauen soll (vergl. Abb. 3). Der Inokulumhersteller gibt deshalb einen Verdünnungsfaktor für das Inokulum an, der zu einer raschen, aber nicht zu massiven Besiedelung der Wirtswurzeln verhilft, die vor allem keinen negativen Einfluß zeigt. Es bleibt bei diesem Dilemma bislang unvorhersehbar, ob bei der variablen Verweildauer der Pflanzen in den verschiedenen Betrieben (Jungpflanzenhersteller und Endverkaufsbetrieb) entscheidende, d.h. für die Ökobilanz des jeweiligen Betriebes günstige Wirkungen erzielt werden. In den Untersuchungen trat bei den zwei beim

Jungpflanzenhersteller inokulierten Sorten in einem Fall (*Heliotrop*) eine günstigere Pflanzenentwicklung ein, die dem Betrieb erlaubt hätte, die im Wachstum geförderte Subpopulation der Pflanzen vor dem vereinbarten Termin an den Endverkaufsbetrieb zu liefern. Dem Endverkaufsbetrieb hätte diese vorzeitige Lieferung allerdings nichts genutzt, da dadurch bei ihm längere Standzeiten entstanden wären: die nicht frost-resistenten Pflanzen können nicht wesentlich früher als hier durchgeführt verkauft werden, da ein frühes Auspflanzen vom Wetter abhängig und damit riskant ist. Also besteht bei ausreichender Wirksamkeit die Möglichkeit für den Jungpflanzenhersteller, die gesamte Produktionskette einige Tage nach hinten zu verschieben, was Energieeinsparungen im Winter mit sich bringen könnte. Die Grundlage für die Bewertung dieser Möglichkeit soll im laufenden und kommenden Jahr durch die Übertragung der Experimente auf eine größere Pflanzensortenzahl erweitert werden.

Es ist ein Pflanzen- und Pilzspezifikum, welcher Schwellenwert der Wurzelbesiedelung überschritten werden muß, damit eine Wirkung zu beobachten ist (vergl. FELDMANN, 1998a,b). Das Ausbleiben einer raschen und verkaufsfördernden Wirkung (sichtbar mehr Biomasse oder Blütenzahl) bei manchen Sorten der Studie (Abb. 4) kann also durchaus auf eine noch zu geringe Besiedelung durch den AMP zuzuführen sein. Andererseits muß darauf hingewiesen werden, daß die „verkaufsfördernde Wirkung“ als multifaktorieller Komplex nicht signifikante Ergebnisse zeigen kann, während biometrisch durchaus absicherbare Unterschiede in der Entwicklung mykorrhizierter und nicht-mykorrhizierter Pflanzen aufzuzeigen wären (z.B. bei *Bidens*). Sicher ist weiterhin, daß das eingesetzte Inokulum spezifische Wechselwirkungen mit den verschiedenen Pflanzensorten eingeht, wie die unterschiedlichen Besiedelungsperioden und Zeiträume bis zum Auftreten von Wirkungen belegen. An dieser Stelle setzt auch die Überlegung an, in der Zukunft Pilzmischungen zu entwickeln, deren einzelne Komponenten spezifisch bestimmte Wirtschaftskreise zuverlässig fördern und so in ihrer Gesamtheit eine höhere Wirksamkeit mit sich bringen. Hier ist die Kenntnis von den Wechselwirkungen innerhalb eines Inokulums aber noch so gering, daß von einer Praxisreife eines Mischinokulums noch nicht gesprochen werden kann (vergl. FELDMANN, 1998b).

Als eine weitere Schwierigkeit in der Praxis erwies sich, daß beim Jungpflanzenhersteller wegen der auftretenden Variabilität des Pflanzenmaterials keine so deutlichen Unterschiede zwischen den inokulierten und nicht-inokulierten Varianten auftraten, daß sie diesem ohne Detailauswertung aufgefallen wären. Dieser Umstand fördert beim Jungpflanzenhersteller nicht die Akzeptanz der neuen Technologie. Ein äußerst schwieriges Problem, da gerade die sehr frühe Inokulation zu deutlichen Ergebnissen geführt hat (s. *Heliotrop*, *Bidens*). Bislang geht demnach der Impuls für den Einsatz der Mykorrhizatechnologie im Jungpflanzenbetrieb von der Zufriedenheit des End-

verkaufsbetriebes aus. Nur weil dieser den Einsatz der AMP verlangt, wird er beim Jungpflanzenhersteller durchgeführt. Entsprechendes gilt, wenn erst gelieferte Rohware inokuliert wird. Die fehlende Beobachtung einer Wirkung des Mykorrhizaeinsatzes während der Standzeit beim Endverkaufsbetrieb kann auch hier den Eindruck erwecken, der Einsatz der AMP sei in vielen Kulturen unnötig. Erst die Kundenzufriedenheit durch längere Kulturdauer der Pflanzen (vergl. *Pelargonium* „Grand Prix“), verbesserte Blüte oder erhöhte Stresstoleranz mag auch hier den Bedarf wecken, der an den Endverkaufsbetrieb herangetragen wird. Allerdings bedarf es in diesem Zusammenhang im Interesse der pflanzenproduzierenden und -verkaufenden Betriebe einer angemessenen Aufklärung und Information der Verbraucher, wenn ein ursächlicher Zusammenhang zwischen der Mykorrhizatechnologie und verbesserter Pflanzenqualität zu einem positiven Rückkopplungseffekt führen soll.

Die Problematik des notwendigen Zeitraumes zwischen Inokulation und Wirkung ist auch für den noch später erfolgenden Einsatz der AMP durch den Endverbraucher an noch nicht inokulierten Pflanzen gegeben. Wegen der vorangeschrittenen Pflanzenentwicklung kann aber mit erhöhten AMP-Dosen gearbeitet und durchaus auch dann noch eine Wirkung erzielt werden (FELDMANN, 1997b). Dieser Aspekt wird aber im vorliegenden Projekt ebensowenig bearbeitet wie landwirtschaftliche Aspekte des Mykorrhizaeinsatzes (z.B. FELDMANN und BOYLE, 1999).

Im hier studierten Fall entsteht dem Endverkaufsbetrieb der größte beobachtete Nutzen. Er kann mykorrhizierte Pflanzen in kürzerer Zeit verkaufen als nicht-mykorrhizierte. Dies bedeutet eine Standzeitenverkürzung von 5-7 Tagen (vergl. Abb. 7). Theoretisch hätte dies auf die beabsichtigte Reduzierung der schädlichen Umwelteinflüsse positive Auswirkungen. In der Praxis zeigte sich jedoch, daß der Endverkaufsbetrieb die „vorzeitig“ verkauften Pflanzen durch Nachbestellungen ersetzte, so daß keine Energieeinsparungen durch frei werdende Gewächshauskapazitäten eintraten. Hinzu kam, daß die günstige Witterung im Frühjahr 1999 einen weitgehenden Verzicht zusätzlicher Heizung ermöglichte. Ob also dem ökonomischen Vorteil des Einsatzes der Mykorrhiza ein ökologischer folgen kann, muß die Überprüfung der Wiederholbarkeit oder Steigerungsfähigkeit der Ergebnisse im Fortgang der Experimente zeigen. Hierzu gehört auch die Beurteilung, inwieweit umweltschonende Einsparungen beim Jungpflanzenhersteller erzielbar sind. Die Klärung dieser Frage bleibt einer Analyse im kommenden Jahr vorbehalten, in dem ein umfangreicheres Spektrum von Pflanzen bereits dort inokuliert werden wird.

Vorläufige Ökobilanz

Für den Einsatz des AMP-Inokulums an Zierpflanzen liegen zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch zu wenige Daten vor, um bereits Ansätze einer Ökobilanz erarbeiten zu können. Die Erfahrungen

und Analysen im Rahmen der Produktion der Heilpflanze *Baptisia tinctoria* erlaubt es jedoch, eine vorläufige Bilanzierung des ökologischen Nutzens der durchgeführten Pflanzenbaumaßnahme zu erstellen (vergl. FELDMANN, 1999). Ausgehend von der durchschnittlichen Verlustrate an Mikrostecklingen von 20 % läßt sich nach Kalkulation der Kosten für die Bereitstellung des Inokulums, der Kosten für die Qualitätskontrolle und die Applikationskosten (insgesamt ca. 1,5 Euro pro Liter Inokulum) ein Rentabilitätsschwellenwert von 5 % Reduktion der Ausfallrate errechnen. Dieser geringe Wert kommt durch die Vermeidung von Energie und Abfall und die Einsparung von Arbeitskraft zustande (Tab. 6).

Tab. 6: Mykorrhizabedingte Ersparnisse bei der Bereitstellung von 100.000 pflanzreifen Stecklingen von *Baptisia tinctoria* (Rentabilitätsschwelle grau)

| | Ohne AMP | Mit AMP | | |
|-------------------------------------|----------|---------|-------|-------|
| | 80 % | 85 % | 90 % | 96 % |
| Überlebensrate | 80 % | 85 % | 90 % | 96 % |
| Pflanzenanzahl <i>in vitro</i> | 0 | 7400 | 13800 | 20800 |
| Töpfe | 0 | 7400 | 13800 | 20800 |
| Substrat [l] | 0 | 1480 | 2760 | 4160 |
| Personalaufwand [AKh] | 0 | 74 | 138 | 208 |
| Heizöl [l] | 0 | 216 | 404 | 606 |
| Emission [t CO ₂] | 0 | 0,63 | 1,2 | 1,8 |
| Gewächshausfläche [m ²] | 0 | 45 | 84 | 126 |
| Strom [KWh] | 0 | 1963 | 3672 | 5516 |

Die Reduktionen der Verlustraten von *Baptisia tinctoria*, die in unseren Versuchen unter Praxisbedingungen klonabhängig bis zu 30 % erreichen konnten, überstiegen damit den Rentabilitätsschwellenwert um ein Vielfaches. Wenn sich diese Ergebnisse in den kommenden Jahren sicher reproduzieren lassen, wird die Mykorrhizatechnologie in der Pflanzenproduktion der Heilpflanze nachhaltig Berücksichtigung finden.

Es bleibt zu hoffen, daß entsprechendes für die Zierpflanzenproduktion ermöglicht werden kann,

um die Mykorrhizasymbiosen als biologische Pflanzenbaumaßnahmen in einem möglichst breiten Spektrum von Pflanzen einführen zu können.

5 Zusammenfassung

Im ersten Jahr der Durchführung des Projektes konnte durch Gute Gartenbauliche Praxis ohne Einsatz von Pflanzenschutzmitteln qualitativ hochwertiges Inokulum umweltschonend hergestellt werden. Die gleichzeitig erarbeitete Qualitätskontrolle war geeignet, sowohl die Wirksamkeit des Inokulums auf Standardpflanzen zu überprüfen, als auch seine Freiheit von phytopathogenen Begleitorganismen abzusichern. Durch den anschließenden Einsatz des Inokulums an 10 % der Jahrespflanzung der *in vitro* vermehrten Heilpflanze *Baptisia tinctoria* konnten erhebliche Steigerungen der Vitalität der Mikrostecklinge (bis zu 30 %) erzielt und damit die Voraussetzung geschaffen werden, im folgenden Jahr den anvisierten Vorteil in der Ökobilanz des Betriebes zu erreichen.

Der Einsatz des Inokulums an fünfzehn Zierpflanzenarten bei einem Jungpflanzenhersteller und einem Endverkaufsbetrieb führte zur Verkürzung der Standzeiten der Zierpflanzen bis zu ihrem Verkauf. Die besten Ergebnisse wurden erzielt, wenn die Inokulation der Pflanzen bereits beim Jungpflanzenhersteller als Lieferanten des Endverkaufsbetriebes stattfand. Alle bisherigen Ergebnisse lassen eine positive Prognose im Hinblick auf die erwarteten Ziele des Projektes zu. Im zweiten Jahr des Projektes soll die Wiederholung der Experimente bei gleichzeitiger Vergrößerung des Umfanges sowohl der Inokulumsproduktion als auch des Einsatzes die Grundlagen für eine nachhaltige Etablierung der Mykorrhizatechnologie in den beteiligten Betrieben legen.

6 Danksagungen

Das Vorhaben wird gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (Az 11842). Wir danken zudem Herrn Horst Lichtenberg, Frau I. Olms und Frau M. Heidemann für ihre zuverlässige Hilfe bei der Durchführung der zahlreichen Routinen, die diese Studien mit sich brachten.

7 Literaturverzeichnis

- ALEF, K., 1991: Methodenhandbuch Bodenmikrobiologie. Ecomed-Verlag, Landsberg.
 AZCON, R., OCAMPO, J.A. 1981. Factors affecting the vesicular arbuscular infection and mycorrhizal dependency of thirteen wheat cultivars. *New Phytologist* **87**, 677-685.
 BAGYARAJ, D.J., 1994: Vesicular-arbuscular Mycorrhiza: Application in Agriculture. In: NORRIS, J.R.; READ, D.J., VARMA, A.K.. (eds.) :Techniques for mycorrhizal research, Academic Press, San Diego, 819-834.

- BETHLENFALVAY, G.J., BAYNE, H.G., PACOVSKI, R.S., 1983: parasitic and mutualistic associations between a mycorrhizal fungus and soybean: the effect of phosphorus on host plant-endophyte interactions. *Physiol. Plant.* **57**, 543-548.
- BOWEN, G.D., 1987: The biology and physiology of infection and its development. In: G.R. SAFIR (ed.): *Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants.*, CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 27-58.
- DHILLION, S.S. 1992. Evidence for host-mycorrhizal preference in native grassland species. *Mycological Research* **96**, 359-362.
- DODD, J.C., THOMSON, B.D. 1994. The screening and selection of inoculant arbuscular-mycorrhizal and ectomycorrhizal fungi. In: ROBSON, A.D., ABBOTT, L.K., MALAJCZUK, N., (eds): *Management of Mycorrhizas in Agriculture, Horticulture and Forestry.* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 149-158.
- FELDMANN, F., BOYLE, C., 1999: Weed mediated stability of arbuscular mycorrhizal effectiveness in maize monocultures. *Angewandte Botanik* **73** (1/2), 1-5
- FELDMANN, F. und BOYLE, C., 1997: Qualitätskontrolle von kommerziellem Inokulum arbuskulärer Mykorrhizapilze. In: BACKHAUS, G. F., FELDMANN, F. (Hrsg.): *Anwendungen arbuskulärer Mykorrhizapilze im Pflanzenbau, Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt* **332**, Parey, Berlin, 66-81
- FELDMANN, F., 1997a: Stabilität der Wirksamkeit von Inokulum arbuskulärer Mykorrhizapilze. In: BACKHAUS, G. F., FELDMANN, F. (Hrsg.): *Anwendungen arbuskulärer Mykorrhizapilze im Pflanzenbau, Mitteilungen der Biologischen Bundesanstalt* **332**, Parey, Berlin, 54-65.
- FELDMANN, F., 1997b: Charakterisierung des Vorkommens von arbuskulären Mykorrhizasymbiosen in Pflanzennutzungssystemen des Braunschweiger Raumes. *Braunsch. Naturkd. Schr.* **5** (2), 491-503.
- FELDMANN, F., 1998a: The strain - inherent variability of arbuscular mycorrhizal effectiveness: II. Effectiveness of single spores. *Symbiosis*, **25**, 131-143.
- FELDMANN, F., 1998b: Symbiontentechnologie in der Praxis: Arbuskuläre Mykorrhiza im Gartenbau. *Thalacker Medien, Braunschweig.*
- FELDMANN, F., 1998c: Qualität von Inokulum arbuskulärer Mykorrhizapilze. *Deutscher Gartenbau* **24**, 34-36
- FELDMANN, F., 1999: Mykorrhizaeinsatz im Pflanzenbau. *Deutscher Gartenbau* **17**, 24-26
- FELDMANN, F., IDCZAK, E., 1994: Inoculum production of VA-mycorrhizal fungi. In: NORRIS, J.R.; READ, D.J., VARMA, A.K.. (eds.): *Techniques for mycorrhizal research*, Academic Press, San Diego, S. 799-817
- FELDMANN, F., KRUSE, W., BOYLE, C. and LIEBEREI, R., 1998: The strain - inherent variability of arbuscular mycorrhizal effectiveness: I. Development of a Test System Using *Petroselinum crispum* as Host. *Symbiosis* **25**, 115-129.
- FELDMANN, F., SILVA Jr., J.P. und A.V.R. JAYARATNE, 1999: Nutzung der arbuskulären Mykorrhiza in Baumschulen der Tropen am Beispiel des Kautschukbaumes *Hevea spp.* In diesem Band.
- HAMP, R. und SCHAEFFER, C., 1995: Mycorrhiza – Carbohydrate and Energy Metabolism. In: VARMA A. und HOCK, B.(eds): *Mycorrhiza*. Springer, Berlin, 267-296.
- JAKOBSEN, I., 1995: Transport of Phosphorus and Carbon in VA Mycorrhizas. In: VARMA A. und HOCK, B.(eds): *Mycorrhiza*. Springer, Berlin, 297-324.

- KELLER, M., BARROS, F.C.F., FELDMANN, F., 1997: Growth response of in vitro micropropagated *Baptisia tinctoria* plantlets to microbial inoculation. In: LIEBEREI, R., HAGEN, J. (eds.): *Baptisia tinctoria*, Angewandte Botanik Berichte 6, Universität Hamburg, 140-151
- LOVATO, P.E., SCHÜEPP, H. TROUVELOT, A. und GIANINAZZI, S., 1995: Application of AMF in Orchard and Ornamental Plants. In: VARMA A. und HOCK, B.(eds): Mycorrhiza. Springer, Berlin, 443-468.
- UNISTAT LTD., 1995: User's Guide for Version 4 for windows. Madia Vale, UK, 376-604.
- VARMA A. und HOCK, B.(eds), 1995: Mycorrhiza. Springer, Berlin
- VARMA, A., SCHUEPP, H. 1994. Infectivity and effectiveness of *Glomus intraradices* on micropropagated plants. Mycorrhiza 5, 29-37.
- WEISENHORN, I. und FELDMANN, F., 1999: Perspektiven der Nutzung der arbuskulären Mykorrhiza im niederländischen Gartenbau unter Glas. In diesem Band.
- WOOD, T., CUMMINGS, B. 1992. Biotechnology and the future of VAM commercialization. In: M. J. ALLEN (ed): Mycorrhizal Functioning. Chapman & Hall, New York, 468-487.

KULLMANN, F. und SCHNITZLER, W.H.

Lehrstuhl für Gemüsebau der TU München-Weihenstephan, Alte Akademie 10, 85350 Freising,

Tel.: 08161/ 71 3157; e-mail: kullmann@weihenstephan.de

Anzucht von Gemüsejungpflanzen in mykorrhizierten Substraten

Production of vegetable transplants in mycorrhized substrates

Abstract

The influence of different wood/compost based substrate mixtures and the influence of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on plant growth of lettuce seedlings was tested. Application of AMF increased fresh weight significantly regardless of substrate mixtures.

1 DBU-Projekt 'Substrate aus Holz und Holzfasern als Mischkomponente zu Grüngutkomposten für den gärtnerischen Pflanzenbau'

1.1 Hintergründe des Projektes

Torf spielt als nahezu universell einsetzbarer Rohstoff zur Substratherstellung für den Garten- und Landschaftsbau immer noch die bedeutendste Rolle. Allein in Deutschland werden jährlich über 6 Mio m³ Weisstorf aus natürlichen Lagerstätten (Moore) abgebaut und zusätzlich 5 Mio m³ importiert.

Die dadurch fortschreitende Zerstörung der ohnehin im Rückgang befindlichen Feuchtgebiete und Moore ist unter ökologischen Gesichtspunkten in In- und Ausland sehr bedenklich (BRUMM 1993).

Beim derzeitigen genehmigten Abbau der Torfvorräte in Niedersachsen errechnet sich eine Verfügbarkeitsdauer von 22 (Weisstorf) bzw. 28 Jahren (Schwarztorf) (FALKENBERG 1998). Da der Bezug von Torfen aus Drittländern nur eine zeitliche und lokale Verlagerung der Problematik darstellt, müssen rechtzeitig Alternativen gefunden werden. Die zusätzliche Witterungsabhängigkeit der Substratproduzenten kann schnell zu Lieferengpässen führen, wie der „Regensommer 1998“ gezeigt hat (BTH 1998). Allein in der Bundesrepublik Deutschland wachsen jährlich 60

Mio m³ Holz in den Wäldern nach, von denen 40 Mio m³ genutzt werden. In den klassischen Verwendungsbereichen für Schwach- und Sägeresthölzer ist dessen Einsatz durch die Wiederverwertung von Altpapier und Importzellstoff stark rückläufig. Für diese Holzreststoffe müssen in Zukunft, auch in Hinblick auf die seit 1.1.1999 geltenden neuen Verordnungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes, neue Verwendungsmöglichkeiten erschlossen werden. Zusätzlich fallen durch die flächendeckende Bioabfallentsorgung in immer grösserem Umfang Grüngutkomposte an, für die ebenfalls neue Nutzungsbereiche der Weiterverarbeitung erschlossen werden müssen.

Seit langem sind pflanzenwachstumfördernde und antiphytopathogene Eigenschaften arbuskulärer Mykorrhiza (AM) bekannt (HOOKER et al. 1994). Allerdings fehlen bisher einfache Kontroll- oder Testmöglichkeiten, die es dem Anwender eines Mykorrhizainokulums oder mykorrhizierten Substrates ermöglichen, die Qualität des von ihm eingesetzten Produktes zu überprüfen. Desweiteren unterscheiden sich verschiedene Mykorrhizastämme oft sehr stark in ihrer Wirkung auf das Pflanzenwachstum.

1.2 Zielsetzung

Im Rahmen eines von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Verbundprojektes sollen Parameter für die Substratherstellung erarbeitet werden, die es ermöglichen, aus den Ausgangsmaterialien Holz, Grüngutkompost und Ton ein Substrat herzustellen, welches möglichst ganz ohne Torf auskommt. Durch eine Beigabe von selektierten AM-Stämmen zum Substrat soll untersucht werden, ob eine Mykorrhizierung der Pflanzenwurzeln Vorteile für den Anbau bringt. Diese könnten in einer Minderung des Umpflanzschocks, einer erhöhten Stresstoleranz und damit eventuell verbesserter Transport- oder Lagerfähigkeit bestehen.

Am Lehrstuhl für Gemüsebau der TU München-Weihenstephan werden verschiedene Substratmischungen auf ihre Eignung zur Pflanzenkultur untersucht. Dabei werden neben pflanzenbaulichen Parametern wie Ertrag, Frisch- oder Trockenmasse/-substanz auch physiologische Messungen (Transpiration, Chlorophyllfluoreszenz, Stomatabewegung u. ä.) untersucht.

In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Botanik erfolgt hier auch die Auswahl und Vermehrung verschiedener AM-Arten.

Die chemische und physikalische Charakterisierung der verschiedenen Ausgangsmaterialien und der Substratmischungen wird am Institut für Holzforschung der Ludwig-Maximilian-Universität München vorgenommen. Aufgrund theoretischer Überlegungen, bisheriger Erfahrungen und den Ergebnissen der Pflanzversuche am Lehrstuhl für Gemüsebau der TU München-Weihenstephan

sollen die am besten geeigneten Substratmischungen ausgewählt werden.

Am Lehrstuhl für Botanik der TU München-Weihenstephan finden begleitend zu den Pflanzversuchen Untersuchungen zur Mykorrhizierung der Pflanzenwurzeln (Kolonisierungsgrad), sowie molekulargenetische Charakterisierungen der eingesetzten Pilzarten- und Stämme statt. Darauf basierend soll ein Testverfahren zur quantitativen und qualitativen Bestimmung der Inokulumseigenschaften ermittelt werden.

2 Bisherige Versuche

1998 durchgeführte Pflanzversuche dienten der Ermittlung des optimalen Kompostanteils im Substrat (Holzfasersubstrat Toresa spezial). Der AM-Kolonisierungsgrad von Kopfsalatwurzeln sank mit steigendem Kompostanteil. Bei einem Kompostanteil von 20 % lag der Kolonisierungsgrad der Wurzeln bei ca. 60-75 % und sank erst ab einem Kompostanteil von über 30 %. Eine gute bis sehr gute Kolonisierung erfolgte trotz der hohen mikrobiellen Aktivität und eines erheblichen Phosphatgehalts (580 mg/l P_2O_5) im Kompost. Ein Anteil von 20-30 % kann als Richtwert angesehen werden, bei dem noch eine ausreichende Mykorrhizierung möglich ist. In pflanzenbaulichen Untersuchungen (SCHÄFER und GRANTZAU 1998) bestätigte sich dieser Anteil auch als gut pflanzenverträglich.

Im Herbst 1998 wurden verschiedene Substratmischungen auf ihre Eignung zur Anzucht von Kopfsalat (*Lactuca sativa* L. var. *capitata*) untersucht. Dabei wurden vier verschiedene Holzfraktionen in Mischung mit zwei Kompoststufen (20 und 40 %) eingesetzt. Bei den Holzkomponenten (alle Fichtenholz) handelte es sich um

1. grobe Häcksel aus einer Hackieranlage, die anschliessend in einem Messerringzerspaner weiter zerkleinert wurden,
2. feine Holzhäcksel (Frässpäne),
3. nicht imprägnierte extrudierte Holzfaser,
4. imprägnierte extrudierte Holzfaser (Toresa nova).

Als Kontrolle diente das Presstopfsubstrat 'Statohum', ein Torfsubstrat der Fa. Patzer Einheitserden (Tab. 1).

Alle Varianten wurden mit und ohne Mykorrhiza und mit zwei unterschiedlichen Kompostanteilen in vierfacher Wiederholung angezogen (Tab. 1). Den Substratmischungen wurde ein frisch vermehrtes Inokulum (Quarzsand, Tageteswurzelstücke) von *Glomus* spp. (*G. intraradices* und *G. mosseae*) in einem Anteil von 10% (BÖHM, pers. Mttlg.) beigemischt. Eine Bestimmung der

Sporendichte bzw. der Anzahl infektiöser Einheiten erfolgte nicht.

Tab. 1: Substratmischungen

| Variante | Holzkomponente | Kompostanteil |
|------------------|-----------------------|---------------|
| 1 | extrudierte Holzfaser | 20 % |
| 2 | extrudierte Holzfaser | 40 % |
| 3 | Holzhäcksel grob | 20 % |
| 4 | Holzhäcksel grob | 40 % |
| 5 | Holzhäcksel grob | 20 % |
| 6 | Holzhäcksel grob | 40 % |
| 7 | Toresa nova | 20 % |
| 8 | Toresa nova | 40 % |
| Kontrolle | | |
| 9 | Statohum | / |

Folgende Parameter der Jungpflanzen wurden zum Zeitpunkt des Auspflanzens (9 Wochen nach der Aussaat) im Gewächshaus (offener Boden) erfasst:

1. Blattfläche
2. Frischmasse der Sämlinge
3. Trockenmasse der Sämlinge
4. Trockensubstanz der Sämlinge

Desweiteren nach der Ernte (15 Wochen nach der Aussaat):

1. Frischmasse
2. Trockenmasse
3. Trockensubstanz.

Die Ernte erfolgte vor Erreichen der vollen Grösse, so dass eine Berechnung von Hektarerträgen nicht erfolgte.

3 Ergebnisse

Der Vergleich aller mykorrhizierten mit nicht-mykorrhizierten Varianten zum Zeitpunkt der Ernte erbrachte eine signifikante Wachstumsverbesserung. Innerhalb einer Substratmischung (Variante) waren diese Unterschiede zwischen mykorrhizierten und nicht-mykorrhizierten Pflanzen jedoch nur bei Variante 2 signifikant (s. Abb.1).

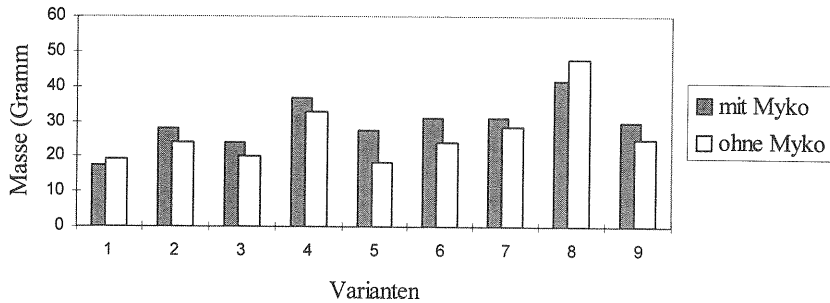


Abb. 1: Frischmasse bei der Ernte; Mittelwerte aus je 4 Wiederholungen

Auch im Jungpflanzenstadium zeigten mykorrhizierte Pflanzen in den Parametern Frischmasse und Trockenmasse höhere Werte (nicht dargestellt). Dagegen war die Blattfläche mykorrhizierter Jungpflanzen signifikant geringer. Ein Einfluss auf die Keimrate war nicht zu erkennen.

Die AM-Kolonisierung lag zum Zeitpunkt des Umpflanzens (9 Wochen nach der Aussaat) nur bei 5-15% (Anteil der kolonisierten Wurzellänge). Ausserdem war bei allen Pflanzen eine Besiedlung der Wurzeln mit einer noch nicht näher bestimmten nicht-pathogenen *Pythium*-Art festzustellen. Diese hatte aber weder einen negativen Einfluss auf das Pflanzenwachstum, noch auf die AM-Kolonisation. Zum Zeitpunkt der Ernte (15 Wochen nach der Aussaat) war der AM-Kolonisierungsgrad auf ca. 20-25% gestiegen.

4 Diskussion

Die Anzucht von Salatjungpflanzen mit Mykorrhiza erbrachte eine Ertragssteigerung gegenüber nicht mykorrhizierten Pflanzen. Dies ist insofern überraschend, da die Pflanzen unter optimalen Bedingungen kultiviert wurden und bis auf den Umpflanzschock keinen Stressbedingungen ausgesetzt waren. Ausserdem war die AM-Kolonisierung mit 5-15% zum Zeitpunkt des Umpflanzens und 20-25% bei der Ernte nicht besonders hoch. Dieser geringe Kolonisierungsgrad war jedoch ausreichend, um das Wachstum der mykorrhizierten Pflanzen signifikant zu verbessern.

Der relativ hohe Kompostanteil von 40% und der damit verbundene hohe Phosphatgehalt (230 mg/l P_2O_5) hatten offensichtlich nur geringen Einfluss auf die Mykorrhizierung. Auch traten trotz des hohen Anteils anderer Mikroorganismen keine Antagonismen auf, wie oft beobachtet (FITTER and GARBAYE 1994).

Bedingt durch die geringe Einstrahlung in den Wintermonaten verlief das Wachstum der Jung-

pflanzen trotz Zusatzbeleuchtung nur zögernd. Die Jungpflanzen benötigten mehr Zeit zum Erreichen der Pflanzgröße. Deshalb mussten die Pflanzen aus versuchstechnischen Gründen schon vor Erreichen der endgültigen Größe geerntet werden.

Zu beachten bleibt allerdings ob der zusätzliche Mehraufwand bei einer so kurzen Kultur am Ende wirtschaftlich vertretbar ist.

5 Anmerkung

Im weiteren Verlauf des Projektes liegt der Schwerpunkt auf der Kultur von Küchenkräutern in torffreien mykorrhizierten Substraten. Dies ermöglicht zum einen durch die längere Kulturzeit eine bessere AM-Kolonisierung, zum anderen sind solche Pflanzen nach Ende der Produktion verschiedenen Stresssituationen ausgesetzt (Transport, Lagerung bei Handel und Endverbraucher), in denen die arbuskuläre Mykorrhiza evtl. Vorteile bringen könnte.

6 Zusammenfassung

Der Einfluss unterschiedlicher Holz-/Kompost-Substratmischungen und der Einsatz von arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMP) auf das Pflanzenwachstum bei der Anzucht von Kopfsalat wurden untersucht. Der Einsatz von AMP führte, unabhängig von der Substratmischung, zu einer signifikanten Erhöhung der Frischmasse der Salatpflanzen.

7 Literaturverzeichnis

- BRUMM, I., 1993: Wie kann man Torf ersetzen. *Deutscher Gartenbau* 47 (18): 1157.
- BTH (Bundesverband Torf- und Humuswirtschaft e.V.), 1998: *Gartenbau aktuell* 10/98: 9.
- FALKENBERG, H. 1998: Moore in Gefahr? Situation, Nutzung und Vorräte. *GAF* 50 (12): 33-35.
- FITTER, A.H. und J. GARBAYE, 1994: Interactions between Mycorrhizal Fungi and other Soil Organisms. *Plant and Soil* 159: 123-132.
- HOOKE, J.E., M. JAIZME-VEGA und D. ATKINSON, 1994: Biocontrol of Plant Pathogens Using Arbuscular Mycorrhizal Fungi. In *Impact of Arbuscular Mycorrhizas on Sustainable Agriculture and Natural Ecosystems*. GIANINAZZI, S. UND H. SCHÜEPP (eds.). Birkhäuser Verlag, Basel, Boston, Berlin.
- SCHÄFER, B. und E. GRANTZAU, 1998: Erarbeitung von Anwendungsempfehlungen für Komposte in den verschiedenen Bereichen des Gartenbaus; hier Substratkomposte. In: *Initiativen zum Umweltschutz Bd. 10: Bioabfallverwertung; Ergebnisse des Förderschwerpunktes*. Deutsche Bundesstiftung Umwelt; Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL) (Hrsg.). Zeller Verlag, Osnabrück.

HASENBUSCH, R.

Bildungs- und Versuchszentrum des Gartenbaus, Münsterstraße 62-68, 48167 Münster-Wolbeck

Ausbleibender Erfolg beim Einsatz der arbuskulären Mykorrhiza bei *Saintpaulia-Ionantha*-Hybriden und *Streptocarpus*-Hybriden unter Praxisbedingungen

Ineffective use of arbuscular mycorrhizae in *Saintpaulia-Ionantha*-Hybrids and *Streptocarpus*-Hybrids under practical conditions

1 Einleitung

Zahlreiche Forschungsergebnisse belegen die positive Wirkung der arbuskulären Mykorrhiza auf das Wachstum und die Qualität der Pflanzen. Insbesondere bei nicht optimalen Wachstumsbedingungen vermag die Symbiose mit den Mykorrhiza-Pilzen das pflanzliche Wachstum zu stabilisieren und zu fördern.

Nachdem jahrelang die Mykorrhiza Forschungsobjekt der Universitäten war, sind mittlerweile für eine Vielzahl von gärtnerischen Kulturen einsetzbare Mykorrhiza-Inokula käuflich zu erwerben. Durch das steigende Qualitätsbewußtsein des Verbrauchers und dem damit verbundenen Bestreben des Gartenbaus die Qualität und Haltbarkeit seiner Produkte stetig zu verbessern, erschien es sinnvoll, das Bodenverbesserungsmittel 'Mykorrhiza' unter Praxisbedingungen zu testen. Hierbei interessierte neben der Wirkung der Mykorrhiza auf die Verkaufsqualität, insbesondere auch die Auswirkung auf die Streßtoleranz der Pflanzen und auf die Haltbarkeit beim Verbraucher.

2 Material und Methoden

Pflanzen- und Inokulationsmaterial

Für die Versuche kamen *Saintpaulia-Ionantha*-Hybriden der Sorten 'Kazuko' und 'Miho' sowie *Streptocarpus*-Hybriden der Sorte 'Marleen' zum Einsatz. Diese wurden als Jungpflanzen von namhaften Jungpflanzenfirmen bezogen. Pro Versuchsglied und Sorte wurden bei den *Saintpaulia-Ionantha*-Hybriden 420 und bei den *Streptocarpus*-Hybriden 240 Pflanzen angezogen. Die Mykorrhiza-Inokulate enthielten Gemische verschiedener Glomusarten, die entweder an Einheitserde oder an Lecaton gebunden waren. Es handelte sich um Produkte des Instituts für Pflanzen-

kultur, Dr. C. Grotkass in Schnega, der Firma Mycotec Biotechnik in Hessisch Oldendorf und der Firma Terra Plant Service in Wiefelstede. Die Inokulate wurden im Kühlhaus bei einer Temperatur von ca. 5 °C gelagert und dem Substrat unmittelbar vor dem Topfen beigemischt.

Kulturführung

Als Topfsubstrat wurde eine Einheitserde T mit 1,5 kg Mehrnährstoffdünger/m³ zuzüglich 5 % Lecadan verwendet. Zum Nährstoffgehalt der Topferde siehe Tabelle 1. Die Düngung erfolgte ab der 4. Kulturwoche als Bewässerungsdüngung auf Ebbe-Fluttsichen. Als Nährlösung kam eine P-arme Rezeptur zur Anwendung. Das Verhältnis der Nährstoffe als Angabe in N : P₂O₅ : K₂O entsprach in der Nährlösung einem Verhältnis von 4,7 : 0,3 : 1,4. Die elektrische Leitfähigkeit der Nährlösung betrug bei den *Saintpaulia-Ionantha*-Hybriden 1,0 mS/cm und bei den *Streptocarpus*-Hybriden 1,2 mS/cm. Über die Gehalte der einzelnen Nährelemente in der Nährlösung informiert Tabelle 2.

Die Anstauzeiten waren so terminiert, daß Staunässe in den Töpfen vermieden wurde und die Versorgung der Wurzeln und der Mykorrhiza mit Sauerstoff gewährleistet war. Die Schattierwerte wurden nach dem Topfen bei den *Saintpaulia-Ionantha*-Hybriden langsam ansteigend von 100 W/m² und zur guten Versorgung der Mykorrhiza mit Assimilaten, nach der Anwachsphase auf 350 W/m² erhöht. Bei den *Streptocarpus*-Hybriden betrug der Schattierwert 300 W/m² nach dem Topfen und später 450 W/m².

Tab. 1: Untersuchungsergebnisse der Torferde nach Zumischung der Mykorrhiza-Inokula

| Behandlung | pH-Wert | KCl g/l | N mg/l | P ₂ O ₅ mg/l | K ₂ O mg/l | Mg mg/l |
|------------|---------|------------|-----------|---------------------------------------|--------------------------|------------|
| Inokulum 1 | 5,7 | 1,08 | 159 | 128 | 188 | 89 |
| Inokulum 2 | 5,5 | 1,08 | 182 | 127 | 181 | 87 |
| Inokulum 3 | 5,6 | 1,09 | 177 | 125 | 174 | 94 |
| Kontrolle | 5,6 | 1,00 | 153 | 90 | 161 | 83 |

Die Sollwerte für die Heizung betragen bei beiden Kulturen 20 °C und der Lüftungssollwert war auf 22 °C eingestellt. Bei den *Saintpaulia-Ionantha*-Hybriden standen im Endstand 35 Pflanzen pro Nettoquadratmeter und bei den *Streptocarpus*-Hybriden 20 Pflanzen pro Nettoquadratmeter.

Pflanzenschutz

Bei beiden Kulturen wurde auf ein Angießen mit Fungiziden nach dem Topfen verzichtet. Der Befall mit Echtem Mehltau erforderte in der 14. Kulturwoche bei den *Saintpaulia-Ionantha*-Hybriden eine Pflanzenschutzbehandlung. Der Bestand wurde zweimal mit Sapro Neu (0,1 %), Wirkstoff Triforine, gespritzt. Bei den *Streptocarpus*-Hybriden erfolgte in Woche 24 eine Behandlung mit Pirimor (0,05%), Wirkstoff Pirimicarb, zur Bekämpfung von Blattläusen. Neben diesen Behandlungen wurden während der Versuchsdauer keine weiteren Pflanzenschutzmaßnahmen durchgeführt. Welche Pflanzenschutzbehandlung die Jungpflanzen bei der Anzucht im Jungpflanzenbetrieb erfahren haben, war nicht exakt nachzuvollziehen.

Haltbarkeits- und Streßversuch

Nach dem Erreichen der Vermarktungsreife und der ersten Auswertung erfolgte die Simulation der Vermarktung. Dazu wurden die Pflanzen praxisüblich getütet, in Paletten eingestellt und auf einem, mit schwarzer Folie umwickelten Pflanzencontainer für fünf Tage gelagert. Im Anschluß daran erfolgten die eigentlichen Streß- und Haltbarkeitsversuche. Folgende Situationen wurden überprüft:

1. Simulation von Wohnraumbedingungen. Testung im Haltbarkeitsraum bei einer Temperatur von 20 °C, einer Lichtintensität von ca. 1000 Lux und Bewässerung über ein Tropfsystem, keine Düngung.
2. Trockene Kulturführung. Testung im Gewächshaus bei hoher Lichtintensität (ohne Schattierung). Die Pflanzen wurden extrem trocken gehalten, eine Düngung erfolgte nicht.
3. Wechselfeucht bei hoher Düngung. Testung im Gewächshaus bei hoher Lichtintensität (ohne Schattierung). Die Pflanzen wurden wechselfeucht kultiviert. Die Düngung erfolgte mit einem EC-Wert von 4,0 mS/cm.

Pro Versuch und Sorte wurden bei den Haltbarkeits- und Streßversuchen 20 Pflanzen pro Variante ausgewertet.

3 Ergebnisse

Die erste Auswertung fand zum Zeitpunkt der Verkaufsreife statt, 10 Wochen nach dem Topftermin. Es konnten weder bei den *Streptocarpus*-Hybriden noch bei den *Saintpaulia-Ionantha*-Hybriden signifikante Unterschiede zwischen den Varianten und im Vergleich zur Kontrolle festgestellt werden. Die unterschiedlichen Behandlungen hatten keinen Einfluß auf die Kulturdauer, die Anzahl der Blütenstände, den Durchmesser, den Zierwert und die Wurzelgesundheit. Auch die

bei *Streptocarpus*-Hybriden häufig auftretenden Blattrandnekrosen wurden durch den Einsatz der Mykorrhiza nicht positiv beeinflusst.

Tab. 2: Zusammensetzung der verwendeten Nährlösung nach VDLUFA-Analysenmethoden

| Parameter | Ergebnisse | | | |
|---------------------------------------|------------|-------|------|--------|
| | | | | |
| EC | 1100 | µS/cm | | |
| PH | 4,7 | | | |
| Ammonium NH ₄ | 12,6 | mg/l | 0,7 | mmol/l |
| Ammoniumstickstoff NH ₄ -N | 9,8 | mg/l | 0,7 | mmol/l |
| Kalium K | 117,0 | mg/l | 3,0 | mmol/l |
| Natrium Na | 3,3 | mg/l | 0,1 | mmol/l |
| Calcium Ca | 75,0 | mg/l | 1,9 | mmol/l |
| Magnesium Mg | 19,9 | mg/l | 0,8 | mmol/l |
| Nitrat NO ₃ | 467,0 | mg/l | 7,5 | mmol/l |
| Nitratstickstoff NO ₃ -N | 105,5 | mg/l | 7,5 | mmol/l |
| Chlorid Cl | < 5,0 | mg/l | 0,1 | mmol/l |
| Sulfat SO ₄ | 60,0 | mg/l | 0,6 | mmol/l |
| Schwefel S | 20,0 | mg/l | 0,6 | mmol/l |
| Karbonathärte | < 0,1 | °dH | | |
| Bikarbonathärte HCO ₃ | | | 0,0 | mmol/l |
| Phosphat PO ₄ | 41,7 | mg/l | 0,4 | mmol/l |
| Phosphor P | 13,6 | mg/l | 0,4 | mmol/l |
| Eisen Fe | 0,7 | mg/l | 12,7 | µmol/l |
| Mangan Mn | 0,16 | mg/l | 2,8 | µmol/l |
| Zink Zn | 0,43 | mg/l | 6,6 | µmol/l |
| Bor B | 0,12 | mg/l | 10,9 | µmol/l |
| Kupfer Cu | 0,08 | mg/l | 1,2 | µmol/l |
| Molybdän | 0,019 | mg/l | 0,2 | µmol/l |
| Aluminium Al | 1,72 | mg/l | 63,7 | µmol/l |

Die Bonituren des Besiedelungsgrades der Wurzeln mit Mykorrhiza, die von den jeweiligen Inokulum-Herstellern kurz vor dem Erreichen der Verkaufsreife der Versuchspflanzen durchgeführt wurden, ergaben nur geringe Besiedelungsraten von im Mittel 10 bis 25 %.

Tab. 3: Mittelwerte bezüglich Wachstum, Kulturzeit und Gesundheit von *Saintpaulia-ionantha*-Hybriden der Sorten 'Miho' und 'Kazuko' zum Zeitpunkt der Verkaufsreife nach Behandlung mit arbuskulärer Mykorrhiza

(* Boniturnoten: 9-8: sehr gut; 7-6: gut; 5-4: befriedigend; 3-2: schlecht; 1: sehr schlecht. Inok. 1 = Institut für Pflanzenkultur, Dr. C. Grotkass; Inok. 2 = Mycotec Biotechnik, Hess. Oldendorf; Inok. 3 = Terra Plant Service, Wiefelstede)

| Behandlung | Blütenstände/Pfl. Anzahl | Anzahl verkaufsreifer Pflanzen in Wo 21 [%] | Durchmesser (cm) | Wurzelgesundheit * |
|-----------------|--------------------------|---|------------------|--------------------|
| 'Miho' | | | | |
| Inokulum 1 | 5,4 | 53 | 21,1 | 7,0 |
| Inokulum 2 | 5,4 | 53 | 21,2 | 7,4 |
| Inokulum 3 | 5,5 | 58 | 21,5 | 7,3 |
| Kontrolle | 5,7 | 68 | 21,3 | 7,2 |
| 'Kazuko' | | | | |
| Inokulum 1 | 7,3 | 88 | 22,5 | 7,2 |
| Inokulum 2 | 6,9 | 93 | 22,3 | 7,7 |
| Inokulum 3 | 7,5 | 91 | 22,6 | 7,4 |
| Kontrolle | 7,3 | 94 | 22,4 | 7,6 |

Tab. 4: Mittelwerte bezüglich Wachstum und Gesundheit von *Streptocarpus*-Hybriden der Sorte 'Marleen' zum Zeitpunkt der Verkaufsreife nach Behandlung mit arbuskulärer Mykorrhiza (* Boniturnoten siehe Tabelle 3)

| Behandlung | Blütenstände/Pfl. Anzahl | Anzahl Blätter mit Nekrosen/Pfl. | Wurzelgesundheit * |
|------------|--------------------------|----------------------------------|--------------------|
| Inokulum 1 | 11,4 | 1,6 | 6,8 |
| Inokulum 2 | 11,3 | 1,4 | 6,6 |
| Inokulum 3 | 10,9 | 0,9 | 6,8 |
| Kontrolle | 10,7 | 1,2 | 6,7 |

In den folgenden Streß- und Haltbarkeitsversuchen führte die Mykorrhiza unter simulierten Wohnraumbedingungen nicht zu einer besseren Haltbarkeit der Versuchspflanzen. Lediglich bei Inokulum 2 wurde am Ende des Haltbarkeitsversuches bei den *Saintpaulia-Ionantha*-Hybriden eine geringfügig bessere Bewurzelung als bei Inokulum 1 und der Kontrolle festgestellt. Die Unterschiede waren zwar signifikant, aber sehr gering und führten zu keiner weiteren Verbesserung der Haltbarkeitskriterien. Bei den *Streptocarpus*-Hybriden konnten keine Unterschiede im Haltbarkeitsversuch festgestellt werden.

Tab. 5: Mittelwerte bezüglich Haltbarkeit von *Saintpaulia-Ionantha*-Hybriden der Sorten 'Miho' und 'Kazuko' unter simulierten Wohnraumbedingungen nach Behandlung mit arbuskulärer Mykorrhiza (* Boniturnoten siehe Tabelle 3)

| Behandlung | Blüten/ Anzahl | Blätter mit Botrytis/Pfl. | Ausfall in % | Zierwert * | Wurzel- bonitur |
|-----------------------|-------------------|------------------------------|-----------------|------------|--------------------|
| Inokulum 1 | 0,4 | 0,2 | 3,0 | 1,0 | 3,5a |
| Inokulum 2 | 0,3 | 0,0 | 3,0 | 1,0 | 4,3b |
| Inokulum 3 | 0,6 | 0,1 | 5,0 | 1,1 | 3,9ab |
| Kontrolle | 0,3 | 0,4 | 0,0 | 1,0 | 3,6a |
| Tukey/Kramer GD 5% | | | | | 0,57 |

Bei der trockenen Kulturführung konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den mit der Mykorrhiza behandelten Versuchspflanzen und der Kontrolle festgestellt werden. Inokulum 1 und Inokulum 2 lieferten aber tendenziell bessere Boniturnoten bezüglich Zierwert und Wurzelbonitur als die Kontrolle.

Die wechselfeuchte Kulturführung mit hoher Düngung führte ebenfalls zu keinen signifikanten Unterschieden.

Tab. 6: Mittelwerte bezüglich Streßtoleranz von *Saintpaulia-Ionantha*-Hybriden der Sorten 'Miho' und 'Kazuko' bei trockener Kulturführung nach Behandlung mit arbuskulärer Mykorrhiza (* Boniturnoten siehe Tabelle 3)

| Behandlung | Ausfall in % | Zierwert * | Wurzel- bonitur |
|------------|--------------|------------|--------------------|
| Inokulum 1 | 0,0 | 4,2 | 4,3 |
| Inokulum 2 | 3,0 | 4,5 | 4,4 |
| Inokulum 3 | 0,0 | 3,9 | 3,8 |
| Kontrolle | 0,0 | 3,7 | 3,6 |

4 Diskussion

Als Ursache für die fehlende positive Wirkung der Mykorrhiza, könnte die geringe Besiedelungsrate der Wurzeln mit den Pilzen angesehen werden. Nach FELDMANN et al. (1996) ist zwar der Wurzelbesiedlungsgrad kein zuverlässiges Maß für die Wirksamkeit der Mykorrhiza-Pilze, da dieser und die Stärke der Symbiosewirkung stark von der jeweiligen Wirtspflanze-Pilz-Kombination abhängt, allerdings ist davon auszugehen, daß bei einer Besiedlungsrate von maximal 10 bis 25 Prozent nicht mit einer großen Wirkung der arbuskulären Mykorrhiza zu rechnen ist.

Als weitere Ursache für die schlechte Etablierung der Mykorrhiza unter den gegebenen Versuchsbedingungen kann eventuell der relativ hohe Gehalt an Phosphor (90 bis 130 mg P_2O_5/l) in der Topferde angesehen werden. Zahlreiche Untersuchungen weisen auf die Notwendigkeit eines geringen Phosphorgehaltes im Substrat als Voraussetzung zur Infektion, Etablierung und Wirksamkeit der Mykorrhiza hin (GRAHAM et al., 1982). Diese Forderung gestaltet den erfolgreichen Einsatz der Mykorrhiza in der Praxis schwierig, da die meisten Zierpflanzenbetriebe industriell hergestellte Standarderden verwenden, deren Phosphor-Gehalte in etwa denen des hier verwendeten Substrates entsprechen. Zum erfolgreichen Einsatz der Mykorrhiza würde demnach die Verwendung von Spezialerden erforderlich werden. Des weiteren müßten die Betriebe ihre Düngung ändern und P-reduzierte Düngerlösungen verwenden, was relativ einfach durch die Verwendung von Einzelnährstoffen möglich wäre. SCHNITZLER et al. (1996) stellte fest, daß sich die Mykorrhiza auch bei reichlichem Nährstoffangebot, mit Ausnahme von hohem P-Angebot, gut entwickelte.

Als weitere Faktoren, die die Infektion und Etablierung der Mykorrhiza behindern, sind geringe Lichtintensitäten (HAYMAN, 1974; DAFT et al., 1978) und hohe Bodenfeuchtigkeit in Verbindung mit Sauerstoffmangel im Wurzelbereich bekannt. Dieses kann als Ursache bei der gegebenen Versuchsanstellung ausgeschlossen werden.

Neben den aufgeführten Faktoren könnten auch Fungizidbehandlungen, die eventuell im Jungpflanzenbetrieb erfolgten oder die Behandlung, die später bei der Fertigung durchgeföhrt wurde, die Mykorrhiza negativ beeinflusst haben. Es ist bekannt, daß Pflanzenschutzmittel, insbesondere Fungizide, die Mykorrhiza schädigen. Auch dieses ist ein Faktor, der die erfolgreiche Anwendung der Mykorrhiza im Produktionsgartenbau erschwert. Auf die Behandlung der Jungpflanzen mit Pflanzenschutzmittel im Jungpflanzenbetrieb hat der Gärtner in der Regel keinen Einfluß. Er weiß nicht, welche Wirkstoffe in welcher Konzentration die Pflanze in sich trägt. Auch bei der Fertigung kann bei auftretenden pilzlichen Erkrankungen im Bestand in den meisten Fällen

nicht auf die entsprechenden Fungizidbehandlungen verzichtet werden, ohne finanzielle Einbußen in Kauf nehmen zu müssen.

Weiterhin diskussionswürdig ist die Frage, inwieweit es durch die Mykorrhiza bei den guten Kulturbedingungen im heutigen Zierpflanzenbau mit optimierter Bewässerung, Düngung und Klimasteuerung überhaupt noch zu einer Verbesserung des Wachstums durch die Mykorrhiza kommen kann. Zahlreiche Versuche zeigen die positive Wirkung der Mykorrhiza, insbesondere für Extremstandorte oder bei Mangel an Nährstoffen und besonders bei Phosphor-Mangel. Demgegenüber konnten FELDMANN et al. (1996) in Zusammenarbeit mit einem Gartenbaubetrieb, aber auch bei zahlreichen gärtnerischen Kulturen positive Effekte erzielen.

5 Zusammenfassung

Es wurde die Wirkung von drei verschiedenen, käuflich zu erwerbenden Mykorrhiza-Inokula auf Qualität, Haltbarkeit und Streßtoleranz von *Saintpaulia-Ionantha*-Hybriden der Sorten 'Miho' und 'Kazuko' sowie von *Streptocarpus*-Hybriden der Sorte 'Marleen' unter Praxisbedingungen getestet.

Durch die Mykorrhiza wurde weder die Kulturdauer, die Verkaufsqualität, die Streßtoleranz und die Haltbarkeit der Pflanzen signifikant beeinflusst. Bei allen im Test befindlichen Inokula war die Besiedelung der Wurzeln mit Mykorrhiza sehr gering. Der Besiedelungsgrad betrug im Mittel 10 bis 25 Prozent. SCHNITZLER et al. (1996) konnten in einem Substratversuch bei Tomaten, trotz hoher Nährstoffversorgung durch die Beimpfung mit Mykorrhiza, signifikante Mehrerträge mit größeren Früchten von besserer Handelsqualität erzielen. FELDMANN et al. (1996) sowie ASSEMBE und VON ALTEN (1996) sehen die Wirkung der Mykorrhiza im heutigen Gartenbau auch als eine Möglichkeit zur Erhöhung der Streßtoleranz der Pflanzen und damit als eine Art „Kulturversicherung“. Beim Auftreten von Kulturfehlern soll demnach die Mykorrhiza ihre positive Wirkung entfalten und die Pflanzen vor den Auswirkungen der Kulturfehler schützen.

In diesem Zusammenhang könnte als weiteres Anwendungskriterium der Mykorrhiza, die Förderung der Haltbarkeit von Pflanzen angesehen werden. Denkbar wäre, daß mit Mykorrhiza infizierte Zierpflanzen die Streßbedingungen der Vermarktung und die nicht immer optimalen Wachstumsbedingungen beim Verbraucher, wie z. B. zu niedrige oder zu hohe Bewässerungsgaben besser verkraften und dies durch eine längere Haltbarkeit danken. Da die Produktion von qualitativ hochwertigen Zierpflanzen mit guter Haltbarkeit immer wichtiger wird und das Interesse der Gärtner an qualitätsfördernden Maßnahmen groß ist und zur Übertragung der wissenschaftlichen Ergebnisse im Bereich Mykorrhiza in die Praxis weitere Versuche notwendig sind, wird

diese Fragestellung in einem Folgeversuch weiter bearbeitet.

6 Danksagungen

Herzlich bedanken möchte ich mich bei den Herstellern der Mykorrhiza-Inokula für die Bonitur der Wurzeln bezüglich der Mykorrhizainfektion.

7 Literaturverzeichnis

ASSEMBE, S. und H. VON ALTEN, 1989: Streßtoleranz durch Mykorrhiza. Gärtnerbörse 7, 34-35.

DAFT, M. J. u. A. EL-GIAHMI, 1978: Effect of arbuscular mycorrhiza on plant growth. VIII. Effects of defoliation and light on selected hosts. *New Phytol.* **80**, 365-372.

FELDMANN, F., J. WERITZ, C. BOYLE und G. F. BACKHAUS, 1996: Symbiotische Mykorrhizapilze im Pflanzenbau. *Deutscher Gartenbau* **1**, 10-13.

GRAHAM, J. H., R. T. LEONARD, und J. A. MENGE, 1982: Interaction of light intensity and soil temperature with phosphorus inhibition of vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. *New Phytol.* **91**, 683 - 690.

HAYMAN, D. S., 1974: Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza.

VI. Effect of light and temperature. *New Phytol.* **73**, 71-80.

SCHNITZLER, W. H., MICHALSKY, F. und N. GRUDA, 1996: Mykorrhiza zur Kulturverbesserung. Tomatenanbau in Substrat. *Deutscher Gartenbau* **17**, 1030-1033.

JOHNE, S.¹ und BRANDT, C.²

¹Triton Umweltschutz GmbH, 06749 Bitterfeld

²Institut für innovative Technologien GmbH (ITA), 06366 Köthen

Zur Mykorrhizierung von Laubgehölzen

On the mycorrhization of deciduous trees

Abstract

Young plants of different species of *Acer*, *Alnus*, *Cotoneaster*, *Fraxinus*, *Prunus*, and *Sorbus* were inoculated with *Glomus intraradices*, *G. etunicatum* and *G. mosseae*. The plants were cultivated in a mixture of sandy loam soil and in disturbed reclaimed soil. Inoculation significantly increased the level of colonization in most cases. The stem height and diameter of *Acer platanoides*, *Prunus avium* and *Sorbus aucuparia* were significantly stimulated by inoculation during two consecutive seasons.

1 Einleitung

In der Landschaftssanierung bzw. -entwicklung spielen Pflanzen mit ihren korrigierenden, biostabilisierenden, aber auch vorbeugenden Wirkungen in umweltsensiblen Bereichen eine große Rolle. Um z. B. die Anwachsrate oder die Biomasseproduktion der für Rekultivierungszwecke auch auf Grenzstandorten (Tagebaukippen, Deponien etc.) einzusetzenden Pflanzen signifikant zu erhöhen und damit die Rekultivierung auch größerer Flächen in einem ökonomisch sinnvollen Rahmen überhaupt erst zu ermöglichen, könnte der Einsatz mykorrhizierter Pflanzen von großem Vorteil sein.

Über den Nachweis von arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMP) bei Laubgehölzen wurde wiederholt berichtet. Neuerdings wird dabei ihrer Rolle bei Pionierpflanzen in devastierten oder kontaminierten Böden und den Fragen einer praktischen Nutzung von AMP bei Rekultivierungen auch international zunehmende Beachtung beigemessen.

So fanden HERNÁNDEZ-DORREGO et al. (1998) bei *Prunus spec.* nach Inokulation mit *Glomus mosseae* und *G. intraradices* eine signifikant höhere Zunahme an Stammhöhe und -durchmesser. CHAPDELAINÉ et al. (1998) berichteten über die Effekte einer Inokulation von

Acer saccharinum, *A. platanoides*, *Celtis spec.*, *Fraxinus spec.* und *Gleditsia spec.* mit *Glomus etunicatum*, *G. intraradices* u. a. *G. species*. Unter Freilandbedingungen fanden sie bei inokulierten Pflanzen eine Erhöhung der Wachstumsrate um das 2 - 5 fache! JASPER et al. (1998) berichteten über die Entwicklung eines trockenen Wurzelinokulums von AMP für den Einsatz bei Rekultivierungen von Bergbaugelände. Von MORRISON et al. (1993) wurde über eine positive Wirkung von AMP auf das Höhen- und Dickenwachstum bei verschiedenen *Acer*, *Prunus*, *Malus*, *Sorbus*, *Syringa* und *Viburnum spec.* berichtet; von LOVATO et al. (1994) über ähnliche Effekte auch bei *Fraxinus excelsior*. Von SANGWANIT et al. (1998) wird auf das Fehlen eines geeigneten (preiswerten und leicht handhabbaren) AMP-Inokulums für die Produktion mykorrhizierter wichtiger thailändischer Forstgehölze hingewiesen.

Das Ziel der vorliegenden Untersuchungen war festzustellen, ob sich die bei Rekultivierungen auf Bergbaufolgelandschaften verwendeten Gehölze durch Inokulation mit AMP mykorrhizieren lassen und ob sich dadurch vorteilhafte, z. B. wachstumsfördernde Effekte bei der Anzucht von Jungpflanzen erzielen lassen.

2 Material und Methoden

Bodencharakterisierung

Substrat I: Einheitserde EEO/Mittelsand = 7/3 (vol.)

% N_t 0,156; % C_t 1,893; % S_t 0,006; % CO₃-C 0,040; mg P/100 g (DL) 21,68;

mg K/100 g (DL) 58,08; mg Mg/100 g (CaCl₂) 10,77; pH 7,4; C/N 12,1.

Substrat II: Kippenboden, Bergbaufolgelandschaft Goitzsche, Region Bitterfeld

Jeweils zehn Bodenproben wurden mit dem Bodenentnahmegerät aus der obersten Bodenschicht

(0 - 30 cm) entnommen und zu einer Mischprobe vereinigt.

Bodenart: anlehmgiger Sand

Nährstoffgehalte:

mg P/100 g (DL) 1,00; mg K/100 g (DL) 3,34; mg Mg/100 g (CaCl₂) 5,91;

mg NH₄-N/100 g 0,02; mg NO₃-N/100 g 0,01; H₂O % (Bodenfeuchte) 0,68;

H₂O (Masse %) 0,67; pH 6,42.

Physikalische Daten

Sand 83 %; Schluff 12 %; Ton 5 %; Elektrische Leitfähigkeit mS/cm 2,3; Feldkapazität

12 Vol. %; Welkepunkt 10 Vol. %; nutzbare Feldkapazität 8 Vol. %.

Körnung in %

| GS 630-2000 µm | MS 200-630 µm | FS 63-200 µm | GU 20 - 63 µm | MU 6.3-20 µm | FU 2-6.3 µm | T < 2 µm |
|-------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|----------------|-------------|
| 12,6 | 14,9 | 7,0 | <0,1 | 17,0 | 25,4 | 24 |

Brooks Parameter

kf m/d 0.093; ws 0.349; wr 0; ha 1; lamda 0,064.

Pflanzenmaterial

Als Versuchspflanzen wurden folgende Laubgehölze eingesetzt:

Acer platanoides (Spitzahorn)

Alnus glutinosa (Rot- o. Schwarzerle)

Alnus incana (Grau-Erle)

Cotoneaster bullatus (Zwergmispel)

Fraxinus excelsior (Gemeine Esche)

Prunus avium (Vogelkirsche)

Prunus spinosa (Schlehe)

Sorbus aucuparia (Vogelbeere)

Verwendet wurden Sämlingspflanzen einer deutschen Markenbaumschule: 1. j. S. 1/0 20 - 40 bzw. 30 - 50 cm.

Folgende arbuskuläre Mykorrhizapilze wurden verwendet:

Glomus intraradices SCHENCK & SMITH, (Isolat 510, Universität Hannover) und eine Mischung verschiedener *Glomus*-Species (*G. intraradices*, *G. etunicatum*, *G. mosseae*; Isolat 49, Universität Hannover).

Die Vermehrung der Pilzisolate erfolgte an Blähton (2 - 4 mm) mit Tagetes, Mais o. a. Pflanzen in Hydrokultur. Es wurden pro Species und Versuchsansatz jeweils 50 Pflanzen in die Substrate I und II getopft. Topfgröße: 20 x 17 x 17, Substratvolumen 440 ml. Bei jeweils 25 Pflanzen wurde das Substrat mit ca. 3 vol.-% mykorrhizierten Blähton (Isolat 49 bzw. 510) homogen vermischt.

Düngung

Eine Düngung erfolgte mit dem Flüssigdünger Combiflor (NPK 12 + 4 + 6 mit Spurennährstoff-

fen). 20 ml auf 10 l Wasser, davon 100 ml pro Topf. Die Düngung erfolgte in den ersten 2 Monaten 2 mal wöchentlich, danach einmal wöchentlich.

- Kultivierung im Gewächshaus.
- Kultivierung unter Freilandbedingungen: Klimadaten (Niederschlag, Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte, Sonnenschein, Windgeschwindigkeit) wurden täglich registriert.

Bonitierung

Es erfolgte die Messung des Sproßdurchmessers und der Sproßhöhe. Der Sproßdurchmesser wurde mittels eines Meßschiebers, ca. 2 cm über der Bodenoberfläche, gemessen. Die Sproßhöhe wurde mittels eines Zollstocks von der Bodenoberfläche bis zum Sproßende (Baumkrone) gemessen.

| | |
|------------|---|
| 1. Bonitur | 07.04. - 16.04.1997 nach der Pflanzung |
| 2. Bonitur | 29./30.07.1997 |
| 3. Bonitur | 07.10. - 21.10.1997 |
| 4. Bonitur | 10. - 15.06.1998 |

Ermittlung der Mykorrhizierung

Eine geeignete Methode zur Beurteilung der Besiedlung von AMP in Wirtspflanzenwurzeln ist die Ermittlung der Mykorrhizierung. Die Mykorrhizierungsrate wurde in regelmäßigen Abständen während der Vegetationsperiode bestimmt. Dazu wurde eine repräsentative Wurzelanzahl der verschiedenen Versuchspflanzen entnommen. Die Wurzelproben wurden dann unter fließendem Wasser gereinigt und so von anhaftendem Substrat befreit. Die abgeschnittenen Wurzelproben wurden zur mikroskopischen Untersuchung auf eine Länge von 1 cm gekürzt. Das Anfärben der Wurzeln erfolgte modifiziert nach PHILLIPS und HAYMAN (1970) mit Trypanblau-Lösung. Pro Pflanze wurden 100 zufällig ausgewählte Wurzelstücken lichtmikroskopisch auf Myzel, Arbuskeln und Vesikel bonitiert. Die Mykorrhizierungsrate wird als prozentualer Anteil mykorrhizierter Wurzeln bestimmt.

Statistische Bewertung

Multiple Mittelwertvergleiche erfolgten nach Tukey mit einem Signifikanzniveau von 5 % und der Vergleich von zwei Mittelwerten nach dem t-Test.

3 Ergebnisse und Diskussion

Bei den folgenden Ausführungen wird lediglich repräsentativ auf einige Untersuchungen eingegangen. Die Ergebnisse beziehen sich dabei ausschließlich auf die im Freiland durchgeführten Untersuchungen.

Tab.1: Untersuchung der Wurzeln auf das Vorkommen von arbuskulärer Mykorrhiza (7 Monate nach Inokulation)

| Species | Substrat I | | Substrat II | |
|----------------------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
| | inokuliert Iso-lat 49 | nicht inokuliert | inokuliert Iso-lat 49 | Nicht inokuliert |
| <i>Acer platanoides</i> | ja | nein | ja | Nein |
| <i>Alnus glutinosa</i> | nein | nein | nein | Nein |
| <i>Alnus incana</i> | ja | nein | nein | Nein |
| <i>Cotoneaster bullata</i> | nein | nein | nein | Nein |
| <i>Fraxinus excelsior</i> | ja | nein | ja | Nein |
| <i>Prunus avium</i> | ja | nein | ja | Nein |
| <i>Prunus spinosa</i> | nein | nein | nein | Nein |
| <i>Sorbus aucuparia</i> | ja | nein | ja | Nein |

Bereits bei der zweiten Bonitur (ca. 14 Wochen nach der Inokulation, Pflanzen wurden in Töpfen in den Substraten I und II unter kontrollierten Freilandbedingungen kultiviert) ließen sich Hyphen und Vesikel bei *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior* und *Sorbus aucuparia* feststellen. Bei der Untersuchung der Wurzeln auf das Vorhandensein von Mykorrhiza nach weiteren 12 Wochen (3. Bonitur) wurden die in Tabelle 1 zusammengestellten Ergebnisse erhalten. Daraus ist erkennbar, daß *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium* und *Sorbus aucuparia* auf beiden Substraten arbuskuläre Mykorrhiza ausbilden. Bei *Alnus incana* ließ sich nur im Substrat I AMP nachweisen. Die übrigen Species waren zu diesem Zeitpunkt noch AMP-frei. Am Versuchsende (4. Bonitur nach 14 Monaten) waren aber praktisch alle Species in beiden Substraten - einschließlich der nicht inokulierten - mykorrhiziert. Eine Erklärung dafür könnte sein, daß sich die Wurzeln der nicht inokulierten Pflanzen beim Durchwachsen der auf Erde stehenden Töpfe mit AMP infizieren. Damit ist die prinzipielle Mykorrhizierfähigkeit aller verwendeten Pflanzenspecies bewiesen. Die unterschiedliche Geschwindigkeit bei der Ausbildung

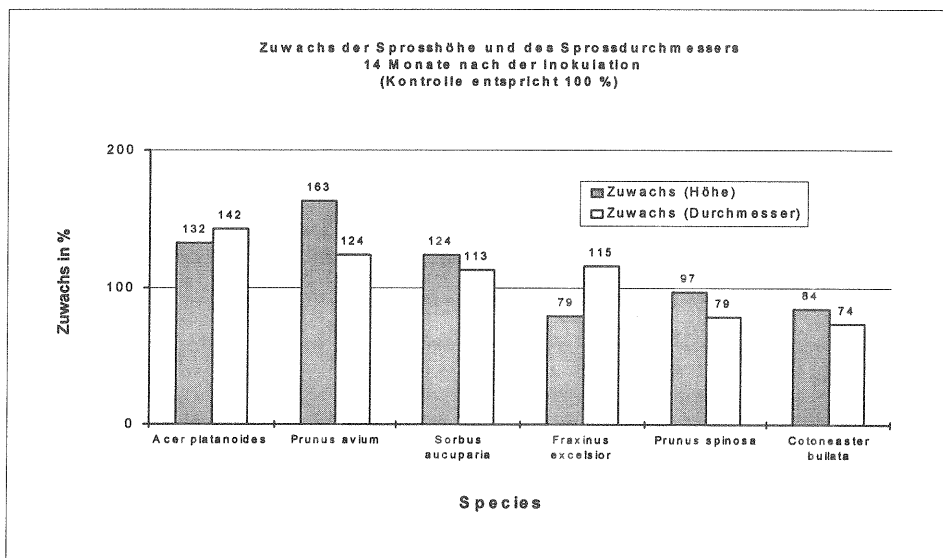


Abb. 1: Einfluss der Inokulation mit AMP-Isolat 49 auf das Wachstum verschiedener Laubgehölze (Substrat I)

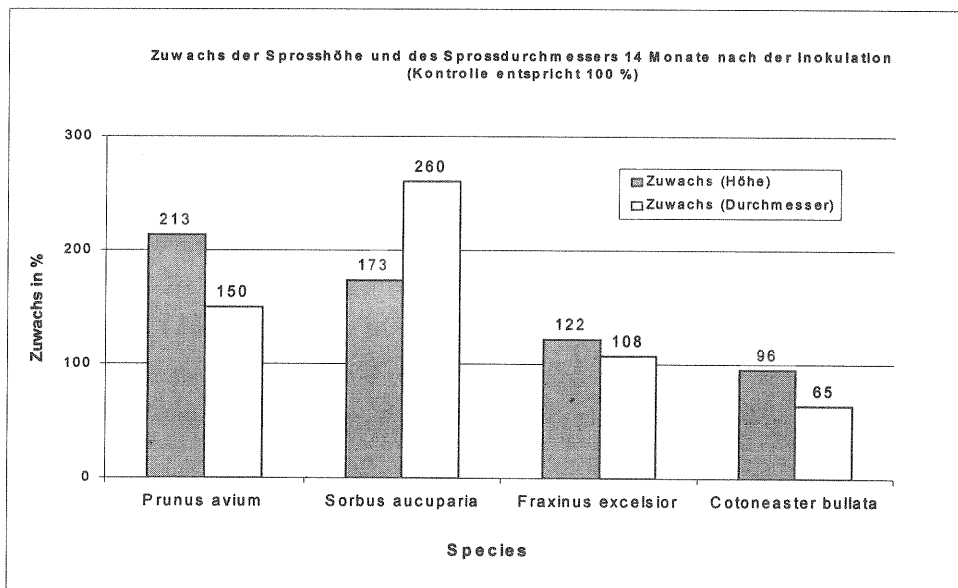


Abb. 2: Einfluss der Inokulation mit AMP-Isolat 49 auf das Wachstum verschiedener Laubgehölze (Substrat II)

der arbuskulären Mykorrhiza kann durch die genetisch fixierte geringe Empfänglichkeit der Pflanzen oder durch die kulturtechnischen Rahmenbedingungen begründet sein (FELDMANN, 1997).

Parallel zu der Untersuchung der Mykorrhizierungsgeschwindigkeit wurden Sproßdurchmesser und -höhe bonitiert. Die bereits nach 14 Wochen (2. Bonitur) nach der Inokulation zu beobachtenden besseren Zuwachsraten bei Sproßdurchmesser und -höhe in beiden Substraten bei *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior*, *Prunus avium* und *Sorbus aucuparia* manifestierten sich bis Versuchsende. Eine Ausnahme bildet lediglich die Sproßhöhe bei *Fraxinus excelsior* (Abb. 1 und 2).

Bei den anderen untersuchten Pflanzenspecies ließen sich nach AMP-Inokulation entweder keine oder negative oder nur für kurze Zeit positive Wachstumseffekte feststellen, die sich zu Versuchsende nicht signifikant von den Kontrollen unterschieden. Denkbar wäre, daß die bei der 4. Bonitur festgestellte Besiedelung aller untersuchter Arten bei den übrigen Species erst in der folgenden Vegetationsperiode zu positiven Effekten führt. So berichteten z. B. auch MORRISON et al. (1993) über eine signifikante Zunahme des Sproßdurchmessers erst im zweiten Jahr nach der Inokulation von *Sorbus aucuparia* mit AMP. Es ist deshalb wünschenswert, das Pflanzenmaterial noch nach einer 3. und 4. Vegetationsperiode zu bonitieren und im übrigen ähnliche Versuchsreihen künftig prinzipiell über einen längeren Zeitraum anzulegen.

Die inokulierten Pflanzen von *Prunus avium* auf Substrat I und *Sorbus aucuparia* auf beiden Substraten zeigten während des gesamten Beobachtungszeitraumes ein größeres Wachstum als die nicht inokulierten Kontrollpflanzen (Abb. 3 - 6). Dabei sind die hohen Zuwachsraten bei inokulierten *Prunus avium* und *Sorbus aucuparia* auf dem sehr nährstoffarmen Kippensubstrat (II) besonders auffallend. Bei den anderen untersuchten Species war eine z. T. aufgetretene Wachstumsförderung nur kurzzeitig zu beobachten.

Zusammenfassend kann man als ein erstes Ergebnis die Schlußfolgerung ziehen, daß durch eine Inokulation der o. g. Species von *Prunus*, *Sorbus* und *Fraxinus* mit AMP eine deutliche Wachstumsförderung von Jungpflanzen auch auf einem nährstoffarmen und in seiner Struktur gestörten Boden zu erzielen ist.

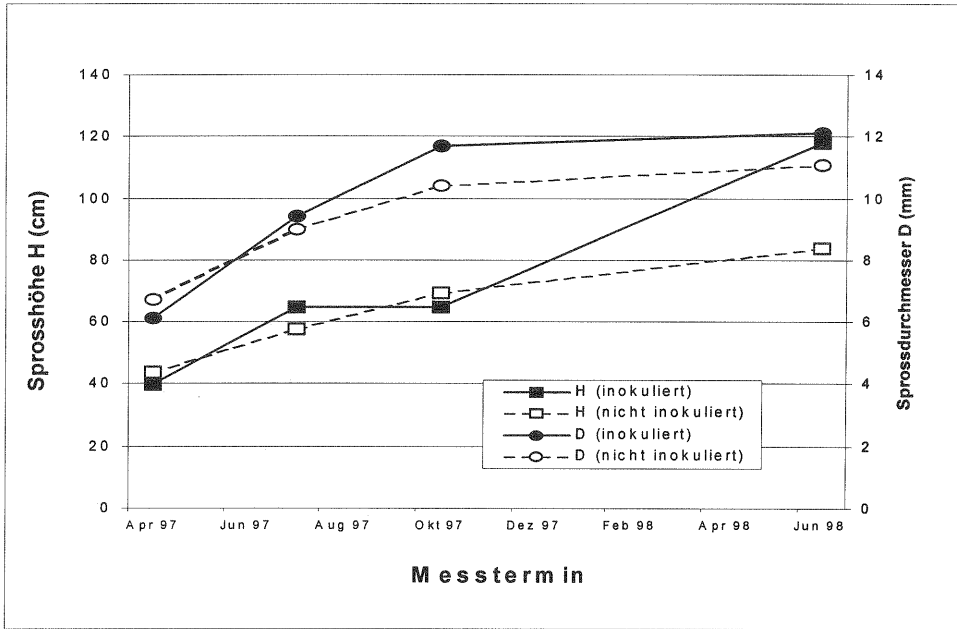


Abb. 3: Einfluss der Inokulation mit AMP-Isolat 49 auf das Wachstum von 1-jährigen *Prunus avium* (Substrat I)

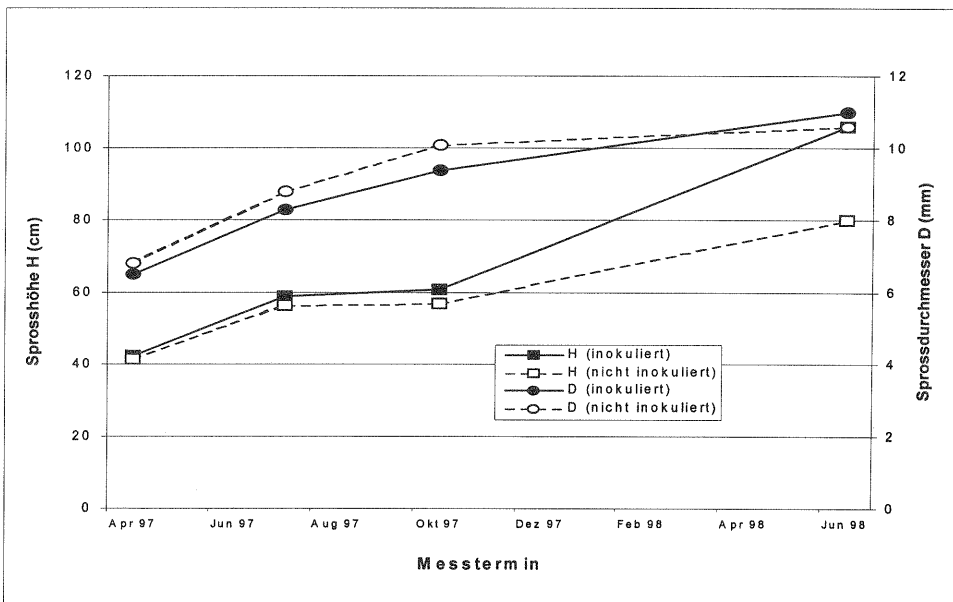


Abb. 4: Einfluss der Inokulation mit AMP-Isolat 49 auf das Wachstum von 1-jährigen *Prunus avium* (Substrat II)

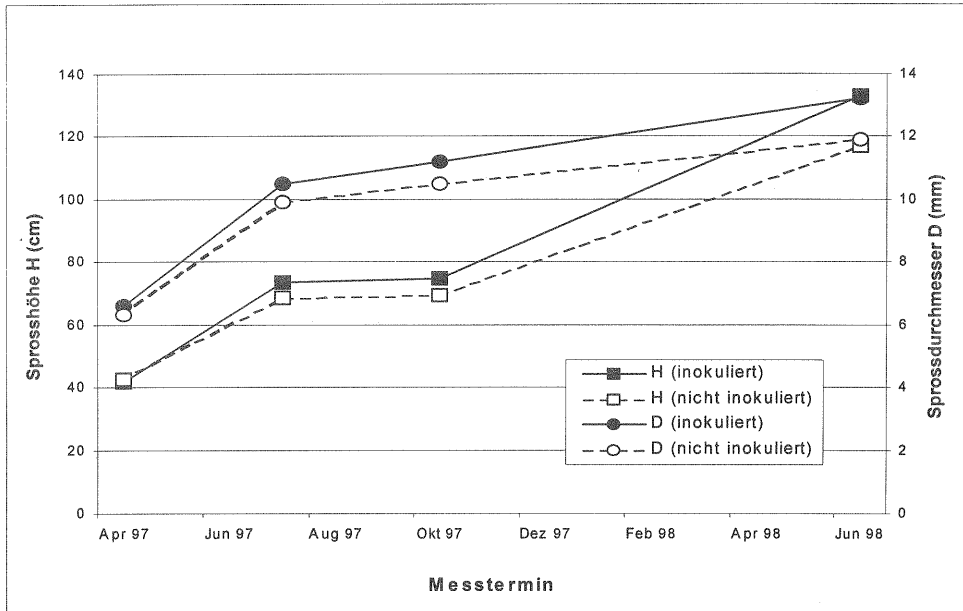


Abb. 5: Einfluss der Inokulation mit AMP-Isolat 49 auf das Wachstum von 1-jährigen *Sorbus aucuparia* (Substrat I)

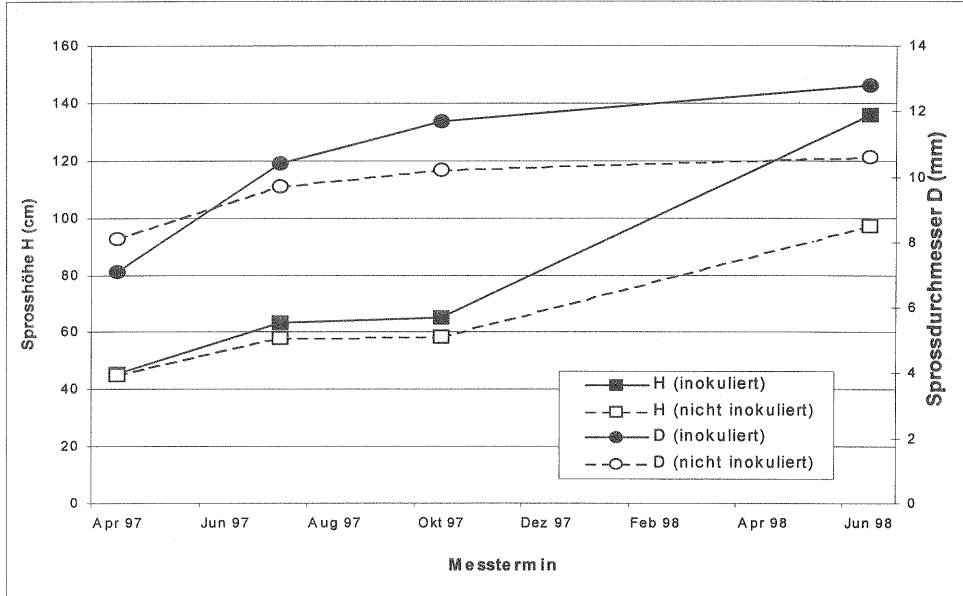


Abb. 6: Einfluss der Inokulation mit AMP-Isolat 49 auf das Wachstum von 1-jährigen *Sorbus aucuparia* (Substrat II)

4 Zusammenfassung

Die Inokulation von Jungpflanzen zahlreicher Laubgehölze der Gattungen *Acer*, *Alnus*, *Cotoneaster*, *Fraxinus*, *Prunus* und *Sorbus* mit *Glomus intraradices*, *G. etunicatum* und *G. mosseae* führte in allen Fällen, aber mit sehr unterschiedlicher Geschwindigkeit zu einer Besiedelung mit arbuskulärer Mykorrhiza. *Acer platanoides*, *Prunus avium* und *Sorbus aucuparia* wiesen bereits im 1. Jahr sowohl auf Standard- als auch auf Original-Kippen-Boden signifikant bessere Zuwachsraten von Sproßhöhe und -durchmesser auf. Die positive Wirkung der Inokulation zeigte sich auch noch am Ende der zweiten Vegetationsperiode. Dabei scheint eine Korrelation zwischen der Geschwindigkeit der Besiedelung und den beobachteten positiven Zuwachsraten zu bestehen.

5 Danksagung

Die hier mitgeteilten Ergebnisse wurden im Rahmen eines vom Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF) geförderten Projektes „Entwicklung eines mykorrhizahaltigen Pflanzenhilfsstoffes sowie Mykorrhizierung von Pflanzen zur Rekultivierung von devastierten oder kontaminierten Standorten“ (FKZ 0339681) erhalten.

6 Literaturverzeichnis

- CHAPDELAINE, A., Y. DALPE, Ch. HAMEL, M. ST.-ARNAUD, S. KOSUTA, M. PEZZENTE, P. JUTRAS und S. PARENT, 1998: Endomycorrhizal inoculation improves the City of Montreal nursery tree seedling production. Sec. Int. Conf. on Mycorrhiza, Uppsala, Sweden, Abstracts, p. 41.
- FELDMANN, F., 1997: Stabilität und Reproduzierbarkeit der Wirksamkeit von Inokulum arbuskulärer Mykorrhizapilze. Mitt. Biol. Bundesanst. Land-Forstwirtschaft. Berlin-Dahlem, H. 332, S. 54.
- HERNÁNDEZ-DORREGO, A., C. CALVET, J. PINOCHET, A. CAMPRUBI, V. ESTAUN und A. BONET, 1998: Growth response of the plum rootstock AD 101 to mycorrhizal inoculation with *Glomus mosseae* and *Glomus intraradices* in a replant soil infested with nematodes. Sec. Int. Conf. on Mycorrhiza, Uppsala, Sweden, Abstracts, p. 81.
- JASPER, D., J. BELL, S. MERCER und L. ABBOTT, 1998: Development and field evaluation of dry root inoculum of AM fungi, for application in mine rehabilitation. Sec. Int. Conf. on Mycorrhiza, Uppsala, Sweden, Abstracts, p. 90.
- JASPER, D. A., 1994: Management of mycorrhizas in revegetation, in: ROBSON, A. D., ABBOTT, L. K. und N. MALAJCZUK (eds.), Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, NL.
- LOVATO, P. E., N. HAMMATT, V. GIANINAZZI-PEARSON und S. GIANINAZZI, 1994: Mycorrhization of micropropagated mature wild cherry (*Prunus avium* L.) and common ash (*Fraxinus excelsior* L.). Agricult. Sci. Finland 3, 297.

- MORRISON, S. J., P. A. NICHOLL und P. R. HICKLENTON, 1993: VA Mycorrhizal Inoculation of Landscape Trees and Shrubs Growing under High Fertility Conditions. *J. Environ. Hort.* **11**, 64.
- PFLEGER, F. L., E. L. STEWART und R. K. NOYD, 1994: Role of VAM Fungi in Mine Land Revegetation, in: PFLEGER, F. L. und R. G. LINDERMAN (eds.), *Mycorrhizae and Plant Health*. The Amer. Phytopathol. Soc., St. Paul, USA, p. 47.
- PHILLIPS, J. M. und D. S. HAYMAN, (1970): Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* **55**, 158.
- SANGWANIT, U., T. SANGTHIEAN und K. RAMANWONG, 1998: Mycorrhizae of Economical Trees in Thailand. *Sec. Int. Conf. on Mycorrhiza*, Uppsala, Sweden, Abstracts, p. 153.

WEISSENHORN, I. * und FELDMANN, F. +

* Kamperfoelieweg 17, NL-9753 ER Haren; +Konstantin-Uhde-Str. 13, D-38106 Braunschweig

Perspektiven der Nutzung der arbuskulären Mykorrhiza im niederländischen Gartenbau unter Glas

Application of Arbuscular Mycorrhiza in the Dutch Glasshouse Horticulture

Abstract

There is a growing interest in Dutch horticulture to develop sustainable production systems and to apply bioagents in place of (or together with) agrochemicals. The number of commercially available AMF (Arbuscular Mycorrhizal Fungi)-inocula on the Dutch market is increasing and first experiences with these products are being collected in private and public initiatives. The use of AM in glasshouse horticulture seems feasible in integrated or organic production systems for high value crops with a relatively long production time. An improved plant resistance to root pathogens, faster and better rooting of cuttings and seedlings, stimulation of flowering and longer vase life are the main aspects of AM application. We demonstrate the results of a screening of horticultural plants for their ability to form mycorrhiza. Furthermore, we report results of demonstration projects to use AMF in the integrated plant protection of *Euphorbia pulcherrima* and to favour the growth and blooming of *Pelargonium* cultivars.

1 Einleitung

Der Gartenbau ist traditionsgemäß ein wichtiger Sektor der niederländischen Wirtschaft. Das Areal unter Glas nimmt noch ständig zu, wobei eine Verschiebung von Gemüseanbau zu Zierpflanzenproduktion zu beobachten ist. Im Jahr 1998 wuchs die Produktionsfläche unter Glas um 3% auf über 10.000 ha. Das in demselben Jahr realisierte Wachstum der gartenbaulichen Produktion von ebenfalls 3% ist vollständig zurückzuführen auf eine Zunahme der Zierpflanzenproduktion (NRC Handelsblad, 07-01-99, Quelle: Productschap Tuinbouw). 50% des Welthandels mit Zierpflanzen wird von den Niederlanden beherrscht. Der niederländische Gartenbau zeichnet sich durch einen hohen Grad von Intensivierung und Optimierung aus, was zunächst wenig Spielraum für den Einsatz von Mykorrhiza bietet. Andererseits steht der Gartenbau unter starkem ökonomischen und gesellschaftlichen Druck, ökologisch zu modernisieren und die Qualität an die steigenden und veränderten Ansprüche der Konsumenten anzupassen. Ein zunehmendes Interesse an der

Entwicklung umweltfreundlicher Anbaumethoden und dem Einsatz biologischer Mittel ist festzustellen (ALLEBAS und VAREKAMP, 1998). So wird derzeit im herkömmlichen, vor allem aber im biologischen Gartenbau der Niederlande nach Einsatzmöglichkeiten für AMP gesucht, die zu einer Verminderung von Ausfall bei 'Problemgewächsen', zur Verbesserung der Bewurzelung bei der Anzucht (z.B. bei *Poinsettia*) und zur erhöhten Toleranz der Wirtspflanzen (z.B. bei *Cyclamen*, *Eustomia*, *Spathiphyllum*, *Dieffenbachia*, *Poinsettia*) gegenüber Wurzelpathogenen beitragen sollen. Mit Blick auf eine im Auftrag der niederländischen Versuchsanstalt für Blumen- und Gemüseanbau unter Glas durchzuführende Studie (WEISSENHORN und VAN LEEUWEN, 1998) untersuchten wir vorab in einem breit angelegten Screening die wichtigsten Zier-, Gemüse- und Heilpflanzen bzw. Kräuter der Niederlande und Deutschlands auf ihre Mykorrhizierfähigkeit. Daraufhin wurde in Demonstrationsprojekten für pflanzenproduzierende und vertreibende Betriebe exemplarisch sowohl die Wirksamkeit eines kommerziellen Inokulums auf die Blüte verschiedener Pelargonien-Sorten untersucht, als auch Auswirkungen der Mykorrhizierung auf das Verhalten von Poinsettien gegenüber *Pythium ultimum* studiert. Letztere Experimente stellen die Verwendbarkeit von natürlichen Mykorrhizasymbiosen in Pflanzenproduktionsbereichen heraus, in denen die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln minimiert oder sogar vollständig unterlassen bleibt.

2 Material und Methoden

Die dargestellten Studien fanden zwischen 1994 und 1998 in enger Kooperation mit dem Institut für Angewandte Botanik der Universität Hamburg, dem Institut für Mikrobiologie der Technischen Universität Braunschweig und den Betrieben Institut für Pflanzenkultur, Solkau, bzw. Symbionta, Gifhorn, Deutschland, statt. Die in Tab. 1 (s. Anhang) aufgelisteten Pflanzenarten wurden – wenn unter Glas angezogen - mit *Glomus etunicatum* inokuliert. Die Mykorrhizierung wurde nach Ablauf von mindestens fünf Wochen ermittelt. Die methodische Durchführung ist bei FELDMANN et al. (1999, in diesem Band) näher dargestellt. Freilandpflanzen wurden entweder im Feld inokuliert oder auf Besiedelung durch autochtone AMP untersucht. Herstellung und Applikation des Inokulums des Mykorrhizapilzes *Glomus etunicatum* wurde nach FELDMANN und IDCZAK (1994) durchgeführt, Inokulum von *Pythium ultimum* nach IDCZAK (1992) produziert und appliziert.

Stecklinge der *Euphorbia pulcherrima*-Sorte „Regina“ wurden in Einheitserde P mit 1,5kg/m³ Nährstoffen (12-4-12) gesteckt. Inokuliert wurden die nicht bewurzelten Stecklinge. Zwei Varianten wurden ausgelegt: a) gleichzeitige Inokulation mit AMP und *Pythium* und b) zunächst AMP und nach vierzehn Tagen *Pythium*. Wuchsbedingungen: mindestens 70% rel. Luftfeuchte, Tempe-

ratur 18-24°C, Kurztag mit Zusatzbeleuchtung ($360 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \times \text{s}$). Auswertung von Bewurzelungsrate und Frischgewicht erfolgte nach 30 Tagen.

Je 30 bereits bewurzelte Jungpflanzen der Pelargonienarten "Butterfly", "Grand Prix", "Leucht-kaskade", "Schöne Helena" und "Violetta" wurden mit *Glomus etunicatum* inokuliert und mit Wachstum und Blüte von nicht-inokulierten Kontrollpflanzen verglichen. Als 50% der Pflanzen aller Varianten Blüten gebildet hatten, wurde die Häufigkeitsverteilung der blühenden Pflanzen in den Varianten „inokuliert“ und „nicht-inokuliert“ getrennt bestimmt. Wuchsbedingungen: 40-70% rel. Luftfeuchte, Temperatur 18-24°C, Langtag mit Zusatzbeleuchtung ($360 \mu\text{mol}/\text{m}^2 \times \text{s}$), Bewässerung unterhalb der Feldkapazität, Düngung 2x wöchentlich mit 30 ml einer Gebrauchslösung von 10g/l Flory 9.

3 Ergebnisse

Insgesamt erwiesen sich 318 der untersuchten Pflanzenarten als mykorrhizierfähig (Tab. 1, Anhang). Nicht-mykorrhizierbar waren nur Vertreter der als Nicht-Wirte bekannten Familien der *Brassicaceae*, *Chenopodiaceae* oder *Cyperaceae*. Damit ist ein Großteil der Nutzpflanzen, die in den Niederlanden und in Deutschland angebaut oder produziert werden, potentiell Ziel für einen Mykorrhizaeinsatz. Das kommerziell vertriebene Inokulum von *Glomus etunicatum* konnte sowohl an Poinsettien als auch an Pelargonien nutzbringend eingesetzt werden. So kam es zu einer verbesserten Bewurzelung von Stecklingen der Sorte "Regina" von *Euphorbia pulcherrima*, wenn Inokulum von *Glomus etunicatum* im Substrat zugegen war (Abb.1). Pathogenbefall durch *Pythium ultimum* führte zu einer drastischen Verschlechterung der Bewurzelung. Die negative Wirkung des Schaderregers konnte abgemildert werden, wenn der AMP nicht gleichzeitig mit dem Pathogen die Wurzeln besiedelte, sondern bereits vorher dazu Gelegenheit hatte.

Das eingesetzte Inokulum wirkte sich auf verschiedene Pelargonien-Sorten unterschiedlich aus: Während bei einem Teil der Sorten ein deutlich früherer Blütezeitpunkt festzustellen war, blieb die Blüte bei anderen Sorten unbeeinflusst (Abb. 2).

4 Diskussion

Theoretisch sind die Erfolgsaussichten bei der Nutzung von Mykorrhiza erhöht, wenn Pflanzen bereits in der Anzuchtphase inokuliert werden oder wenn Pflanzen mit langer und komplizierter Produktionszeit und deshalb hohem Wert mykorrhiziert werden. In den Niederlanden kommt hinzu, daß man sich vom Mykorrhizaeinsatz eine Verkürzung der Produktionszeit durch Förderung der generativen Entwicklung bei Blütenpflanzen und die Erhöhung des Marktwertes

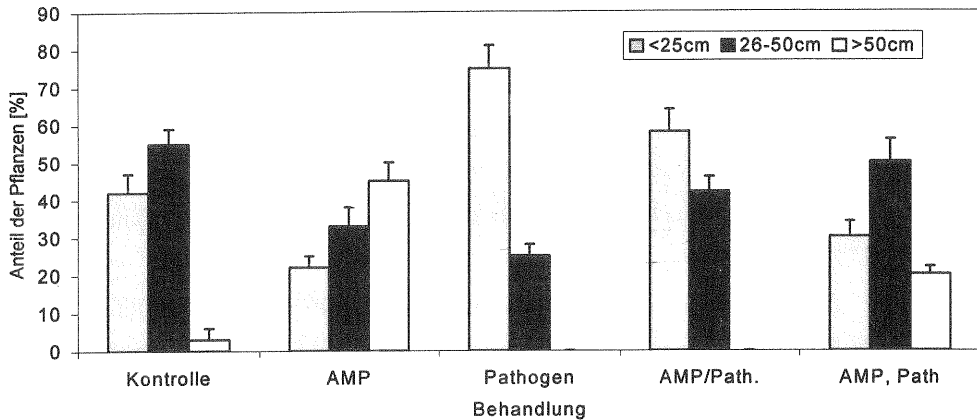


Abb. 1 Wurzellänge von Stecklingen von *Euphorbia pulcherrima* cv. "Regina" unter dem Einfluß pathogener und symbiontischer Bodenpilze.

Inokuliert wurde *Pythium ultimum* und *Glomus etunicatum* (AMP). "AMP/Path": gleichzeitige Inokulation mit beiden Pilzen, "AMP, Path": Inokulation mit *Pythium ultimum* 14 Tage nach dem Mykorrhizapilz. Versuch dreimal mit 15 Pflanzen wiederholt. Alle dargestellten Unterschiede sind signifikant (Tukey, 5%).

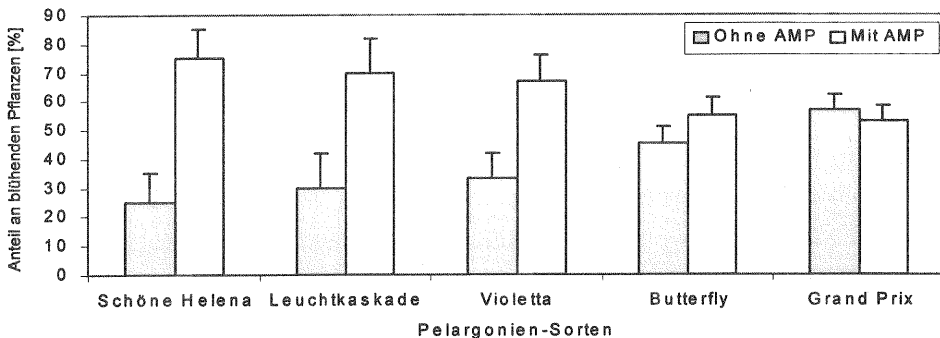


Abb. 2: Blüte von Pelargonien-Sorten nach Inokulation mit dem arbuskulären Mykorrhizapilz *Glomus etunicatum*

Die Analyse wurde durchgeführt, als über 50% aller Pflanzen einer Sorte blühten. Dargestellt ist die prozentuale Verteilung der Blüten auf die "Mit und Ohne-AMP"-Variante zu diesem Zeitpunkt. Versuch dreimal wiederholt mit 15 Pflanzen. Alle dargestellten Unterschiede, außer bei der Sorte "Grand Prix" sind signifikant (Tukey, 5%).

durch verbesserte Haltbarkeit und Streßresistenz verspricht. Unsere Demonstrationsversuche zeigen wie zahlreiche andere (s. z.B. FELDMANN, 1998), daß die Lösung spezifischer Probleme von Zierpflanzen durch kommerzielle Inokula gelöst werden können. Der Vergleich der Empfänglichkeit von Pelargonienarten für die Wirkungen des AMP *Glomus etunicatum* hebt zudem hervor, daß Spezifitätsphänomene zwischen eingesetztem Pilz und der Zielpflanze vorliegen, die

bei der breiten Anwendung dazu zwingen werden, spezielle Einsatzbereiche zu identifizieren, zu charakterisieren und mit speziell ausgewählten AMP zu bearbeiten. Gerade das Beispiel der Bewurzelung von *Euphorbia pulcherrima* in Gegenwart eines Pathogens und die kompensierende Wirkung des AMP-Inokulums macht deutlich, daß wesentliche Anwendungsbereiche im integrierten und biologischen Gartenbau liegen. Durch den (weitgehenden) Verzicht auf mineralische Dünger und chemische Pflanzenschutzmittel kann sich die Symbiose nicht nur besser entwickeln, sondern die Zielpflanze ist in Bezug auf ihr Abwehrverhalten gegenüber Schaderregern genauso wie im Hinblick auf ihre Ernährung und Gesundheit im hohen Maße sogar angewiesen auf Mykorrhizasymbiosen und andere biologische Faktoren. Trotzdem ist der Glashausanbau von Zier- und Gemüsepflanzen nach den Prinzipien des biologischen Landbaus (SKAL-Richtlinien) in den Niederlanden wie auch in Deutschland noch wenig entwickelt. Das Interesse daran nimmt aber zu und bei Gemüse und Schnittrosen gibt es erste Erfahrungen und Erfolge.

Das Angebot an kommerziellem AMP (Arbuskuläre Mykorrhiza Pilz)-Inokulum nimmt zu. Es gibt zwar keinen niederländischen Betrieb, der selbst Inokulum herstellt, aber zunehmend mehr Firmen haben neben anderen biologischen Mitteln AMP's im Angebot. Es handelt sich dabei vor allem um amerikanische Produkte von Plant Health Care, BioOrganics, Roots Inc. etc., aber auch das französische Endorize, das tschechische Mycostim und das deutsche IFP sind hier verfügbar. Der Umfang des Handels ist noch gering. In der gärtnerischen Praxis ist Mykorrhiza noch wenig bekannt oder es wird ihr wenig Bedeutung zugemessen. Durch das zunehmende kommerzielle Angebot und den zunehmenden Druck, umweltfreundlich produzieren zu müssen, beginnt diese Situation sich zu verändern. Einzelne Gärtner experimentieren bereits mit diesen neuen biologischen 'bodemverbeteraars' und 'plantversterkers'. Ein Problem ist nach wie vor die Prognose der Wirkung und Wirksamkeit angebotener Inokula und die Zusicherung von Wirksamkeitsgarantien. Deshalb sind die Anwender bislang stets aufgefordert gewesen, eigene Tests an ihren spezifischen Zielpflanzen zu unternehmen und ein möglichst breites Spektrum kommerzieller Inokula zu testen.

Auch die Forschungs- und Versuchsanstalten der Niederlande haben im Rahmen eines Programms zur Entwicklung von nachhaltigen Anbausystemen (integriert, biologisch) Mykorrhiza-versuche in verschiedenen Projekten vorgesehen. Noch 1999 sollen an der Proefstation voor Bloemisterij en Glasgroente in Aalsmeer verschiedene kommerzielle AMP-Inokula zusammen mit einer Reihe anderer biologischer Mittel auf ihre Wirksamkeit beim Schutz von Topfpflanzen gegen Wurzelpathogene getestet werden. Im Rahmen der Entwicklung biologischer Anbausysteme soll Mykorrhiza unter anderem als Alternative zu synthetischen Wurzelhormonen für die Bewurzelung von Stecklingen (z.B. bei Rosen) untersucht werden. Die Zulassungssituation von My-

korrhizainokula ist in den Niederlanden derzeit noch ungeklärt. Mykorrhizapilze werden als Bodenzuschlagstoffe oder Pflanzenstärkungsmittel vertrieben. Nachdem 1998 Mykorrhizaprodukte durch den AID (Algemene Inspectie Dienst) beschlagnahmt wurden, kam eine heftige Diskussion über die Legalisierung vieler bislang nicht zugelassener biologischer Mittel in Gang. Die Zeit bis zum Erscheinen einer europäischen Richtlinie soll überbrückt werden mit einer positiven Liste von Mitteln, die gehandelt werden dürfen.

Wesentlich für die Weiterentwicklung der Integration der Mykorrhizatechnologie in die gartenbauliche Praxis der Niederlande wird in der Zukunft zum einen die Hinwendung der Forschung auf die Analyse der Bedeutung von Mykorrhizasymbiosen in der biologisch geführten Pflanzenkultur sein. Zum anderen bedarf es der Demonstrationsversuche an ausgewählten Beispielen, die sowohl die Anwendbarkeit in technischer Hinsicht klar herausstellen, wie auch den ökonomischen Vorteil der Technologie unterstreichen. Wichtig wird zudem sein, daß Beratungs- und Schulungsmöglichkeiten für den Umgang mit AMP in der gärtnerischen Praxis, aber auch im Marketing geschaffen und genutzt werden.

5 Literaturverzeichnis

- ALLEBLAS, J.T.W., en VAREKAMP, M.J., 1998: De glastuinbouw in het derde millennium - Wendingen en kansen. Herausgegeben durch 'Stichting Gemeente Naaldwijk 800 Jahr in bloei'. S. 214, ISBN: 90-9011975-2.
- FELDMANN, F., 1998: Symbiontentechnologie in der Praxis: Arbuskuläre Mykorrhiza im Gartenbau. Thalacker-Medien, Braunschweig, ISBN 3-87815-109-8.
- WEISSENHORN, I., en VAN LEEUWEN, G.J.L., 1998: Perspectieven voor toepassing van mycorrhiza's in de potplantenteelt. Intern verslag nr. 176, Stichting Praktijkonderzoek Bloemisterij en Glasgroente - Proeftuin Noord-Nederland, NL-7891 XA Klazienaveen, S. 48.

6 Anhang

Tab.1: Wirte arbuskulärer Mykorrhiza unter den gartenbaulich und landwirtschaftlich genutzten Pflanzenarten in den Niederlanden und Deutschland (einschließlich tropischer bzw. subtropischer Zierpflanzen)

| | | |
|------------------------------------|---------------------------|--------------------------|
| <i>Achillea filipendulina</i> | <i>Achimenes-Hybriden</i> | <i>Aechmea fasciata</i> |
| <i>Ageratum houstonianum</i> | <i>Aglaonema Sorten</i> | <i>Alchemilla mollis</i> |
| <i>Allium cepa</i> | <i>Allium christophii</i> | <i>Allium moly</i> |
| <i>Allium oreophilum</i> | <i>Allium porrum</i> | <i>Allium sativum</i> |
| <i>Allium schoenoprasum</i> | <i>Allium ursinum</i> | <i>Althaea rosea</i> |
| <i>Anagalis monellii linifolia</i> | <i>Ananas comosus</i> | <i>Anemone hybrida</i> |

Fortsetzung Tab. 1

| | | |
|------------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Anethum graveolens</i> | <i>Anthrinum majus</i> | <i>Anthriscus cerefolium</i> |
| <i>Anthurium andraeanum</i> | <i>Anthurium crystallinum</i> | <i>Aphelandra squarrosa</i> |
| <i>Apium graveolens</i> | <i>Arctotis fastuosa</i> | <i>Artemisia absinthium</i> |
| <i>Artemisia dracunculus</i> | <i>Artemisia vulgaris</i> | <i>Asparagus falcatus</i> |
| <i>Asparagus officinalis</i> | <i>Asparagus setaceus</i> | <i>Asparagus umbellatus</i> |
| <i>Astilbe arendsii</i> | <i>Astilbe chinensis</i> | <i>Avena sativa</i> |
| <i>Bambusa vulgaris</i> | <i>Baptisia tinctoria</i> | <i>Begonia masoniana</i> |
| <i>Begonia scharfii</i> | <i>Begonia semperflorens</i> | <i>Begonia tuberhybrida</i> |
| <i>Bellis perennis</i> | <i>Borago officinalis</i> | <i>Brachycome iberidifolia</i> |
| <i>Caladium bicolor</i> | <i>Calceolaria herbeohybrida</i> | <i>Calendula officinale</i> |
| <i>Callistephus chinensis</i> | <i>Camellia sinensis</i> | <i>Campanula isophylla</i> |
| <i>Campanula latifolia</i> | <i>Canna edulis</i> | <i>Canna indica</i> |
| <i>Capsicum annum</i> | <i>Capsicum frutescens</i> | <i>Centaurea cyanus</i> |
| <i>Chamaedorea elegans</i> | <i>Chamaerops humilis</i> | <i>Chlorophytum comosum</i> |
| <i>Chrysalidocarpus lutescens</i> | <i>Chrysanthemum carinatum</i> | <i>Chrysanthemum coccineum</i> |
| <i>Chrysanthemum frutescens</i> | <i>Chrysanthemum indicum</i> | <i>Chrysanthemum leucanthemum</i> |
| <i>Citrofortunella microcarpa</i> | <i>Citrus aurantiifolia</i> | <i>Citrus aurantium</i> |
| <i>Citrus deliciosa</i> | <i>Citrus limon</i> | <i>Citrus maxima</i> |
| <i>Citrus sinensis</i> | <i>Citrus x paradisi</i> | <i>Clematis montana</i> |
| <i>Clivia miniata</i> | <i>Codiacum-Sorten</i> | <i>Coffea arabica</i> |
| <i>Coffea robusta</i> | <i>Coleus blumei</i> | <i>Convallaria majalis</i> |
| <i>Convolvulus tricolor</i> | <i>Cordyline fruticosa</i> | <i>Coreopsis grandiflora</i> |
| <i>Cosmos bipinnatus</i> | <i>Crataegus monogyna</i> | <i>Cucumis melo</i> |
| <i>Cucumis sativus</i> | <i>Cucurbita maxima</i> | <i>Cucurbita pepo</i> |
| <i>Cucurbita pepo giromontiina</i> | <i>Cuphea ignea</i> | <i>Cuphea lanceolata</i> |
| <i>Curcuma longa</i> | <i>Cycas revoluta</i> | <i>Cyclamen coum</i> |
| <i>Cyclamen hederifolium</i> | <i>Cyclamen persicum</i> | <i>Cyrtostachus lacka</i> |
| <i>Dahlia spec.</i> | <i>Dalbergia nigra</i> | <i>Daucus carota</i> |
| <i>Dendratherma-Sorten</i> | <i>Dianthus caryophyllus</i> | <i>Dicentra formosa</i> |
| <i>Dieffenbachia seguine</i> | <i>Dimorphoteca situata</i> | <i>Dracaena cincta</i> |
| <i>Dracaena fragans</i> | <i>Eucomis comosa</i> | <i>Euphorbia pulcherrima</i> |
| <i>Eustoma grandiflorum</i> | <i>Euterpe edulis</i> | <i>Exacum affine</i> |
| <i>Fagopyrum esculentum</i> | <i>Fatsia japonica</i> | <i>Ficus benjamina</i> |
| <i>Ficus carica</i> | <i>Ficus elastica</i> | <i>Ficus pumila</i> |
| <i>Foeniculum vulgare</i> | <i>Forsythia x intermedia</i> | <i>Fortunella japonica</i> |

Fortsetzung Tab. 1

| | | |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <i>Fortunella margarita</i> | <i>Fragaria vesca</i> | <i>Fragaria x ananassa</i> |
| <i>Fraxinus excelsior</i> | <i>Fuchsia magellanica</i> | <i>Fumaria capreolata</i> |
| <i>Galium odoratum</i> | <i>Galtonia candicans</i> | <i>Gardenia augusta</i> |
| Gazania-Sorten | <i>Gentiana acaulis</i> | <i>Geranium argenteum</i> |
| <i>Geranium cinereum</i> | <i>Geranium endressii</i> | Gerbera-Sorten |
| <i>Glechoma hederacea</i> | <i>Gossypium hirsutum</i> | <i>Gynura aurantiaca</i> |
| <i>Hedera helix</i> | <i>Helianthus annuus</i> | <i>Helianthus tuberosus</i> |
| <i>Hibiscus cannabinus</i> | <i>Hibiscus rosa-sinensis</i> | <i>Hibiscus syriacus</i> |
| <i>Hordeum vulgare</i> | <i>Howeia belmoreana</i> | <i>Humulus japonicus</i> |
| <i>Humulus lupulus</i> | <i>Hyazinthus orientalis</i> | <i>Hydrangea macrophylla</i> |
| <i>Hypericum moserianum</i> | <i>Iberis sempervirens</i> | <i>Impatiens niamniamensis</i> |
| <i>Impatiens valleriana</i> | <i>Jacobinia pauciflora</i> | <i>Jasminum polyanthum</i> |
| <i>Juglans regia</i> | <i>Kalanchoe blossfeldiana</i> | <i>Kalanchoe pumila</i> |
| <i>Kalanchoe tomentosa</i> | <i>Lactuca sativa</i> | <i>Lamium amplexicaule</i> |
| <i>Lamium galeobdolon</i> | <i>Lathyrus grandiflorus</i> | <i>Lathyrus latifolius</i> |
| <i>Lathyrus odoratus</i> | <i>Lavatera arborea</i> | <i>Leucanthemum superbum</i> |
| <i>Lilium longiflorum</i> | <i>Linum usitatissimum</i> | <i>Litchi sinensis</i> |
| <i>Lobelia erinus</i> | <i>Lycopersicon esculentum</i> | <i>Majorana hortensis</i> |
| <i>Malus domestica</i> | <i>Maranta arundinacea</i> | <i>Maranta leuconeura</i> |
| <i>Matricaria chamomilla</i> | <i>Matthiola incana</i> | <i>Medinilla magnifica</i> |
| <i>Melissa officinalis</i> | <i>Mentha piperita</i> | <i>Milium effusum</i> |
| <i>Miscanthus sinensis</i> | <i>Monstera deliciosa</i> | <i>Morus alba</i> |
| <i>Morus nigra</i> | <i>Musa spp.</i> | <i>Narcissus cyclamineus</i> |
| <i>Nepeta faassenii</i> | <i>Nicotiana tabacum</i> | <i>Ocimum basilicum</i> |
| <i>Olea europaea</i> | <i>Origanum vulgare</i> | <i>Paeonia suffruticosa</i> |
| <i>Panicum miliaceum</i> | <i>Papaver orientale</i> | <i>Papaver somniferum</i> |
| <i>Passiflora coerulea</i> | <i>Passiflora edulis</i> | <i>Pastinaca sativa</i> |
| <i>Pelargonium crispum</i> | <i>Pelargonium graveolens</i> | <i>Pelargonium peltatum</i> |
| <i>Pelargonium zonale</i> | <i>Peperomia caperata</i> | <i>Peperomia rotundifolia</i> |
| <i>Pericallis x hybrida</i> | <i>Petroselinum crispum</i> | <i>Petunia-Hybriden</i> |
| <i>Phaseolus acutifolius</i> | <i>Phaseolus vulgaris</i> | <i>Philodendron erubescens</i> |
| <i>Philodendron scandens</i> | <i>Phlox drummondii</i> | <i>Phlox paniculata</i> |
| <i>Phlox subulata</i> | <i>Phoenix canariensis</i> | <i>Phoenix sylvestris</i> |
| <i>Phormium tenax</i> | <i>Physalis peruvianum</i> | <i>Pilea depressa</i> |
| <i>Pimenta dioica</i> | <i>Pimpinella anisum</i> | <i>Piper nigrum</i> |

Fortsetzung Tab. 1

| | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| <i>Pisum sativum</i> | <i>Plantanus orientalis</i> | <i>Poa annua</i> |
| <i>Populus alba</i> | <i>Populus tremula</i> | <i>Populus x canadensis</i> |
| <i>Portulaca grandiflora</i> | <i>Primula obconica</i> | <i>Prunus armeniaca</i> |
| <i>Prunus avium</i> | <i>Prunus cerasus</i> | <i>Prunus domestica</i> |
| <i>Prunus dulcis</i> | <i>Prunus padus</i> | <i>Prunus persica</i> |
| <i>Prunus spinosa</i> | <i>Punica granatum</i> | <i>Pyrus communis</i> |
| <i>Ravenea rivularis</i> | <i>Rhapis excelsa</i> | <i>Ribes nigrum</i> |
| <i>Ribes rubrum</i> | <i>Ribes uva-crispa</i> | <i>Ricinus communis</i> |
| <i>Robinia pseudo-acacia</i> | <i>Rosa canina</i> | <i>Rosa-Hybriden</i> |
| <i>Rosmarinus officinalis</i> | <i>Rubus chamaemorus</i> | <i>Rubus fruticosus</i> |
| <i>Rubus idaeus</i> | <i>Rudbeckia fulgida</i> | <i>Rudbeckia hirta</i> |
| <i>Saccharum officinarum</i> | <i>Saintpaulia-Sorten</i> | <i>Salvia farinacea</i> |
| <i>Salvia officinalis</i> | <i>Salvia splendens</i> | <i>Sambuccus nigra</i> |
| <i>Sanguisorba minor</i> | <i>Satureja montana</i> | <i>Saxifraga paniculata</i> |
| <i>Scaevola aemula</i> | <i>Schefflera arboricola</i> | <i>Secale cereale</i> |
| <i>Sedum reflexum</i> | <i>Sedum spectabile</i> | <i>Senecio vulgaris</i> |
| <i>Silene pendula</i> | <i>Sinnigia-Sorten</i> | <i>Solanum crispum</i> |
| <i>Solanum melongena</i> | <i>Solanum muricatum</i> | <i>Solanum tuberosum</i> |
| <i>Soleirola soleirolii</i> | <i>Sorbus aucuparia</i> | <i>Sorbus domestica</i> |
| <i>Sorbus torminalis</i> | <i>Spathiphyllum wallisii</i> | <i>Stipa gigantea</i> |
| <i>Streptocarpus-Sorten</i> | <i>Sutera cordata</i> | <i>Syringa vulgaris</i> |
| <i>Tagetes erecta</i> | <i>Tagetes patula</i> | <i>Tagetes pumila</i> |
| <i>Taraxacum officinale</i> | <i>Thymus vulgaris</i> | <i>Tilia cordata</i> |
| <i>Tilia platyphyllus</i> | <i>Tradescantia zebrina</i> | <i>Triticum aestivum</i> |
| <i>Triticum dicoccon</i> | <i>Triticum durum</i> | <i>Triticum spelta</i> |
| <i>Tropaeolum majus</i> | <i>Ursinia anethoides</i> | <i>Verbena officinalis</i> |
| <i>Veronica agrestis</i> | <i>Viburnum x bodnantense</i> | <i>Vicia faba</i> |
| <i>Viola odorata</i> | <i>Viola x wittrockiana</i> | <i>Vitis coignetia</i> |
| <i>Vitis vinifera</i> | <i>Washingtonia robusta</i> | <i>Yucca elephantipes</i> |
| <i>Zea mays</i> | <i>Zingiber officinale</i> | <i>Zinnia elegans</i> |

SCHULTZ, C.¹, GINTING, G.³, MOAWAD, A.M.¹ und VLEK, P.L.G.^{1,2}

¹ Institut für Pflanzenbau in den Tropen und Subtropen, Universität Göttingen, Grisebachstr.6, 37077 Göttingen, Email: cschult@gwdg.de)

² Institut für Entwicklungsforschung (ZEF), Universität Bonn

³ Indonesian Oil Palm Research Institute (IOPRI); Medan, Indonesien

Verbesserung der Überlebensrate *in vitro* vermehrter Ölpalmen in der Akklimatisierungsphase durch (V)A-Mykorrhizapilze

The role of (vesicular-) arbuscular mycorrhiza in the weaning stage of micropropagated oil palms

Abstract

In vitro propagated oil palms have to be adapted to natural conditions. In the weaning stage, the period after micropropagation under sterile conditions and before trans-planting to the nursery, plants are subject to severe environmental stress, due to poor root-, shoot-growth and reduced cuticular wax formation. The percentage of mortality is about 30% during this phase and further 10% of the plantlets do not survive the transfer to the prenursery. The use of (vesicular-) arbuscular mycorrhizal fungi ((V)AMF) can be specially beneficial to perennial crops. The aim of this study was to investigate the effect of (V)AMF inoculation on the survival of micropropagated oil palm plantlets during the weaning stage.

Three experiments were conducted at the Indonesian Oil Palm Research Institute, in Medan. The plantlets were inoculated with different mycorrhizal fungi, the survival rates were determined twice a week. The plants were harvested after three months. In all experiments inoculation of (V)AM fungi had a significant positive effect. In the mentioned sensitive stage the survival rates of the micropropagated oil palm clones were increased to 93%.

1 Einleitung

Die Ölpalme (*Elaeis guineensis* Jacq.) stammt ursprünglich aus Westafrika. Erst gegen Ende des 19. Jahrhunderts gelangten die ersten Pflanzen nach Indonesien und wurden dort zur Anschauung im botanischen Garten in Bogor angepflanzt. Die wirtschaftliche Nutzung und somit der Anbau in Plantagen begann erst Anfang des 20. Jahrhunderts. Im Vergleich der Weltproduktion von Öl-

früchten liegt das Palmöl heute an zweiter Stelle, hinter dem Sojaöl. Die Hauptanbauggebiete Asiens liegen in Malaysia sowie auf Sumatra und Kalimantan in Indonesien. Im Jahr 1998 produzierte Indonesien 5,9 Mio t Palmöl (FAO stat online). Etwa die Hälfte der Gesamtproduktion wird im Inland verbraucht. Der Rest wird exportiert und stellt einen immer stärker werdenden Wirtschaftsfaktor dar. Wegen der steigenden Nachfrage wurden besonders in den letzten Jahren zahlreiche Plantagen neu angelegt oder bereits bestehende verjüngt. Von 1989 bis 1998 verdreifachte sich die Anbaufläche für Ölpalmen auf 1,8 Mio ha (FAO stat online).

Ölpalme

In Indonesien werden Ölpalmen hauptsächlich konventionell, durch Hybridsaatgut des Tenera-Typs, einer Kreuzung von Dura x Pisifera, vermehrt. Der Nachteil dieses Pflanzenmaterials liegt in seiner Heterogenität, d.h. einer hohen Variabilität der Produktivität, Qualität und Krankheitsresistenz. Diese Palmen liefern einen Ölertrag von maximal 6 t/ha x Jahr. Hochertragreiche sogenannte Elitepalmen, mit Erträgen bis zu 10 t/ha x Jahr, wurden selektiert und vegetativ vermehrt. Im Jahr 1985 wurde am 'Indonesien Oil Palm Research Institute' (IOPRI) in Medan begonnen, aus diesem Pflanzenmaterial Ölpalmen in Gewebekultur durch Klonierung zu vermehren. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt in der Homogenität und erhöhten Produktivität des Pflanzenmaterials, mit Ertragssteigerungen von 20-25% sowie in der Möglichkeit der Vermehrung in Massenproduktion.

Das Problem der Akklimatisierung

Eines der Hauptprobleme der in Gewebekultur vermehrten Ölpalmen ist die geringe Überlebensrate der Jungpflanzen in der Übergangsphase vom Labor ins Gewächshaus. Nachdem die Klone dort unter kontrollierten, sterilen Bedingungen herangezogen werden, müssen sie an die veränderten Umweltfaktoren angepaßt werden, bevor sie unter natürlichen Bedingungen weiterkultiviert werden können. In dieser Zeit sind die noch empfindlichen Jungpflanzen zahlreichen Stressfaktoren ausgesetzt, die sich negativ auf ihre Entwicklung und die Überlebensrate auswirken. Dazu zählen einerseits Umweltfaktoren, wie z.B. der Übergang zum Bodensubstrat, die schwankende Luftfeuchte und die veränderten Lichtverhältnisse sowie die Schädigung durch Pflanzenpathogene, aber auch pflanzenphysiologisch bedingte Faktoren wie ein z.T. schlecht entwickeltes Wurzelsystem und eine unzureichend ausgebildete Kuticula. In diesem als Akklimatisierung bezeichneten, drei Monate andauernden Abhärtungsprozess sterben, trotz der Anwendung verbessernder Maßnahmen wie z.B. Beschattung und Erhöhung der Luftfeuchtigkeit, 30% - 40% der Pflanzen ab.

Rolle der (V)A-Mykorrhiza-Pilze

In zahlreichen Untersuchungen an anderen *in vitro* vermehrten Kulturpflanzen wirkte sich die Beimpfung mit (vesikulär)-arbuskulären Mykorrhizapilzen (V)AMP positiv auf die Überlebensrate und die Entwicklung der Pflanzen aus. Die Vitalität sowie die Toleranz der Jungpflanzen gegenüber der Schädigung von Pflanzenpathogenen stieg und die Wurzelentwicklung wurde verbessert. Vor diesem Hintergrund sollte in den nachfolgend kurz beschriebenen Versuchen herausgefunden werden, inwieweit sich eine Beimpfung mit (V)AM-Pilzen positiv auf die Überlebensrate und die Entwicklung der Ölpalmen im oben beschriebenen Stadium auswirkt.

2 Material und Methoden

Am 'Indonesian Oil Palm Research Institute' (IOPRI) in Medan, wurden in der Zeit von November 1996 - Februar 1998 drei Gewächshausversuche durchgeführt.

Versuch 1

In diesem Versuch wurde die Wirkung verschiedener tropischer (V)AMP-Isolate verglichen, um herauszufinden, inwieweit sie sich in ihrer Pflanzenspezifität und Effektivität unterscheiden. Hierfür wurden die Jungpflanzen mit zwölf unterschiedlichen Mykorrhizapilzen (M1-M12) beimpft. Die Anzahl der Wiederholungen in den Mykorrhiza-Varianten betrug 13, die Zahl der Kontrollpflanzen, ohne Mykorrhiza (NM), 40.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen sollte in den folgenden, kurz beschriebenen Versuchen untersucht werden, aus welchem Grund eine Beimpfung mit (V)AMP zu einer Verbesserung der Überlebensrate und des Gesamtzustandes der Pflanzen führt. Dazu wurden die effektivsten Isolate aus Versuch 1 ausgewählt und zur Inokulation verwendet.

Versuch 2

Die Wirkung einer (V)AMP-Beimpfung in Kombination mit unterschiedlichen Phosphatdüngern sollte Aufschluß über die Rolle der Phosphatversorgung bei der Entwicklung der Jungpflanzen und die Wirkung auf die Effektivität der verwendeten Mykorrhizapilze geben. Dazu wurden die Pflanzen mit vier (V)AMP-Isolaten inokuliert (zusammengefaßt als M in Abb.1). Die Phosphatversorgung unterschied sich, wie folgt in der Pflanzenverfügbarkeit der verwendeten Phosphatdünger:

- a. Düngung mit schwerlöslichem Phosphat in Form von Hydroxylapatit (HA)
- b. Düngung mit leichtlöslichem Phosphat in Form eines vor Ort verwendeten Volldüngers (BAY)

c. ohne Phosphatdüngung (PO), zur Kontrolle.

Jede Behandlung umfaßte 30 Wiederholungen.

Versuch 3

Dieser Versuch wurde mit dem Ziel angelegt, den Einfluß der (V)AMP in Verbindung mit einer Bodensterilisierung und dem Abschirmen der Pflanzen durch spezielle Schutzmaßnahmen auf die Schadwirkung durch Pflanzenpathogene zu untersuchen. Ein Teil der Versuchspflanzen wuchs in speziellen Plastiktüten ('sunbag'), die einen Gasaustausch ermöglichen, aber die Pflanzen von der sie umgebenden Umwelt abschirmen. In der zweiten Variante wurden die Töpfe mit einer nach oben hin offenen Plastikfolie geschützt. Die Kontrollpflanzen wuchsen ohne Schutz, unter den vor Ort üblichen Bedingungen. Die Inokulation wurde mit drei (V)AMP-Isolaten (zusammengefaßt als M in Abb.2) durchgeführt. Der verwendete Boden wurde bei 90°C hitzesterilisiert. Die Anzahl der Wiederholungen für jede Behandlung betrug 10 Pflanzen.

Alle verwendeten (V)AM-Pilze sind in den Tropen beheimatet und stammten aus der Sammlung des Institutes für Pflanzenproduktion in den Tropen und Subtropen der Universität Göttingen. Das Inokulum, eine Mischung aus Wurzeln und Boden wurde direkt unter die Wurzeln, in einer Bodentiefe von 5 cm, plaziert. Bei dem verwendeten Boden handelte es sich um eine Mischung aus Oberboden und Sand im Verhältnis von 1:1 (w/w), die üblicherweise vor Ort verwendet wird. Die Durchschnittstemperatur im Gewächshaus lag bei 25-30°C, bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 60-90%. Die Pflanzen wurden nach Bedarf bewässert. Das Absterben einzelner Pflanzen wurde täglich kontrolliert und registriert. Die Akklimatisierungsphase dauerte 12 Wochen.

Die Versuche wurden als vollständig randomisierte Blöcke angelegt. Signifikante Unterschiede innerhalb der Behandlungen wurden durch Analyse der Daten mit einem Chi-Square Test festgestellt, und sind in den Abbildungen durch verschiedene Buchstaben gekennzeichnet.

3 Ergebnisse

Versuch 1

Mit Ausnahme von M4 konnte bei allen mit (V)AM-Pilzen behandelten Pflanzen ein signifikanter Anstieg der Überlebensrate gegenüber den unbehandelten Kontrollpflanzen (NM) festgestellt werden (Abb.1). Als besonders effektiv erwies sich die Beimpfung mit *Acaulospora mellea* und *Acaulospora appendicula* (M1 und M2), die Überlebensrate lag hier bei 100%. Signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen (V)AMP traten nicht auf.

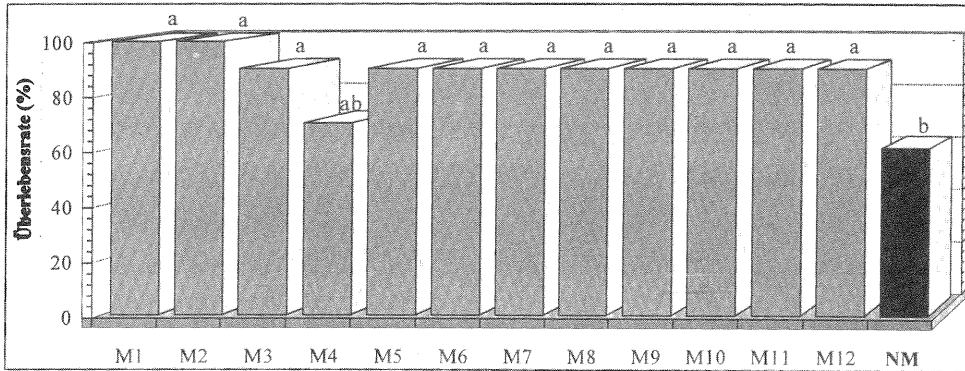


Abb. 1: Einfluß unterschiedlicher (V)AM-Pilzisolat (M1-M12) auf die Überlebensrate von Ölpalmexplantaten

Versuch 2

Die mit (V)AM-Pilzen beimpften Pflanzen (M) zeigten in den nicht mit Phosphat gedüngten (PO) sowie in den mit schwerverfügbarem Phosphat (HA) gedüngten Varianten eine signifikant höhere Überlebensrate gegenüber den nicht beimpften Kontrollpflanzen (Abb.2). In der PO-Variante stieg die Überlebensrate durch die Mykorrhiza von 43% auf 91%. In den mit leichtverfügbarem Phosphat gedüngten Behandlungen (BAY) konnten keine signifikanten Unterschiede der Überlebensrate zwischen den NM- und M-Pflanzen festgestellt werden.

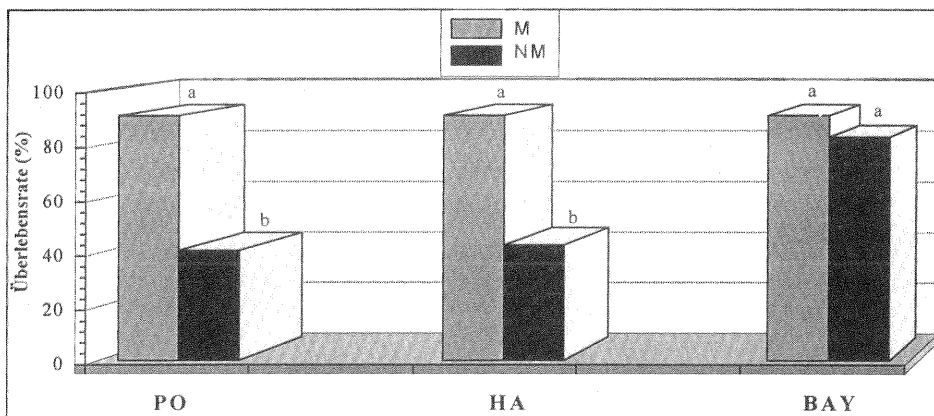


Abb. 2: Überlebensrate beimpfter (M) und nicht beimpfter (NM) Ölpalmexplantate bei unterschiedlicher Phosphatversorgung (PO = ohne P-Düngung; HA = schwer verfügbar; BAY= leicht verfügbar)

Versuch 3

Auch in Versuch 3 zeigten die mit (V)AM-Pilzen beimpften Pflanzen (M) eine höhere Überlebensrate als die unbeimpften Kontrollpflanzen (Abb.3). Durch die Anwendung spezieller Schutzmaßnahmen ('sunbag', Plastikfolie) starben deutlich weniger Pflanzen ab. Der Effekt der Bodensterilisierung war nicht signifikant, das Überleben der Pflanzen in sterilisiertem Boden (A) war jedoch deutlich besser als in nicht sterilisiertem (B).

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß sich die Kombination von (V)AMP, Bodensterilisation und Schutzmaßnahmen am positivsten auf das Überleben der Ölpalmklone auswirkte.

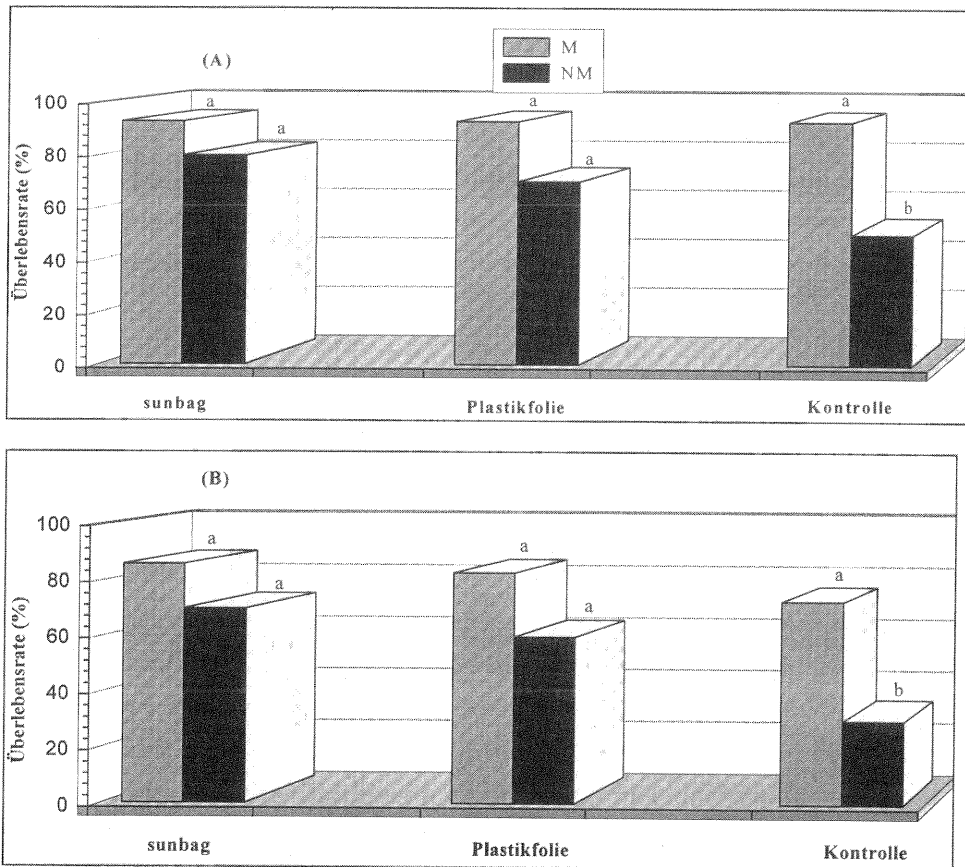


Abb. 3: Überlebensrate beimpfter (M) und nicht beimpfter (NM) Ölpalmexplantate in sterilisiertem (A) und nicht sterilisiertem (B) Boden bei speziellen Schutzmaßnahmen ('sunbag', Plastikfolie)

4 Diskussion

In zahlreichen Untersuchungen wirkte sich eine Beimpfung mit (vesikulär)-arbuskulären Mykorrhizapilzen durch eine verbesserte Nährstoffversorgung und Wurzelentwicklung (BERTA et al. 1995) sowie eine gesteigerte Resistenz gegenüber Pflanzenkrankheiten (GUILLEMIN et al. 1992; LINDERMANN 1994) positiv auf die Entwicklung *in vitro* vermehrter Pflanzen aus.

Die vorliegende Arbeit beschäftigte sich speziell mit der Anwendung von (V)AMP in der Akklimatisierungsphase *in vitro* vermehrter Ölpalmen. In vergleichbaren Untersuchungen führte die Mykorrhiza zu einer verbesserten Entwicklung und Überlebensfähigkeit verschiedener *in vitro* vermehrter Pflanzen (AZCON-AGUILAR et al. 1997; PUTHUR et al. 1998; SUBHAN et al. 1998). Dies wurde von den hier vorgestellten Versuchen bestätigt. Besonders durch eine Kombination von (V)AMP und den beschriebenen Schutzmaßnahmen wie Bodensterilisation und dem Abschirmen der Pflanzen konnte eine Überlebensrate von 93% erreicht werden (Abb.3). Der Einfluß der Phosphatversorgung auf die Widerstandsfähigkeit der Pflanzen gegenüber Krankheiten verdeutlichte sich bei Anwendung unterschiedlich pflanzenverfügbarer Phosphatdünger. Besonders empfindlich reagierten die Pflanzen bei unzureichender Phosphat-versorgung, was sich besonders negativ auf die nicht mit Mykorrhiza beimpften Pflanzen auswirkte (Abb.2). Die Widerstandsfähigkeit verbesserte sich bei ausreichender Phosphat-versorgung oder durch Inokulation mit (V)AMP.

Weitergehende Untersuchungen, wie die Nährstoffaufnahme und die Veränderung der Wurzelstruktur der Pflanzen, sowie die Infektiosität der (V)AM-Pilze werden vorraussichtlich im Herbst 1999, im Rahmen einer Dissertation veröffentlicht.

5 Perspektiven

Diese Ergebnisse ermöglichen es zum jetzigen Zeitpunkt den Kooperationspartnern in Indonesien, unter Beachtung des jeweiligen ökonomischen Nutzens, Möglichkeiten der Anwendung von (V)AMP zur Verbesserung der Pflanzenentwicklung vorzuschlagen. Aufbauend auf den vorläufigen Ergebnissen dieser Arbeit wurde am Institut für Bodenbiologie in Bogor damit begonnen, einzelne Mykorrhizapilzarten zu vermehren, um sie während der Akklimatisierung der Ölpalmenklone in Indonesien einzusetzen.

6 Zusammenfassung

In Gewebekultur vermehrte Ölpalmen (*Elaeis guineensis* Jacq.) werden unter kontrollierten, sterilen Bedingungen im Labor herangezogen. Bevor sie unter natürlichen Bedingungen weiterkulti-

viert werden können, müssen sie an die veränderten Umweltfaktoren angepaßt werden. In dieser Zeit sind die empfindlichen Pflanzen zahlreichen Streßfaktoren ausgesetzt, die sich negativ auf ihre Entwicklung und die Überlebensraten auswirken. Dazu zählen einerseits Umweltfaktoren, wie z.B. die Art des Bodensubstrates, die veränderte Belichtung und Luftfeuchte und die Schädigung durch Pflanzenpathogene, aber auch pflanzen-physiologisch bedingte Faktoren wie ein z.T. schlecht entwickeltes Wurzelsystem und eine unzureichend ausgebildete Kuticula. In diesem als Akklimatisierung bezeichneten, drei Monate andauernden Abhärtungsprozess sterben trotz verbessernder Maßnahmen, wie z.B. Beschattung und Erhöhung der Luftfeuchtigkeit, 30% - 40% der Pflanzen ab. In zahlreichen Untersuchungen an anderen *in vitro* vermehrten Kulturpflanzen wirkte sich der Einsatz von vesikulär-arbuskulären Mykorrhizapilzen (VAMP) positiv auf die Überlebensraten und die Entwicklung der Pflanzen aus. Die Vitalität sowie die Toleranz der Pflanzen gegenüber der Schädigung von Pflanzenpathogenen stieg, die Wurzelentwicklung wurde verbessert. Vor diesem Hintergrund sollte untersucht werden, inwieweit sich eine Beimpfung mit VAM-Pilzen positiv auf die Überlebensraten und die Entwicklung der Ölpalmen im oben beschriebene Stadium auswirkt.

Am Indonesian Oil Palm Research Institute (IOPRI) in Medan, wurden in der Zeit von November 1996 - Februar 1998 drei unterschiedliche Gewächshausversuche angelegt. Für einen Versuchszeitraum von 12 Wochen wurden die Pflanzen mit unterschiedlichen, in den Tropen beheimateten, vesikulär-arbuskulären Mykorrhizapilzen beimpft. In allen Versuchen zeigte sich die positive Wirkung der VAMP, die Überlebensraten der Pflanzen stiegen bis auf 93%.

7 Danksagung

Die hier vorgestellte Arbeit wurde vom BMFT im Rahmen eines umfassenden Forschungsprojektes zum Thema: „Biotechnologische Anwendungen für Aufgaben der Ölpalmenzüchtung in Indonesien“ (Projekt Nr. 0319179) finanziert.

Frau Claudia Schultz möchte sich beim ‘Indonesian Oil Palm Research Institute’ in Medan für die Bereitstellung des Pflanzenmaterials und für die gute Zusammenarbeit der Indonesischen Kooperationspartner, im besonderen bei Dr. J. Tahardi (‘Biotechnology Research Unit for Estate Crops’ in Bogor), Subronto und Gale Ginting (IOPRI) bedanken.

8 Literatur

AZGON-AGUILAR C., CANTOS M., TRONCOSO A., BAREA J.M. (1997) Beneficial effect of arbuscular mycorrhizas on acclimatisation of micropropagated cassava plantlets. *Scientia Horticulturae* **72**, 63-71

BERTA G., TROTTA A., FUSCONI, A. HOOKER J.E., MUNRO M., ATKINSON D., GIOVANETTI M., MORINI S., FORTUNA P., TISSERANT B., GIANINAZZI-PEARSON V., GIANINAZZI S. (1995) Arbuscular mycorrhizal induced changes to plant growth and root system morphology in *Prunus cerasifera*. *Tree Physiology*, **15**, 281-293

FAO stat online (1998) Statistical Data Base. <http://apps.fao.org/default.htm>

GUILLEMIN, J.P., GIANINAZZI, S., GIANINAZZI-PEARSON, V., MARCHAL, J. (1994) Contribution of arbuscular mycorrhizas to biological protection of micropropagated pineapple (*Ananas comosus* (L.) Merr.) against *Phytophthora cinnamomi* Rands. *Agricultural Science in Finland*, **3**, 241-251

PUTHUR J.T., PRASAD K.V.S.K., SHARMILA P., PARDHA SARADHI P. (1998) Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi improves establishment of micropropagated *Leucaena leucocephala* plantlets. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, **53**, 41-47

SUBHAN S., SHARMILA P., PARDHA SARADHI P. (1998) *Glomus fasciculatum* alleviates transplantation shock of micropropagated *Sesbania sesban*. *Plant Cell Reports* **17**, 268-272

FELDMANN, F.*; SILVA Jr., J.P.+ & A.V.R. JAYARATNE#

*Institut für Pflanzenkultur, Solkau 2, 29465 Schnega, Deutschland; +Centro Nacional de Pesquisa Agroflorestal da Amazonia, Manaus, Brasilien; #Rubber Research Institute of Sri Lanka, Agalawatta, Sri Lanka

Nutzung der arbuskulären Mykorrhiza in Baumschulen der Tropen am Beispiel des Kautschukbaumes *Hevea spp.*

Utilization of arbuscular mycorrhiza in tropical nurseries exemplarily demonstrated for the rubber tree *Hevea spp.*

Abstract

The experimental introduction of arbuscular mycorrhizal fungi into the plant production process of the rubber tree (*Hevea spp.*) pointed out the economic importance of the mycorrhizal technology as an efficient management factor in practice. Better growth of young plants, shorter growth period in nurseries, decreased plant losses in spite of the presence of root and leaf pathogens, reduction of pesticide use, higher success in budgrafting, reduced losses after planting in the field, and finally better growth in the field with the consequence of earlier crown-budding are the economically positive valuating factors.

1 Einleitung

Zahlreiche der ein- und mehrjährigen tropischen und subtropischen Nutzpflanzen werden von arbuskulären Mykorrhizapilzen besiedelt und viele sind von der Ausbildung der Symbiosen mehr oder weniger stark abhängig (JANOS, 1987). Das natürliche Vorkommen von arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMP) wird bei der Anlage von Nutzflächen durch die begleitend angewendeten Maßnahmen stark beeinträchtigt (FELDMANN und LIEBEREI, 1994) und führt dazu, daß eine ausreichende Versorgung ausgepflanzter Nutzpflanzen mit geeigneten AMP im Feld oft nicht gewährleistet ist (FELDMANN et al. 1995a). Pflanzenbaumaßnahmen, die auf eine Verbesserung der ökologischen Situation von Anbauflächen in den Tropen gerichtet sind (z.B. Mischkulturanbau und weitgehende Belassung von Sekundärvegetation), erwiesen sich für den Aufbau wirksamer, autochtoner AMP-Populationen nützlich (FELDMANN et al., 1995b). Bevor die Nutzpflanzen ins Gelände gepflanzt werden, durchlaufen sie ihre frühe Entwicklungsphase in Baumschulen, wo - vergleichbar zu der Produktion von Jungpflanzen in den gemäßigten Breiten - vorab sterili-

sierte Pflanzsubstrate zum Einsatz kommen. Bei der Sterilisierung gehen im Substrat befindliche AMP zugrunde, so daß die Jungpflanzen ohne Inokulation geeigneter Symbionten nicht zur Ausbildung der für sie essentiellen Lebensgemeinschaft gelangen können.

Der Kautschukbaum *Hevea brasiliensis* ist eine Weltwirtschaftspflanze mit großer Bedeutung für die Volkswirtschaft verschiedener Länder in den Tropen. In manchen Anbauländern wird der Feldanbau durch Krankheiten der Pflanze sehr stark beeinträchtigt. In Brasilien führt das Auftreten von Blattkrankheiten, insbesondere der Südamerikanischen Blattfallkrankheit, hervorgerufen durch *Microcyclus ulei*, dazu, daß ein nachhaltiger Plantagenanbau des Kautschukbaumes in nennenswertem Umfang in der Herkunftsregion Amazonien bislang nicht möglich ist (JUNQUEIRA et al., 1988). Brasilien insgesamt ist sogar von der Einfuhr von Kautschuk abhängig. In Sri Lanka dagegen ist der Anbau von *Hevea* vor allem durch Wurzelkrankheiten, z.B. die Weissfäule, hervorgerufen durch *Rigidoporus lignosus*, bedroht (JAYARATNE, 1982).

Zwischen 1987 und 1998 studierten wir deshalb in mehreren Forschungsprojekten die Wirkung der Mykorrhizierung von Kautschukbaum-Jungpflanzen auf ihr Resistenz- bzw. Toleranzverhalten gegenüber Blatt- und Wurzelkrankheiten, ihre Biomasseentwicklung, ihren Ernährungsstatus und den Propfungserfolg unter dem Einfluss der Symbiosen und ihre Stresstoleranz während der Produktion in der Baumschule und unmittelbar nach dem Auspenden ins Feld. Neben diesem intensiven Studium des Kautschukbaumes wurden im gleichen Zeitraum zahlreiche andere tropische und subtropische Nutzpflanzen auf ihre Mykorrhizierfähigkeit untersucht, um weitere potentielle Zielpflanzen und Einsatzbereiche abschätzen zu können.

2 Material und Methode

Orte der Durchführung der Experimente waren das Centro Nacional de Pesquisa Agroflorestal da Amazonia, Manaus, Brasilien, und das Rubber Research Institute of Sri Lanka, Agalawatta, Sri Lanka. Die Parameter der Pflanzenkultur und Analysemethodik zum Studium der Sämlingsentwicklung und Ernährung der Pflanzen, die Studien zur Blattresistenz und der Wurzeltoleranz gegenüber *Fusarium solani*, einem Schaderreger, der bei *Hevea* zu Wachstumsreduktionen und Blattwelke (LIYANAGE und DANTANARAYANA, 1983), aber selten zu Pflanzenausfällen führt, sind bei FELDMANN (1991) dargestellt und fanden in Brasilien statt. Als Mykorrhizapilze wurden hier verschiedene Linien von *Glomus etunicatum* eingesetzt. Das Masseninokulum wurde nach FELDMANN und IDCZAK (1994) produziert.

Alle übrigen Versuche fanden in Sri Lanka statt. Wesentliche Unterschiede zwischen dem Versuchsaufbau in beiden Ländern lagen im pH-Wert der Substrate (beides lehmige Laterite mit star-

kem Phosphatmangel): in Brasilien pH 4,8, in Sri Lanka pH 6,2. In Sri Lanka wurden Linien der AMP *Gigaspora margarita*, *Acaulospora spec.* und eine aus einer Plantage isolierte Mischung autochtoner Pilze, vermehrt in identischen Bodensubstrat, eingesetzt. In beiden Ländern wurden unterschiedliche Kautschukbaum-Klone verwendet: In Brasilien Unterlagen von maternal definierten Fx 25 - Samen, Edelreiser der Klone Fx 4098, Fx 3925, RRIM 600; in Sri Lanka wurden maternal definierte Sämlinge des Klones PB 86 bzw. Jungpflanzen der Klone RRIC 100 getestet.

Die Methodik der Mykorrhizaanalyse ist bei FELDMANN et al. (1999, in diesem Band) dargestellt. Alle übrigen relevanten Daten sind in den Legenden der Tabellen und Abbildungen wiedergegeben.

Wurzelproben der Nutzpflanzen aus Tab. 3 wurden im Freiland, in Botanischen Gärten oder Pflanzenproduktionsbetrieben gesammelt, zahlreiche wurden als Saatgut oder Stecklinge mit AMP inokuliert und ihre Mykorrhizierfähigkeit nach Wachstum im Gewächshaus festgestellt.

3 Ergebnisse

Entwicklung und Nährstoffaufnahme mykorrhizierter Kautschukbaum-Sämlinge

Nach Auskeimen der Samen erfolgte eine Besiedelung der Kautschukbaum-Sämlinge erst mit Eintreten einer Netto-Photosynthese-Leistung der ersten Laubblätter. In den ersten 210 Tagen nach Inokulation wurde das Wurzelsystem zu $54\% \pm 12\%$ besiedelt. In dieser Zeit veränderte sich das Wachstum der mykorrhizierten Pflanzen gegenüber der nicht-inokulierten Kontrollvariante. Es kam zu einer verstärkten Biomassebildung mykorrhizierter Pflanzen, nachweisbar auf der Ebene zahlreicher Wachstumsparameter (Abb. 1). Für die Pflanzenproduktion besonders bedeutsam erwies sich eine Vergrößerung der Pflanzenhöhe in Verbindung mit einem stärkeren Durchmesser der Pflanzen. Dadurch gelangten die Jungpflanzen sehr viel früher in das Entwicklungsstadium, das für die Pfropfung der Edelreise erlangt werden muß. Gleichzeitig vermochten die mykorrhizierten Jungpflanzen dem Substrat mehr Nährstoffe zu entziehen (Abb.1). Der Gehalt an Nährstoffen in den Pflanzengewebe war nicht signifikant erhöht; vielmehr setzten die Pflanzen die vermehrt aufgenommenen Nährstoffe in erhöhte Wachstumsleistung um.

In einem weiteren Experiment wurde sowohl der Durchmesser der Sämlinge als auch die Pflanzenhöhe von verschiedenen AMP-Linien unterschiedlich beeinflusst (Tab. 1). Alle drei getesteten AMP-Linien verbesserten das Wachstum signifikant gegenüber nicht-mykorrhizierten Kontrollpflanzen. Mykorrhizierte Pflanzen erreichten nicht nur die Propfreife früher, sondern zeigten zudem im Falle der Inokulation mit *Gigaspora margarita* eine geringere Verlustrate von Edelreisern als nicht-mykorrhizierte Propfunterlagen (Tab. 1).

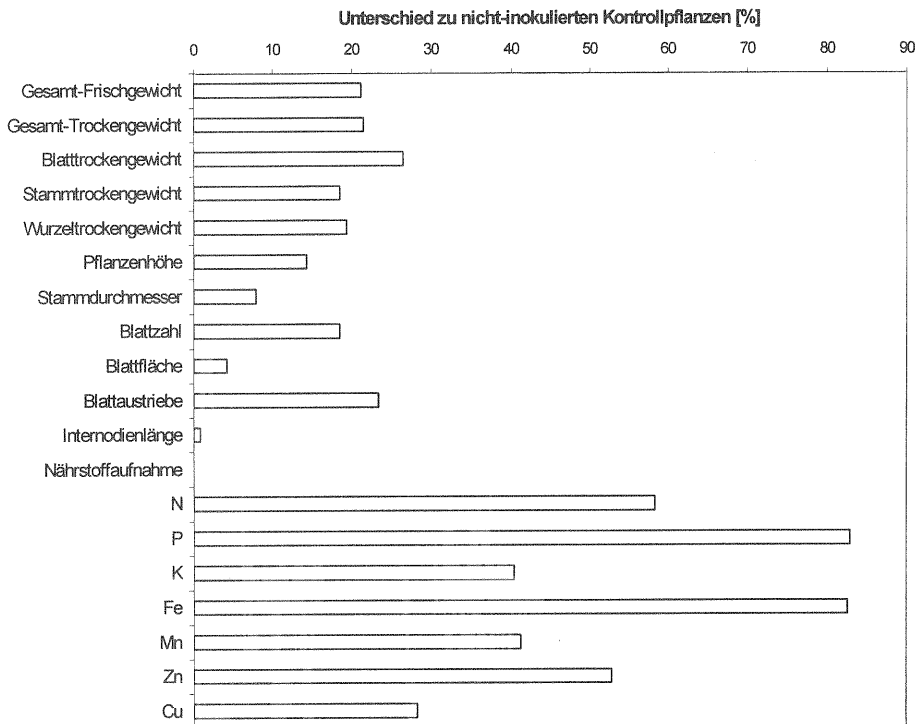


Abb. 1: Verstärktes Wachstum und verbesserte Ernährung von Kautschukbaum-Sämlingen unter dem Einfluß der arbuskulären Mykorrhiza (*Glomus etunicatum*). Für die Untersuchungen wurden 180 Tage alte Sämlinge des Kautschukbaumes verwendet. Die Anzahl der untersuchten Pflanzen lag bei mindestens 30 pro Experiment in mindestens drei Wiederholungen. Alle dargestellten Werte über 3% sind signifikant von Kontrollpflanzenwerten unterschiedlich (Kruskal-Wallis One-way ANOVA; 95% Intervall)

Resistenzeigenschaften und Krankheitstoleranz mykorrhizierter Pflanzen

Die Mykorrhizasymbiose führte bei drei Kautschukbaumklonen zu einer erhöhten Resistenz gegenüber dem Blattpathogen *Microcyclus ulei*. Die Verzögerung der Pathogenentwicklung im Blatt mykorrhizierter Pflanzen führte zu einer geringeren Größe der Pathogen-Läsionen und zu einer verminderten Sporulation des Pathogens auf den Blättern (Tab. 2) mit der Folge nachhaltig veränderten epidemiologischen Verhaltens der Krankheit im Testpflanzenbestand. Die Wirksamkeit von *Glomus etunicatum* war klonspezifisch unterschiedlich, aber in allen drei pathogen-anfälligen Klonen nachweisbar. Ein vierter, pathogen-resistenter Klon (IAN 6158) wurde nicht nachteilig durch die Mykorrhizierung beeinflusst.

Tab. 1: Spezifische Wirksamkeit verschiedener AMP-Linien auf die Entwicklung von Propfunterlagen und den Propferfolg bei Hevea-Jungpflanzen (Klon Pb 86) in tropischen Baumschulen acht Monate nach Auskeimen und gleichzeitiger Inokulation. (Werte in Spalten mit dem gleichen Buchstaben sind statistisch nicht signifikant unterschiedlich; LSD 0,05%, 5 Wiederholungen mit 10 Pflanzen)

| AMP-Linie | Pflanzenhöhe [cm] | Stammdurchmesser [mm] (12cm über Boden) | Propferfolg [%] |
|----------------------------|-------------------|--|-----------------|
| ohne (Kontrolle) | 81,1 c | 69 c | 81,8 b |
| <i>Gigaspora margarita</i> | 101,9 a | 90 a | 93,0 a |
| <i>Acaulospora spp.</i> | 88,9 b | 79 b | 83,4 b |
| Autochter AMP | 86,3 b | 76 b | 84,2 b |

Kautschukbaumsämlinge, die mit *Fusarium solani* in Kontakt gebracht wurden, waren zwar in geringem Umfang durch das Pathogen befallen, jedoch wurde keine Reduktion des Wachstums beobachtet (Tab. 2). Zu einer vollständigen Verhinderung Pathogen-bedingter Wachstumsdepressionen kam es an Jungpflanzen, die mit dem Erreger der Weissfäule, *Rigidoporus lignosus*, beimpft wurden. An mykorrhizierten Pflanzen erfolgte hier keine Besiedelung mehr durch das Pathogen (Tab. 2).

Wachstum mykorrhizierter Pflanzen im Feld

In der Jungpflanzenproduktion des Kautschukbaumes folgt der Phase der Herstellung von Propfunterlagen aus Sämlingen und der Propfung mit Edelreisern, die nach Ertragsleistung ausgewählt werden, nach ca. sechs Monaten eine Transplantation der Baumschulpflanzen an den Bestimmungsort ins Feld. Bei diesem Umpflanzen gehen z.T. große Mengen an Jungpflanzen durch den Umpflanzstress verloren. Hinzu kommt, daß die nach der zukünftig zu erwartenden Latexmenge ausgewählten Klone solange anfällig gegen *Microcyclus ulei* sind, bis ihre Kronen durch eine erneute Propfung im Feld gegen resistente Kronen ausgetauscht werden.

Das Auspflanzen mykorrhizierter Jungpflanzen war in unseren Versuchen mit einer drastischen Reduktion der Verluste verbunden: ohne Mykorrhiza-Inokulation gingen 25% der Jungpflanzen in den ersten zwei Monaten im Gelände verloren, mit Inokulation nur noch 3%. Zusätzlich entwickelten sich die überlebenden Pflanzen im Feld so vorteilhaft, daß zum Zeitpunkt der ersten Kronenpropfung (dieser ist dann gegeben, wenn ca. 70% aller zu propfenden Pflanzen, einschließlich

der nicht-inokulierten Kontrollpflanzen, eine Höhe von 180cm erreicht haben) mehr als 2/3 mykorrhizierte Pflanzen gepropft werden konnten. So waren von jeweils 392 Pflanzen bereits 70 % aller AMP-inokulierten Pflanzen für die Kronenpropfung geeignet, während dies bei der nicht-inokulierten Variante nur für 30% zutraf.

Tab. 2: Wechselbeziehungen zwischen Hevea-Klonen und Schaderregern unter dem Einfluß von Mykorrhizasymbiosen (Werte in Zeilen mit gleichen Buchstaben sind nicht signifikant unterschiedlich; Separater Varianz t-Test; 95% Intervall)

| Infizierte Organe | AMP | Pathogen | Parameter | Hevea-Klon | ohne AMP | mit AMP |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------|--------------------|------------|----------|---------|
| Blätter | <i>Glomus etunicatum</i> | <i>Microcyclus ulei</i> | Pathogensporenzahl | Fx 4098 | 740a | 80b |
| | | | [n x 1000/Blatt] | Fx3925 | 590a | 120b |
| | | | RRIM 600 | 850a | 580b | |
| | | | IAN 6158 | 0a | 0a | |
| Wurzeln | <i>Glomus etunicatum</i> | <i>Fusarium solani</i> | Trockengewicht [g] | Fx 25 | 8,5b | 12,9a |
| | <i>Gigaspora margarita</i> | <i>Rigidoporus lignosus</i> | Trockengewicht [g] | PB 86 | 6,8b | 7,7a |

Weitere potentielle Zielpflanzen

Jede mykorrhizierfähige Pflanze kann in Abhängigkeit von der jeweiligen Umwelt und den verfügbaren AMP als Zielpflanze für einen nutzbringenden Mykorrhizaeinsatz aufgefasst werden. Von 298 untersuchten Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen erwiesen sich 92% (274 Arten) als Wirte arbuskulärer Mykorrhizasymbiosen (Tab. 3). Die in Tab. 3 nicht aufgeführten Nicht-Wirte gehörten zu den Familien der *Brassicaceae*, *Chenopodiaceae* und *Cyperaceae*. Zu den Wirtspflanzen gehören landwirtschaftlich angebaute Pflanzen, aber auch solche, die als Zierpflanzen in den gemäßigten Breiten gehandelt und dort im Gartenbau produziert werden.

4 Diskussion

Der experimentelle Einsatz von arbuskulären Mykorrhizapilzen in der Pflanzenproduktion des

Kautschukbaumes erwies sich unter Praxisbedingungen als ökonomisch sehr sinnvolle Pflanzenbaumaßnahme. Besseres Wachstum der Jungpflanzen und damit kürzere Standzeiten in den Baumschulen, geringere Verluste trotz Krankheitserregern, potentielle Einsparungen bei Pflanzenschutzmitteln, Verringerung der Auspflanzverluste nach Ausbringung der Pflanzen ins Feld und schließlich besseres Wachstum im Feld mit der Folge früherer Propfung mit Pathogenresistenten Baumkronen können ökonomisch bilanziert werden gegen einen geringen Mehraufwand an Handarbeit zum Zeitpunkt der Inokulation (Mischung des Substrates mit dem AMP-Inokulum) und die Kosten des Inokulums. Diese Kosten lagen inklusive der notwendigen Investitionen (Pflanzkästen) bei maximal 10% der Kosten für erfolgreich okulierte Jungpflanzen. Allein die Reduzierung der Auspflanzverluste machten deshalb in diesen Versuchen den Mykorrhizaeinsatz bereits rentabel. Unsere Ergebnisse führten dazu, daß die Berücksichtigung der Mykorrhiza im Integrierten Pflanzenschutz des Kautschukbaumes proklamiert und umgesetzt wird (LIEBEREI et al., 1989; FELDMANN et al., 1989; FELDMANN et al., 1995).

Die Ergebnisse, die hier am Kautschukbaum dargestellt wurden, können mit großer Sicherheit auf zahlreiche andere mehrjährige und einjährige Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen übertragen werden (SIEVERDING, 1991; FELDMANN et al., 1995b; Tab. 3). Die regelmäßige und breite Einführung der Mykorrhizatechnologie in die Praxis der Pflanzenbauproduktion Brasiliens und von Sri Lanka allgemein scheidet bislang vor allem an der Bereitstellung von adäquatem AMP-Inokulum und dessen Verbreitung. Für die Bereitstellung von AMP-Inokulum muß das im Land befindliche Know-how zentriert und in einer Anfangsphase nicht-kommerziell organisiert werden - ähnlich wie es in der Anfangsphase der Einführung der Mykorrhizatechnologie auch in europäischen Ländern über die Universitäten gewährleistet war. Eine Verteilung des AMP-Inokulums und die Schulungen, damit in geeigneter Weise umzugehen, müssen zweifellos von landwirtschaftlichen Beratungsstellen geleistet werden.

Nicht organisatorisch, sondern biologisch begründete Schwierigkeiten bei der Bereitstellung von Inokulum liegen in den Auswahlverfahren für die AMP für bestimmte Kulturen. Wie oben dargestellt sind spezifische Wechselwirkungen zwischen Pilzlinie und Pflanzensorte ein Haupthindernis für die nutzbringende Umsetzung eines geplanten Einsatzes. Auch für die Überwindung dieser Schwierigkeiten ist es in beiden Ländern unumgänglich, die genannte Institutionalisierung der Inokulumproduktion und die enge Zusammenarbeit zwischen diesen Einrichtungen und den Beratungsstellen in den Mittelpunkt der Bemühungen zu stellen.

Tab. 3: Wirte arbuskulärer Mykorrhizapilze unter wichtigen Nutzpflanzen der Tropen und Subtropen. (Wurzelproben der aufgeführten Pflanzenarten wurden als mykorrhiziert betrachtet, wenn sowohl Mykorrhizamycel als auch Vesikel deutlich erkannt wurden. Arbuskel waren nicht in jedem Fall vorhanden. Die Liste ergänzt die Liste von Weissenhorn und Feldmann (1999, in diesem Band).

| | | |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|
| <i>Abelmoschus esculentus</i> | <i>Cynara scolymus</i> | <i>Orbignya speciosa</i> |
| <i>Acacia senegal</i> | <i>Cyphomandra betacea</i> | <i>Paullinia cupana</i> |
| <i>Amaranthus caudatus</i> | <i>Cyrtostachus lacka</i> | <i>Pennisetum americanum</i> |
| <i>Anacardium occidentale</i> | <i>Dioscorea bulbifera</i> | <i>Persea americana</i> |
| <i>Annona cherimola</i> | <i>Diospyros ebenum</i> | <i>Phaseolus lunatus</i> |
| <i>Anthemis tinctoria</i> | <i>Diospyros kaki</i> | <i>Pistacia vera</i> |
| <i>Arachis hypogaea</i> | <i>Dolichos lablab</i> | <i>Pisum sativum</i> |
| <i>Artocarpu heterophyllus</i> | <i>Echinochloa frumentacea</i> | <i>Psidium guajava</i> |
| <i>Astragalus gummifer</i> | <i>Elaeis guieensis</i> | <i>Saccharum officinarum</i> |
| <i>Aucuba japonica</i> | <i>Elettaria cardamomum</i> | <i>Schefflera arboricola</i> |
| <i>Bactris gasipaes</i> | <i>Eleusine coracan</i> | <i>Schizolobium amazonicum</i> |
| <i>Bertholletia excelsa</i> | <i>Enterolobium cyclocarpum</i> | <i>Scorzonera hispanica</i> |
| <i>Bixa orellana</i> | <i>Eugenia caryophyllata</i> | <i>Sechium edule</i> |
| <i>Cajanus cajan</i> | <i>Eupatorium rebaudianum</i> | <i>Sesamum indicum</i> |
| <i>Canavalia ensiformis</i> | <i>Glycine max</i> | <i>Sorghum bicolor</i> |
| <i>Cannabis sativa</i> | <i>Hevea brasiliensis</i> | <i>Sorghum saccharatum</i> |
| <i>Carica papaya</i> | <i>Hippophae rhamnoides</i> | <i>Stephanotis floribunda</i> |
| <i>Carya illinoensis</i> | <i>Ipomoea batatas</i> | <i>Sterculia urens</i> |
| <i>Cicer arietinum</i> | <i>Lens culinaris</i> | <i>Swietenia macrophylla</i> |
| <i>Cichorium intybus</i> | <i>Leucaena leucocephala</i> | <i>Tamarindus indica</i> |
| <i>Cinnamomum verum</i> | <i>Licania rigida</i> | <i>Tectona grandis</i> |
| <i>Citrullus lanatus</i> | <i>Luffa aegyptiaca</i> | <i>Terminalia superba</i> |
| <i>Cocos nucifera</i> | <i>Magnifera indica</i> | <i>Theobroma cacao</i> |
| <i>Cola verticillata</i> | <i>Malpighia glabra</i> | <i>Theobroma grandiflorum</i> |
| <i>Coriandrum sativum</i> | <i>Manihot esculenta</i> | <i>Vigna angularis</i> |
| <i>Cuminum cyminum</i> | <i>Metroxylon sagu</i> | <i>Vigna mungo</i> |
| <i>Curcuma longa</i> | <i>Nephelium lappaceum</i> | <i>Vigna radiata</i> |
| <i>Cydonia oblonga</i> | <i>Ochroma pyramidale</i> | <i>Vigna sinensis</i> |
| <i>Cynara cardunculus</i> | | <i>Vigna unguiculata</i> |

Auf diese Weise könnte das aufgezeigte Nutzungspotential der natürlichen Symbiosen insbesondere von den Bevölkerungsteilen ausgeschöpft werden, die sich teuren Mineraldünger nicht leisten können. Orientiert man die Ergebnisse zur mykorrhizabedingten Zunahme des Phosphorentzuges (Tab. 1) in den vorliegenden stark P-fixierenden Böden an den Analysen von PEREIRA et al. (1988), so kann eine vergleichbare Steigerung des P-Gehaltes in nicht-mykorrhizierten Kautschukbäumen nur durch eine Erhöhung der P-Düngung von 150kg/ha auf 1200kg/ha erreicht werden. Eine Vernachlässigung der Mykorrhizatechnologie hieße hier, sich gegen den wirtschaftlichen Anbau von *Hevea* zu entscheiden.

5 Zusammenfassung

Der experimentelle Einsatz von arbuskulären Mykorrhizapilzen in der Pflanzenproduktion des Kautschukbaumes erwies sich unter Praxisbedingungen als ökonomisch sehr sinnvolle Pflanzenbaumaßnahme. Besseres Wachstum der Jungpflanzen und damit kürzere Standzeiten in den Baumschulen, geringere Pflanzenverluste in Gegenwart von Krankheitserregern, potentielle Einsparungen bei Pflanzenschutzmitteln, Verringerung der Auspflanzverluste nach Ausbringung der Pflanzen ins Feld und schließlich besseres Wachstum im Feld mit der Folge früherer Propfung mit Pathogen-resistenten Baumkronen können ökonomisch bilanziert werden gegen einen geringen Mehraufwand an Handarbeit zum Zeitpunkt der Inokulation (Mischung des Substrates mit dem AMP-Inokulum) und die Kosten des Inokulums. Diese Kosten lagen inklusive der notwendigen Investitionen (Pflanzkästen) bei maximal 10% der Kosten für erfolgreich gepropfte Jungpflanzen. Allein die Reduzierung der Auspflanzverluste machten deshalb in diesen Versuchen den Mykorrhizaeinsatz bereits rentabel.

6 Danksagungen

Teile der vorgestellten Arbeiten wurden finanziert aus Mitteln des deutschen BMBF+T über das Programm SHIFT, aus Mitteln des Institutes für Angewandte Botanik, Universität Hamburg, des CPAA/EMBRAPA, Manaus, Brasilien, des RRISL, Agalawatta, Sri Lanka, über Stipendien des Landes Niedersachsen, des DAAD und der brasilianischen CAPES.

7 Literaturverzeichnis

FELDMANN, F., 1991: Die Mykorrhiza des Kautschukbaumes *Hevea spec.* Müell. Arg.: Vorkommen am Naturstandort, Auswirkung auf das Resistenzverhalten, Nutzung im Plantagenbau. Dissertation, TU Braunschweig, 1991

- FELDMANN, F., IDCZAK, E., 1994: Inoculum production of VA-mycorrhizal fungi. In: NORRIS, J.R.; READ, D.J., VARMA, A.K. (eds.): Techniques for mycorrhizal research, Academic Press, San Diego, 799-817
- FELDMANN, F., IDCZAK, E., MARTINS, G., NUNES, J., GASPAROTTO, L., PREISINGER, H., MORAES, V.H.F., LIEBEREI, R., 1995a: 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
- FELDMANN, F., IDCZAK, E., NUNES, C.D.M., 1995b: A importancia dos fungos micorrizicos no manejo de sistemas agricolas na Amazonia. In: KANASHIRO, M., PAROTTA, J.A. (eds): Manejo e reabilitacao de areas degradadas e florestas secundarias na Amazonia; USDA, Puerto Rico, USA, S. 57-65
- FELDMANN, F., JUNQUEIRA, N.T.V., LIEBEREI, R., 1989: Utilization of vesicular-arbuscular mycorrhiza as a factor of integrated plant protection. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 29, 131-135
- FELDMANN, F., LIEBEREI, R., 1994: Vesicular-arbuscular mycorrhiza in rubber tree monocultures. *Mycorrhiza News (New Delhi)* 5 (4), 1-6
- JANOS, D.P., 1987: VA mycorrhizas in humid tropical ecosystems. In: SAFIR, G.R. (ed.): *Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants*. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 107-134
- JAYARATNE, A.H.R., 1982: Endomycorrhizas of rubber growing soils of Sri Lanka. *J. Rubb. Res. Inst. Sri Lanka* 60, 47-57
- JUNQUEIRA, N.T.V.; CHAVES, G.M.; ZAMBOLIM, L.; ALFENAS, A.C., GASPAROTTO, L., 1988: Reacao de clones de Seringueira a varios isolados de *Microcyclus ulei*. *Pesq. Agropec. Bras.* 23(8), 877-893
- LIEBEREI, R., JUNQUEIRA, N.T.V., FELDMANN, F., 1989: Integrated disease control in rubber plantations in South America. *Proceedings of the '89 Integrated Pest Management*, February 8-15, 1989, Bad Dürkheim, FRG, 445-456
- LIYANAGE, A. de S., DANTANARAYANA, D.M., 1983: Association of *Fusarium solani* with root lesions of rubber showing leaf wilt in Sri Lanka. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 80(3), 565-567
- PEREIRA, E.B.C.; PEREIRA, A.V.; DA SILVA, S.E. L., 1988: Niveis de N, P, K, e Mg para viveiro de Seringueira em latossolo amarelo de textura muito argilosa. *R. Bras. Ci. Solo* 12, 143-146
- SIEVERDING, E., 1991: Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. *GTZ, Eschborn, Deutschland*

M. HELAL

Institut für Agrarökologie, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Bundesallee 50, 38116 Braunschweig

Phosphormobilisierung aus örtlich plaziertem Phosphatdepot durch mykorrhizierte Wurzeln von *Leucaena leucocephala*

Phosphorus mobilization from a local rock phosphate depot through mycorrhizal roots of *Leucaena leucocephala*

Abstract

The productivity of irrigated sandy soils is often limited due to P deficiency and low utilization efficiency of soluble fertilizers. An alternative fertilization concept is currently being evaluated under field conditions of the Bangar II area, bordering the Northwest of the Nile delta. Rock phosphate together with green manure are applied locally to form a nutrient depot at a distance from the plant. This enables adjusting favourable pH and moister conditions independent from bulk soil conditions and the water supply to the crop. In this way it is possible to control the nutrient turnover and translocation, to enhance soil rooting in the depot area and to minimize leaching losses. The presented results demonstrate that mycorrhizal roots of *Leucaena leucocephala* were able to mobilize phosphorus from a rock phosphate depot at a considerable rate to achieve a 34 % utilization of the applied P during a seven month vegetation period. Possibly involved processes are discussed.

1 Einleitung

Mit dem Bevölkerungszuwachs steigt die Nachfrage für Nahrung rapide an. In Trockengebieten ist es deshalb oft unumgänglich, die Landwirtschaft von fruchtbaren Flußtälern aus auf sandige Wüstenböden auszudehnen. Zu den größten Problemen dort zählen jedoch die niedrige Ausnutzungseffizienz von löslichem Mineraldünger. Dies gilt in besonderem Maße für Ton- und humusarme Sandböden, die sich durch ein niedriges Retentionsvermögen für Stickstoff und Phosphor auszeichnen. Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß die Anwendung löslicher Mineraldünger - wie z.B. Ammonsulfat und Superphosphat - zu beträchtlichen Auswaschungsverlusten von Dünger-N und -P durch die Bewässerung führt. Eine alternative Düngungsstrategie für bewässerte Sandböden wurde deshalb in den letzten Jahren entwickelt (HELAL et al., 1997). Hierbei werden folgende Anbau-, Düngungs- und Bewässerungskonzepte kombiniert:

1. Produktion vor Ort und Anwendung der Biomasse von tiefwurzelnden Leguminosen wie

Leucaena leucocephala als N-Gründünger.

2. Anbau von Feldfrüchten in Mischkultur zusammen mit den als Gründünger angebauten Baumarten.
3. Örtliche Anwendung von Gründünger zusammen mit den schwerlöslichen Rohphosphaten in Form eines "Nährstoffdepots". Dies bietet Möglichkeiten zur Manipulation der Bodendurchwurzelung und zur Kontrolle der Nährstofffreisetzung aus dem Depot.
4. Anwendung von Mikroorganismen einschließlich Mykorrhizen zur Förderung der Wurzelentwicklung und zur P-Mobilisierung aus dem Rohphosphat.
5. Getrennte Tropfbewässerung des "Nährstoffdepots" unabhängig von der Wasserversorgung der Pflanzen. Auf diese Weise ist es möglich, die Nährstofffreisetzung aus dem Depot über die Wasserverfügbarkeit zu regulieren und auf die Entwicklung des Pflanzenbedarfs abzustimmen.

Vor diesem Hintergrund werden verschiedene Varianten der Phosphordüngung und die Bedeutung der Wurzelmykorrhizierung im ägyptischen Projektgebiet Bangar II evaluiert.

2 Material und Methoden

2.1 Standort

Das Projektgebiet Bangar II nordwestlich vom Nildelta (jährliche Winterniederschläge ca. 120 mm) besteht aus alluvialen Sandböden, die erst seit 1958 landwirtschaftlich genutzt werden. Hierzu wird das Gebiet mit Nilwasser über einen Kanal versorgt. Tabelle 1 zeigt einige Bodeneigenschaften dieses Standortes.

2.2 Versuchspflanze

Leucaena leucocephala ist eine schnellwachsende, tiefwurzelnde Leguminose. Vor der Feldbepflanzung erfolgte die Anzucht in Kleingefäßen unter Gewächshausbedingungen. Zur Beimpfung mit VAM-Sporen wurde ein Rohinokulum von *Glomus fasciculatum* verwendet. Hierbei wurden 2 ml einer Sporensuspension (ca. 100 Sporen/ml) unter dem Saatbett eingebracht. Im Alter von 30 Tagen wurden die Pflanzen auf die Feldparzellen übertragen. Der Feldversuch dauerte weitere 7 Monate. Während dieser Zeit wurden die Pflanzen dreimal abgeschnitten.

2.3 Düngung

Vor der Bepflanzung wurde die Versuchsfläche (ca. 2500 m²) in 5 x 6 m Parzellen unterteilt für verschiedene Düngungsvarianten mit jeweils 6 Wiederholungen. Die N-Düngung wurde für alle

Varianten bei 18 kg N/ha als Harnstoff und Gründünger im 1:1-Verhältnis einheitlich durchgeführt. Als Gründünger wurde die grob gemahlene Blattmasse von *Leucaena* (3,1% N) verwendet. Auch die P-Düngungsrate wurde bei 30 kg P/ha konstant gehalten. Variiert wurden dagegen die P-Form (Superphosphat, Rohphosphat) die Düngerausbringung (Streuung, örtliches Depot) sowie die Mykorrhizierung. Bei der Rohphosphatdüngung wurde zusätzlich Elementarschwefel verabreicht (0,3 g S/g Rohphosphat), um dem alkalisierenden Effekt vom Rohphosphat entgegenzuwirken. Zur örtlichen Düngerplazierung (Düngerdepot) wurde ein Bodenzylinder von 3 cm Durchmesser auf 50 cm Entfernung von der Pflanze bis 20 cm Tiefe entnommen und in zwei Segmente (0-10, 10-20 cm Tiefe) unterteilt. Die Düngergaben wurden mit dem Bodenmaterial der unteren Hälfte vermischt und in den Boden eingebracht. Anschließend wurde das restliche Bodenmaterial in die Bohrung zurückgeführt.

Tab. 1: Bodenmerkmale des Standortes Bangar II

| Bodenmerkmale | Oberboden (0-30 cm) | Unterboden (31-60 cm) |
|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| % Sand | 86 | 83 |
| % Schluff | 10 | 11 |
| % Ton | 4 | 6 |
| % CaCO ₂ | 2,8 | 3,5 |
| pH (H ₂ O) | 7,9 | 8,3 |
| Elektrische Leitfähigkeit mS/cm | 2,2 | 2,7 |
| % Na-Sättigung | 8,3 | 11,5 |
| % Org.C | 0,44 | 0,37 |
| CAL-P mg/kg | 23 | 29 |
| Gesamt N mg/kg | 328 | 311 |

2.4 Bewässerung

Zur Bewässerung kamen je nach Art der Düngerausbringung zwei verschiedene Bewässerungstechniken zur Anwendung, nämlich eine Beregnung und eine Tropfbewässerung. Durch Streuung gedüngte Varianten wurden jeden dritten Tag beregnet, bis der Bodenwassergehalt in 20 cm Tiefe 50 % der Feldkapazität erreichte. Varianten mit Düngerdepot wurden dagegen durch Tropfbewässerung versorgt. Hierbei wurde die Depotdurchfeuchtung unabhängig von der Wasserversorgung

der Pflanzen über getrennte Dripper durchgeführt. In beiden Fällen wurde die Tropfrate eingestellt, um ein Bodenwassergehalt von 50 % der Feldkapazität in 20 cm Tiefe aufrechtzuerhalten.

2.5 Wurzeluntersuchungen

Zur Evaluierung der Bodendurchwurzelung und der Wurzelmykorrhizierung wurden Stichzylinderproben bis zu 60 cm Tiefe auf 10 und 40 cm Entfernung zu den Pflanzen entnommen. Die Auszählung von Wurzeln in Bodenproben wurde mittels einer Intersektionsmethode (TENNANT, 1975) durchgeführt. Der Anteil mykorrhizierter Wurzeln wurde durch Färbung mit Trypanblau bestimmt (PHILLIPS and HAYMAN, 1970).

Tab. 2: Bodendurchwurzelung und Ausnutzung von Düngerphosphor durch acht Monate alte Pflanzen von *Leucaena leucocephala* in Abhängigkeit von der Düngungstechnik und der Wurzelmykorrhizierung im Feld

| P-Form Ausbringung | Superphosphat | | Rohphosphat | |
|---|---------------|------|-------------|------|
| | Streuung | | Depot | |
| VAM – Behandlung | (-) | (+) | (-) | (+) |
| Mykorrhizierte Wurzeln % | 7 | 16 | 12 | 37 |
| Wurzellängendichte, Oberboden cm/cm ³ | 0,82 | 0,84 | 0,86 | 1,12 |
| Wurzellängendichte, Unterboden cm/cm ³ | 0,79 | 0,91 | 1,08 | 1,39 |
| Trockensubstanzertrag g/m ² | 380 | 412 | 453 | 708 |
| N-Ertrag, g/m ² | 6,8 | 8,7 | 9,6 | 16,4 |
| Biomasse – P, g/kg | 0,91 | 0,96 | 1,07 | 1,44 |
| P - Entzug, mg/m ² | 343 | 392 | 489 | 1019 |
| P – Ausnutzung % | 11,2 | 12,8 | 16,3 | 34,0 |

3 Ergebnisse und Diskussion

Beim Standort Bangar II, wie die Tabelle 1 zeigt, handelt es sich um einen alluvialen Sandboden, der sich durch niedrige Ton- und Humusgehalte auszeichnet. Eine Tiefendifferenzierung im Hinblick auf Bodeneigenschaften ist bis auf eine leichte Ton- und Karbonatanreicherung im Unterboden kaum zu erkennen. Eine leicht erhöhte Konzentration löslicher Salze (elektrische Leitfähigkeit) und Phosphor spiegelt das niedrige Retentionsvermögen des Oberbodens für Nährstoffe und Ionen wieder. Aus diesem Grund sind die Auswaschungsverluste der Nährstoffe bei konventio-

neller Bewirtschaftung (lösliche Mineraldünger zu flachwurzelnden Monokulturen unter Beregnung) besonders hoch.

Es ist deshalb nicht verwunderlich, daß die Pflanzenausnutzung der Nährstoffe aus löslichem Mineraldünger niedrig ist. Wie die Tabelle 2 zeigt, betrug die Phosphorausnutzung aus dem löslichen Superphosphat lediglich 11,2 - 12,8 %. Eine Mykorrhizierung der Wurzeln blieb hierbei ohne große Wirkung. Dies spricht dafür, daß lösliche Phosphate frühzeitig unterhalb des Wurzelraumes durch die Beregnung verlagert werden. Eine weitere mögliche Ursache niedriger Düngereffizienz besteht darin, daß der Oberboden nach der Beregnung rapide austrocknet. Dies schränkt die Durchwurzelung des Oberbodens ein und verhindert auch direkt die Nährstoffaufnahme. Im Vergleich zum Superphosphat ist das Rohphosphat (zusammen mit dem Gründünger und einem S-Zusatz) bei örtlicher Plazierung (Depot) unter Dripper deutlich überlegen. Dies geht wahrscheinlich auf mehrere Ursachen zurück. Hierzu gehören die Aufrechterhaltung günstiger Feuchtebedingungen im Depotbereich und eine verbesserte Bodendurchwurzelung in der Umgebung des Phosphatdepots. Dies gilt in besonderem Maße für VAM-behandelte Pflanzen.

Die Wirkung der VAM-Behandlung ist vielseitig. Neben Förderung der Bodendurchwurzelung sind mykorrhizierte Pflanzen im Hinblick auf die Biomasse- und Stickstoffträge sowie die P-Aufnahme im Vergleich zu den nichtmykorrhizierten Pflanzen deutlich überlegen.

Die vorliegenden Untersuchungen demonstrieren, daß der Phosphor aus Rohphosphaten auch unter den Bedingungen leicht alkalischer Sandböden mobilisiert werden kann, vorausgesetzt, daß günstige Bedingungen (Feuchtigkeit, niedrige pH-Werte, mikrobielle Aktivität) örtlich aufrechterhalten werden können.

4 Zusammenfassung

Die Ertragsleistung bewässerter Sandböden ist oft durch P-Mangel und niedrige Ausnutzungseffizienz des Phosphors aus löslichen Düngerphosphaten stark limitiert. Im Projektgebiet Bangar II westlich des Nildeltas wird ein alternatives Düngungskonzept unter Feldbedingungen evaluiert. Dies basiert auf der Anwendung von Rohphosphat zusammen mit einem Gründünger, örtlich plaziert in Form eines "Düngerdepots". Dies bietet die Möglichkeit, die Nährstoffumsetzungen und -verlagerung im Depotbereich über getrennte Tropfbewässerung unabhängig von der Wasserversorgung der Pflanzen zu steuern, die Bodendurchwurzelung in Depotnähe zu fördern und die Auswaschungsverluste von Nährstoffen zu minimieren. Diese Untersuchungen demonstrieren, daß mykorrhizierte Wurzeln von *Leucaena leucocephala* in der Lage sind, den Phosphor aus dem Rohphosphatdepot zu mobilisieren und während einer siebenmonatigen Wachstumsperiode eine

P-Ausnutzung von 34 % zu bewirken. Hieran beteiligte Vorgänge werden besprochen.

5 Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen wissenschaftlich-technischer Zusammenarbeit mit Ägypten (Forschungsvorhaben Nitrogen Fixation) durch das BMBF finanziell gefördert.

6 Literaturverzeichnis

- HELAL M., HASSIB M., RAGAB M., 1997: Ein Konzept zur Verbesserung der Nährstoffkreise unter ariden Bedingungen. VDLUFA-Schriftenreihe **44**, 671-674.
- PHILLIPS J.M., HAYMAN D.S., 1970: Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and VAM fungi for rapid assessment of infection. Transactions of the British Mycological Society **55**, 158-160.
- TENNANT D., 1975: A test of a modified line intersect method for estimating root length. Journal of Ecology **63**, 995-1001.

ZUNKER, M.

Vitalin Pflanzengesundheit GmbH, Im Sesengrund 15, D-64372 Ober-Ramstadt

Erfolgreicher Einsatz von Endo- und Ektomykorrhizapilzen in den USA

Successful use of endo- and ectomycorrhizal fungi in the USA

1 Einleitung

In den USA hat die Anwendung der Mykorrhizapilz-Technologie bereits seit Jahren einen festen Stellenwert eingenommen. Der Gründung des Unternehmens Plant Health Care, Inc. (PHC) 1994 mit Hauptsitz Pittsburgh (USA) gingen zahlreiche wissenschaftliche Anwendungsstudien hauptsächlich zum Einsatz von Ektomykorrhizapilzen zur Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften unter der Leitung von Dr. Marx und Dr. Cordell voraus z.B. (MARX, 1975; MARX und ARTMAN, 1979; MARX, 1980; WOLF et al., 1982; MARX und CORDELL, 1988; MARX und RUEHLE, 1989; CORDELL et al., 1987, 1988, 1989, 1991). Somit liegen langjährige Erfahrungen in der praktischen Anwendung von Mykorrhizapilzpräparaten unter verschiedenen abiotischen und biotischen Umweltbedingungen vor. Erst durch eine ausgereifte Technologie der Sporenproduktion und die Herstellung großer Inokulummengen war der kommerzielle Einsatz von Mykorrhizapilzpräparaten möglich. Dabei spielen Anwendungsstudien, von denen an dieser Stelle zwei vorgestellt werden sollen, nach wie vor eine große Rolle.

2 Langzeitstudie über die Wirkung von Ektomykorrhizapilzen *Pisolithus tinctorius* (Pt) bei *Quercus robur* L. und *Pinus radiata* L. zur Rekultivierung von Bergbaufolgelandschaften

2.1 Zielstellung

1977 wurde in den USA ein Gesetz zur Bewirtschaftung und Rückgewinnung von Tagebauflächen verabschiedet. Diese Vorschriften legen die Rückgewinnung von Bergbaufolgelandschaften in den annähernden Ursprungszustand fest. Dieser Maßnahmenkomplex beinhaltet sowohl die Drainage, die Aufbringung von Mutterboden als auch Bodenverbesserungen und schließt eine Erstbegrünung ein (OHIO, 1986). Seit Gründung des Ohio-Rekultivierungsprogrammes im Jahre 1981 wurden ca. 5 Mio. Sämlinge mit den Ektomykorrhizapilzen *Pisolithus tinctorius* auf fast

1220 ha Fläche in Süd-Ohio gepflanzt. Seit über 40 Jahren galt diese Mine aufgrund starker Bodenkontaminationen als nicht begrünbar. Herkömmliche Methoden wie das Einbringen von Düngemitteln und Substrat blieben erfolglos. Die Pflanzen konnten nicht überleben. Ein Erdaustausch in diesen Dimensionen war nicht praktikabel.

Die erste Zielstellung war es, das Pflanzenwachstum auf diesen Extremstandorten zu ermöglichen. Weiterhin sollte geprüft werden, ob die Bodenerosion und Bodenbelastungen durch *Pisolithus tinctorius* eingeschränkt werden können und eine Erstbegrünung und spätere kommerzielle Holzproduktion gefördert werden kann.

2.2 Material und Methoden

Nach Bodensterilisation mit Methylbromid im Herbst oder Frühjahr vor der Aussaat erfolgte die Inokulation der Aussaatbeete mit Sporen von *Pisolithus tinctorius*. Danach wurden Kiefern und Eichen ausgesät. Während der Wachstumsperiode wurden nach den Ergebnissen von Pflanzen- und Bodenanalysen die erforderlichen Düngungs-, Pflanzenschutz- und Beregnungsmengen gegeben.

Die einjährigen Sämlinge wurden im Frühjahr im Pflanzabstand von 1,5 m x 1,5 m auf die Rekultivierungsflächen verpflanzt. Die Bergbauflächen wurden vorher nicht gedüngt, gekalkt oder bewässert. Die Sämlinge wurden ohne zusätzliche Kulturmaßnahmen auf die Rekultivierungsflächen gepflanzt. Die Böden zeichnen sich durch extrem niedrige pH-Werte zwischen 2,7 bis 4,0 und hohe Salzkonzentration aus, sind sehr trocken, dunkelfarbig und Temperaturen von bis zu 60 °C ausgesetzt. Es wurde eine starke Schwermetallkontamination mit S, Mn und Al nachgewiesen. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge beträgt 200 mm.

2.3 Ergebnisse

Bereits drei Jahre nach der Bepflanzung mit mykorrhizierten Sämlingen konnten sich die Gehölze ohne weitere Zusatzdüngung bzw. Zusatzbewässerung etablieren. Seit 1982 betrug die Überlebensrate bei 5 Mio. Kiefern- und Eichensämlingen, die mit den Ektomykorrhizapilzen *Pisolithus tinctorius* (Pt) auf über 150 Rekultivierungsflächen vorbehandelt wurden 85 %. Auf weniger als 5 % dieser Flächen (<5 ha bis >50 ha) war eine Nachpflanzung infolge abgestorbener Pflanzen erforderlich (Tab. 1). Frühere Anforderungen an die Flächenrekultivierung beinhalteten die Nutzung herkömmlicher Baumschultechnik und -sämlinge. Dadurch betrug die durchschnittliche Überlebensrate nur zwischen 30 bis 50 %. Bei mehr als 70 % dieser Flächen war eine Nachpflanzung erforderlich (Tab. 1). Das Wachstum der Pt-geimpften Sämlinge wurde verbessert. Kiefern und Eichen erreichten nach sechs bis sieben Jahren eine Höhe von drei bis vier Metern (Tab. 2).

Tab. 1: Reaktion von Kiefern und Eichen (1982 - 1991) nach Inokulation mit *Pisolithus tinctorius* (Pt) Ektomykorrhizapilzen auf 137 Kohlebergbau-Standorten in Ohio, USA (Mittelwerte aller Untersuchungen, CORDELL und MARX, 1991)

| Behandlung | Anwachsrate (%) | Standorte mit Nachpflanzungen (%) |
|------------|-----------------|-----------------------------------|
| Kontrolle | <50 | > 75 |
| Pt | 85 | < 5 |

Tab. 2: Reaktion von sechs Jahre alten Kiefern nach Inokulation mit *Pisolithus tinctorius* (Pt) Ektomykorrhizapilzen bei pH 2.8, Kohlebergbau-Standort in Ohio, USA (CALDWELL et. al., 1992)

| Behandlung | Anwachsrate (%) | Höhe (cm) | Wurzelvolumen (cm ³) |
|------------|-----------------|-----------|----------------------------------|
| Kontrolle | 45 | 160 | 30 000 |
| Pt | 98 | 290 | 740 000 |

In 8 bis 10 Monaten können mykorrhizierte Sämlinge in unterschiedlicher Größe und Qualität in Containern angezogen werden. Viele dieser Baumsämlinge würden gewöhnlich zwei bis drei Jahre für das Erreichen dieser Qualität benötigen.

2.4 Diskussion

Die natürlich vorkommende Vegetation und autochthone Mykorrhizapilzgattungen wurden auf einigen mehrjährigen Pflanzenflächen stimuliert. Das deutet darauf hin, daß ungünstige Bodenverhältnisse durch die Erstbegrünung abnahmen. Die nach dem Tagebauabbau vorliegenden Rohböden sind oft frei von Mykorrhizapilzen und extrem nährstoffarm. Die Überlebensrate erstangesiedelter Pflanzen wird dadurch begrenzt. Nachpflanzungen bis zur gewünschten Bestandesdichte sind erforderlich. Mykorrhizapilze würden unter diesen widrigen natürlichen Bedingungen nur langsam wieder einwandern. Für die Etablierung vieler Pflanzenarten auf Kippenstandorten ist die Inokulation mit konkurrenzfähigen Mykorrhizapilzen deshalb unabdingbar.

Gezielte Einsatzmöglichkeiten für Ektomykorrhizapilze bieten auch urbane (städtische) Standorte. Diese sind oft gekennzeichnet durch biotische und abiotische Streßbelastungen wie Nährstoffmangel, Wasserstreß, Bodenverdichtungen, geringe organische Substanz sowie geringe autochthone Mikroflora. Hinzu kommt die Gehölzanzucht in Baumschulen in mikrobiell armen Sub-

straten. Durch eine gezielte Inokulation mit leistungsfähigen Rhizosphärenmikroorganismen kann die Überlebensrate erhöht, das Wurzelsterben infolge Trockenstreß reduziert und das Wurzelwachstum unter diesen suboptimalen Bedingungen stimuliert werden.

3 Untersuchung zum Einfluß von Endomykorrhizapilzen (*Entrophospora ssp.*, *Glomus ssp.*) auf das Wachstum von *Agrostis palustris* 'Pennlinks'

3.1 Zielstellung

Golfplatzrasen ist vielen Streßbelastungen durch Hitzeeinwirkungen und Insekten- bzw. Schädlingsbefall sowie starker Belastung durch physische Einwirkungen (Begehung, Bespielung etc.) ausgesetzt. Hinzu kommen für den strapazierten Rasen nur kurze Regenerierungsphasen. Aus diesem Grunde sollte die Wirkung einer arbuskulären Mykorrhizapilz-Mischung in drei unterschiedlichen Sporenkonzentrationen auf das Wachstum eines Golfplatzrasens geprüft werden.

3.2 Material und Methoden

| | |
|------------------------------------|--|
| Arbuskuläre Mykorrhizapilze (AMP): | Mischung der Gattung <i>Entrophospora ssp</i> und <i>Glomus ssp.</i> |
| AMP-Sporenkonzentrationen: | 1076, 3228 und 5380 Sporen/m ² |
| Applikationszeitpunkt: | zum Vertikutieren |
| Pflanzenart: | <i>Agrostis palustris</i> 'Pennlinks' |
| Substrat: | obere Bodenschicht mit Grasnarbe und untere Sandmischung |
| Versuchsanlage: | Blockanlage (Doppelblindverfahren) 15,7 m x 1,52 m |
| Versuchsort: | North Shore Country Club, Glenview (USA) |
| Wiederholungen: | dreifach |

Nach dem Vertikutieren wurde das Mykorrhiza-Inokulum mit Sand vermischt, die Durchlüftungslöcher mit Inokulum befüllt und anschließend durchdringend bewässert. Nach vier Monaten wurden an zufällig gewählten Stellen der Parzellen Bodenproben entnommen und die Wurzeltiefe erfaßt. Dazu wurden die erhaltenen Bodenkerne in 1 cm dicke Scheiben geschnitten. Anschließend erfolgte die Bestimmung der Wurzelbesiedlung mit arbuskulären Mykorrhizapilzen nach PHILLIPS und HAYMAN (1970).

3.3 Ergebnisse

Die Sporenkonzentration von 1076 Sporen/m² war so effektiv wie 3228 Sporen/m², aber nicht wie 5380 Sporen/m² (Tab. 3). Die AMP-Besiedlung wurde durch die AMP-Inokulation um 29 % bis 62 % im Vergleich zur Kontrolle erhöht (Tab. 4). Die Wurzeltiefe wurde durch AMP um 45 % bis 55 % im Vergleich zur Kontrolle erhöht. Die Ergebnisse der inokulierten Parzellen waren sehr einheitlich. Die Ergebnisse, visuellen Eindrücke (Beeinflussung der Farbe und der Dichte des Rasens) und wirtschaftlichen Faktoren sprechen für Ausbringung der geringen Sporenkonzentration von 1076 Sporen/m² für die kommerzielle Anwendung auf Golfgras (Tab. 4).

Tab. 3: Einfluß einer Mischung von arbuskulären Mykorrhizapilzen auf *Agrostis palustris* 'Pennlinks' nach vier Monaten (Mai bis August 1996), Inokulation zum Vertikutieren, in Klammern Steigerungen im Vergleich zur Kontrolle in Prozent

| Varianten | AMP-Besiedlung (%) | Wurzeltiefe (cm) |
|----------------------------|--------------------|------------------|
| Kontrolle | 34 | 6,7 |
| 1076 Sporen/m ² | 44 (29) | 9,7 (45) |
| 3228 Sporen/m ² | 45 (32) | 9,7 (45) |
| 5380 Sporen/m ² | 55 (62) | 10,3 (54) |

3.4 Diskussion

Voraussetzungen für eine erfolgreiche Inokulation ist die Testung des Rasen-Produktes unter den spezifischen Anbaubedingungen bei verschiedenen Pflanzenarten und -sorten. Der Gesundheitszustand des Pflanzenbestandes zum Zeitpunkt der Ausbringung der Präparate spielt dabei eine wichtige Rolle. Dem Einsatz von PHC-Mykorrhizaprodukten geht eine genaue Absprache aller Kultivierungsbedingungen wie Anzucht- Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen voraus. Die durchgeführte Rasenstudie zeigte einen deutlichen Einfluß der AMP auf die Revitalisierung und Erhaltung des Rasens. Weitere mögliche Einsatzgebiete sind bei der Neuanlage einer Rasenfläche zu erwarten. Eine einmalige Inokulation für einjährige Pflanzenarten ist erfahrungsgemäß ausreichend. Bei Dauerkulturen sollte die Impfung jährlich wiederholt werden.. Denn je zeitiger die Inokulation erfolgt, um so eher sind positive Effekte zu erwarten. Eine intensive Betreuung der Versuchsanlagen ist notwendig, da die gezielte Auswahl leistungsfähiger Mikroorganismen von den spezifischen Kulturbedingungen abhängig ist und damit auch über die Effizienz der Maßnah-

men entscheidet. Je nach Einsatz bedeutet dies erhebliche Kostensenkungen oder Ertragssteigerungen.

Tab. 4: Einfluß einer Mischung von arbuskulären Mykorrhizapilzen auf *Agrostis palustris* 'Pennlinks' nach vier Monaten (Mai bis August 1996), Inokulation zum Vertikutieren, Daten von allen Parzellen

| Varianten | Wiederholung | AMP-Besiedlung (%) | Wurzeltiefe (cm) |
|----------------------------|--------------|--------------------|------------------|
| Kontrolle | 1 | 31 | 6 |
| | 2 | 37 | 7 |
| | 3 | 34 | 7 |
| | Mittelwert | 34 | 6,7 |
| 1076 Sporen/m ² | 1 | 41 | 8 |
| | 2 | 48 | 11 |
| | 3 | 43 | 10 |
| | Mittelwert | 44 | 9,7 |
| 3228 Sporen/m ² | 1 | 42 | 10 |
| | 2 | 46 | 9 |
| | 3 | 46 | 10 |
| | Mittelwert | 45 | 9,7 |
| 5380 Sporen/m ² | 1 | 61 | 11 |
| | 2 | 55 | 9 |
| | 3 | 50 | 11 |
| | Mittelwert | 55 | 10,3 |

4 Ausblick

Auf den Erfahrungen von PHC aufbauend wurde 1998 die Vitalin Pflanzengesundheit GmbH (Ober-Ramstadt) gegründet. Diese eigenständige Vertriebsorganisation bietet in Deutschland PHC-Bodenhilfsstoffe und -Pflanzenstärkungsmittel mit Mykorrhiza und wachstumsfördernden Bakterien für die Bereiche Zierpflanzenbau, Obst- und Gemüsebau, Baumschule, Garten- und Landschaftsbau an. Die Schwerpunkte liegen im Aufbau eines Vertriebsnetzes und einer intensiven Anwendungsberatung. Dabei spielen Weiterentwicklung und Anpassung der Produkte an die speziellen deutschen Kulturbedingungen eine große Rolle.

5 Zusammenfassung

In einer mehrjährigen Studie wurden die Effekte von Ektomykorrhizapilzen *Pisolithus tinctorius* (Pt) bei *Quercus robur* L. und *Pinus radiata* L. zur Rekultivierung einer Bergbaufolgelandschaft in Ohio (USA) untersucht. Die Überlebensrate betrug bei 5 Mio. Pt-inokulierten Kiefern- und Eichensämlingen 85 %. Auf weniger als 5 % dieser Flächen war eine Nachpflanzung erforderlich. Bei den Kontrollen war die Überlebensrate nur zwischen 30 - 50 % und bei mehr als 70 % aller untersuchten Flächen eine Nachpflanzung erforderlich. Das Wachstum Pt-beimpfter Sämlinge wurde verbessert. In acht bis zehn Monaten konnten mykorrhizierte Sämlinge in Containern angezogen werden. Kontrollpflanzen benötigten zwei bis drei Jahre bis zum Erreichen dieser Qualität.

Der Einfluß von arbuskulären Mykorrhizapilzen (AMP) (Mischung von *Entrophospora ssp.*, *Glomus ssp.*) auf das Wachstum von Golfgras (*Agrostis palustris*) in Glenview (USA) wurde geprüft. Die Ergebnisse, visuellen Eindrücke und wirtschaftlichen Faktoren sprechen für die Ausbringung der geringen Sporenkonzentration von 1076 Sporen/m² für die kommerzielle Anwendung auf Golfgras. Die Wurzeltiefe wurde um 54 % und die AMP-Besiedlung um 62 % durch Inokulation mit AMP im Vergleich zur Kontrolle erhöht. Die Ergebnisse der inokulierten Parzellen waren sehr einheitlich.

6 Literaturverzeichnis

- CALDWELL, C.: CORDELL, C. E. und FARLEY, M. E., 1992: Ohio's abandoned mined lands reforestation program: A decade of success. Proc. 1992. Nat. Meet. Of the Am. Soc. for Surface Mining and Reclamation. Duluth, MN
- CORDELL, C.E. und MARX, D.H., 1991: Pt ectomycorrhizal fungus for mineland reclamation. Southwide For. Dis. Wkshp., Duke Univ., Durham, NC
- CORDELL, C.E., CALDWELL, C., MARX, D.H. und FARLEY, M.E., 1988: Operational production and utilization of ectomycorrhizal-inoculated tree seedlings for mineland reclamation. Univ. Kentucky, Lexington, Meeting held in Reno, NV, S. 193 - 207.
- CORDELL, C.E., FARLEY, M.E., OWEN, J.H. und MARX, D.H., 1987: A beneficial fungus for mineland reclamation. In: Innovative Approaches to Mined Land Reclamation, Proc. National Mined Land Reclamation Conference, St. Louis, MO, Oct. 28-29, 1986, Southern Illinois Univ. Press, Carbondale, S. 499 - 524.
- CORDELL, C.E., FOLEY, L., FARLEY, M.E., MARX, D.H. und CALDWELL, C., 1989: Ectomycorrhizae: beneficial fungi for mineland reclamation. In: Proc. Symposium on Evolution of Abandoned Mine Land Technologies, Riverton, WY, June 14 - 16, 1989, S. 193 - 207.
- CORDELL, C.E., MARX, D.H. und CALDWELL, C., 1991: Operational application of specific ectomycorrhizal fungi in mineland reclamation. In: Proc. 1991 Nat. Meeting of the Amer. Soc. of Surface Mining and Reclamation, 14-17 May, 1991, Durango, CO, S. 641 - 648.

- DAVIES, F.T. Jr. und CALL, C.A., 1990: Mycorrhizae, survival and growth of selected woody plant species in lignite overburden in Texas. *Ecosystems Environ.* **31**, S. 243-252
- DINELLI, D. und MARX, D.H., 1996: Response of Pennlinks Creeping Bent Grass to Plant Health Care's Turf Saver™. Plant Health Care, Inc., Pittsburgh, PA.
- MARX, D. H., 1991: The practical significance of ectomycorrhizae in forest establishment. In: *Ecophysiology of ectomycorrhizae of forest trees*. The Marcus Wallenberg Foundation Symposia Proceedings 7, Stockholm, Sweden, S. 54-90
- MARX, D.H. und ARTMAN, J.D., 1979: *Pisolithus tinctorius* ectomycorrhizae improve survival and growth of pine seedlings on acid coal spoils in Kentucky and Virginia. *Reclamation Review* **2**, S. 23 – 31.
- MARX, D.H. und CORDELL, C.E., 1988: Specific ectomycorrhizae improve reforestation and reclamation in the eastern United States. In: LALONDE, M. und PICHE, Y. (Hrsg.): *Proc. Canadian Workshop on Mycorrhizae in Forestry*, CRBF, Faculte de Foresterie et de Geodesie, Univ. Laval, Ste-Foy, Quebec, S. 75 – 86
- MARX, D.H. und RUEHLE, J.L., 1989: Ectomycorrhizae as biological tools in reclamation and revegetation of waste lands. In: MAHADEVAN, A., RAMAN, N. und NATURAJAN, K. (Hrsg.): *Mycorrhizae for a Green Asia*. Centre for Advanced Studies in Botany, University of Madras, Guindy Campus, Madras, India, S. 336 – 349.
- MARX, D.H., 1975: Mycorrhizae and establishment of trees on strip-mined lands. *The Ohio J. Sci.* **75**, S. 288 – 297.
- MARX, D.H., 1980: Role of mycorrhizae in forestation of surface mines. In: *Symposium on Trees for Reclamation in the eastern United States*. Sponsored by the Interstate Mining Compact Commission and the USDA Forest Service, Oct. 27-28, Lexington, KY, Gen. Tech. Report NE-61, S. 109 – 116.
- OHIO AML Reclamation Program 1986. *Costs of Reclamation and Anticipated Revenues*. State Reclamation Plan, Columbus, OH, Vol. 1, March 1986
- PHILLIPS, J.M. und HAYMAN, D.S., 1970: Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* **55**, 158-160
- WOLF, C.H., CORDELL, C.E. und KELLER, S.M., 1982: *Fungus speeds mine reclamation*. In: *Coal Age*, September 1982, McGraw Hill.

100 Jahre Pflanzenschutzforschung

- Heft 347, 1998: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Die Prüfung von Pflanzenschutzmitteln und Pflanzenschutzgeräten. Zusammengestellt von Dipl.-Ing. Siegfried Rietz, Dr. Helmut Ehle und Dr. Peter Kaul. 191 S., 37 Abb., 30 Tab., DM 45,--
- Heft 348, 1998: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Information, Recht, Geschichte. Zusammengestellt von Prof. Dr. Wolfrudolf Laux. 131 S., 7 Abb., 6 Tab., DM 30,--
- Heft 349, 1998: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Aktuelle Forschungsschwerpunkte im Forst- und Rebschutz. Zusammengestellt von Prof. Dr. Alfred Wulf. 117 S., 21 Abb., 3 Tab., DM 33,--
- Heft 350, 1998: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Geschichte der Institute und Dienststellen der Biologischen Bundesanstalt. Teil III. Zusammengestellt von Prof. Dr. Wolfrudolf Laux. 99 S., 20 Abb., 1 Tab., DM 29,--
- Heft 351, 1998: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Verschiedene Themen. Zusammengestellt von Dr. Hans Becker. 62 S., 5 Abb., 1 Tab., DM 19,--
- Heft 352, 1998: Die Biologische Reichsanstalt für Land- und Forstwirtschaft und die Entstehungsgeschichte eines reichseinheitlichen „Pflanzenschutzgesetzes“ (1914 bis 1937). Von Dr. phil. habil. Ulrich Sucker. DM 41,--
- Heft 353, 1998: Chronik zum 100-jährigen Jubiläum der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft. Ergänzt und fortgeführt von Prof. Dr. Wolfrudolf Laux. 106 S., 146 Abb., 1 Tab., DM 28,--

- Heft 354, 1998: Datenanforderungen und Entscheidungskriterien der Europäischen Union und der Bundesrepublik Deutschland im Zulassungsverfahren für Pflanzenschutzmittel. 156 S. DM 37,--
- Heft 355, 1998: Analytik von Pflanzenschutzmitteln in Luft. Kurzfassungen von Methoden. Bearbeitet von Dr. W. Rödel und Dr. J. Siebers. 229 S., DM 53,--
- Heft 356, 1998: Egg Parasitoids. 5th International Symposium. International Organisation for Biological Control. Cali, Colombia, Marsh 1998. Edited by Dr. S. A. Hassan. 197 S., 42 Abb., 60 Tab., DM 49,--
- Heft 357, 1998: 51. Deutsche Pflanzenschutztagung in Halle/Saale, 5.-8. Oktober 1998. Bearb. von Prof. Dr. Wolfrudolf Laux. 464 S., 51 Abb., 47 Tab., DM 64,--
- Heft 358, 1998: Data requirements and criteria for decision-making in the European Union and the Federal Republic of Germany for the authorization procedure of plant protection products. 158 S., DM 37,--
- Heft 359, 1998: Studien zum Befall des Weizens mit *Gaeumannomyces graminis* (Sacc.) von Arx et Oliver var. *tritici* Walker unter Berücksichtigung der Sorten- und Artenanfälligkeit sowie der Bekämpfung des Erregers. Von Dr. Horst Mielke. 140 S., 61 Tab., DM 30,--
- Heft 360, 1999: Über die Eignung verschiedener physikalisch-technischer Verfahren zur phytosanitären Behandlung und zur Lagerung von Forstsaatgut unter besonderer Berücksichtigung der Stiel- und Traubeneiche. Von Dipl.-Forstw. Thomas Schröder. 241 S., 50 Abb., 65 Tab., 6 Tafeln, DM 44,--
- Heft 361, 1999: 100 Jahre Pflanzenschutzforschung. Festveranstaltung zum 100-jährigen Jubiläum der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft am 08. Juni 1998 in Berlin. Zusammengestellt von Prof. Dr. Fred Klingauf. 60 S., 1 Abb., DM 19,50
- Heft 362, 1999: Forstschutzprobleme in Nationalparks und Naturschutzgebieten. Forest Protection Problems in National Parks and Nature Reserves. Symposium am 12. und 13. Mai 1998 in Braunschweig. Bearbeitet von Prof. Dr. Alfred Wulf und Dipl.-Forstwirt Karl-Heinz Berendes. 154 S., 53 Abb., 24 Tab., DM 39,--

Die „Bibliographie der Pflanzenschutzliteratur“ ist die gedruckte Version der Datenbank PHYTOMED. Zuletzt erschien Neue Folge Band 31, Heft 4, 1996, bearbeitet von Prof. Dr. W. Laux u. Mitarb.

Anschrift für Tauschsendungen:

Please address exchanges to:

Adressez échanges, s'il vous plaît:

Para el canje dirigirse por favor a:

Bibliothek der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft

Königin-Luise-Straße 19, D-14195 Berlin (Dahlem)

Postanschrift: 14191 Berlin

Werner Odenbach (Hrsg.)

Biologische Grundlagen der Pflanzenzüchtung

Ein Leitfaden für Studierende der Agrarwissenschaften, des Gartenbaus
und der Biowissenschaften

mit Beiträgen von Prof. Dr. Wulf Diepenbrock, Halle/Saale;
Prof. Dr. Karl Hammer, Gatersleben; Dr. Torsten Hoffmann, Potsdam;
Prof. Dr. Walter Hondelmann, Hamburg; Prof. Dr. Gertrud Linnert, Berlin;
Prof. Dr. Alexander Micke, Wien; Prof. Dr. Werner Odenbach, Berlin;
Prof. Dr. Werner Plarre, Berlin; Prof. Dr. Maria Dolores Sacristan, Berlin;
Prof. Dr. Otto Schieder, Berlin; Prof. Dr. Wolfgang Wernicke, Mainz;
Prof. Dr. Lothar Willmitzer, Golm

1997. XII, 384 Seiten mit 175 Abbildungen, davon 32 farbig, und
45 Tabellen. 17 x 24 cm. Broschiert. DM 98,- / öS 715,- / sFr 90,50
ISBN 3-8263-3096-X

Die Pflanzenzüchtung ist durch die gentechnische Forschung ins Gerede
gekommen. Auf viele Menschen wirken die scheinbar unkontrollierbaren
Möglichkeiten der Genmanipulation bedrohlich. Neben grundsätzlichen
Informationen zu diesem Sachverhalt ist es Hauptanliegen des Werkes,
über die wesentlichen biologischen Grundlagen pflanzenzüchterischen
Handelns zu informieren.

Jüngste Forschungsergebnisse der molekularen Biologie und Zellbiologie
wurden in den Darstellungen verarbeitet. Das Werk dient als Lehrbuch,
Informationsquelle und Nachschlagewerk zugleich.

In 12 Kapiteln werden die Entstehung von Kulturpflanzen, die physiologi-
schen Grundlagen der Entwicklung, des Ertrags und der Produktqualität
behandelt.

Es folgen Kapitel über die Anpassung der Kulturpflanzen an ihre Umwelt,
über die Biologie der geschlechtlichen Fortpflanzung mit besonderer
Berücksichtigung von Selbstinkompatibilität und cytoplasmatisch-
genetischer Pollensterilität und über die vegetative Vermehrung ein-
schließlich der in vitro Zell- und Gewebekulturmethoden. Die Besprechung
von Themen der molekularen und klassischen Genetik sowie der
Cytogenetik, Chromosomen- und Genommutationen schließt sich an.
Ein Kapitel ist der plasmatischen Vererbung gewidmet. Der Erzeugung
neuer genetischer Variation mit klassischen Techniken (Mutagenese,
Gewebebastarde, Polyploidisierung, Artbastardierung) und mit
biotechnischen Verfahren (somaklonale Variation, Zellfusion,
Gentechnik) ist das nächste Kapitel gewidmet. Das Buch schließt
mit einem Kapitel über molekulare Marker.

Preisstand: 1. April 1997

Zu beziehen durch den Buchhandel oder

Parey Buchverlag · Berlin

Kurfürstendamm 57 · D-10707 Berlin · Phone: +49 30 32 79 06-27/28

Fax: +49 30 32 79 06-44 · e-mail: parey@blackwis.de · Internet: <http://www.blackwis.com>

