

## **Einfluss unterschiedlicher Inokulationstiefen mit dem arbuskulären Mykorrhizapilz *Glomus mosseae* auf die Mykorrhizierung bei Reben (*Vitis* sp.) in Wurzelbeobachtungskästen**

von

M. PETGEN<sup>1)</sup>, A. SCHROPP<sup>1)</sup>, E. GEORGE<sup>2)</sup> und V. RÖMHELD<sup>2)</sup>

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

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

Herrn Prof. Dr. Drs. h.c. H. MARSCHNER posthum gewidmet

**Zusammenfassung:** In einem Gefäßversuch mit Grünstecklingen der Unterlagssorte SO 4 (*Vitis berlandieri* x *Vitis riparia*) wurde der Einfluss einer unterschiedlichen Bandinokulation mit dem AM-Pilz *Glomus mosseae* (Nicol. et Gerd.) Gerdemann et Trappe auf die Entwicklung des Pilzes innerhalb des Wurzelsystems untersucht. Hierbei wurde in 70 cm tiefe Wurzelbeobachtungskästen mit einem P-armen, sterilisierten Rebschulboden in eine Tiefe von 9–18 cm bzw. 36–45 cm eine 9 cm dicke Inokulationsschicht eingebracht. Im unmittelbaren Inokulationsbereich war bei beiden Inokulationsvarianten mit 45 bzw. 35 % der AM-Infektionsgrad am höchsten. Mit zunehmendem Abstand vom Inokulationsband waren die Rebwurzeln geringer mykorrhiziert bzw. es konnte keine AM-Infektion festgestellt werden. Durch die Inokulation im oberen Bodenbereich wurden Trockengewicht und P-Gehalt der SO 4-Stecklinge erhöht. Die Zn-Gehalte in den Blattspreiten waren bei beiden Inokulationsmethoden erhöht, der Cu-Gehalt bei Inokulation des unteren Bodenbereichs. Bereits eine Teilbesiedlung des Wurzelsystems mit AM führte zu ausreichenden Inokulationserfolgen in Form von erhöhten Nährstoffgehalten in den Blättern und erhöhter Trockensubstanzbildung. Die Inokulation in der größeren Bodentiefe (36–45 cm) führte zu einer verzögerten Mykorrhizierung der Wurzeln, so dass möglicherweise die positiven Effekte des AM-Pilzes bei dieser Inokulationsmethode nicht zum Tragen kamen.

### **Influence of different inoculum places of the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on mycorrhizal colonization in grapevine rootstocks (*Vitis* sp.)**

**Summary:** Grapevine rootstocks (*Vitis berlandieri* x *Vitis riparia*, cv. SO 4) were grown in pots with sterilised soil with low P level from a nursery to test the effect of a local supply of inoculum of an arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus mosseae* [Nicol. et Gerd.] Gerdemann et Trappe) on mycorrhizal colonization of the root system. The inoculum was placed in a 9-cm deep band either in 9–18 cm or in 36–45 cm soil depths. After 6 weeks of growth, mycorrhizal colonisation of roots was highest in the inoculated soil zone. With increasing distance from the inoculum band, mycorrhizal colonization decreased or was absent. When the inoculum was placed in the top soil, the shoot dry weight and the leaf blade Zn and P concentrations significantly increased in mycorrhizal as compared to non-mycorrhizal plants. When the inoculum was placed in 36–45 cm soil depth, leaf blade Zn and Cu concentrations increased in mycorrhizal plants, but shoot dry weight was not affected. In conclusion, a locally restricted mycorrhizal colonization of the root system was sufficient to increase growth and nutrient uptake of grape rootstocks.

**Key words:** grapevine, arbuscular mycorrhiza (AM), inoculum band, root growth.

#### **Einleitung**

Die arbuskuläre Mykorrhiza (AM) besteht aus der Wurzel der Wirtspflanze und den obligat biotrophen Pilzen der Ordnung *Glomales*, deren Strukturen sich in der Wurzelrinde inter- und intrazellulär ausbreiten. Neben dem in der Wurzel mehr oder weniger ausgeprägten Pilzmyzel treten bei manchen Pilzarten bläschenförmige Hyphenanschwellungen auf, die als Vesikel bezeichnet werden und die als Speicherorgane fungieren. Bei dieser Lebensgemeinschaft findet ein Stoffaustausch zwischen der Pflanze und dem Pilz statt. Die Wirtspflanze erhält über das im Boden weit ausgedehnte

Hyphengeflecht des Pilzes Mineralstoffe, der Pilz bekommt dafür die für seinen Stoffwechsel benötigten Kohlenhydrate. Die erhöhte Nährstoffaufnahme mykorrhizierter Pflanzen betrifft das Phosphat, aber auch Stickstoff (MONZON und AZCON 1996), Kupfer (GNEKOW und MARSCHNER 1989) und Zink (KOTHARI *et al.* 1991; DÍAZ *et al.* 1996).

Bei der Rebe konnte die arbuskuläre Mykorrhiza bereits mehrfach in Weinbergsböden nachgewiesen werden (SCHUBERT und CRAVERO 1985; BRENDL *et al.* 1990; KARAGIANNIDIS *et al.* 1997; MOHR 1997; PETGEN *et al.* 1998). Auch in Rebschulen, in denen die veredelten Pfropfreben für die Dauer einer Vegetationsperiode kultiviert und erst danach

an den endgültigen Standort im Weinberg verpflanzt werden, ist die arbuskuläre Mykorrhiza zu finden (PETGEN *et al.* 1997). Aus mehreren Veröffentlichungen ist bekannt, dass in Gefäßversuchen durch Inokulation mit unterschiedlichen Mykorrhizastämmen starke Wachstumssteigerungen bei Reben erreicht werden (KARAGIANNIDIS *et al.* 1995; BIRICOLI *et al.* 1997). Im Freiland sind Erfolge durch Inokulationen mit arbuskulären Mykorrhizapilzen seltener, jedoch konnte z.B. bei Mais (*Zea mays* L.) die Biomasseproduktion deutlich erhöht werden (BALTRUSCHAT 1987). In zwei Rebschulen konnten PETGEN *et al.* (1997) nach Inokulation mit *Glomus* sp. das Wachstum der Jungreben Riesling/5 C und Müller-Thurgau/5 BB (*Vitis vinifera* L./*V. berlandieri* x *V. riparia*) verbessern, obwohl der AM-Infektionsgrad nur 12 bzw. 17 % betrug.

Über die Ausbreitung einer Mykorrhizainfektion an Rebwurzeln gibt es in der Literatur kaum Hinweise. Daher war das Ziel der vorliegenden Untersuchung, mit Hilfe von Wurzelbeobachtungskästen und einer unterschiedlichen Bandinokulation mit dem AM-Pilz *Glomus mosseae* die Entwicklung des AM-Pilzes innerhalb des Wurzelsystems an Grünstecklingen sowie den Einfluss auf das Wachstum und die Nährstoffaufnahme in einem Gefäßversuch zu überprüfen.

### Material und Methoden

**B o d e n :** Für den Inokulationsversuch wurde ein Boden (Parabraunerde) verwendet, der aus einer Rebschule in Neustadt/W. (Rheinland-Pfalz) entnommen wurde. Der Boden wurde gesiebt (<25 mm) und anschließend bei einer Temperatur von 110 °C 8 h lang sterilisiert. Es handelte sich um einen mittel-lehmigen Sand (Tab. 1). Bis zum Versuchsbeginn wurde der Boden bei 2,5 °C gelagert.

**Pflanzenmaterial und Versuchsgefäße:** Verwendet wurden Grünstecklinge (Zweiaugenstecklinge) der Unterlagssorte SO 4 [N 201] (*Vitis berlandieri* x *Vitis riparia*). Als Versuchsgefäße wurden Wurzelbeobachtungskästen aus PVC mit 70 cm Höhe, 37 cm Breite und 9 cm Tiefe eingesetzt, deren eine Vorderseite aus einer abnehmbaren Plexiglasplatte bestand. Um die Rebwurzeln vor Licht zu schützen, wurden die Gefäße mit schwarzer Folie abgedeckt.

**Versuchsordnung:** Beim Befüllen der Schrägwandgefäße wurden je nach Variante Inokulumbänder in einer Gefäßtiefe von 9-18 cm („oben“) bzw. 36-45 cm („unten“) eingebracht (Abb. 1). Die Inokulation erfolgte mit dem arbuskulären Mykorrhizapilz (AM) *Glomus mosseae* (Nicol.

et Gerd.) Gerdemann et Trappe. Das Inokulum enthielt AM-infizierte Wurzeln aus einer Vermehrungskultur von *Glomus mosseae* an Weißklee (*Trifolium repens* L., cv. Huja) in Seramis®. Das ursprüngliche Inokulum wurde von Dr. E. SIEVERDING isoliert und im Institut für Pflanzenernährung der Universität Hohenheim an Mais vermehrt. Pro Inokulumband wurden 2500 ml Inokulum mit einer Höhe von 9 cm in die Gefäße eingefüllt. Die nicht mykorrhizierten Varianten (Kontrolle) erhielten die gleiche Menge Inokulum von nicht mykorrhizierten Kleepflanzen. Der Versuchsboden hatte beim Einfüllen in die Gefäße einen Wassergehalt von 15 % (w/w). Die Gefäße wurden je nach Bedarf mit Leitungswasser gegossen. Der Versuch wurde im Gewächshaus bei einer durchschnittlichen Temperatur von 25 ± 2 °C am Tag (16 h) bzw. 22 ± 3 °C in der Nacht (8 h) in der Zeit vom 07.04. bis 20.05.1997 durchgeführt.

Die Bodenoberfläche wurde zur Verringerung der Evaporation mit einer 5 cm dicken Quarzkiesschicht (Ø 5-8 mm) abgedeckt. Jedes Gefäß wurde mit zwei Reben bepflanzt. Pro Variante und Erntetermin standen 4 Wiederholungen zur Verfügung.

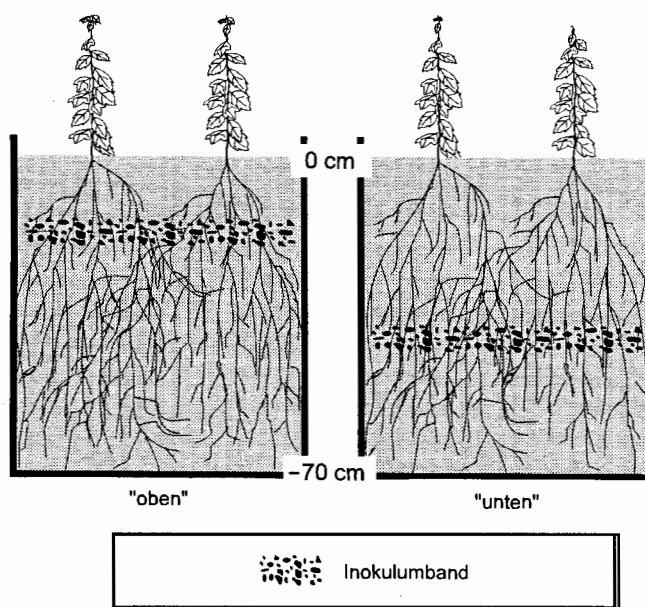


Abb. 1: Schematische Darstellung der Versuchsgefäße mit Inokulationsbereich „oben“ (Inokulumband in einer Gefäßtiefe von 9-18 cm) und „unten“ (Inokulumband in einer Gefäßtiefe von 36-45 cm).

Schematic details of the pots used in the experiment (the inoculum was placed in a 9-cm deep band either in 9-18 cm (left) or in 36-45 cm (right) soil depth).

Tabelle 1

Chemische und physikalische Eigenschaften des Versuchsbodens

Chemical and physical properties of the experimental soil

Humus (%)	pH	P (mg 100 g <sup>-1</sup> Boden)	K	Mg	Korngrößenverteilung (%)		
					Ton	Schluff	Sand
2,9	5,9	2,2	15,0	14,0	11,4	19,5	69,1

**Ernte der Versuchspflanzen und Analysen:** Die erste Ernte der Versuchspflanzen erfolgte nach 4-wöchiger Wachstumsphase. Zu diesem Zeitpunkt wurde der Infektionsgrad der Wurzeln (infizierte Wurzellänge in %) ermittelt. Eine Bestimmung der Trockenmasse des oberirdischen Aufwuchses erfolgte nicht. Die zweite Ernte erfolgte 6 Wochen nach Versuchsbeginn. Die Reben wurden am unteren Ende dekapitiert und nach Blattstielen und Sprossachsen (mit Blattstielen) getrennt geerntet. Nach der Bestimmung des Frischgewichts wurde das Trockengewicht des Pflanzenmaterials nach einer Trocknung bei 80 °C bis zur Gewichtskonstanz bestimmt. Dabei wurde das Frisch- bzw. Trockengewicht pro Pflanzgefäß von beiden Stecklingen zu einem Mittelwert zusammengefasst. Die Wurzeln wurden schichtweise in verschiedenen Blöcken (9 cm hoch, 9 cm tief und 37 cm breit) aus den Versuchsgefäßen entnommen. Hierbei wurden die Wurzeln sorgfältig aus dem Bodenblock ausgelesen und das Frischgewicht bestimmt. Pro Pflanzgefäß wurden aus den Tiefenstufen 0-9/9-18/18-27/27-36/36-45/45-54/54-66 cm sieben Wurzelproben untersucht. Für die Bestimmung der Mykorrhizainfektion wurden die Wurzelproben in Anlehnung an die Methode von KOSKE und GEMMA (1989) in 10 %iger KOH für ca. 1-2 h gebleicht und anschließend in alkalischer 3 %iger H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> für 10 min nachgebleicht. Danach wurden die Wurzeln mit saurer Glycerinlösung (0,05 % in Trypanblau) gefärbt. Die Bestimmung des Infektionsgrades der Wurzeln erfolgte mit der Intersektionsmethode nach GIOVANNETTI und MOSSE (1980). Für die Mineralstoffanalyse erfolgte die Trockenveraschung der Blätter bei 500 °C. Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen, Mangan, Kupfer und Zink wurden am Atom-Absorptionsspektrometer (Perkin-Elmer, 420) bestimmt, Phosphat kolorimetrisch nach der Methode GERICKE und KURMIES (1952) am Spektralphotometer (Perkin-Elmer, 554).

**Statistische Auswertung:** Die statistische Verrechnung der Daten erfolgte mit Hilfe der Varianzanalyse. Die Prozentzahlen der Infektionsgrade wurden nach

$$y \geq \arcsin \sqrt{\gamma/100}$$

transformiert, da die Daten nicht normalverteilt waren. Bei Signifikanzen des F-Wertes wurden die Mittelwerte mit dem Dunnett-Test verglichen. Signifikante Unterschiede sind jeweils mit 5% Irrtumswahrscheinlichkeit ( $p \leq 5\%$ ) angegeben.

## Ergebnisse

Nach 4-wöchiger Wachstumsphase wiesen die Rebwurzeln im unmittelbaren Inokulationsbereich (9-18 cm, „oben“ bzw. 36-45 cm, „unten“) Infektionsgrade von 30 bzw. 17 % auf (infizierte Wurzellänge in %, Abb. 2). Die Rebwurzeln im angrenzenden Bodenbereich waren sowohl oberhalb als auch unterhalb des Inokulumbandes bei beiden Inokulationsbereichen deutlich geringer infiziert. In der Versuchsvariante mit dem Inokulationsband „oben“ wurde ab einer Tiefe von 36 cm keine Mykorrhizainfektion an den Rebwurzeln festgestellt. Beim Inokulationsbereich „unten“ waren die Rebwurzeln bis zu einer Tiefe von 27 cm nicht mykorrhiziert.

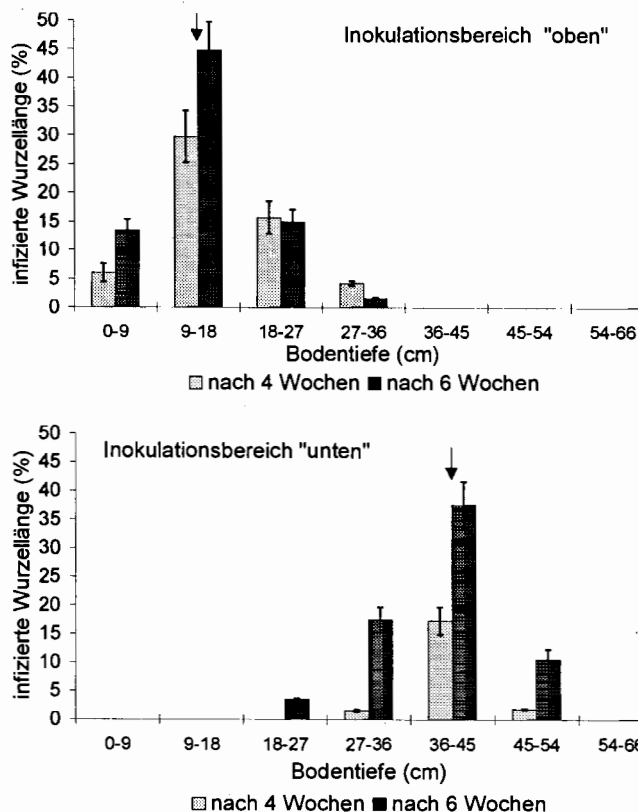


Abb. 2: Einfluss unterschiedlicher Inokulationstiefen mit dem AM-Pilz *Glomus mosseae* auf den Infektionsgrad (infizierte Wurzellänge in %) bei 4 und 6 Wochen alten Grünstecklingen der Unterlagsrebsorte SO 4. (Pfeil zeigt die Platzierung des Inokulumbandes an). Inokulationsbereich "oben" in einer Gefäßtiefe von 9-18 cm; Inokulationsbereich "unten" in einer Gefäßtiefe von 36-45 cm. Mittelwerte, n=4; Fehlerbalken kennzeichnen Standardabweichung vom Mittelwert.

Effect of different placement of inoculum of the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on mycorrhizal colonization (percentage of root length colonized by mycorrhizal fungi) of four- and six-week-old cuttings of the grape rootstock SO 4. Arrow shows the position of the inoculum band. "oben" = top, placement of inoculum in 9-18 cm soil depth; "unten" = bottom, placement of inoculum in 36-45 cm soil depth. (Means, n=4; bars denote standard deviation).

Nach 6-wöchiger Wachstumsphase waren die Rebwurzeln in beiden Versuchsvarianten deutlich stärker mykorrhiziert. Im unmittelbaren Inokulationsbereich (9-18 cm, „oben“ bzw. 36-45 cm, „unten“) betrug der Infektionsgrad 45 bzw. 35 %. Die Wurzeln in den angrenzenden Bodenbereichen waren ähnlich wie nach vier Wochen Wachstum geringer mykorrhiziert. Ab einer Tiefe von 36 cm konnte bei der Versuchsvariante „oben“ keine Mykorrhizainfektion an den Rebwurzeln festgestellt werden. In der Versuchsvariante „unten“ wurde ähnlich wie nach 4-wöchiger Wachstumsphase in den oberen 18 cm keine Mykorrhizainfektion beobachtet. In den Kontrollvarianten ohne AM-Pilzinokulum wurde bei beiden Inokulationsvarianten zu keinem Erntetermin eine AM-Infektion beobachtet.

Die mykorrhizierten Reben hatten bei der Inokulationsvariante „oben“ nach 6-wöchiger Wachstumsphase mit 11,7 g Sprosstrockengewicht (TS) je Pflanzgefäß ein signifikant höheres Trockengewicht als die Kontrollpflanzen ohne Mykorrhiza mit 9,3 g TS je Pflanzgefäß (Tab. 2). Dagegen führte die Inokulation mit dem Mykorrhizapilz *Glomus*

Tabelle 2

Einfluss unterschiedlicher Inokulationstiefen mit dem AM-Pilz *Glomus mosseae* auf das Sprossstreckengewicht bei sechs Wochen alten Grünstecklingen der Unterlagsrebsorte SO 4. "Oben" = Inokulationsbereich in einer Gefäßtiefe von 9-18 cm; "Unten" = Inokulationsbereich in einer Gefäßtiefe von 36-45 cm. (Werte mit unterschiedlichen Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede [Dunnett-Test,  $p \leq 0,05$ ], Mittelwerte  $\pm$  SD,  $n=4$ )

Effect of different placement of inoculum of the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on the shoot dry weight of six-week-old cuttings of the grape rootstock SO 4. "Oben" = top, placement of inoculum in 9-18 cm soil depth; "Unten" = bottom, placement of inoculum in 36-45 cm soil depth. (Means and standard deviations;  $n=4$ , different letters indicate significant differences [Dunnett-test,  $p \leq 0.05$ ])

Inokulationstiefe	Behandlung	Sprossstreckengewicht (g Gefäß <sup>-1</sup> )
"Oben"	- AM	9,3 $\pm$ 0,5 a
	+ AM	11,7 $\pm$ 0,8 b
"Unten"	- AM	9,1 $\pm$ 0,9 a
	+ AM	10,5 $\pm$ 0,7 a

*mosseae* bei der Versuchsvariante „unten“ zu keinen signifikanten Wachstumsunterschieden zwischen den mykorrhizierten Reben und der Kontrolle.

In den Tab. 3 und 4 sind die Mikro- bzw. Makronährstoffgehalte in den Blattspreiten der mit *Glomus mosseae* beimpften und unbeimpften SO 4-Stecklinge wiedergegeben. Die Cu-Gehalte in den Blattspreiten waren bei beiden Inokulationsmethoden in den beimpften Varianten höher als in den unbeimpften Varianten. Allerdings waren die Unterschiede nur bei der Inokulationsmethode „unten“ statistisch abzusichern. Ein deutlicher Effekt der Mykorrhizainokulation auf die Zn-Gehalte trat bei beiden Inokulationsmethoden in vergleichbarem Maße auf und führte bei den mykorrhizierten Pflanzen zu signifikant höheren Zn-Gehalten in den Blattspreiten als bei den nicht mykorrhizierten Pflanzen. Die Mn-Gehalte waren durch die Mykorrhizierung verringert, die

Unterschiede waren jedoch nicht signifikant. Die Inokulation mit dem AM-Pilz führte zu höheren P-Gehalten in den Blattspreiten, jedoch nur bei der Inokulationsmethode „oben“ (Tab. 3). Bei den Gehalten von K, Ca und Fe traten zwischen den nicht-infizierten und den infizierten Reben bei beiden Inokulationsmethoden keine signifikanten Unterschiede auf.

## Diskussion

Die Grünstecklinge der Unterlagsrebsorte SO 4 hatten nach 4-wöchiger Wachstumsphase die Versuchsgefäße nicht vollständig durchwurzelt. Erst nach 6 Wochen war der gesamte Wurzelkasten durchwurzelt. Dies entsprach bei einer Höhe des Versuchsgefäßes von 70 cm (abzüglich 4 cm Kiesauflage) und einer Wachstumsdauer von 42 d einem durchschnittlichen Tiefenwachstum der Rebwurzeln von 1,6 cm d<sup>-1</sup>. Ähnliche Ergebnisse erzielte MOHR (1988) in mit Weinbergserde gefüllten Wurzelkästen bei wurzelechten Rieslingstecklingen. Bei den Wurzeln 1. Ordnung stellte der Autor Tiefenwachstumsraten von durchschnittlich 1,2 cm d<sup>-1</sup> fest, bei den Wurzeln 2. Ordnung 0,5 cm d<sup>-1</sup>. HILTON und KHATAMIAN (1973) fanden in Freilandversuchen an Reben im späten Frühjahr Wurzelwachstumsraten von 1 cm d<sup>-1</sup>. Die Wachstumsrate und -richtung von Rebwurzeln wird durch zahlreiche pedogene Faktoren wie Nährstoffgehalt des Bodens, pH-Wert und Belüftung des Bodens beeinflusst (MORLAT und JACQUET 1993). Der eingesetzte Rebschulboden ermöglichte den Stecklingen aufgrund des hohen Sandgehalts ideale Wachstumsmöglichkeiten, wie sie auch im Freiland in rebschulfähigen Böden vorzufinden sind.

Das verbesserte Wachstum der mykorrhizierten Reben, insbesondere bei der Inokulationstiefe „oben“, könnte auf eine verbesserte Nährstoffversorgung der mykorrhizierten Pflanzen zurückgeführt werden (Tab. 3 und 4). Der P-Gehalt in den Blattspreiten wurde durch die Beimpfung „oben“ mit dem AM-Pilz von 2,1 auf 2,5 mg P·g<sup>-1</sup> TS erhöht. Ähnliche Ergebnisse fanden BAVARESCO und FOGHER (1996), die nach Inokulation mit dem AM-Pilz *Glomus mosseae* bei einjähri-

Tabelle 3

Einfluss unterschiedlicher Inokulationstiefen mit dem AM-Pilz *Glomus mosseae* auf die Mikronährstoffgehalte in der Trockensubstanz (TS) der Blattspreiten bei sechs Wochen alten Grünstecklingen der Unterlagsrebsorte SO 4. "Oben" = Inokulationsbereich in einer Gefäßtiefe von 9-18 cm; "Unten" = Inokulationsbereich in einer Gefäßtiefe von 36-45 cm. (Werte mit unterschiedlichen Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede [Dunnett-Test,  $p \leq 0,05$ ], Mittelwerte  $\pm$  SD,  $n=4$ )

Effect of different placement of inoculum of the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on concentrations of micro-nutrients in the leaf blade dry matter of six-week old cuttings of the grape rootstock SO 4. "Oben" = top, placement of inoculum in 9-18 cm soil depth; "Unten" = bottom, placement of inoculum in 36-45 cm soil depth. (Means and standard deviations;  $n=4$ , different letters indicate significant differences [Dunnett-test,  $p \leq 0.05$ ])

Inokulationstiefe	Behandlung	Cu	Zn	Fe	Mn
			(mg kg <sup>-1</sup> TS)		
"Oben"	- AM	14,3 $\pm$ 1,0 a	33,1 $\pm$ 3,4 a	144,1 $\pm$ 11,1 a	150,1 $\pm$ 11,4 a
	+ AM	15,0 $\pm$ 1,9 a	40,4 $\pm$ 8,7 b	150,8 $\pm$ 9,3 a	136,3 $\pm$ 9,1 a
"Unten"	- AM	13,6 $\pm$ 0,8 a	30,8 $\pm$ 0,9 a	146,3 $\pm$ 10,5 a	211,2 $\pm$ 37,6 a
	+ AM	17,1 $\pm$ 1,4 b	34,5 $\pm$ 5,2 b	139,2 $\pm$ 10,2 a	184,7 $\pm$ 28,5 a

Tabelle 4

Einfluss unterschiedlicher Inokulationstiefen mit dem AM-Pilz *Glomus mosseae* auf die Makronährstoffgehalte in der Trockensubstanz (TS) der Blattspreiten bei sechs Wochen alten Grünstecklingen der Unterlagsrebsorte SO 4. „Oben“ = Inokulationsbereich in einer Gefäßtiefe von 9-18 cm; „Unten“ = Inokulationsbereich in einer Gefäßtiefe von 36-45 cm. (Werte mit unterschiedlichen Buchstaben kennzeichnen signifikante Unterschiede [Dunett-Test,  $p \leq 0,05$ ], Mittelwerte  $\pm$  SD,  $n=4$ )

Effect of different placement of inoculum of the mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* on concentrations of macro-nutrients in the leaf blade dry matter of six-week-old cuttings of the grape rootstock SO 4. „Oben“ = top, placement of inoculum in 9-18 cm soil depth; „Unten“ = bottom, placement of inoculum in 36-45 cm soil depth. (Means and standard deviations;  $n=4$ , different letters indicate significant differences [Dunett-test,  $p \leq 0.05$ ])

Inokulationstiefe	Behandlung	Mg	K	Ca		P
				(mg g <sup>-1</sup> TS)		
"Oben"	- AM	2,8 $\pm$ 0,1 a	12,5 $\pm$ 1,0 a	16,8 $\pm$ 0,8 a	2,1 $\pm$ 0,1 a	
	+ AM	2,6 $\pm$ 0,2 a	13,2 $\pm$ 0,4 a	15,9 $\pm$ 1,7 a	2,5 $\pm$ 0,2 b	
"Unten"	- AM	2,9 $\pm$ 0,1 a	13,2 $\pm$ 1,0 a	17,5 $\pm$ 2,1 a	2,4 $\pm$ 0,4 a	
	+ AM	2,7 $\pm$ 0,1 a	13,2 $\pm$ 0,7 a	17,6 $\pm$ 0,7 a	2,2 $\pm$ 0,2 a	

gen Stecklingen der Pfropfkombinationen Weißburgunder mit den Unterlagen SO 4 und 41 B in den Blättern höhere P-Gehalte feststellten.

Der Einfluss der Mykorrhiza auf die Nährstoffaufnahme der Wirtspflanze liegt in erster Linie in der Oberflächenvergrößerung durch die weit über die Rhizosphäre hinausreichenden Pilzhyphen. LI *et al.* (1991) fanden in Gefäßversuchen mit Weißklee (*Trifolium repens* L.), dass bei den mit dem AM-Pilz *G. mosseae* inokulierten Pflanzen die Gesamt-P-Aufnahme in zwei unterschiedlichen Böden zu 70 bzw. 80 % über die Pilzhyphen erfolgte. Neben der erhöhten Phosphataufnahme wird in der Literatur auch für die Mikronährstoffe Zn und Cu ein Beitrag der Mykorrhiza zur Aufnahme in die Pflanze beschrieben (MARSCHNER und DELL 1994). Dies steht im Einklang mit der vorliegenden Untersuchung, in der die Zn- und teilweise die Cu-Gehalte durch die Beimpfung mit dem AM-Pilz in den Blattspreiten der Reben erhöht waren. Ebenso fanden GNEKOW und MARSCHNER (1989) in der Wurzel und in den Blattspreiten von Apfel erhöhte Zn- und Cu-Gehalte. In der vorliegenden Untersuchung kann von einem Beitrag der Mykorrhiza zur Nährstoffaufnahme der immobilen Nährstoffe P, Cu und Zn über die AM-Hyphen ausgegangen werden.

Durch die Inokulation mit dem AM-Pilz *Glomus mosseae* betrug der AM-Infektionsgrad der Rebwurzeln im unmittelbaren Inokulationsbereich nach 6 Wochen 45 % („oben“) bzw. 35 % („unten“). BIRICOLI *et al.* (1997) inokulierten Einaugenstecklinge der Unterlagsorte 5 BB mit den AM-Pilzen *G. constrictus*, *G. deserticola* und *G. mosseae* und fanden ähnlich hohe Infektionsgrade an den Rebwurzeln wie in der vorliegenden Untersuchung. Verschiedene Autoren haben mehrere Modelle entwickelt, mit denen das Wachstum von Mykorrhizainfektionen in pflanzlichen Wurzelsystemen beschrieben werden kann (SANDERS und SHEIKH 1983; BUWALDA *et al.* 1984; AMIJEE *et al.* 1986). So geben z. B. BUWALDA *et al.* (1984) eine Zeitspanne zwischen Beimpfung und Sichtbarwerden der Infektion von 5 d an. Die Dauer für die Ausbreitung des Mykorrhizapilzes wird durch den Entwicklungszyklus des Pilzes bestimmt. Nach der Keimung einer Spore breiten sich die Pilzhyphen aus, bis eine

Wirtspflanzenwurzel erreicht wird. TOMMERUP (1984) stellte in ihren Untersuchungen fest, dass die Bildung einer Keimhyphne aus einer Spore von *Glomus caledonium* 6 d benötigte. In ihrem Modell zur Beschreibung der Infektionsausbreitung im Wurzelsystem von Lauchpflanzen bestimmten BUWALDA *et al.* (1984) eine konstante Längenwachstumsrate des infizierten Segmentes der Einzelwurzel. AMIJEE *et al.* (1986) und GNEKOW (1988) stellten Werte von 2-5,3 mm d<sup>-1</sup> fest. Dieser Wert konnte annähernd in den vorliegenden Untersuchungen für Rebwurzeln bestätigt werden. Der Infektionsgrad der Rebwurzeln nahm von der Inokulationsschicht ausgehend mit zunehmender Bodentiefe ab. Bei der Inokulation „oben“ (Inokulumband in 9-18 cm Bodentiefe) war ab einer Tiefe von 36 cm keine AM-Infektion mehr nachweisbar. Ein möglicher Grund für die geringe Ausbreitung des AM-Pilzes *G. mosseae* im vorliegenden Versuchssystem könnte folglich in der hohen Wachstumsgeschwindigkeit der Rebwurzeln liegen.

Das Wurzelsystem der SO 4-Grünstecklinge war durch die Inokulation mit *G. mosseae* nur teilweise mit AM infiziert. Trotzdem waren die Trieblänge und das Trockengewicht in der Inokulationsvariante „oben“ deutlich erhöht (Tab. 2). Dies deutet darauf hin, dass die Rebe bereits bei einer Teilbesiedlung des Wurzelsystems mit einem AM-Pilz mit verstärktem Wachstum reagiert. Das Zusammentreffen der Rebwurzeln mit dem AM-Inokulum bei der Inokulationsmethode „unten“ erfolgte sehr spät. Eine mykorrhizabedingte Wachstumsförderung und erhöhte P-Gehalte in den Blättern wie bei der Inokulationsvariante „oben“ konnte bei der Inokulationsmethode „unten“ nicht beobachtet werden. BIRICOLI *et al.* (1997) stellten in ihren Untersuchungen fest, dass nach Inokulation mit verschiedenen Mykorrhizapilzen Einaugenstecklinge der Unterlagsorte 5 BB mit unterschiedlichem Wachstum auf die Besiedlung durch AM-Pilze reagierten. Während die mit *G. mosseae* und *G. constrictus* beimpften Stecklinge mit stärkerem Wachstum reagierten, war die Wachstumssteigerung bei den mit *G. deserticola* beimpften Stecklingen deutlich geringer, obwohl *G. deserticola* zu den höchsten Infektionsgraden an den Wurzeln führte. Dies deutet darauf hin, dass der durch einen AM-Pilz

hervorgehobene Infektionsgrad nicht allein für das verbesserte Wachstum verantwortlich gemacht werden kann.

PETGEN *et al.* (1997) stellten nach der Freilandinokulation mit einem AM-Pilz in einer Rebschule erhöhte Infektionsgrade an Pfropfbreben fest. Daraus resultierten nach 14-wöchiger Wachstumsphase signifikant größere Triebblängen an den inokulierten Reben bei einem durchschnittlichen Infektionsgrad der Wurzeln von 12 bzw. 17%. Die vorliegende Versuchsanstellung entsprach in etwa einer im Gefäßversuch simulierten Feldinokulation, bei der die Reben, ähnlich wie in der Rebschule, durch ein Inokulumband hindurchwachsen. Dabei nahm der AM-Infektionsgrad an den Rebwurzeln mit zunehmender Entfernung vom Inokulumband ab. Im Freilandversuch von PETGEN *et al.* (1997) wurden die Wurzelproben nicht schichtweise im Abstand vom Inokulum geerntet, sondern der AM-Infektionsgrad wurde an einer Wurzelprobe bestimmt. Der dort festgestellte niedrige Infektionsgrad weist darauf hin, dass die Rebwurzeln im Freiland nach dem Durchwachsen des Inokulumbandes nur geringfügig infiziert werden.

SIEVERDING (1985) berichtet dagegen von Inokulations-erfolgen mit Maniok (*Manihot esculenta* Crantz) und über unterschiedliche Platzierungsmethoden von VA-Mykorrhizapilzen im Freiland. Insbesondere bei der Platzierung des Beimpfungsmaterials *Glomus manihotis* unterhalb des Steckholzes konnte der Autor eine Infektion der Wurzel mit *G. manihotis* auch außerhalb des Inokulationsbereiches beobachten. Die größte Infektionsrate fand SIEVERDING (1985) drei Monate nach der Inokulation. BIERMANN und LINDERMAN (1983) stellten bei Inokulationsversuchen mit Geranienstecklingen (*Pelargonium x hortorum* L.H. Bailey) auch an den neu gebildeten Wurzeln außerhalb der Inokulations-schicht ähnlich hohe AM-Infektionen fest wie an den Wurzeln aus dem Boden-Inokulum-Gemisch. Über die Ausbildung der externen Mykorrhiza-Hyphen werden durch Sekundärinfektionen neue Wurzeln infiziert. Möglicherweise hat der AM-Pilz in der vorliegenden Untersuchung nur unzureichende externe Hyphen ausgebildet. Es kam nicht zu Sekundärinfektionen, so dass die Rebwurzeln unterhalb des Inokulumbandes nicht mehr infiziert wurden.

Die Ergebnisse unserer Untersuchung zeigen, dass in Rebwurzeln nach Bandinokulation mit AM das Wurzelsystem nur im angrenzenden Bodenbereich an das Bandinokulum hinreichend besiedelt wird. Die erhöhte Trockensubstanzbildung der mykorrhizierten Reben zeigt jedoch eindeutig, dass bereits eine Teilbesiedlung des Wurzelsystems mit AM ausreicht, die Rebe mit mehr Nährstoffen zu versorgen. Inwieweit dieser Effekt auf nicht sterilisierte Böden im Freiland mit autochthonen Mykorrhizapilzen übertragbar ist, muss in weiteren Untersuchungen analysiert werden.

### Danksagung

Wir danken dem Forschungsring des Deutschen Weinbaues (FDW) bei der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) für die finanzielle Unterstützung der vorliegenden Untersuchung.

### Literatur

- AMJEE, F.; STRIBLEY, D. P.; TINKER, P. B.; 1986: The development of endomycorrhizal root systems. 6. The relationship between development of infection and intensity of infection in young leek roots. *New Phytol.* **102**, 293-301.
- BALTRUSCHAT, H.; 1987: Field inoculation of maize with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi by using expanded clay as carrier material for mycorrhiza. *Z. Pflanzenkrankh. Pflanzensch.* **94**, 419-430.
- BAVARESCO, L.; FOGHER, G.; 1996: Lime-chlorosis occurrence and leaf mineral composition of grapevine treated by root microorganisms. *J. Plant Nutr.* **19**, 87-98.
- BIERMANN, B. J.; LINDERMAN, R. G.; 1983: Increased geranium growth using pretransplant inoculation with a mycorrhizal fungus. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* **108**, 972-976.
- BIRICOLI, S.; FERRINI, F.; RINALDELLI, E.; TAMANTINI, I.; VIGNOZZI, N.; 1997: VAM fungi and soil lime content influence rootstock growth and nutrient content. *Amer. J. Enol. Viticult.* **48**, 93-99.
- BRENDEL, G.; BÜSCHER, E.; STEINBERG, B.; 1990: Untersuchungen über das Vorkommen der vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza in Weinbergsböden des Rheingaus. *Wein-Wiss.* **45**, 97-100.
- BUWALDA, J. G.; STRIBLEY, D. P.; TINKER, P. B.; 1984: The development of endomycorrhizal root systems. 5. The detailed pattern of development of infection and the control of infection level by host in young leek plants. *New Phytol.* **96**, 411-427.
- DIAZ, G.; AZCÓN-AGUILAR, C.; HONRUBIA, M.; 1996: Influence of arbuscular mycorrhizae on heavy metal (Zn and Pb) uptake and growth of *Lygeum spartum* and *Anthyllis cytisoides*. *Plant Soil* **180**, 241-249.
- GERICKE, S.; KURMIES, B.; 1952: Die kolorimetrische Phosphorbestimmung mit Ammoniumvanadatmolybdat und ihre Anwendung in der Pflanzenanalyse. *Z. Pflanzenern. Düng. Bodenk.* **59**, 235-247.
- GIOVANNETTI, M.; MOSSE, B.; 1980: An evaluation of techniques for measuring VAM infection in roots. *New Phytol.* **84**, 489-500.
- GNEKOW, M. A.; 1988: Die Rolle von VA-Mykorrhiza bei der Phosphat-ernährung von Kulturpflanzen in Abhängigkeit von Phosphat-düngung und Bewirtschaftungsweise. Dissertation Universität Hohenheim.
- -; MARSCHNER, H.; 1989: Role of VA-mycorrhiza in growth and mineral nutrition of apple (*Malus pumila* var. *domestica*) rootstock cuttings. *Plant Soil* **119**, 285-293.
- HILTON, R. J.; KHATAMIAN, H.; 1973: Diurnal variation in elongation rates of roots of woody plants. *Canad. J. Plant Sci.* **53**, 699-700.
- KARAGIANNIDIS, N.; NIKOLAOU, N.; MATTHEOU, A.; 1995: Wirkung dreier VA-Mykorrhizapilze auf Ertrag und Nährstoffaufnahme von drei Unterlagen und einer Tafeltraubensorte. *Vitis* **34**, 85-89.
- -; VELEMIS, D.; STAVROPOULOS, N.; 1997: Root colonization and spore population by VA-mycorrhizal fungi in four grapevine rootstocks. *Vitis* **36**, 57-60.
- KOSKE, R. E.; GEMMA, J. N.; 1989: A modified procedure for staining roots to detect VA-mycorrhizas. *Mycol. Res.* **92**, 486-488.
- KOTHARI, S. K.; MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V.; 1991: Contribution of the VA mycorrhizal hyphae in acquisition of phosphorus and zinc by maize grown in a calcareous soil. *Plant Soil* **131**, 177-185.
- LI, X. L.; GEORGE, E.; MARSCHNER, H.; 1991: Phosphorus depletion and pH decrease at the root-soil and hyphae-soil interfaces of VA mycorrhizal white clover fertilized with ammonium. *New Phytol.* **119**, 397-404.
- MARSCHNER, H.; DELL, B.; 1994: Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. *Plant Soil* **159**, 89-102.
- MOHR, H. D.; 1988: Untersuchungen zum Wachstum von Rebwurzeln in Wurzelbeobachtungskästen. *Deutsches Weinbau-Jahrbuch* **40**, 87-96.
- -; 1997: Wachstum und Mykorrhizierung von Rebwurzeln in Weinbergen des Moseltals. In: FELIX-HENNINGSSEN, P.; WEGENER, H. R. (Hsg.): *Boden und Landschaft. Schriftenreihe Bodenk. Landesk. Landschaftsökol.*, Bd. 17, 63-76. Justus-Liebig-Universität, Gießen.
- MONZON, A.; AZCÓN, R.; 1996: Relevance of mycorrhizal fungal origin and host plant genotype to inducing growth and nutrient uptake in *Medicago* species. *Agricult. Ecosyst. Environ.* **60**, 9-15.

- MORLAT, R.; JACQUET, A.; 1993: The soil effects on the grapevine root system in several vineyards of the Loire valley (France). *Vitis* **32**, 35-42.
- PETGEN, M.; SCHROPP, A.; MARSCHNER, H.; RÖMHELD, V.; 1997: Untersuchungen über das Vorkommen der arbuskulären Mykorrhiza in verschiedenen Rebschulböden der Pfalz sowie deren praktische Anwendung in der Rebschule. Mitt. Biol. Bundesanst. Land- und Forstwirtsch. Berlin Dahlem, Heft 332, 32-46.
- - -; Römheld, V.; 1998: Einfluss verschiedener Bodenpflege-  
maßnahmen und Begrünungsvarianten auf die autochthone My-  
korrhiza in einem Weinberg. *Wein-Wiss.* **53**, 11-17.
- SANDERS, F. E.; SHEIKH, N. A.; 1983: The development of vesicular-  
arbuscular mycorrhizal infection in plant root systems. *Plant Soil* **71**,  
223-246.
- SCHUBERT, A.; CRAVERO, M. C.; 1985: Occurrence and infectivity of  
vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in north-western Italy  
vineyards. *Vitis* **24**, 129-138.
- SIEVERDING, E.; 1985: Influence of method of VA-mycorrhizal inoculum  
placement on the spread of root infection in field-grown cassava.  
*Z. Acker- und Pflanzenbau* **154**, 161-170.
- TOMMERUP, I. C.; 1984: Persistence of infectivity by germinated spores  
of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in soil. *Trans. Br. Mycol.  
Soc.* **82**, 275-282.

*Eingegangen am 25. Juni 1998*