

Untersuchungen der Vesikulär-Arbuskulären Mykorrhiza bei *Allium ursinum*

R. MAYR und H. O. SCHWANTES

Institut für Pflanzenökologie der Justus-Liebig-Universität
Heinrich-Buff-Ring 38
D-6300 Gießen

Eingegangen am 5.2.1986

R. Mayr & H. O. Schwantes (1986) – Vesicular-arbuscular mycorrhiza in *Allium ursinum*.
Z. Mykol. 52 (2): 393–406.

Key Words: VA-mycorrhiza – *Allium ursinum* – *Glomus hoi*

Abstract: The development of the vesicular-arbuscular mycorrhizae in the roots of *Allium ursinum* is described. *Glomus hoi* is one of the isolated and identified fungal symbionts.

Zusammenfassung: Es wird die Entwicklung der vesikulär-arbuskulären Mykorrhiza in der Wurzel des Bärlauchs (*Allium ursinum*) beschrieben. Als einer von mehreren möglichen pilzlichen Partnern wurde *Glomus hoi* isoliert und identifiziert.

Im Zusammenhang mit dem „Waldsterben“ nimmt in den letzten Jahren das Interesse an der engen Wechselbeziehung zwischen den Wurzeln der höheren Pflanzen und den Pilzen, der Mykorrhiza, wieder verstärkt zu. Innerhalb der beiden Hauptgruppen dieser Symbiose (Ekto- und Endomykorrhiza) konzentrieren sich dabei die Forschungsschwerpunkte in erster Linie auf die bei den Bäumen übliche Ektomykorrhiza. Es gibt jedoch kaum eine Pflanzenfamilie, deren Wurzeln nicht mit endogen wachsenden symbiotischen Pilzen besiedelt ist (Asai 1934, Strullu 1985). Die Hyphen der an der Endomykorrhiza beteiligten Pilze sind entweder septiert, so bei Ascomyceten, Basidiomyceten und Fungi imperfecti als Pilzpartner der Ericaceen und Orchidaceen, oder es sind unseptierte Phycomyceten. Die phycomycetoide Mykorrhiza wird wegen der innerhalb der Wurzel auftretenden zitronenförmigen Hyphenanschwellungen (Vesikel) und der interzellulären bäumchenartigen Hyphenverzweigungen (Arbuskel) allgemein vesikulär-arbuskuläre Mykorrhiza (VA-Mykorrhiza) genannt. Sie ist im Pflanzenbereich die häufigste Form der Pilzsymbiose (Johnson 1977). Die diesbezüglich bedeutendsten und auch am besten untersuchten Pilzarten gehören zu den Gattungen *Entrophospora*, *Acaulospora*, *Glomus* und *Sclerocystis*. Alle genannten Gattungen gehören zur Ordnung der Endogonales (Klasse der Zygomyceten) und damit zu den klassischen „Phycomyceten“.

Zwar sind die fördernden Einflüsse dieser Pilze auf die Nährstoffversorgung ihrer Wirte (Gerdmann 1964, Daft & Nicolson 1972, Mosse 1973) oder die Resistenzerhöhung gegenüber Wurzelparasiten (Dene 1982) zum Teil bekannt, man ist jedoch noch weit von einem vollen Verständnis dieser Wechselbeziehung zwischen Pilz und höherer Pflanze entfernt. Physiologische Untersuchungen an *Allium cepa*, der Küchen-

zwiebel, mit oben genannten Schwerpunkten werden von mehreren Autoren beschrieben. Es wäre jedoch von Interesse, die Wechselwirkung der VA-Mykorrhiza verschiedener Pflanzen in einem Waldökosystem zu untersuchen, wozu sich wegen der über *Allium cepa* bereits vorliegenden Daten und aufgrund des einfachen Wurzelbauaufbaues der Liliaceen der Bärlauch (*Allium ursinum*) als Ausgangspunkt anbietet.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, Kenntnisse über mögliche Symbiosepartner des Bärlauchs am natürlichen Standort und deren Entwicklung innerhalb und außerhalb der Wurzeln zu erlangen.

Material und Methoden

Drei- bis fünfjährige Zwiebeln von *Allium ursinum* wurden in der Zeit zwischen November und Februar in einem Bärlauch-Buchen-Mischwald (Melico-Fagetum-allietosum) bei Gießen ausgegraben, zum Teil bei 6 ° C gelagert oder bis zur mikroskopischen Untersuchung in einem Alkohol-Formol-Eisessig Gemisch (90:5:5 Teile) aufbewahrt. Die Färbung der Handschnitte bzw. Quetschpräparate erfolgte, wenn nicht anders vermerkt, in Anlehnung an die Methode von Phillip & Haymann 1970 mit Trypanblau und gegebenenfalls Sudan IV in Lactophenol. In den Abbildungen werden folgende Abkürzungen für die eingesetzten optischen verfahren verwendet: Hellfeld-Durchlicht Abk. DL, Interferenzkontrast nach Normarski Abk. IK. Vor den rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen (Abk. REM) wurden die Proben in Glutaraldehyd fixiert, in einer aufsteigenden Alkoholreihe entwässert und nach der „Critical point“ methode bei 4° C getrocknet (Reimer & Pfefferkorn 1973). Die Isolierung der Pilzsporen aus der Standorteerde erfolgte nach dem Naßsiebverfahren (Gerde-mann & Nicolson 1963).

Infektionsverlauf

Offenbar werden alle *Allium*-Arten nach dem gleichen Modus von VA-Mykorrhizapilzen infiziert (Mosse 1973, Sievers 1953). Der Pilz wächst direkt oder unter Ausbildung von Appressorien interzellulär durch die Rhizodermis und dringt sofort in eine darunterliegende plasmareiche Kurzzelle der Exodermis ein (Abb. 10, 11). Dort bildet sich eine charakteristische offene oder geschlossene Windung (Abb. 11, 12), aus der eine oder mehrere Hyphen in die darunterliegende Rindenschicht wachsen (Abb. 11). Innerhalb des Rindenparenchyms breitet sich der Pilz in axialer Richtung meist in den interzellulären Hohlräumen aus (Abb. 16). Das Wachstum in radialer Richtung kann inter- und auch intrazellulär erfolgen (Abb. 14), wobei das Eindringen in eine Zelle nicht zwangsläufig zur Arbuskelbildung führen muß (Abb. 23). Die Infektion kann soweit fortschreiten, daß ein Großteil des Rindengewebes besiedelt ist (Abb. 2); der Zentralzylinder wird jedoch nie befallen.

Da es sich bei *Allium ursinum* um eine mehrjährige Pflanze handelt, kommen verschiedene Möglichkeiten der Wurzelinfektion infrage. Eine Infektionsquelle bildet das Pilzmycel selbst, das entweder im Boden vorliegt oder von alten Wurzelteilen auswächst. Eine andere Möglichkeit ist der Befall durch ausgekeimte Chlamydosporen. Daneben scheinen die in der Wurzel gebildeten zitronenförmigen Vesikel ebenfalls zur Verbreitung des Pilzes beizutragen. Diese Vesikel sind gegen die natürliche Zersetzung im Boden widerstandsfähiger als die Zellen der Wurzelrinde. Da Rhizo- und Exodermis gegenüber den Parenchymzellen ebenfalls eine erhöhte Abbauresistenz aufweisen, finden sich in diesen schlauchartigen Resten häufig isoliert vorliegende Vesikel (Abb. 21). Neugebildete Wurzeln durchwachsen oft diese Wurzelreste und zeigen in solchen Fällen eine äußerst starke Infektion. Neben der Funktion als Speicher- und Dauerorgan (Otto 1959, Meloh 1963) dienen die Vesikel sichtlich als weitere Infektionsquelle. Diese These wird gestützt durch Versuche von Biermann & Lindermann (1983), denen die Infektion von *Trifolium repens* (Weißklee) mit isolierten Vesikeln zweier verschiedener *Glomus*-Arten gelang.

Außenmycel

Die Außenhyphen der VA-Mykorrhizapartner von *Allium ursinum* sind leicht hellbraun, stark granuliert und haben einen Durchmesser von 3–15 μm . Der Hauptanteil des peripheren Mycels ist meist unseptiert. Seltener unregelmäßig septierte Bereiche treten bevorzugt in den dünneren Abschnitten auf (Abb. 8). Kennzeichnend für das Wachstum außerhalb des Wirtes sind ein meist mehrschichtiger Wandaufbau und die Bildung intrahyphaler Hyphen (Abb. 8, 9). Dieses Phänomen wird bei VA-Mykorrhizapilzen bereits von anderen Autoren erwähnt (Dowding 1959, Cox & Sanders 1974, Koske 1985, Tommerup & Abbott 1981), ist jedoch nicht ausschließlich auf diese Pilzgattung beschränkt (vgl. Buller 1958). Nach elektronen-mikroskopischen Wurzeluntersuchungen soll es sich nach Lim et al. (1983) zumindest innerhalb der Wirtspflanze um eine sporadisch auftretende Erscheinung handeln, bei der degenerierte alte Hyphen von jungem, plasmareichem Mycel durchwachsen werden. Beim Außenmycel ist diese Wachstumsform nach eigenen Beobachtungen und nach denen oben genannter Autoren häufig festzustellen. Der doppelwandige Hyphenaufbau kann sich auch im Bereich der Sporen fortsetzen (Abb. 5, 8). Da die Schichtung der Sporenwand ein taxonomisches Merkmal der VA-Mykorrhizapilze darstellt (Walker 1983), dürfte in diesem Fall das intrahyphale Wachstum eine obligate Erscheinung einer bestimmten Art sein.

Innenmycel

Der Durchmesser der Hyphen innerhalb der Wurzel schwankt ebenfalls erheblich, bedingt durch die Größe der Interzellularen, in denen sich der Pilz axial ausbreitet und durch die stark lappig ausgeprägten interzellulären Hyphenausstülpungen (Abb. 14). Daneben hängt der Hyphendurchmesser in einigen Fällen von der Pilzart ab; *Glomus tenue* ist durch sehr dünne Hyphen (ca. 2 μm Durchmesser) und kleine Sporen zu erkennen. Die eindeutige Bestimmung des pilzlichen Symbiosepartners anhand morphologischer Wachstumsmerkmale innerhalb der Wurzel ist jedoch zur Zeit nicht möglich, obwohl Abbott & Robson (1979) typische Wachstumscharakteristika einiger *Glomus*-Arten in unterschiedlichen Wirtspflanzen beschrieben. In den jungen, ebenfalls teilweise septierten Hyphen mit granulärem Inhalt (Abb. 22) sammeln sich mit zunehmendem Alter lipidhaltige Tröpfchen an (Abb. 13). Die Pilzzellwand zeigt in der Wurzel kaum einen mehrschichtigen Aufbau; intrahyphale Hyphen konnten bedingt durch die zumeist angewendete Methode der Quetschpräparation nur in einem Fall eindeutig nachgewiesen werden.

Vesikel

Bei der Vesikelbildung in der Wurzel schwillt die Pilzhyphe zitronenförmig an (Abb. 17, 22). Die Größe schwankt bei *Allium ursinum* zwischen 40 x 20 μm und 130 x 80 μm . In diesen Bläschen sammeln sich bei zunehmender Volumenvergrößerung ein feingranuläres Plasma (Abb. 22). Außer einer terminalen kann auch eine interkalare Anlage erfolgen (Abb. 18, 21, 22). Die oft verschiedenartigen Formen entstehen durch behinderte Ausdehnung in den Hohlräumen zwischen den Rindenzellen (Abb. 18).

Vesikel treten inter- und intrazellulär auf, wobei die interzellulären Anlagen bei weitem dominieren. Beim Wachstum innerhalb der Zelle finden sich manchmal runde Formen mit teilweise größerer Wanddicke, wie sie bei den außerhalb der Wurzel gebildeten Sporen üblich ist (vgl. Abb. 20 mit 3 und Abb. 25 mit 26).

Vesikel, die ganze Zellen ausfüllen und dadurch eine rechteckige Form erhalten (Otto 1959), sind bei dem untersuchten Material nicht nachzuweisen. In einigen Fällen ist der

plasmatische Inhalt der Vesikel durch ein Septum von dem der Hyphen abgetrennt (Abb. 18, 19). Diese Speicher- und Dauerorgane des Pilzes können in der Wurzel ihrer Wirtspflanze weiträumig oder in örtlicher Anhäufung auftreten (Abb. 17). Größere vesikelfreie Bezirke deuten entweder auf frisch infizierte Stellen oder auf eine Infektion durch die Gattung *Gigaspora* hin. Diese Gattung bildet nur außerhalb der Wurzel Vesikel, deren Strukturen durch ihr eigenartig warziges Aussehen von der sonst üblichen Form abweichen.

Arbuskel

Dringt der Pilz in die Wurzelparenchymzelle ein, können sich die, neben den Vesikeln für die VA-Mykorrhiza charakteristischen, bäumchenartigen Arbuskel bilden (Abb. 22, 24). Die starke Oberflächenvergrößerung durch diese Strukturen erlaubt einen intensiven Stoffaustausch zwischen beiden Symbiosepartnern, wobei nach den bisherigen Erkenntnissen von Seiten des Pilzes in erster Linie Phosphor zur Verfügung gestellt wird, während die höhere Pflanze ihrerseits den Partner mit Kohlehydraten versorgt (Harley & Smith 1983, Tinker 1984). Nach einiger Zeit werden die Arbuskel abgebaut und zurück bleiben klumpige Restkörper.

Bestimmung der Pilzart

Eine Bestimmung der VA-Mykorrhizapilze ist z. Z. nur über bestimmte Sporenmerkmale wie Form, Größe, Farbe und Wandaufbau möglich (Trappe & Schenck 1982). Die Chlamydosporen werden in erster Linie terminal (Abb. 4, 5), in Ausnahmen interkalar (Abb. 3), meist außerhalb der Wurzel gebildet. Der feine granuläre Inhalt (Abb. 3,4) verändert sich im Lauf der Sporenreife zu größeren Lipidanhäufungen. Mit dem Naßsiebverfahren der Standorteerde (Gerdemann & Nicolson 1963) konnten Sporen der Gattungen *Glomus* Tul. & Tul., *Gigaspora* Gerd. & Trappe und *Sclerocystis* Berk. & Broome isoliert werden (Abb. 26 bis 29). Eine eindeutige Art diagnose ist nur durch langwierige Einzelsporkulturen möglich (pers. Mitt. Hall und Schenck 1985), da nur dadurch eine genügend große Anzahl Sporen unterschiedlichen Alters einer Art gewonnen werden können. Ob es sich bei den gefundenen Arten um Symbiosepartner von *Allium ursinum* handelt, kann ebenfalls nur durch zeitlich sehr aufwendige Neuinfektion in Topfkulturen nachgewiesen werden. Die eindeutige Identifikation einer Art gelang jedoch da-

Abkürzungen: DL = Hellfeld-Durchlicht, IK = Interferenzkontrast, REM = Raster-Elektronen-Mikroskop, AFE = Alkohol-Formol-Eisessig-Gemisch

Abb. 1–5: *Glomus hoi* auf einer Wurzel von *Allium ursinum*.

Fig. 1–5: *Glomus hoi* on the root of *Allium ursinum*.

Abb. 1: Sporenentwicklung nach Kultur in Leitungswasser.

Fig. 1: Development of spores after cultivation in tapwater.

Abb. 2: (DL) Querschnitt einer stark infizierten Wurzel.

Fig. 2: (DL) Cross-section through a heavy infected root.

Abb. 3: (IK) Interkalare Spore.

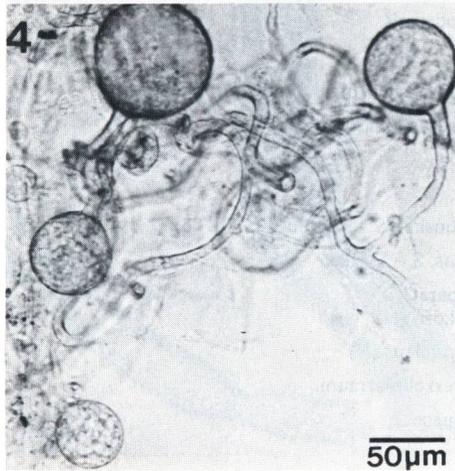
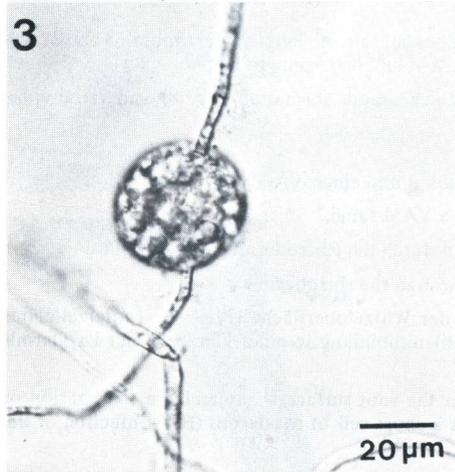
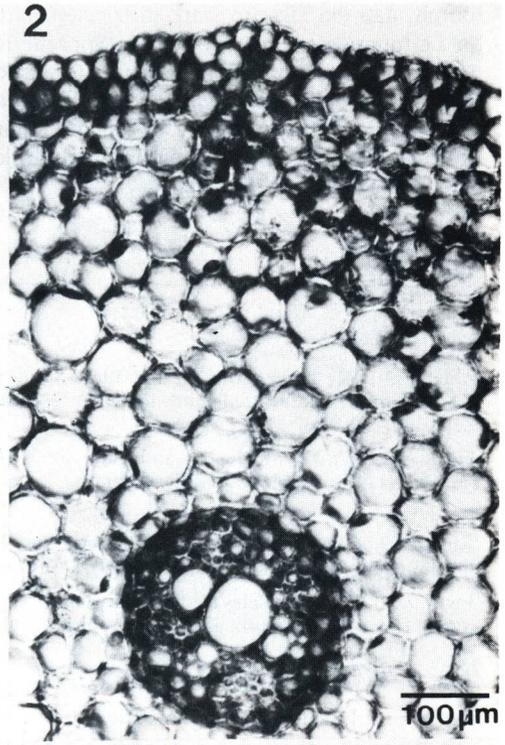
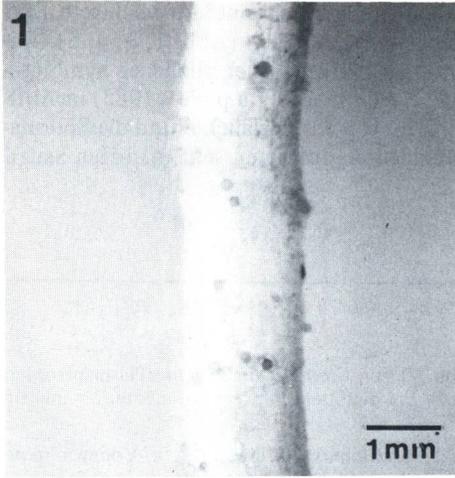
Fig. 3: (IK) Intercalary spore.

Abb. 4: (IK) Terminale Sporen.

Fig. 4: (IK) Terminal spores.

Abb. 5: (REM) Spore von *Glomus hoi* mit sich schälender Außenwand.

Fig. 5: (REM) Spore of *Glomus hoi* with sloughing outer wall.



durch, daß die Pilze in stark infizierten Bärlauchpflanzen durch eine dreiwöchige Kultur in Leitungswasser zur verstärkten Sporenbildung angeregt wurden (Abb. 1, 3, 4, 5). Anhand des so gewonnenen Sporenmateriels konnte als ein möglicher pilzlicher Symbiosepartner von *Allium ursinum* die Art *Glomus hoi* B e r c h & T r ä p p e (1985) identifiziert werden. Das teilweise sehr feuchte natürliche Biotop des Bärlauches und die Sporulation des Pilzes in einer unbelüfteten Hydrokultur deuten auf einen sehr niedrigen Sauerstoffbedarf dieser Art hin.

Abb. 6–7: (IK) Junge (Abb. 6) und ältere Spore (Abb. 7) von *Glomus hoi*. Beachte Plasmapfropfen bei der jungen Spore (Pfeil) und doppelten Wandaufbau bei der älteren Spore; a = äußere, l = innere Zellwand.

Fig. 6–7: (IK) Young (fig. 6) and older spore (fig. 7) of *Glomus hoi*. See plug in Younger spore (arrow) and the double wall in the older one; a = outer, i = inner wall layer.

Abb. 8–9: (IK) Doppelwandiger und septierter Hyphenaufbau im Bereich der Spore (Abb. 8) und intrahyphales Hyphenwachstum (Abb. 9); s = Septum, a = äußere, i = innere Hyphe.

Fig. 8–9: (IK) Doublelayered and septated hypha near spore formation (fig. 8) and intrahyphal hypha (fig. 9); s = septum, a = outer, i = inner hypha.

Abb. 10–12: Infektion einer Wurzel von *Allium ursinum* durch einen VA-Mykorrhizapilz.

Fig. 10–12: Infection of a root of *Allium ursinum* by a VAM-fungi.

Abb. 10: (REM) Interzelluläres Eindringen der Hyphen durch die Rhizodermis.

Fig. 10: (REM) Intercellular penetration by hyphae through the rhizodermis.

Abb. 11: (IK) Infektionsverlauf: Appressorium auf der Wurzeloberfläche (Pfeil A) – interzelluläres Wachstum durch die Rhizodermis – intrazelluläre Schleifenbildung in einer Kurzzeile der Exodermis (Pfeil B) – Infektion der Wurzelrinde.

Fig. 11: (IK) Way of infection: Appressorium (A) on the root surface – intercellular penetration of the rhizodermis – intra-cellular loop of the hypha in a short cell of exodermis (B) – infection of the cortex.

Abb. 12: (IK) Infizierte Kurzzeilen in der Exodermis.

Fig. 12: (IK) Loops of hyphae in short cells of the exodermis.

Abb. 13–16: Hyphenwachstum von VA-Mykorrhizapilzen in Wurzeln von *Allium ursinum*.

Fig. 13: 16: Intraradical growth of VAM-fungi in the roots of *Allium ursinum*.

Abb. 13: (IK) Lipidtropfen in den Hyphen.

Fig. 13: (IK) Lipid droplets in hyphae.

Abb. 14: (DL) Breite Hyphenverwachsungen; A = Arbuskel, S = Septen.

Fig. 14: (DL) Broad junctions of hyphae; A = arbuscles, S = septae.

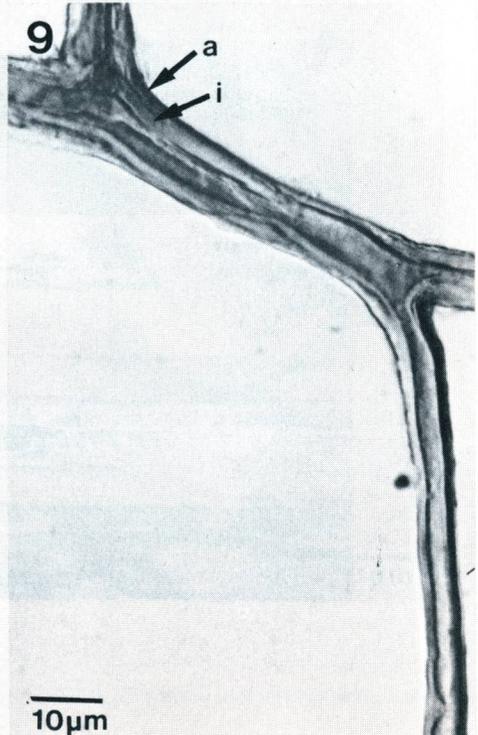
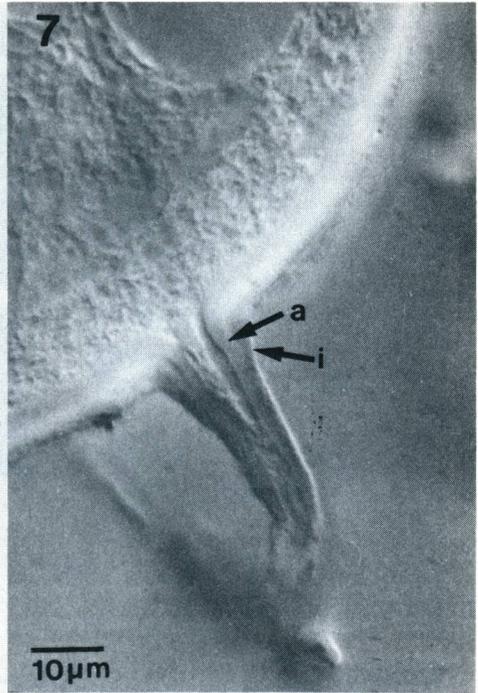
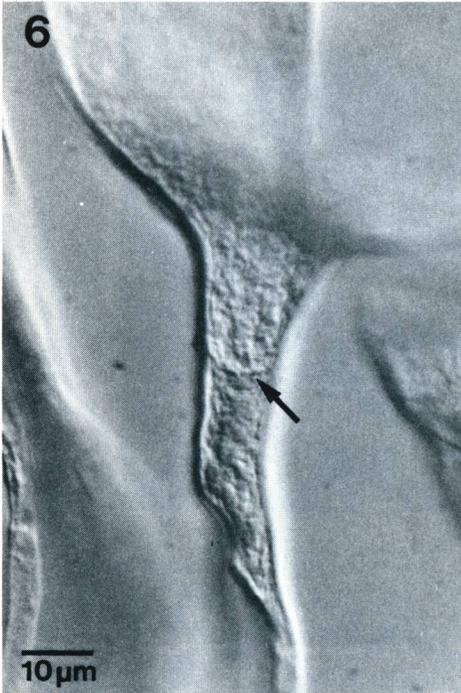
Abb. 15: (IK) (Ungefärbtes, nur in AFE fixiertes Präparat).

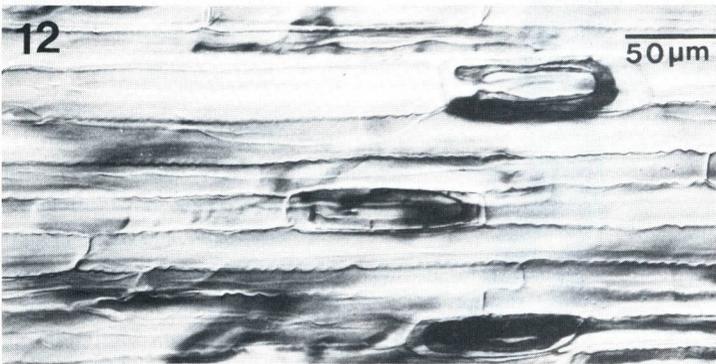
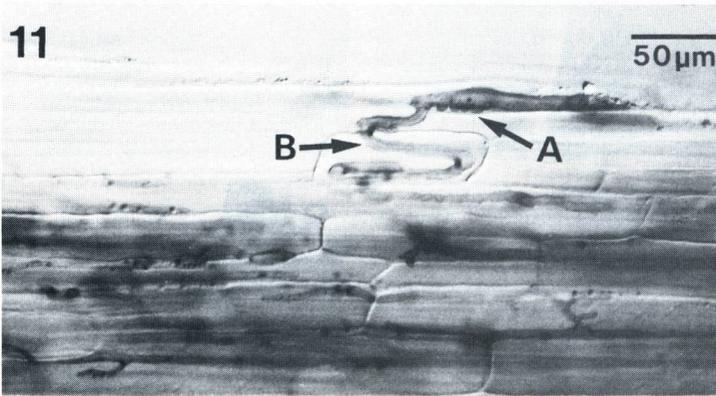
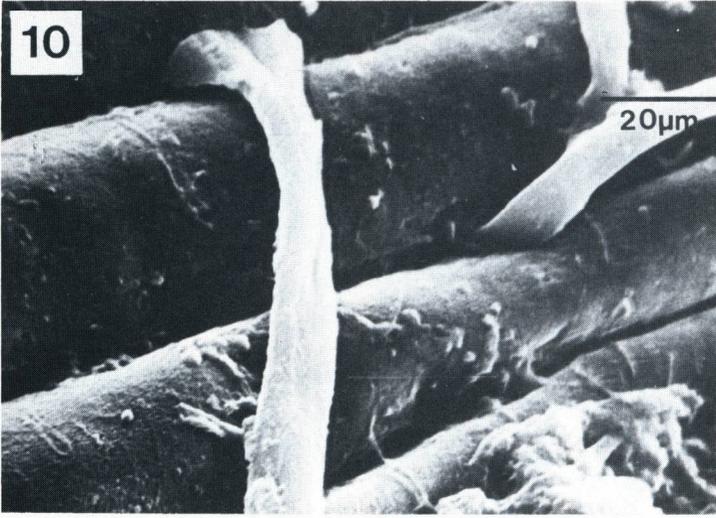
Eindringen der Hyphen in die Zelle. Beachte den Zellkern (N).

Fig. 15: (IK) Penetration of the cells by hyphae. See nucleus (N).

Abb. 16: (DL) Infektion des Zellinnenraumes; I = Interzellularräum.

Fig. 16: (DL) Infection of the cells; I = intercellular space.





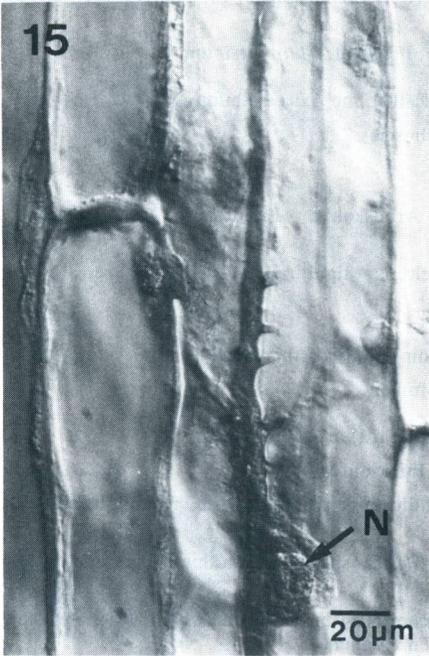
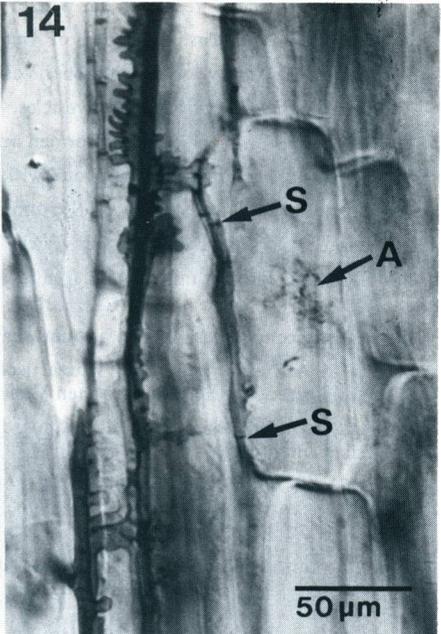
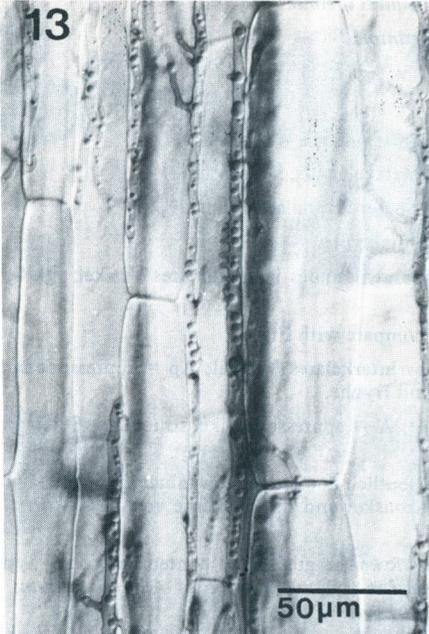


Abb. 17–22: Verschiedene Vesikel in der Wurzel von *Allium ursinum*.

Fig. 17–22: Different vesicles in the roots of *Allium ursinum*.

Abb. 17: (DL) Anhäufung verschieden großer Vesikel.

Fig. 17: (DL) Accumulation of different vesicles.

Abb. 18 (IK) Vesikel unterschiedlicher Formen mit Lipidtröpfen; S = Septum.

Fig. 18: (IK) Vesicles of different shapes and with droplets of lipids; S = septum.

Abb. 19: Das runde Vesikel ist durch ein Septum (S) von der Hyphe abgetrennt.

Fig. 19: A septum (S) separates the round vesicle from the hypha.

Abb. 20: (IK) (ungefärbtes, nur in AFE fixiertes Präparat): rundes intrazelluläres Vesikel; vgl. Spore Abb. 3.

Fig. 20: (IK) Intracellular vesicle with a round shape; compare with Fig. 3.

Abb. 21: (DL) Aus einer zersetzten Wurzel isoliertes interkalares Vesikel; Ap = appressorienartige Hyphenausstülpungen, S = Septum zwischen Vesikel und Hyphe.

Fig. 21: (DL) Isolated vesicle of a decomposed root; A = appressoria like structures, S = septum between vesicle and hyphae.

Abb. 22: (DL) das nur in AFE fixierte Präparat zeigt deutlich den granulären Inhalt in jungen Hyphen und interkalaren Vesikeln, sowie die intrazellulären Arbuskel und die Zellkerne von *Allium ursinum*; S = Septum, N = Zellkern, A = Arbuskel.

Fig. 22: (DL) This preparation (only fixed in AFE) shows the granulated content of young hyphae and intercalary vesicles and as well intracellular arbuscles and the nucleus of *Allium ursinum*; S = septum, N = nucleus, A = arbuscle.

Abb. 23–25: (DL) Intrazelluläres Wachstum von VA-Mykorrhizapilzen in Wurzelzellen von *Allium ursinum*.

Fig. 23–25: Intracellular growing of VAM-fungi in root cells of *Allium ursinum*.

Abb. 23: Wachstum septierter Hyphen innerhalb der Zelle ohne Arbuskelbildung.

Fig. 23: Septated hyphae in a cell without forming arbuscles.

Abb. 24: Arbuskel.

Fig. 24: Arbuscle.

Abb. 25: Dickwandiges intrazelluläres Vesikel; A = Arbuskel, L = Lipidtröpfen in den Hyphen, S = septierte Hyphe; vgl. mit Spore in Abb. 26.

Fig. 25: Thickwalled intracellular vesicle; A = arbuscle, L = lipid droplets in the hyphae, S = septum; compare with spore in fig. 26.

Abb. 26–29: (IK) Sporen verschiedener Gattungen von VA-Mykorrhizapilzen.

Fig. 26–29: (IK) Spores of different genera of VAM-fungi.

Abb. 26: Dunkelbraunes *Glomus*-Spore mit geschichteter dicker Außenwand.

Fig. 26: Darkbrown spore of *Glomus* with laminated thick outer wall.

Abb. 27: Rotbraune zerquetschte *Glomus*-Spore mit dicker geschichteter Außenwand, teilweise durch Parasiten zerstört.

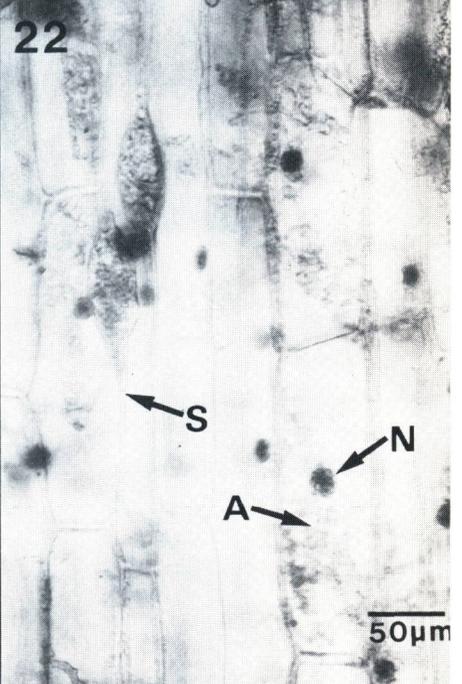
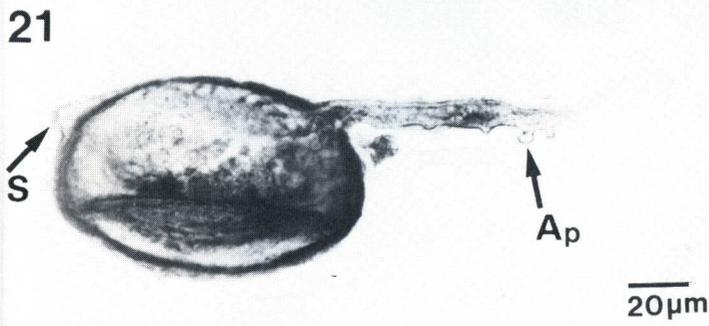
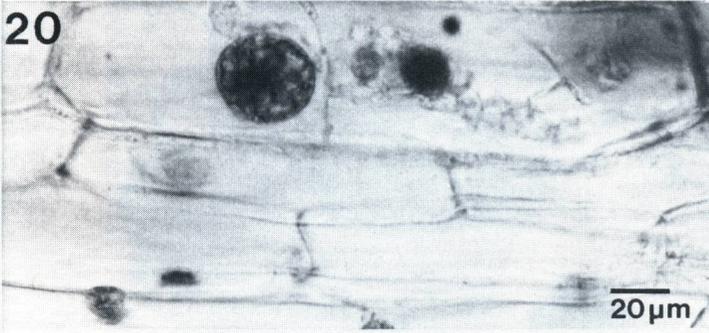
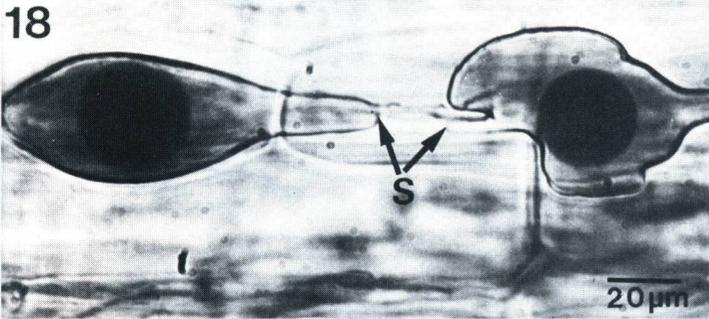
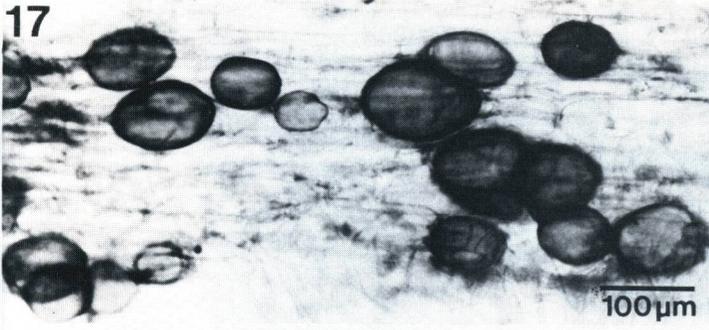
Fig. 27: Redbrown crashed spore of an unidentified *Glomus* species with a thick laminated outer wall, parasitized by other microorganisms.

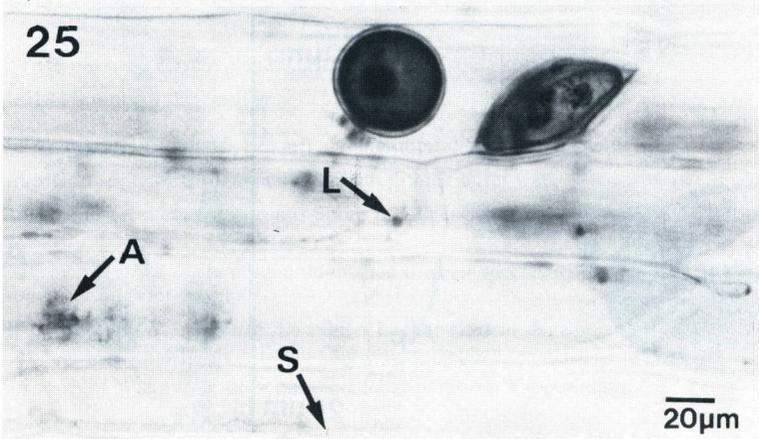
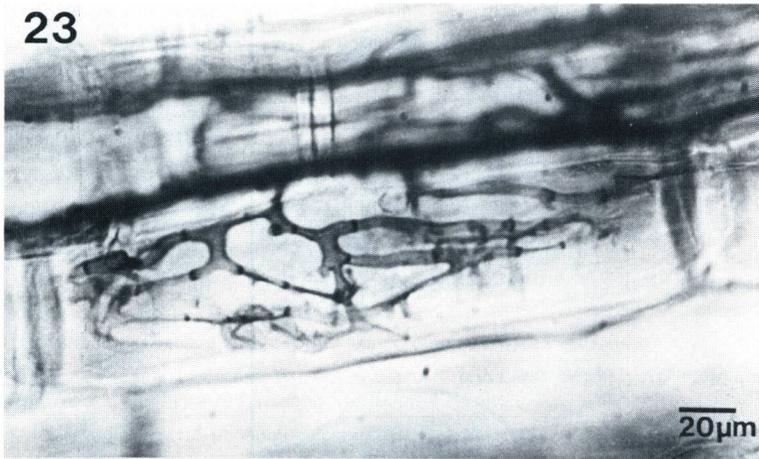
Abb. 28: Sporokarp von *Sclerocystis*; die feinen Löcher (Lö) in der Sporenwand deuten auf parasitären Befall durch andere Pilze hin; P = Peridie aus feinen Hyphen.

Fig. 28: Sporocarp of *Sclerocystis*; Lö = holes made by parasites, P = peridium.

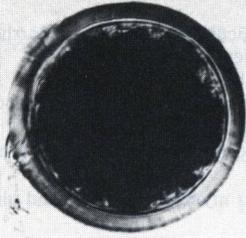
Abb. 29: Hellgrüne Spore von *Gigaspora*; B = Bulbus.

Fig. 29: Lightgreen spore of *Gigaspora*; B = bulbous.





26



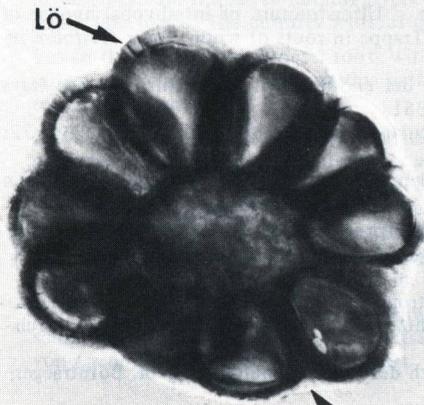
50µm

27



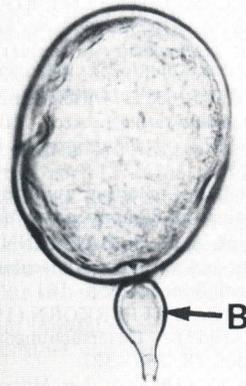
50µm

28



50µm

29



50µm

Literatur

- ABBOT, L. K. & A. D. ROBSON (1979) – A quantitative study of the spores and anatomy of mycorrhizas formed by a species of *Glomus*, with reference to its taxonomy. *Aust. J. Bot.* 27: 363–375.
- ASAI, T. (1934) – Über das Vorkommen und die Bedeutung der Wurzelpilze in den Landpflanzen. *Jap. J. Bot.* 7: 107–150.
- BERCH, S. M. & J. M. TRAPPE (1985) – A new species of *Endogonaceae*, *Glomus hoi*. *Mycologia* 77 (4): 654–657.
- BIERMANN, B. & R. G. LINDERMANN (1983) – Use of vesicular-arbuscular mycorrhizal roots, intraradical vesicles and extraradical vesicles as inoculum. *New Phyt.* 95: 97–105.
- BULLER, A. H. R. (1958) – Research on fungi Vol. V, Hafner Publishing, New York.
- COX, G. & F. SANDERS (1974) – Ultrastructure of host-fungus interface in a vesicular-arbuscular mycorrhiza. *New Phyt.* 73: 901–912.
- DAFT, M. J. & T. H. NICOLSON (1972) – Effect of endogone mycorrhiza on plant growth. *New Phyt.* 71: 287–295.
- DEHNE, H. W. (1982) – Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and plant pathogens. *New Phyt.* 72: 1115–1119.
- DOWDING, E. S. (1959) – Ecology of *Endogone*. *Trans. Brit. Myc. Soc.* 42 (4): 449–457.
- GERDEMANN, J. W. & T. H. NICOLSON (1963) – Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans. Brit. Myc. Soc.* 46: 235–244.
- GERDEMANN, J. W. (1964) – The effect of mycorrhiza on the growth of *Maize*. *Mycologia* 56: 342–349.
- HALL, I. R. & N. C. SCHENCK (1985) – Pers. Mitt. Mykorrhiza-Tagung und Workshop, Hannover.
- HARLEY, J. L. & S. E. SMITH (1983) – Mycorrhizal symbiosis. Academic Press, New York & London.
- JOHNSON, P. N. (1977) – Mycorrhizal *Endogonaceae* in a New Zealand Forest. *New Phyt.* 78: 161–176.
- KOSKE, R. E. (1985) – *Glomus aggregatum* emended: a distinct taxon in the *Glomus fasciculatum* complex. *Mycologia* 77 (4): 619–630.
- LIM, L. L., B. A. FINERAN & A. L. J. COLE (1983) – Ultrastructure of intrahyphal hyphae of *Glomus fasciculatum* (Thaxter) Gerdemann and Trappe in roots of white clover (*Trifolium repens* L.). *New Phyt.* 95: 321–239.
- MELOH, K. A. (1963) – Untersuchungen zur Biologie der endotrophen Mykorrhiza bei *Zea mays* L. und *Avena sativa* L. *Arch. Mikrobiol.* 46: 369–381.
- MOSSE, B. (1973) – Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. *New Phyt.* 72: 127–136.
- OTTO, G. (1959) – Beitrag zur Frage der funktionellen Bedeutung der Vesikel der endotrophen Mykorrhiza an Sämlingen von *Malus communis* L. *Arch. Mikrobiol.* 32: 373–392.
- PHILLIPS, J. M. & D. S. HAYMANN (1970) – Improved procedure of clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158–161.
- REIMER, L. & G. PFEFFERKORN (1973) – Rasterelektronenmikroskopie. Heidelberg – New York.
- SIEVERS, E. (1953) – Untersuchungen über die Mykorrhizen von *Allium*- und *Solanum*-Arten. *Arch. Mikrobiol.* 18: 289–321.
- STRULLU, D. G. (1985) – Les Mycorrhizes – Handbuch der Pflanzenanatomie. Gebr. Borntraeger, Berlin, Stuttgart.
- TINKER, P. B. (1984) – The role of microorganisms in mediating and facilitating the uptake of plant nutrients from soil. *Plant and soil* 76: 77–91.
- TRAPPE, J. M. & N. C. SCHENCK (1982) – Taxonomy of the fungi forming endomycorrhizae in: Methods and principles of mycorrhizal research. N. C. Schenck ed.
- TOMMERUP, I. C. & L. K. ABBOTT (1981) – Prolonged survival and viability of VA-mycorrhizal hyphae after root death. *Soil Biochem.* 13: 431–433.
- WALKER, C. (1983) – Taxonomic concepts in the *Endogonaceae*: Spore wall characteristic in species descriptions. *Mycotaxon* 18 (2): 443–455.



Deutsche Gesellschaft für Mykologie e.V.
German Mycological Society

Dieses Werk stammt aus einer Publikation der DGfM.

www.dgfm-ev.de

Über [Zobodat](#) werden Artikel aus den Heften der pilzkundlichen Fachgesellschaft kostenfrei als PDF-Dateien zugänglich gemacht:

- **Zeitschrift für Mykologie**
Mykologische Fachartikel (2× jährlich)
- **Zeitschrift für Pilzkunde**
(Name der Hefreihe bis 1977)
- **DGfM-Mitteilungen**
Neues aus dem Vereinsleben (2× jährlich)
- **Beihefte der Zeitschrift für Mykologie**
Artikel zu Themenschwerpunkten (unregelmäßig)

Dieses Werk steht unter der [Creative Commons Namensnennung - Keine Bearbeitungen 4.0 International Lizenz](#) (CC BY-ND 4.0).



- **Teilen:** Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen, sogar kommerziell.
- **Namensnennung:** Sie müssen die Namen der Autor/innen bzw. Rechteinhaber/innen in der von ihnen festgelegten Weise nennen.
- **Keine Bearbeitungen:** Das Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Es gelten die [vollständigen Lizenzbedingungen](#), wovon eine [offizielle deutsche Übersetzung](#) existiert. Freigebiger lizenzierte Teile eines Werks (z.B. CC BY-SA) bleiben hiervon unberührt.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Zeitschrift für Mykologie - Journal of the German Mycological Society](#)

Jahr/Year: 1986

Band/Volume: [52_1986](#)

Autor(en)/Author(s): Mayr R., Schwantes Hans-Otto

Artikel/Article: [Untersuchungen der Vesikulär-Arbuskulären Mykorrhiza bei Allium ursinum 393-406](#)