Boletus	Jahrg. 15	Heft 1	1991	S. 10–18

MARTINA HORAK

Ektomykorrhiza – Einfluß von Umweltfaktoren und Methodik zur Charakterisierung

I. Allgemeines

Der Begriff Mykorrhiza wurde 1885 von FRANK geprägt. Als Ektomykorrhiza bezeichnet man die Symbiose, die sich hauptsächlich zwischen Basidiomyceten und Waldbäumen einstellt. Im Gegensatz zur Endomykorrhiza dringen die Hyphen zellulär in die Cortex ein und bilden die als Hartigsches Netz bekannten Strukturen. Die Ektomykorrhiza ist durch folgende morphologische Besonderheiten gekennzeichnet:

- Fehlen der Wurzelhaare
- Charakteristische Verzweigungen und Verdickungen
- Vorhandensein eines Hyphenmantels um die Kurzwurzeln
- Hartigsches Netz (interzelluläre Hyphen zwischen hypertrophierten Cortex-Zellen)

Auf Grund der physiologischen Besonderheiten, die sich für beide Symbionten ergeben, wird seit den siebziger Jahren im Zusammenhang mit dem sogenannten „Waldsterben" der Mykorrhiza verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt. Es wird die Rolle der Mykorrhiza als Bioindikator, ihr Einfluß und ihre Beeinflussung in umweltbelasteten Gebieten (MEYER 1985, KOTTKE & OBERWINKLER 1988), ihre Bedeutung im Zusammenhang mit Phytopathogenen der Waldbäume (HAUG 1987) und ihre Rolle bei Aufforstungen (MARX & ALTMAN 1979) diskutiert. Um gezielte Aussagen treffen zu können, inwieweit Umweltschadstoffe direkt über den Boden oder indirekt über den Symbiosepartner infolge Schädigungen der Photosynthese des Baumes auf die Mykorrhiza wirken, müssen folgende Sachverhalte untersucht werden:

1. Charakterisierung vitaler und intakter Mykorrhizen und Probleme der Ontogenie

2. qualitative Untersuchungen zur Identifizierung der Mykorrhizen, um Aussagen über ökologische Bedeutung der verschiedenen Mykorrhizatypen und umweltbedingte Veränderungen treffen zu können.

3. quantitative Untersuchungen (Mykorrhizierungsgrad, Anzahl vitaler Mykorrhizen!) als Maß für umweltindizierte Veränderungen

4. physiologische Veränderungen der Wirtspflanze unter Umweltbelastung (z.B. C-Haushalt, Assimilattransport, Phytohormonstatus ...)

II. Einfluß von Umweltfaktoren

Da die Mykorrhiza das Ergebnis der Symbiose aus 2 Organismen darstellt, können

Umweltfaktoren sowohl über den oberirdischen Teil der Pflanze (Waldbaum) als auch über den unterirdischen Teil (Pilz und Wurzel) wirken. Eine Veränderung der Mykorrhiza ist daher stets komplexer Natur und durch mehrere Umweltfaktoren gleichzeitig bedingt.

II.1 Abiotische Umweltfaktoren

Temperatur: Die Temperatur hat einen sehr selektiven Effekt auf das Vorkommen verschiedener Arten (MIKOLA 1948, THEODOROU & BOWEN 1971). Z.B. wurde *Coenococcum graniforme* als geeignet für kältere subalpine Standorte beschrieben (VOGT et al. 1981). Bei einer Temperatur von 10 °C zeigte *C. graniforme* gutes Wachstum und ist damit aktiver als andere Mykorrhizapilze bei dieser Temperatur.
Die Temperatur ist für Wachstum und Biomassebildung entscheidend. So wurden bei in vitro-Versuchen andere optimale Temperaturen ermittelt, als in der Natur für maximales Wachstum und Fruktifikation festgestellt wurden. Die günstigste Wachstumstemperatur für Mykorrhizapilze in vitro liegt zwischen 14-29 °C (MARX et al. 1970), während sie unter natürlichen Bedingungen weit darunter liegt.

Klima/Jahreszeit: Zwischen Klima, Jahreszeit und der damit verbundenen Aktivität des Baumpartners (hinsichtlich Kohlenhydrat-Status) besteht ein komplexes Zusammenwirken, welches die Entwicklung, Dynamik und den Aktivitätszustand der Mykorrhiza beeinflußt. Abhängig vom Boden kommt es zu Aktivitätsschüben von Mykorrhizapilzen wie z.B. *Coenococcum graniforme* (VOGT et al. 1981). Dieser Pilz ist an alpines Klima angepaßt und außerdem als trockenresistent bekannt (TRAPPE 1962).

Wasser/Trockenheit: Durch Trockenheit kommt es zu gravierenden Schädigungen der Feinstwurzeln (MURACH 1983) und zu einer Abnahme der Zahl vitaler und Zunahme toter Feinstwurzeln.
Bei Feuchtflächen gegenüber Trockenflächen konnten von KOTTKE, OBERWINKLER 1988 eine 4-mal höhere Mykorrhizafrequenz im Winter und 2-fach höhere im Frühjahr festgestellt werden. Anatomische Veränderungen, die als spezifische Schäden gedeutet werden können, wurden nicht nachgewiesen. Der Faktor Wasser gewinnt damit eine Bedeutung für den Anteil lebender Mykorrhizen. Von Einfluß ist gleichzeitig die Art des Mykorrhizapilzes.

Boden: Die Abhängigkeit der Mykorrhizaentwicklung von den Bodenverhältnissen scheint nach KOTTKE, OBERWINKLER 1988 stärker zu sein, als die Korrelation zum Gesundheitszustand der Bäume. Generell ist bekannt, daß mit zunehmender Tiefe (Abnahme des Humusgehaltes, Zunahme des Mineralbodens) eine Abnahme der Mykorrhizafrequenz erfolgt. Bei Fichten ist die höchste Wurzeldichte und Mykorrhiza-Formenvielfalt in den oberen 30 cm des Bodens enthalten. *C. graniforme* ist zu 80 % im A-Horizont, dagegen nur noch zu 20 % im B-Horizont vertreten. Mykorrhizen wurden bis in 80 cm Tiefe gefunden (KOTTKE & OBERWINKLER 1988).
Es ist bekannt, daß sie in ungekalkten Flächen häufiger auftreten. Bedeutung gewinnt immer wieder die Frage nach der Pufferkapazität des Bodens in Hinblick auf die Bodenveränderung durch anthropogene Schadstoffe.
Mit Zunahme des Schädigungsquotienten

$$\frac{\text{mineralischer Stickstoff}}{\text{Organischer N-akzeptor}}$$

kommt es zu einer Abnahme der Mykorrhizafrequenz (MEYER 1985).

II.2 Biotische Faktoren

Physiologischer Zustand des Baumpartners: Im Herbst werden verstärkt Assimilate in die Wurzel geleitet und dort gespeichert. Sie stellen die C-Quelle für die heterotroph lebenden Mykorrhizapilze dar, die zu dieser Zeit zur Fruktifikation gelangen. Bei Schädigungen der Assimilationsorgane durch Nadelvergilbungen, Ausfall von Nadeljahrgängen wie das in Waldschadgebieten der Fall ist, kommt es zu einer Störung der Kohlenhydrat-Bilanz, was letzlich auch einen Einfluß auf Quantität und Vitalität der Mykorrhiza bewirkt.

Partnerwahl: Zwischen Baum- und Pilz-Arten kann es sehr strenge Partnerkombinationen geben: z.B. fruktifiziert *Tricholoma populinum* nur bei Symbiose mit *Populus*-Arten. Dagegen kommen auch sehr unspezifische Kombinationen vor, wie bei *Paxillus involutus*, der mehrere Wirtsbäume als Partner akzeptiert. Nach LOBANOW (1960) unterscheidet man stark und schwach mykotrophe Arten.
In solchen Fällen, in denen eine Mykorrhizabildung zwischen inkompatiblen Partnern eingeleitet worden ist, kann es zur Lysis der Pilzhyphen oder der äußeren Cortexzellen kommen.

Parasiten: Bekannt ist, daß Mykorrhizapilze die Pflanzen vor pathogenen Mikroorganismen schützen können (MARX & DAVEY 1969, MARX 1972). Dabei kann der Pilzmantel u.a. als physikalische Barriere fungieren (ZAK 1964). In mykorrhizierten Wurzeln ist die Bildung von fungistatischen Terpenen erhöht, deren Abgabe in die Rhizosphäre eine gewisse protektive Wirkung ausübt. Das Eindringen von pathogenen Rhizosphären-Organismen wird dort begünstigt, wo Verwundungen oder physiologische Störungen vorliegen.
Als Schwächeparasit treten in geschädigten Beständen auch Organismen auf, die sonst nur als Saprophyten bekannt sind, z.B. *Armillaria mellea* s.l., die zu erheblichen Schäden in disponierten Forstbeständen führen.

Konkurrenten: Die von Mykorrhizapilzen nachgewiesene Antibiotika-Bildung (HORAK 1963) und fungistatischen Terpenen (EGLI 1988) gewährleisten eine gewisse Konkurrenz gegen Bodenmikroorganismen, die dadurch zurückgedrängt werden können.

III Grundlagen und Methoden zur ökologischen Charakterisierung

III.1 Ontogenie und Probleme der Vitalität und Alterung der Mykorrhiza

Die Lebensdauer einer mykorrhizierten Wurzel beträgt 1 - 2 Jahre, gegenüber den nichtmykorrhizierten, die schon nach einigen Wochen ihre Wurzelhaare verlieren, verkorken und damit nicht mehr für die Wasseraufnahme nutzbar sind. Während der Ontogenie der Mykorrhiza können aktive und Ruhephasen mehrfach durchlaufen werden. Dabei auftretende Veränderungen in Zellgröße und Phenolgehalt der Zellen dürfen nicht als krankhaft angesehen werden (KOTTKE & OBERWINKLER 1988).
Bei einer neu entstehenden Mykorrhiza werden die sich bildenden Lateralwurzeln von den Hyphen des inneren Mantels der Trägerwurzel infiziert (MASSICOTTE et al. 1986). Nach Inokulation von Pflanzen in vitro mit Mykorrhizapilzen konnte nach 10 Tagen eine Mykorrhiza mit voll ausgebildetem Hartigschen Netz erreicht werden (MASSICOTTE et al. 1986). Die Bildung eines Hyphenmantels um die Wurzel erfolgte bereits 2-3 Tage nach der Inokulation. Angaben über die Alterung der Mykorrhiza in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen scheitern momentan noch daran, daß man erst jetzt Kriterien für eine alternde bzw. nicht funktionstüchtige Mykorrhiza anhand der Ultrastruktur aufstellt. Erfolgreich bewährt zur Untersuchung der Vitalität und Alterung hat sich die

Vitalfluoreszenz (RITTER et al. 1986). Dabei wurde festgestellt, daß bei allen Mykorrhiza-Typen der gleiche ontogenetische Ablauf vorliegt: die Mykorrhiza stirbt von außen nach innen und von proximal nach distal ab.

III.2 Mykorrhizatypen – qualitative Merkmale

Die Identifizierung der verschiedenen, mannigfaltigen Mykorrhizatypen stand immer wieder vor der Schwierigkeit, anwendbare Klassifizierungssysteme zu erstellen, die eine Gruppierung nach konstanten Merkmalen ermöglicht. Dieses wurde erstmals von DOMINIK (1956) anhand eines Bestimmungsschlüssels versucht, der auf variablen Merkmalen wie

– Farbe des Hyphenmantels
– Merkmale der Hyphen- und Mantelstrukturen

basierte. Von CHILVERS 1968, ZAK 1973 wurden die beschriebenen Mykorrhizaformen als nicht ausreichend befunden, so daß neue Formen beschrieben wurden. Eine Mykorrhiza kann während ihrer Entwicklung und in Abhängigkeit der Vitalität mehrere morphologische Veränderungen und Farbschattierungen durchlaufen (DOMINIK 1959, BOULLARD 1965, TRAPPE 1967), so daß nach dem System von DOMINIK letzlich 1 Mykorrhizapilz zu mehreren Mykorrhizatypen gezählt werden kann. Heute werden genauere Charakterisierungen der Hyphenmantelstrukturen zur Identifizierung genutzt (AGERER 1987, KOTTKE & OBERWINKLER 1988, HAUG 1987). Die Bezeichnung der Mykorrhiza erfolgt nicht mehr nach einem Zahlen- oder Buchstabencode, wobei jeder Autor seinen Code verwendete, sondern in Analogie zur Nomenklatur von Organismen binär (AGERER 1987). Nach WEISS & AGERER 1988 bedeutet z.B. „Piceirrhiza pallidum" dann die „gelbe, an Fichtenwurzeln vorkommende" Mykorrhiza. Zur Diskussion stehen momentan die Merkmale, die zur Charakerisierung genutzt werden:

– Farbe des Hyphenmantels
– Mantelstrukturen
– tangentialer Mantellängsschnitt
– Rhizomorphen
– Strukturen des Hartigschen Netzes (HAUG & OBERWINKLER 1987)

AGERER 1987 bezieht in seinem Standardwerk „Colour Atlas of Mycorrhizae" weitere Merkmale, u.a. auch Identifizierungsmöglichkeiten anhand Chemotaxonomie, mit ein. Zur Erstellung eines Systems anhand konstanter Merkmale wurden bereits von TRAPPE 1967 folgende Kriterien zur Diskussion gebracht:

1. Schnallenbildung und Septenanatomie als Hauptmerkmal zur Diagnose,
   – oft deutet charakteristische Schnallenbildung auf einen bestimmten Basidiomyceten (FONTANA 1961)
   – charakteristische Form von Doliporus und Parenthesom (FOSTER & MARKS 1966)
   – Abwesenheit oder geringes, sporadisches Auftreten von Septen weist auf Phycomyceten hin (FASSI 1965)

2. andere Hyphencharakteristika, die als relativ stabile Merkmale gelten:
   – Hyphendurchmesser und Zellänge
   – Wanddicke und Oberflächenstruktur
   – Pigmentierung; Rhizomorphenbildung
   Bei vielen Arten besteht eine charakteristische Kombination dieser Merkmale.

3. Fluoreszenz in charakteristischen Farben

4. Chemische Reaktionen: von WATLING 1966 wurden 40 Chemikalien in der Taxonomie verwendet. Z.B. ergibt das Mycel von *Gomphidius* spp. eine typische Dunkelfärbung in Melzers Reagenz.

5. Geruch und Geschmack: nutzbar wahrscheinlich nur bei *Russula*- und *Lactarius*-Arten, bei denen der scharfe Geschmack auch in der Mykorrhiza erhalten bleibt (PEYRONEL 1934)

6. Mantelstrukturen
   - Vorkommen von Prosenchym, Pseudoparenchym, Rhizomorphenausbildung
   - der Mantel kann glatte oder strukturierte Oberfläche besitzen
   - Manteldicke

   Diese Merkmale sind in Abhänigkeit vom Entwicklungsstadium der Mykorrhiza einer starken Variation unterworfen. Daher sollte diesem Merkmal geringe Priorität eingeräumt werden (TRAPPE 1967).

7. Farbe: Die Farbe des Mycelmantels kann sehr charakteristisch, aber auch sehr variabel sein. *Coenococcum graniforme* weist anfangs eine typische schwarze Färbung auf. Die Pigmentierung wechselt jedoch in Abhängigkeit von der Entwicklung.

8. Mykorrhizaform: Verzweigungsmuster und Menge sind oft charakterisiert für bestimmte Typen, z.B. tuberculate Douglasien-Mykorrhiza.

Durch eine derartige Aufstellung von Merkmalen soll die Identifizierung der Mykorrhiza eindeutig werden. Ebenso ist das Erstellen einer einheitlichen Nomenklatur unumgänglich. Durch das exakte Auflisten der identifizierten Arten konnte gezeigt werden, daß bei Fichte und anderen Waldbäumen die Formenvielfalt der Mykorrhiza in den oberen 30 cm signifikant höher ist als in den tieferen Horizonten (KOTTKE & OBERWINKLER 1988), und daß Schadstoffeintrag zu einer Verarmung der Vielfalt der Mykorrhiza führt.

III.3. Quantitative Merkmale

Um Aussagen über Veränderungen in Abhängigkeit von biotischen und abiotischen Umweltfaktoren (Jahresgang, Alter der Wirtspflanze, Schadstoff) treffen zu können, sind exakte Erfassungen von Daten unumgänglich.
Erschwerend wirkt, daß einige Begriffe von verschiedenen Autoren unterschiedlich definiert werden. Momentan gängige Methoden zur quantitativen Erfassung sind folgende:

1. % Mykorrhizierung (KOTTKE & OBERWINKLER 1988) = Mykorrhizierungsgrad (MEYER 1985)

$$\% \text{ Myk.} = \frac{\text{Anzahl mykorrhizierter Wurzeln}}{\text{Gesamtzahl Feinwurzeln}} \times 100$$

Bei Untersuchungen in einem 60-70jährigen Fichtenbestand wurden z.B. Werte um 95 % Mykorrhizierung erreicht (KOTTKE & OBERWINKLER 1988).

2. absolute Mykorrhizahäufigkeit (MHF)
MHF = Anzahl aktiver Mykorrhizen in 100 ml Boden (KOTTKE & OBERWINKLER 1988)
Aus obengenannter Literatur sind bei Erhebungen

im Humus	/1 l Boden	MHF Werte von 900 - 2800
im Mineralboden	/1 l Boden	MHF Werte von 40 - 400

bekannt. Die MHF-Werte sind stark abhängig von
- Jahreszeit
- Feuchtigkeit
- Bodenqualität
- Standort, Alter

3. relative Mykorrhizahäufigkeit
= Anzahl aktiver Mykorrhizen an 100 mg Feinstwurzeltrockenmasse (KOTTKE 1986)
In Abhängigkeit von den genannten Faktoren schwanken die Werte zwischen
70 - 300 im Humus und
50 - 90 im Mineralboden

Weitere Möglichkeiten der Erfassung sind:

4. Mykorrhizazahl = Anzahl der Gesamtmykorrhizen je mm Trägerwurzel

5. aktive Mykorrhizazahl = Anzahl der aktiven Mykorrhizen je mm Trägerwurzel

6. % aktive Mykorrhizen

$$= \frac{\text{Anzahl aktiver Mykorrhizen}}{\text{Anzahl Gesamtmykorrhizen}} \times 100\ \%$$

Zusammenfassung

Die Mykorrhiza stellt ein dynamisches Gebilde dar, welches im Laufe der Ontogenie und auch bedingt durch Umweltfaktoren zahlreichen anatomischen Veränderungen unterliegt. Bei der Beurteilung des Gesundheitszustandes müssen Jahreszeit, klimatische Faktoren, Bodenverhältnisse, individueller Entwicklungsstand usw. beachtet werden. Eine Einschätzung und Wertung ist daher nur nach sorgfältiger Auswertung von umfangreichem Probematerial möglich.
Immer stärker werden heute die Einflüsse von Umweltfaktoren auf die Mykorrhiza beachtet, da diese eine Rolle für die Vitalität der Waldbäume in Schadgebieten spielen. Die auftretenden Schädigungen der Wurzelsymbiose werden teilweise als eine indirekte Folge von Luftverunreinigungen über Minderung der Photosynthese angesehen. Teilweise wird angenommen, daß sie im Zusammenhang stehen mit Schadstoffeinträgen wie mineralischer N; SO_2; NO_x und Schwermetalle in den Boden und drittens scheint auch eine Kombination beider Schädigungsmöglichkeiten wahrscheinlich.

AGERER, R. (1987): Colour Atlas of Ectomycorrhizae; Einhorn-Verlag, Schwäbisch Gmünd

BOULLARD, B. (1969): Consiterations sur la systematique des mycorrhizes ectotrophes; Bul. Soc. Bot. France 112, 272-275

CHILVERS, G.A. (1968): Some distinctive types of eucalypt mycorrhizas; Aust. J. Bot. 16, 49-70

DOMINIK, T. (1956): Tentative proposal for a new classification cheme of ectotrophic mycorrhizae established on morphological and anatomical characteristics; Roczn. Nauk. Les. 14, 223-245

DOMINIK, T. (1959): Synopsis of a new classification of the ectotrophic mycorrhizae established on morphological and anatomical characteristics; Mycophat. Mycologia Applicata 11, 359-367

EGLI, S., GFELLER, H., BIGLER, P.; Schlunegger, U.-P. (1988): Isolierung und Identifikation des Sesquiterpenalkohols (+/−) – Torreyol aus Reinkulturen des Ektomykorrhizapilzes Cortinarius odorifer Britz Eur. J. For. Path. 18, 351-356

FASSI, B. (1965): Micorrhiza ectotrofiche di Pinus strobus 1. prodotta da un endogone (*Endogone lactiflua* Berk.), Allionia 11, 7-15

FONTANA, A. (1961): Primo contributo allo studio delle micorriza dei pioppi in Piemonte, Allionia 7, 87-129

FOSTER, R.C., MARKS, G.C. (1966): The fine structure of the mycorrhizas of Pinus radiata D. Don. Austral. J. Biol. Sci. 19, 1027-1038
FRANK, A.B. (1885): Über die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze, Ber. Dtsch. Bot. Ges. 3, 128-145
HAUG, I. (1987): Licht- und Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Mykorrhizen von Fichtenbeständen im Schwarzwald, Diss. Tübingen
HAUG, I.; OBERWINKLER, F. (1987): Some distinctive types of spruce mycorrhizae, Trees 1, 172-188
HAUG, I., WEBER, G., OBERWINKLER, F. (1988): Intercellular infection by fungi in mycorrhizae of damaged spruce tress, Eur. J. For. Path. 18, 112-120
HORAK, E. (1963): Untersuchungen zur Wuchsstoffsynthese der Mykorrhizapilze. In Rawald, W., Lyr, H. (ed.) Internat. Mykorrhizasymposium Weimar 1960, S. 147-163
KOTTKE, I. (1986): Wurzelentwicklung und Wachstum der Fichte (*Picea abies* KARST) auf unterschiedlichen Böden und künstlichen Substraten, In: Das lanschaftsökologische Forschungsobjekt Schönbuch, G. Einsele, es. DRG, VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim
KOTTKE, I., OBERWINKLER, F. (1988): Vergleichende Untersuchungen der Feinstwurzelsysteme und der Anatomie von Mykorrhizen nach Trockenstreß und Düngemaßnahmen, KfK-PEF 39
LOBANOW, N.W. (1960): Mykotrophie der Holzpflanzen, Verlag der Wissenschaften Berlin 1960 p. 1-352
MARX, D.H. (1972): Ectomycorrhizae as biological deterrents to pathogenic root infections, Ann. Rev. Phytopathol. 10, 429-454
MARX, D.H.; ALTMAN, J.D. (1979): Pisolithus tinctorius ectomycorrhiza improve survival and growth of pine seedlings on acid coal spoil in Kentucky and Virginia, Reclam Rev. 2, 23-37
MARX, D.H., DAVEY, C.B. (1969): The influence of ectotrophic mycorrhizae fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections, III Resistance of aseptically formed mycorrhizae to infections by *Phytophtora cinnamomi*. Phytopath. 59, 549-558
MASSICOTTE, H.B., PETERSON, R.L., ACKERLEY, C.A., PICHE, Y. (1986): Structure and ontogeny of *Alnus crispa-Alpova diplophloeus* ectomycorrhizae, Can. Journ. Bot. 64 (1), 177-192
MEYER, F.H. (1985): Einfluß des Stickstoffaktors auf den Mykorrhizabesatz von Fichtensämlingen im Humus einer Waldschadensfläche, Allg. Forstzeitschrift 40, 208-219,
MIKOLA, P. (1948): On the physiology and ecology of Cenococcum graniforme, Communs Inst. for. fenn. 36, 1-104
MILLER, O.K. (1964): Monograph of *Chroogomphus* (Gomphidiaceae), Mycologia 56, 526-549
MURACH, D. (1983): Die Reaktion von Fichtenfeinwurzeln auf zunehmende Bodenversauerung, AFZ-38, 683-686
PEYRONAL, B. (1934): Il sapore e alcune reazioni microchimiche delle micorrize ectotrofiche produtte da Russule e lattarii, Nuovo Giorn. Bot. Ital. n.s. 41, 744-746
RITTER, T., KOTTKE, I., OBERWINKLER, F. (1986): Nachweis der Vitalität von Ektomykorrhizen. Biol. in u.Z. **16** (6) 179-185
THEOUDOROU, C., BOWEN, G.D. (1971): Influence of pH and nitrate mycorrhizal association of Pinus radiata, D. Don. Aust. J. Bot. **17**, 59-67
TRAPPE, J.M. (1962): Fungus associates of ectotrophic mycorrhizae Bot. Rev. **28**, 538-560
TRAPPE, J.M. (1967): Principles of classifying ectotrophic mycorrhizae for indentification of fungal symbionte, JUFRO-Kongreß München, V Sektion 24 p, 46-59
VOGT, K., EDMUNDS, R.; GRIER, C. (1981): Dynamics of ectomycorrhizae in Abies amabilis stands. The role of Cenococcum graniforme. Holarctic Ecology **4**, 167-173
WATLING, R. (1966): Chemical tests in agaricology, J. Gen. Microbiol. 42 in J. Trappe, Principles of classifying ectotrophic mycorrhiza, JUFRO-Kongreß München 1967, V Sekt. 24, 46-59

WEISS, M., AGERER, R. (1988): Studien an Ektomykorrhiza XII-Drei nichtidentifizierte Mykorrhizen an Picea abies (1.) Karst aus einer Baumschule, Eur. J. For. Path. 18, 26-43
ZAK, B. (1964): Role of mycorrhizae in root disease, Ann. Rev. Phytopath. 2, 377-392
ZAK, B. (1973): Classification of ectomycorrhizae, In: Ectomycorrhizae, G.C. Marks, T.T. Koslowski, Academic Press, New York and London pp 43-78

Anschrift der Verfasserin:

Dipl.-Biol. M. HORAK, Technische Universität Dresden, Sektion Forstwirtschaft Tharandt, Wissenschaftsbereich Biologie, Pienner Str. 7, Tharandt, DDR-8223

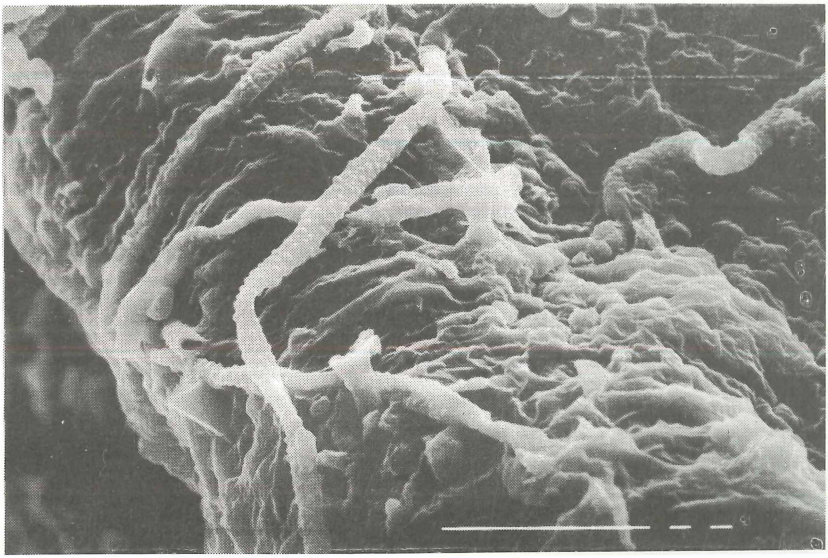

Abb. 1: Oberfläche einer mykorrhizierten Wurzel; Aufsicht auf den Hyphenmantel; REM-Aufnahme; Größenvergleich 20 µm

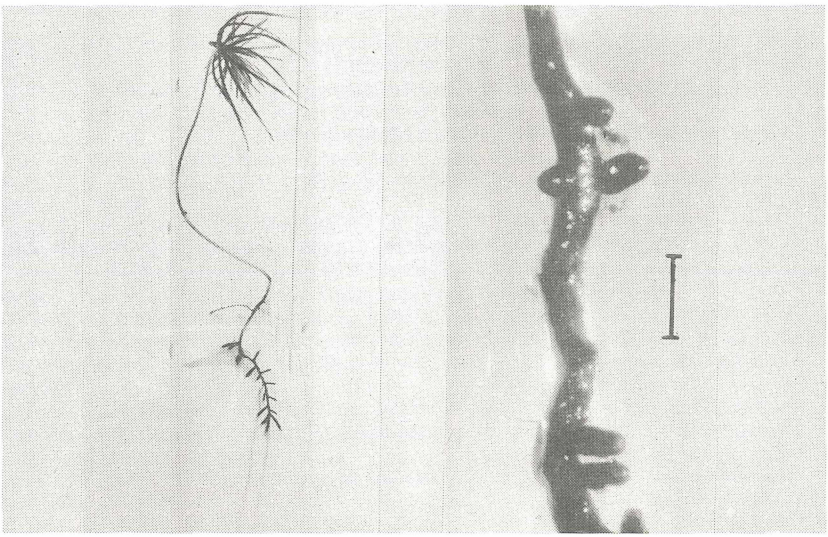

Abb. 2: Mit Tricholoma pessundatum beimpfter Fichtensämling; 3 Monate alte Sterilkultur
Abb. 4: Feinwurzel einer gesunden 4-jährigen Fichtenpflanze (Kontrolle); Größenvergleich 400 µm

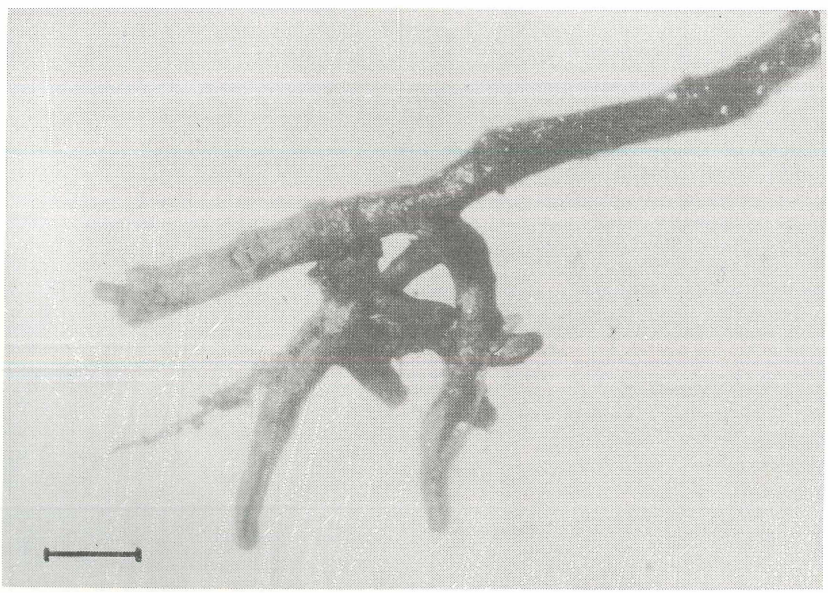

Abb. 3: Feinwurzel einer SO_2-behandelten Fichtenpflanze (4-jährig), Größenvergleich 400 µm

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Boletus - Pilzkundliche Zeitschrift

Jahr/Year: 1991

Band/Volume: 15

Autor(en)/Author(s): Horak Martina

Artikel/Article: Ektomykorrhiza - Einfluß von Umweltfaktoren und Methodik zur Charakterisierung 10-18