

MYKORRHIZA

Geheimnisse einer Partnerschaft

Bertold Hock, Technische Universität München

- Mykorrhiza: Symbiose von Pflanzenwurzeln und Pilzen
- Ektomykorrhiza
- Arbuskuläre Mykorrhiza
- Orchideen-Mykorrhiza

Von der Trüffelzucht zur Mykorrhiza-Forschung



Hirschtrüffel *Elaphomyces granulatus*
Copyright © 2007 Peter Widmann



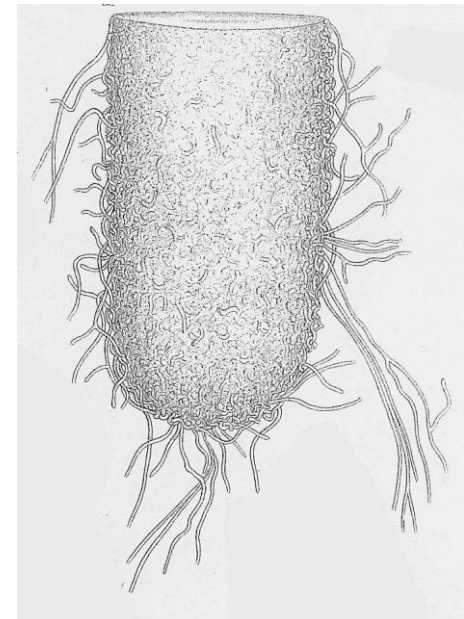
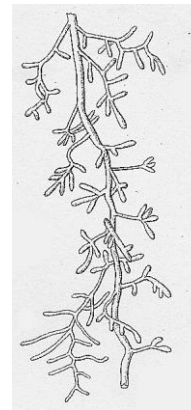
Bernhard Frank (1839 – 1900)
Kaiserlicher Geheimer Regierungsrat,
ab 1881 Professor der Pflanzenphysiologie
an der Kgl. landw. Hochschule in Berlin

21. B. Frank: Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze.

(Mit Tafel X.)

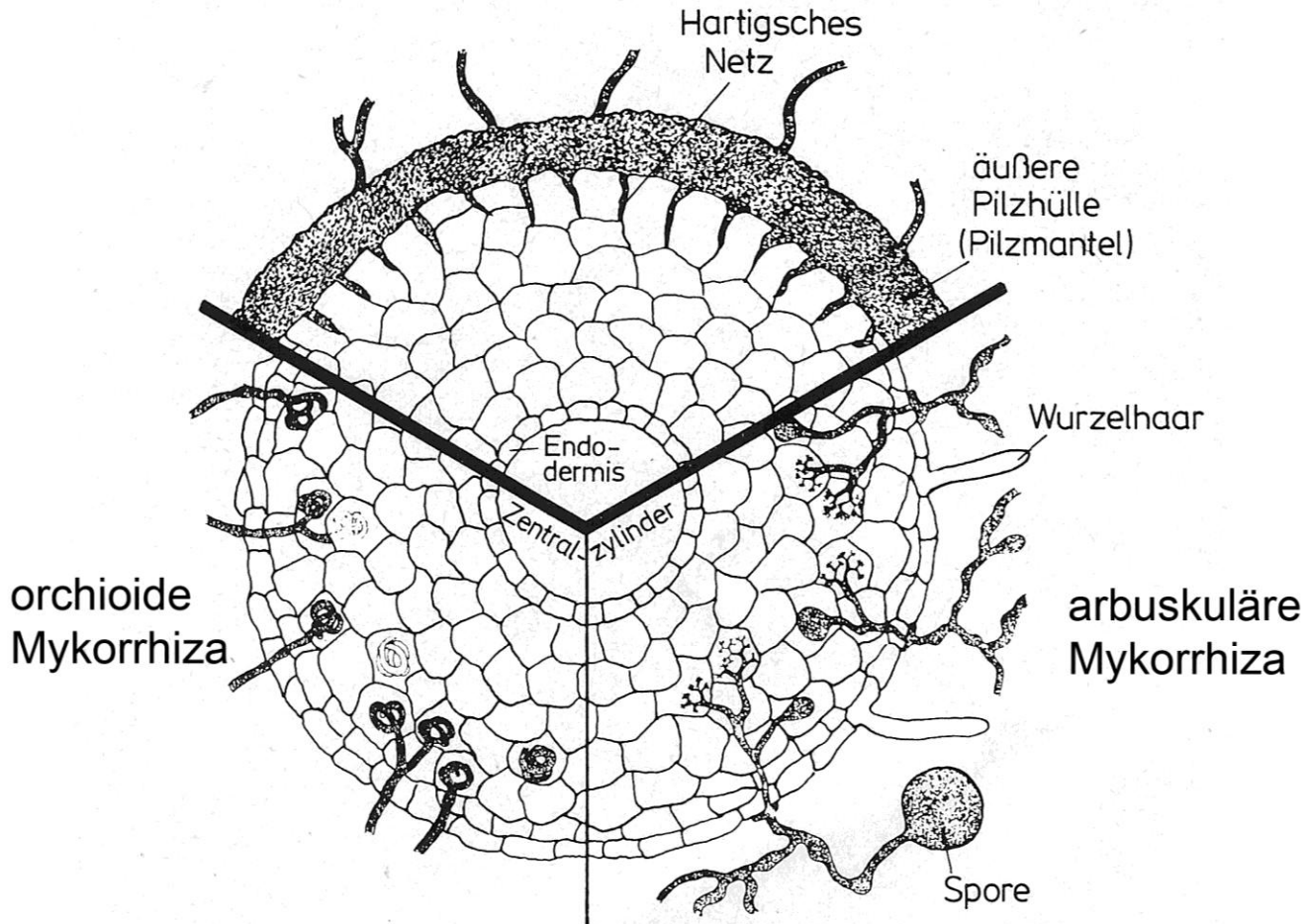
Eingegangen am 17. April 1885.

Viele Baumarten ernähren sich ganz regelmäßig im Boden nicht selbständig, sondern stehen überall in ihrem gesamten Wurzelsystem mit einem Pilzmyzel in Symbiose, welches ihnen Ammendienste leistet und die ganze Ernährung des Baumes aus dem Boden übernimmt.



Die häufigsten Mykorrhizatypen

Ektomykorrhiza



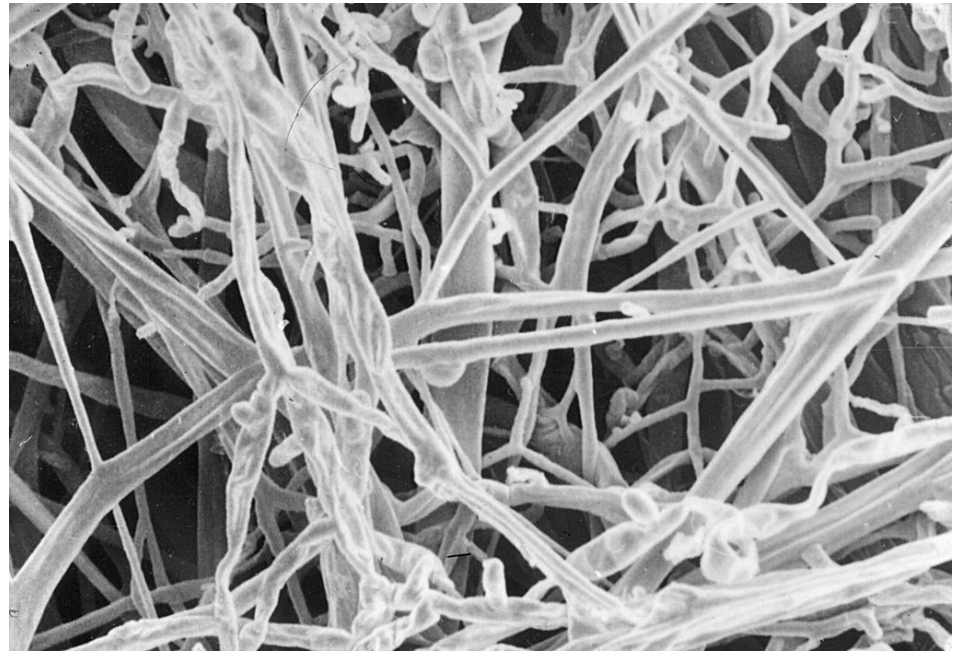
Endomykorrhiza

Wurzelquerschnitt, schematisch
(nach Deacon 1980)

Pilzhyphen



Größenvergleich
menschliches Haar
- Pilzhyphen



Pilzmyzel (*Flammulina velutipes*)

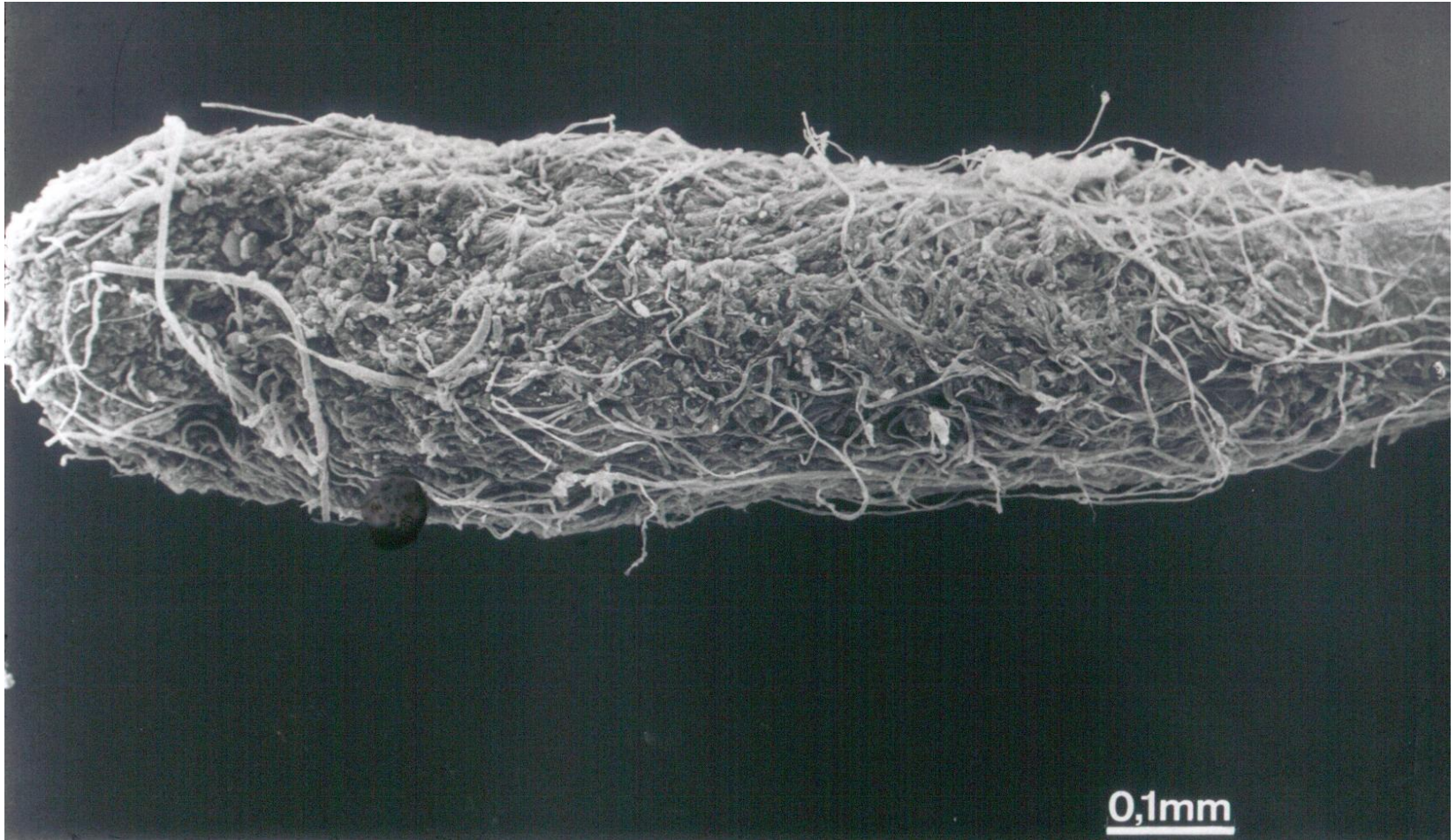
MYKORRHIZA

Geheimnisse einer Partnerschaft

Bertold Hock, Technische Universität München

- Mykorrhiza: Symbiose von Pflanzenwurzeln und Pilzen
- Ektomykorrhiza
- Arbuskuläre Mykorrhiza
- Orchideen-Mykorrhiza

Ektomykorrhiza



Mykorrhizierte Kiefernwurzel

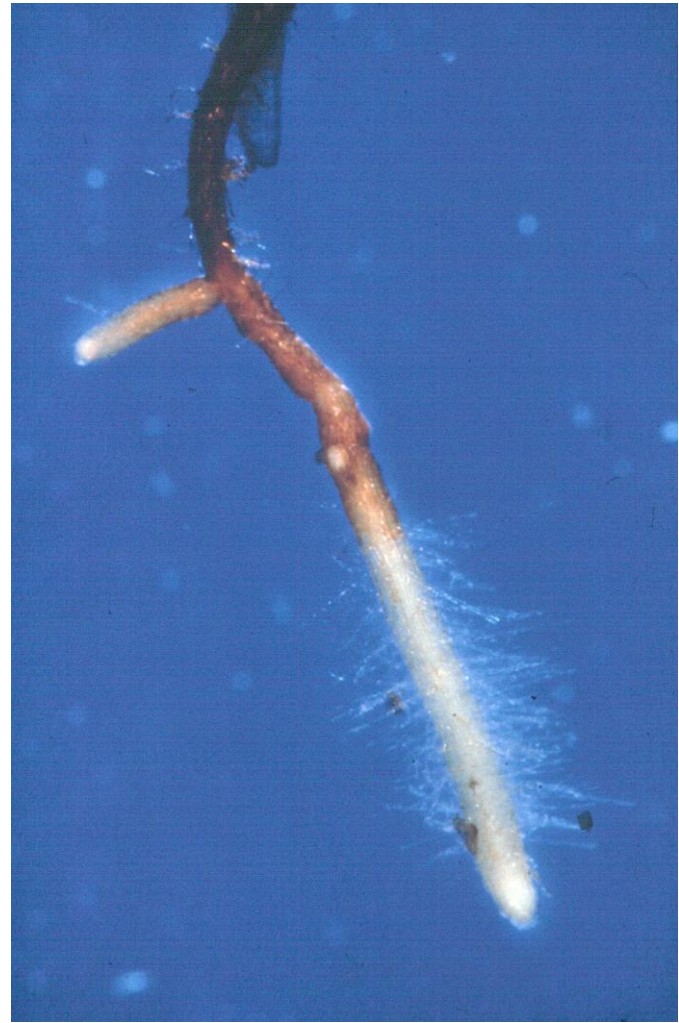


Foto:
G.D. Bending
University of Warwick
UK

Ektomykorrhiza der Fichte

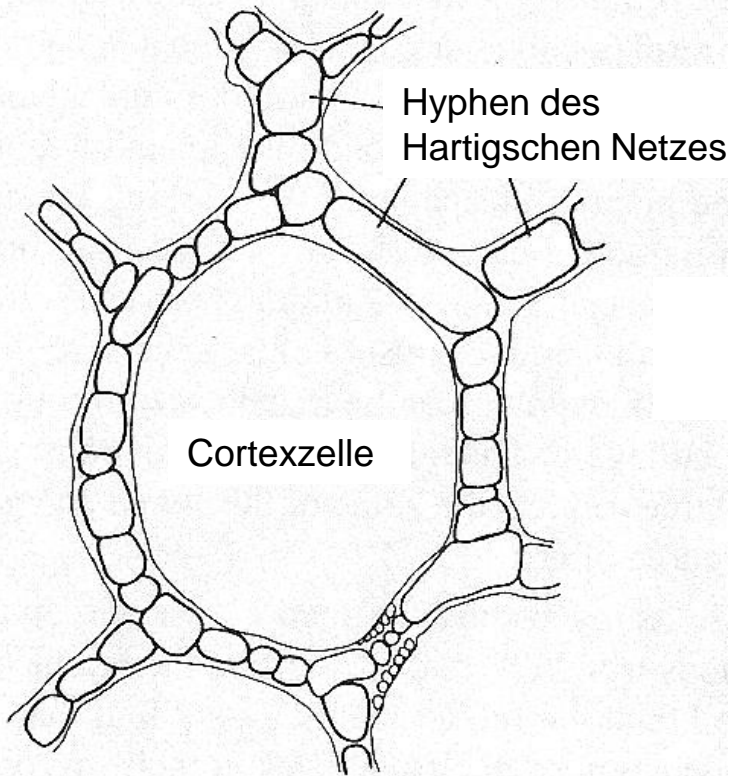


Pisolithus tinctorius
als Mykorrhizapilz

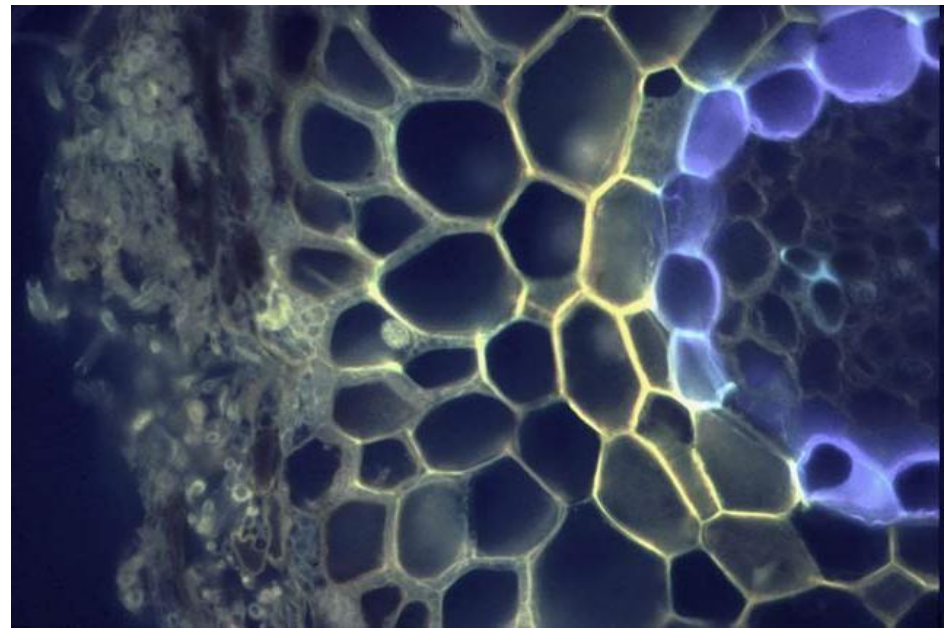


Kontrollfichte,
nicht mykorrhiziert

Hartigisches Netz



Querschnitt durch Cortextgewebe



Mykorrhizierte Lärchenwurzel (Querschnitt).
Eigenfluoreszenz unter UV-Beleuchtung
(Aufnahme Mark Brundrett)

Leistungen der Ektomykorrhiza

- Gegenseitige Nährstoffversorgung
- Stoffspeicherung zu versetzten Jahreszeiten
- Förderung des Wurzelwachstums
- Schutz vor Stress und Wurzelpathogenen
- Bildung von Mykorrhiza-Netzwerken
- Voraussetzung für Fruchtkörperbildung

Ektomykorrhiza

Phytobiont		Mykobiont		
über 5.000 Arten		ca. 2.000 Arten		
Familie	Beispiel	Abteilung	Ordnung	Beispiel
Pinaceae	Kiefer, Fichte, Tanne	Basidiomycota	Agaricales	<i>Amanita, Boletus, Suillus</i>
Fagaceae	Eiche, Buche			<i>Tricholoma, Russula, Lactarius</i>
Betulaceae	Birke		Sclero- dermatales	<i>Scleroderma, Rhizopogon</i>
Fabaceae	Akazie	Ascomycota	Pezizales	<i>Tuber, Gyromitra</i>
		Fungi imperfecti		<i>Cenococcum graniforme</i>

Boletus edulis (Steinpilz)



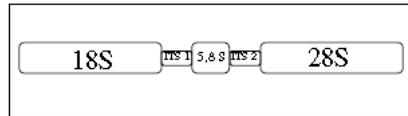
Amanita phalloides
(Grüner Knollenblätterpilz)



Ektomykorrhiza

Phytobiont		Mykobiont		
über 5.000 Arten		ca. 2.000 Arten		
Familie	Beispiel	Abteilung	Ordnung	Beispiel
Pinaceae	Kiefer, Fichte, Tanne	Basidiomycota	Agaricales	<i>Amanita</i> , <i>Boletus</i> , <i>Suillus</i>
Fagaceae	Eiche, Buche			<i>Tricholoma</i> , <i>Russula</i> , <i>Lactarius</i>
Betulaceae	Birke		Sclero- dermatales	<i>Scleroderma</i> , <i>Rhizopogon</i>
Fabaceae	Akazie	Ascomycota	Pezizales	<i>Tuber</i> , <i>Gyromitra</i>
		Fungi imperfecti		<i>Cenococcum graniforme</i>

Anordnung der ribosomalen DNA-Abschnitte



18S Untereinheit

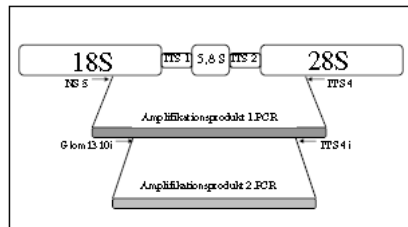
ITS1 Internal transcribed spacer

5,8S Untereinheit

ITS2 Internal transcribed spacer

28S Untereinheit

Hybridisierungsposition der Oligonukleotid-Primer





Genom-Merkmale von *Laccaria bicolor* und weiteren Basidiomyceten

Genome characteristics	<i>L. bicolor</i>	<i>C. cinerea</i>	<i>P. chryso sporium</i>	<i>C. neoformans</i>	<i>U. maydis</i>
Sequencing institution	JGI	Broad	JGI	Broad	Broad
Genome assembly (Mb)	64.9	37.5	35.1	19.5	19.7
Number of protein-coding genes	20,614	13,544	10,048	7,302	6,522
Coding sequence <300 bp	2,191	838	163	313	58

(Martin et. al., Nature 452, 2008)

In vitro-Mykorrhizierung

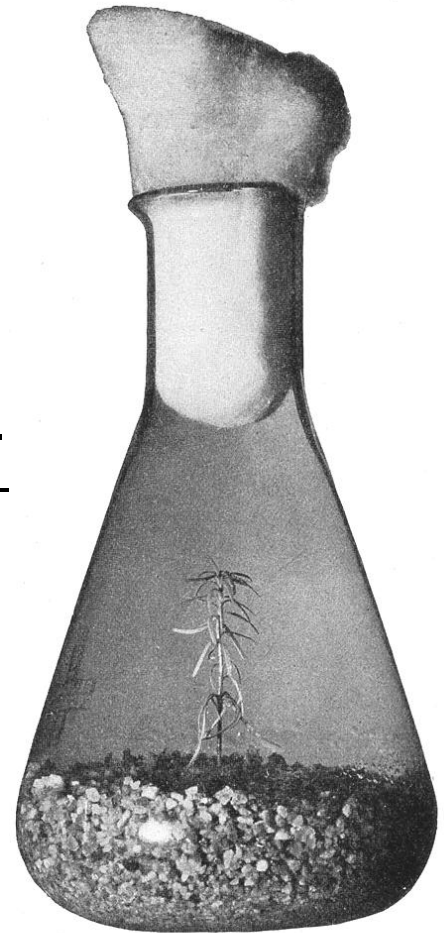


Elias Melin (1889 – 1979)

Ab 1930 Professor für Botanik
an der Universität Uppsala

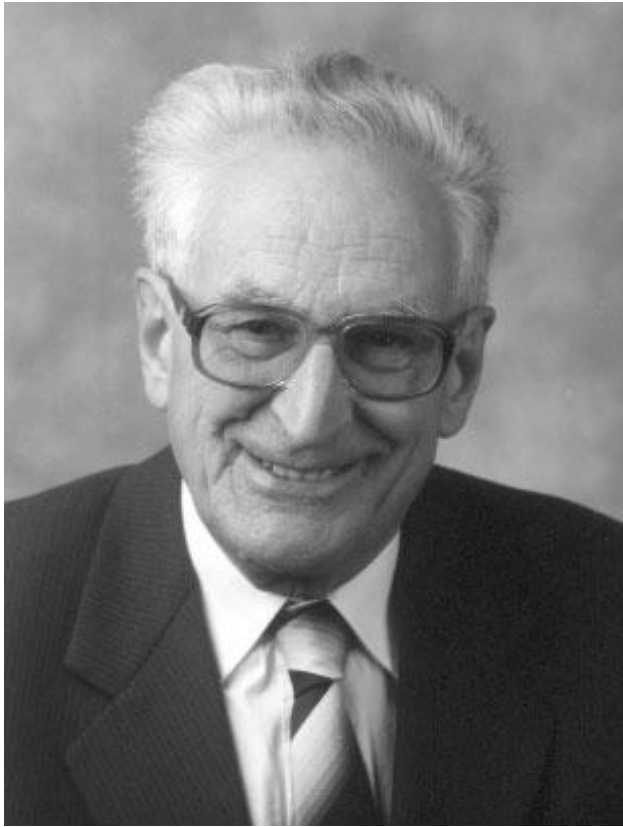
Ektomykorrhiza

Melin, E. (1922):
Untersuchungen über die
Larix-Mykorrhiza. Synthese
der Mykorrhiza in Reinkultur.
Svensk Bot. Tidskr. 16, 161 –
196.



Verf. photo.
Fig. 2. Reinkultur von *Larix europaea* DC.
Das Pflänzchen 5 Monate alt. — Nat. Grösse.

Massenproduktion von *Suillus*-Myzel zur Beimpfung von Arvensämlingen



Meinhard Moser (1924 – 2002)

Ab 1968 Professor für Mikrobiologie an der Universität Innsbruck



- Moser, M., 1956: Die Bedeutung der Mykorrhiza für Aufforstungen in Hochlagen. Forstwiss. Centralblatt 75, 32 – 40.
- Moser, M., 1958: Die künstliche Mykorrhizaimpfung an Forstpflanzen. Forstwiss. Centralblatt 77, 32 – 40

Beimpfung von Kiefernssämlingen mit *Pisolithus*-Sporen



Foto:D. Hoekstra
(Gainesville State College,
Oakwood, Georgia, USA)

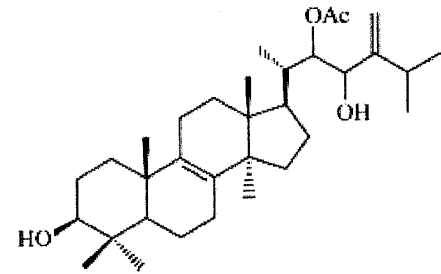
Marx, D.H., 1975: Mycorrhizae and establishment of trees on strip-mined land.

Ohio J. Sci. 75, 288 - 297.



Nutzung von *Pisolithus tinctorius*-Sporen

- Färbung von Stoffen
- Gewinnung von Pisosterol, einem Antitumor-Triterpen



MYKORRHIZA

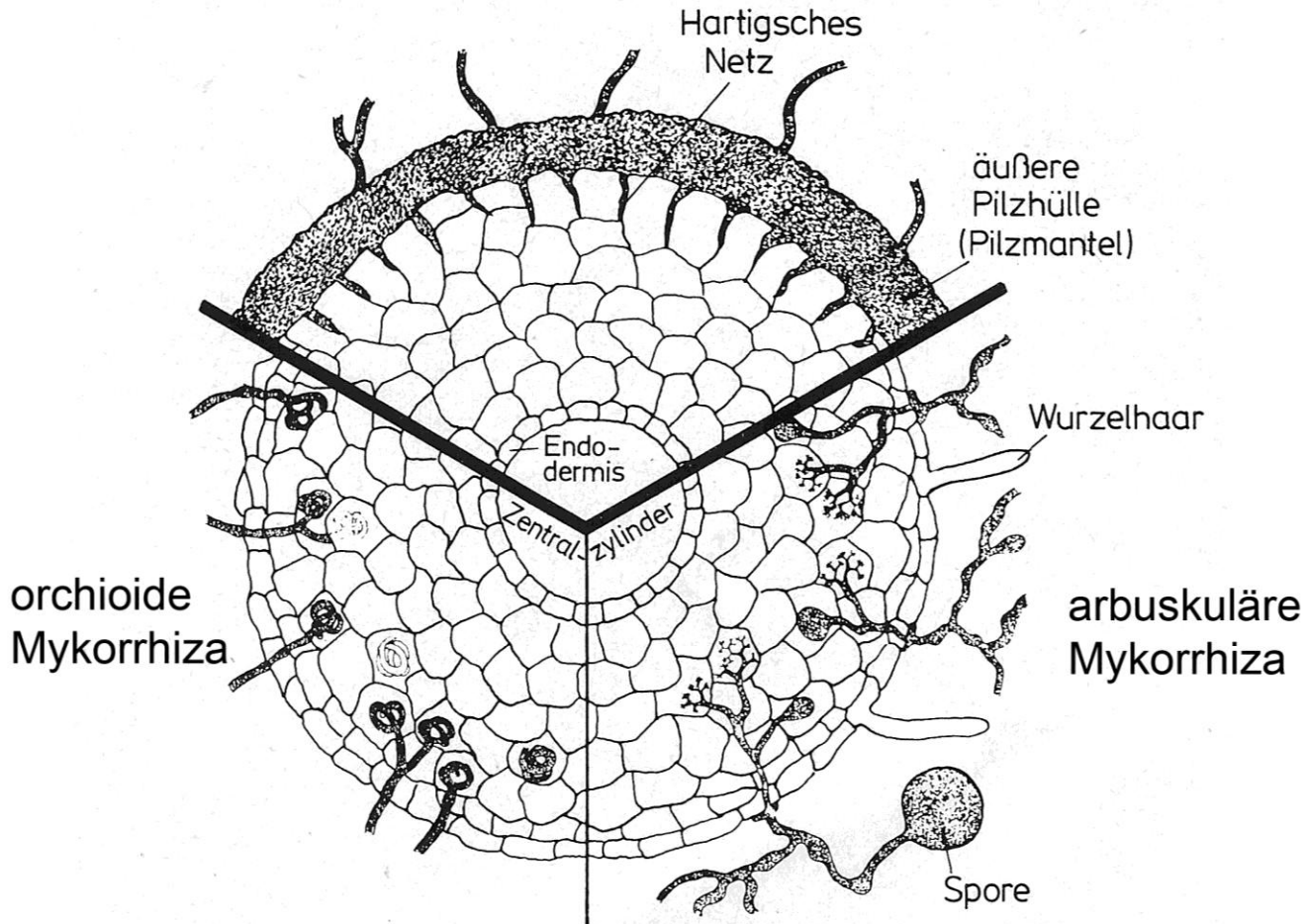
Geheimnisse einer Partnerschaft

Bertold Hock, Technische Universität München

- Mykorrhiza: Symbiose von Pflanzenwurzeln und Pilzen
- Ektomykorrhiza
- Arbuskuläre Mykorrhiza
- Orchideen-Mykorrhiza

Die häufigsten Mykorrhizatypen

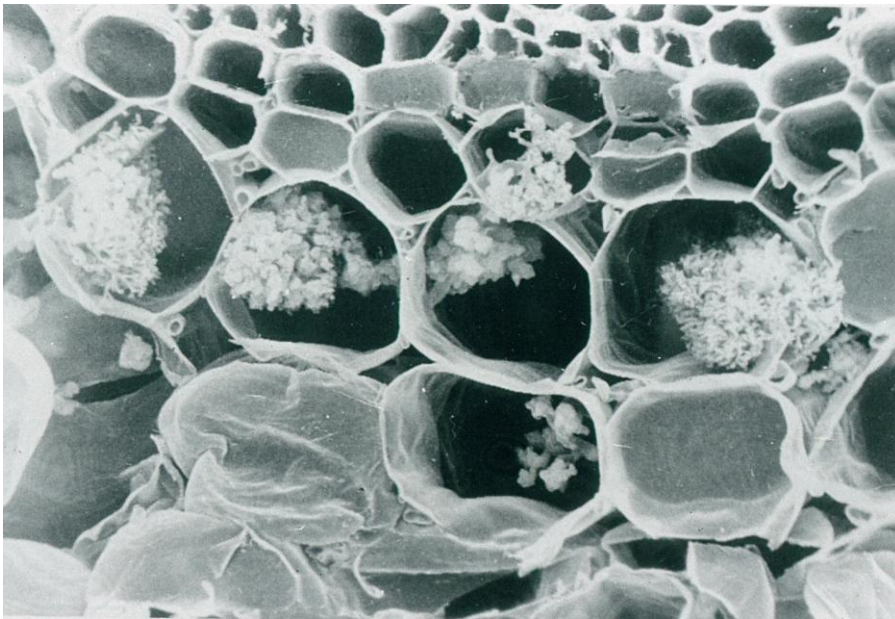
Ektomykorrhiza



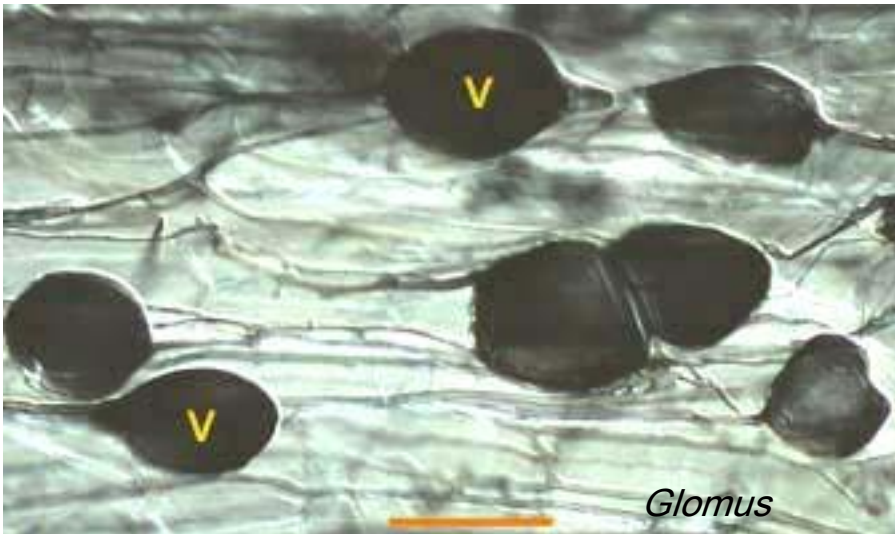
Endomykorrhiza

Wurzelquerschnitt, schematisch
(nach Deacon 1980)

Arbuskuläre Mykorrhiza

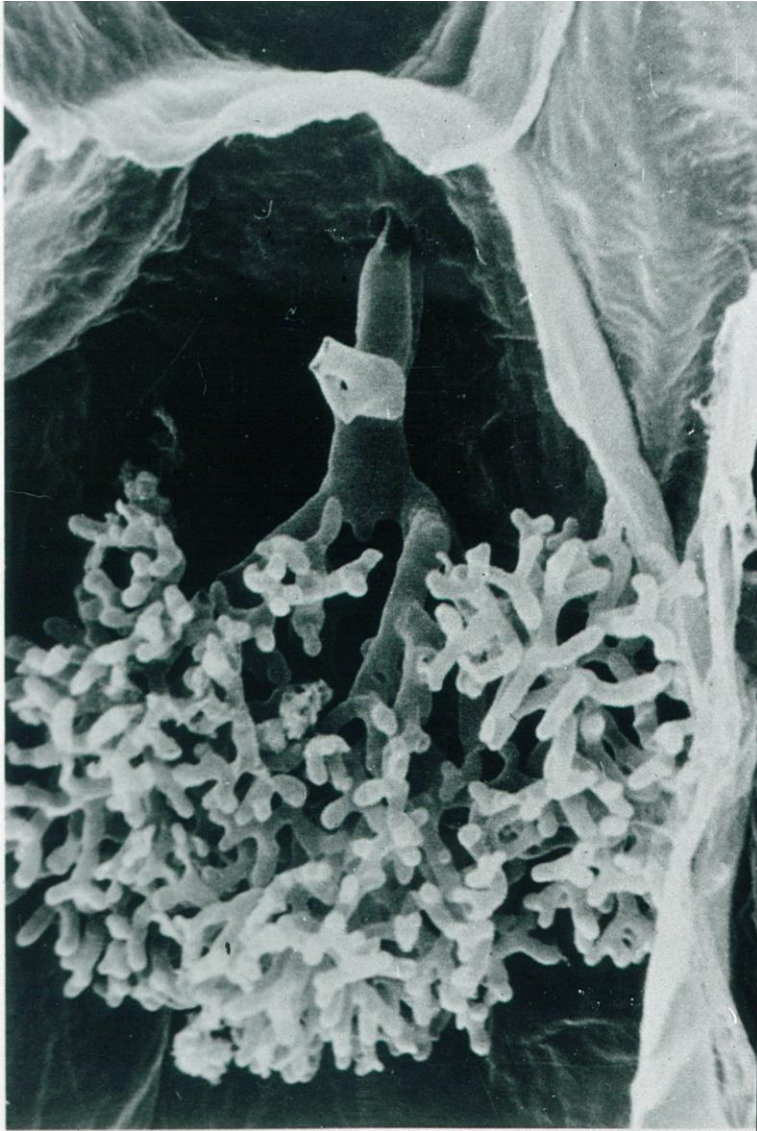


Arbuskeln



Vesikel

Arbuskel



Aufnahme: Maja Hilber-Bodmer
und Rosmarie Honegger

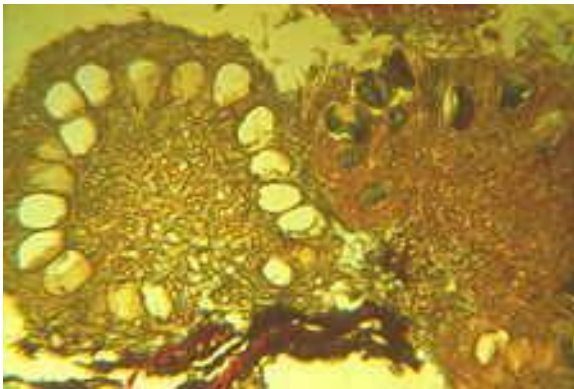
Sporen und Sporokarpe

aus B. Kendrick (2001):
The Fifth Kingdom, 3rd. ed.

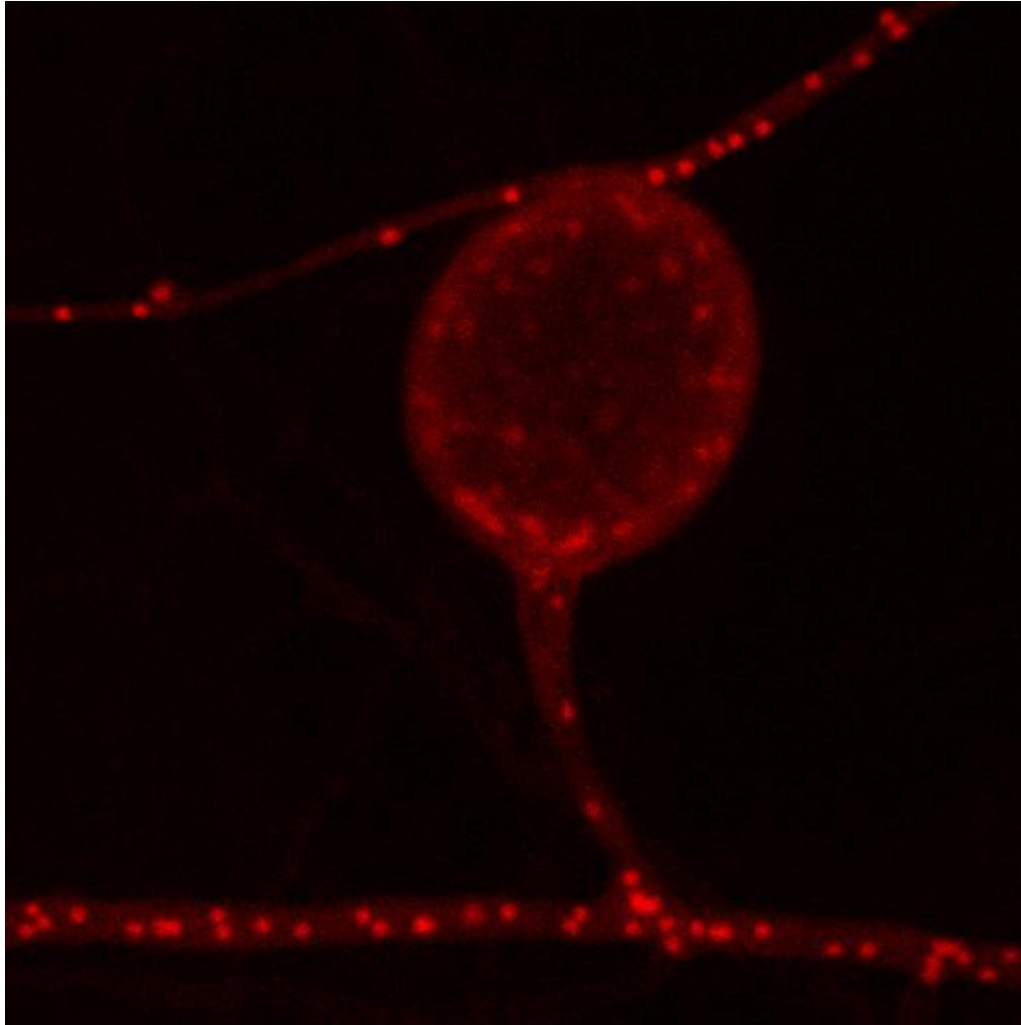


M. Bundrett

Einzelne extramatricale Spore von
Glomus mosseae



Schnitt durch ein Sporocarp von *Glomus*

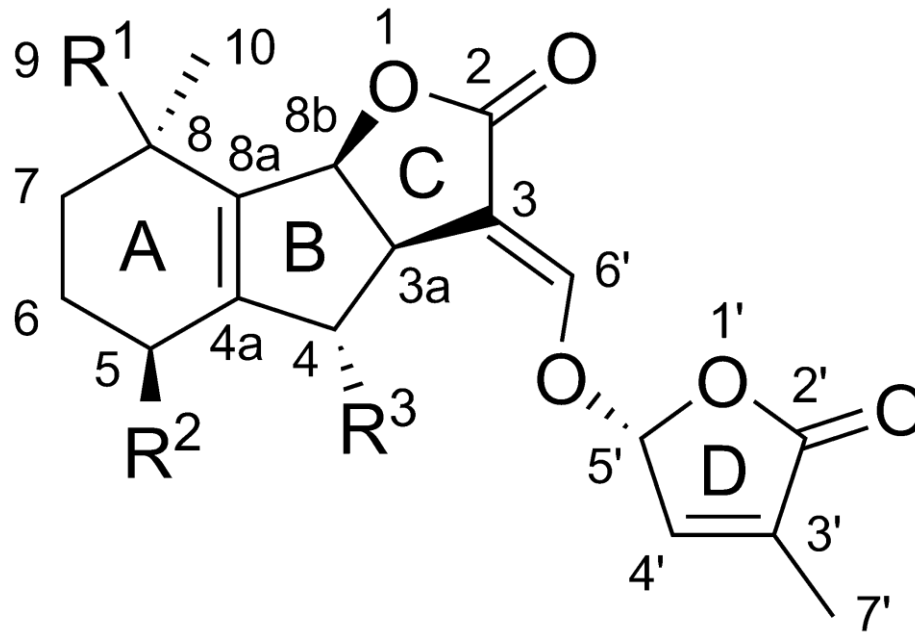


Spore und Hyphen von *Glomus intraradices*

Kernfärbung mit DRAQ5

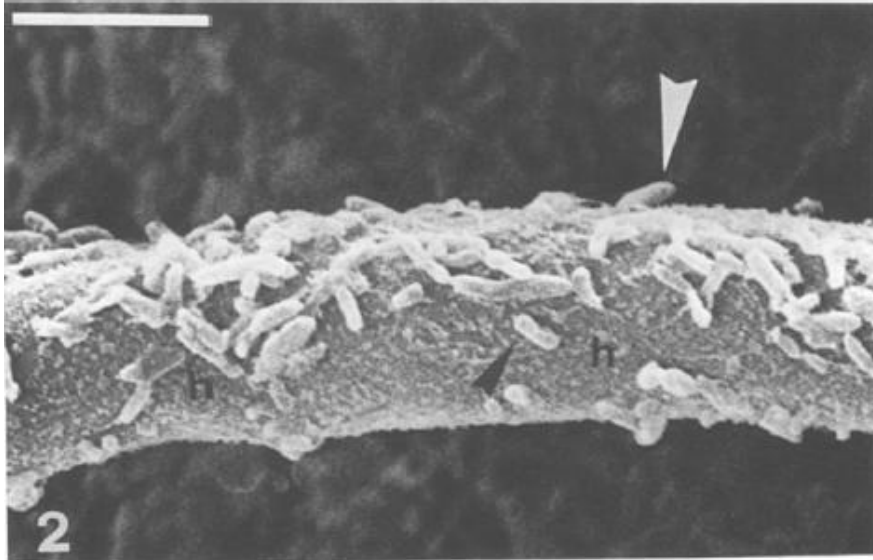
Aufnahme: A. Brachmann (LMU)

Strigolacton

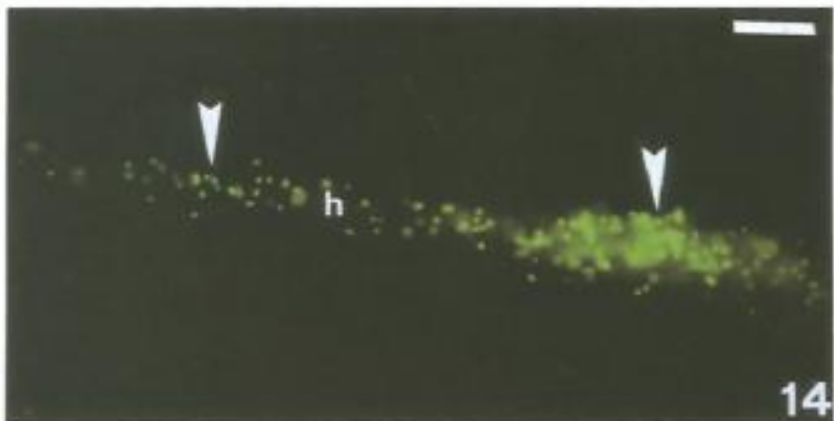


5-Deoxystrigol als „branching factor“
(Akiyama et al. 2005).

Interaktionen zwischen AM-Pilzen und Rhizobakterien

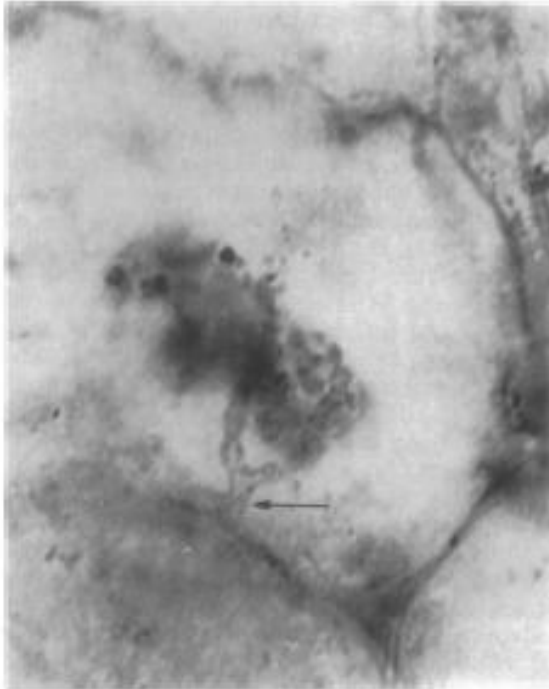


Anheftung von *R. leguminosarum* (Pfeile) an die Oberfläche einer *Gigaspora*-Hyph. Messstrich: 5 μ m



Keimende *G.*-Hyph, bedeckt mit Zellen von *P. fluorescens*

Fossile arbuskuläre Mykorrhiza



Cortex-Zelle mit Stamm (Pfeil)
eines Arbuskels, das sich in das
Zell-Lumen ausdehnt (1500 x)

Remy et al. , Proc. Natl. Acad. Sci. USA,
91, 11841-11843 (1994)

Arbuskuläre Mykorrhiza

Phytobiont	Mykobiont		
über 200.000 Arten (krautige Pflanzen und Holzgewächse)	ca. 200 Arten		
<i>nicht vertreten bei:</i> <i>Brassicaceae,</i> <i>Caryophyllaceae,</i> <i>Cyperaceae</i>	Abteilung	Ordnung	Gattung
	Glomeromycota	Glomales	<i>Glomus</i>
			<i>Acaulospora</i>
			<i>Entrophospora</i>
			<i>Scutellospora</i>
		<i>Gigaspora</i>	

Ektomykorrhiza

Phytobiont	Mykobiont		
über 5.000 Arten	ca. 2.000 Arten		

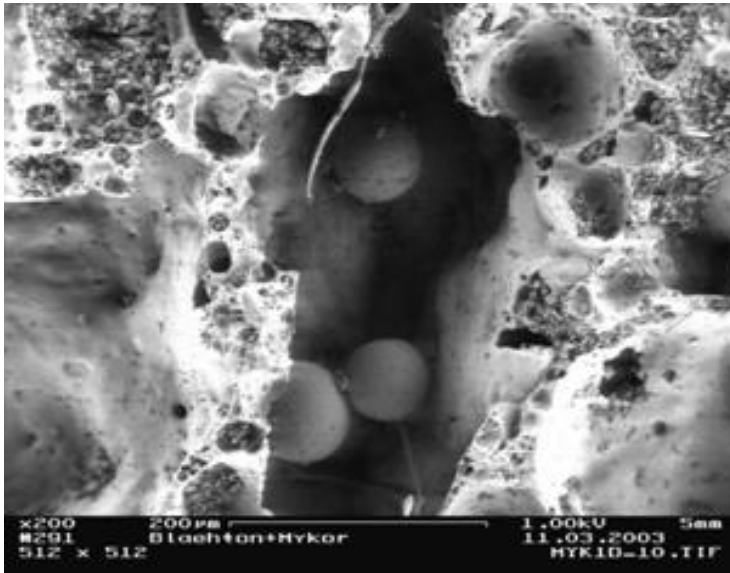
Mykorrhizierte Gehölze

Ektomykorrhiza	Gymnospermen	Angiospermen
	<i>Pinus, Picea, Abies, Larix, Pseudotsuga Tsuga, Cedrus, Juniperus</i>	<i>Quercus, Fagus, Castanea, Betula, Carpinus, Corylus, Alnus, Populus, Acacia, Sambucus</i>
Arbuskuläre Mykorrhiza	<i>Sequoiadendron, Metasequoia, Taxus, Thuja, Chamaecyparis, Podocarpus, Ginkgo</i>	<i>Malus, Pyrus, Prunus, Sorbus, Amelancher, Juglans, Robinia, Acer, Platanus, Aesculus, Fraxinus, Magnolia, Catalpa, Citrus</i>
Beide Mykorrhizatypen	(überwiegend AM: <i>Cupressus</i>)	<i>Tilia, Ulmus, Salix</i> (überwiegend AM: <i>Eucalyptus, Vitis</i>)

Leistungen der arbuskulären Mykorrhiza

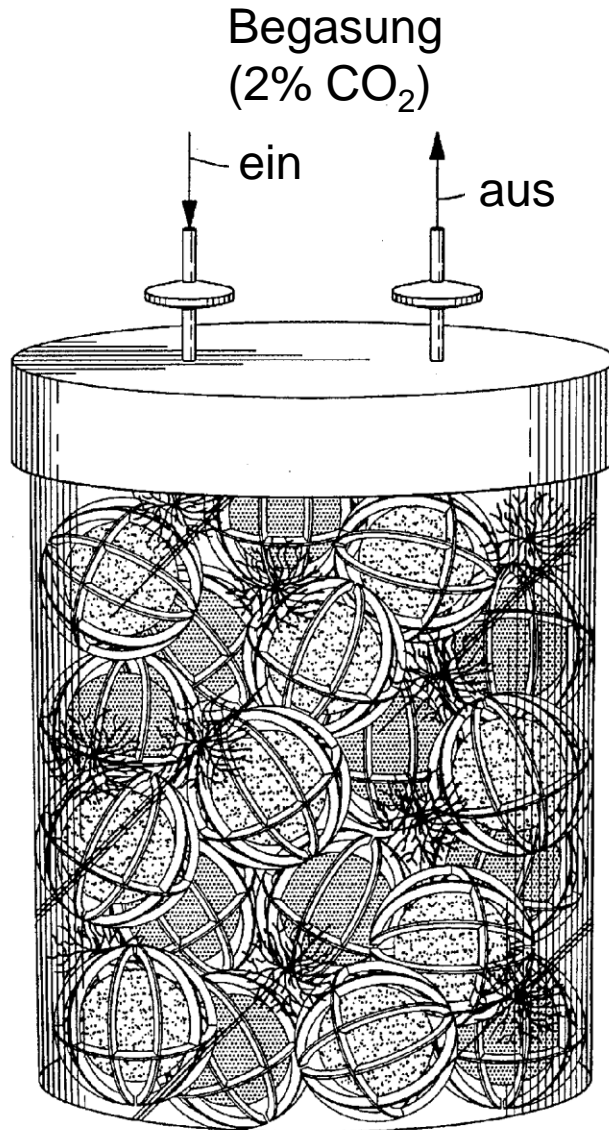
- Gegenseitige Nährstoffversorgung
- Förderung des Wurzelwachstums
- Schutz vor Stress und Wurzelpathogenen
- Bildung von Mykorrhiza-Netzwerken
- Bodenstabilisierung
- Austausch von Zellkernen
- Hyphenwachstum und Sporenbildung nur in Gegenwart von Wurzeln

Blähton-Granulat mit Sporen und Hyphen von arbuskulärer Mykorrhiza

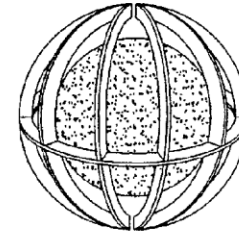


Rasterelektronen-mikroskopische Aufnahme von
Dr. Schmidt-Brücken (TU Dresden, IWW)

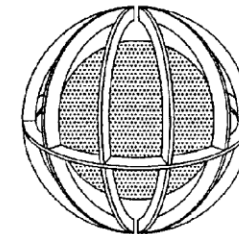
1L-Bioreaktor zur Massenproduktion von AM-Sporen



Behälter mit
mykorrhizierten
Wurzeln
(1% Saccharose)



Behälter zur
Sporenproduktion
(ohne Saccharose)



MYKORRHIZA

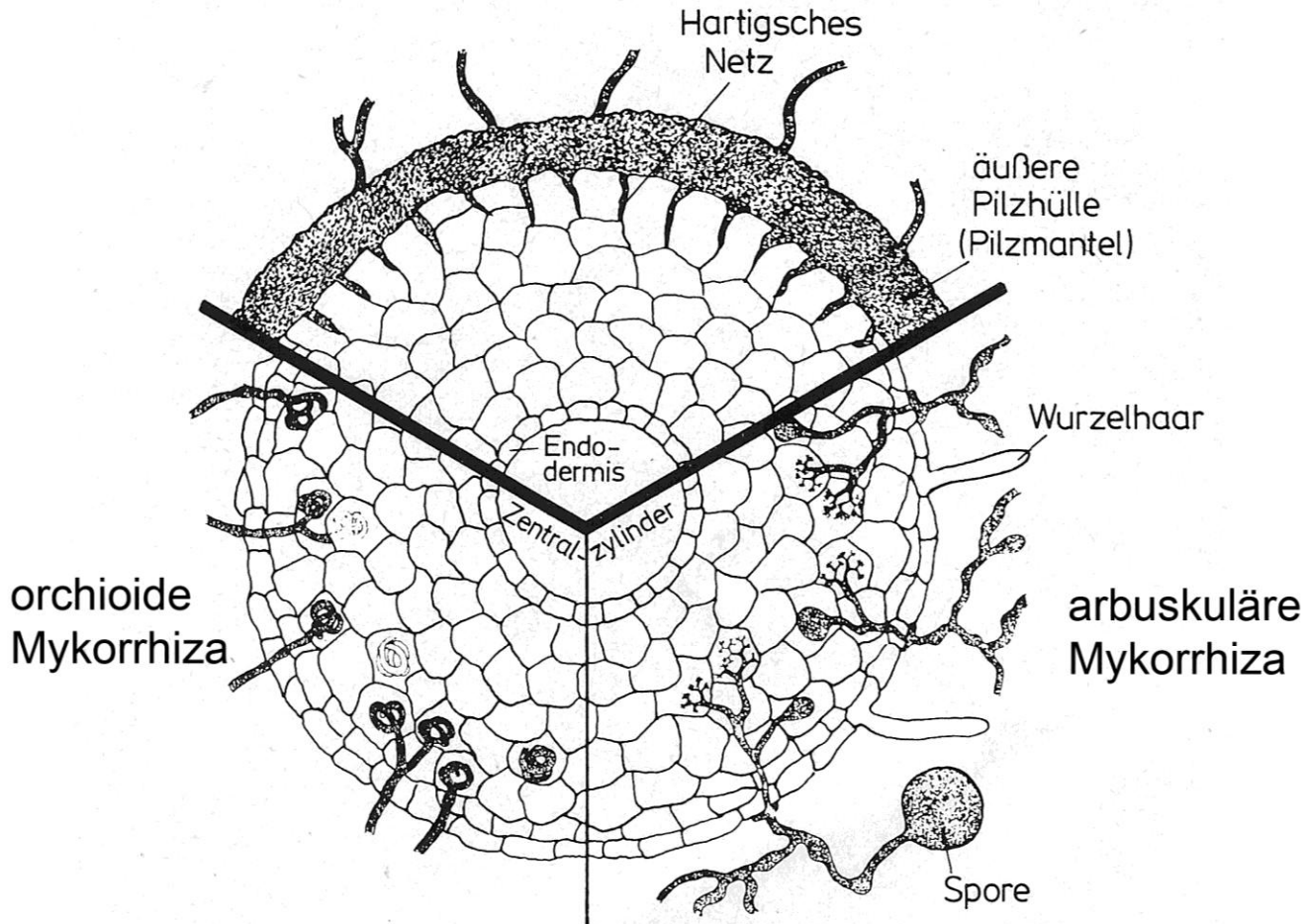
Geheimnisse einer Partnerschaft

Bertold Hock, Technische Universität München

- Mykorrhiza: Symbiose von Pflanzenwurzeln und Pilzen
- Ektomykorrhiza
- Arbuskuläre Mykorrhiza
- Orchideen-Mykorrhiza

Die häufigsten Mykorrhizatypen

Ektomykorrhiza



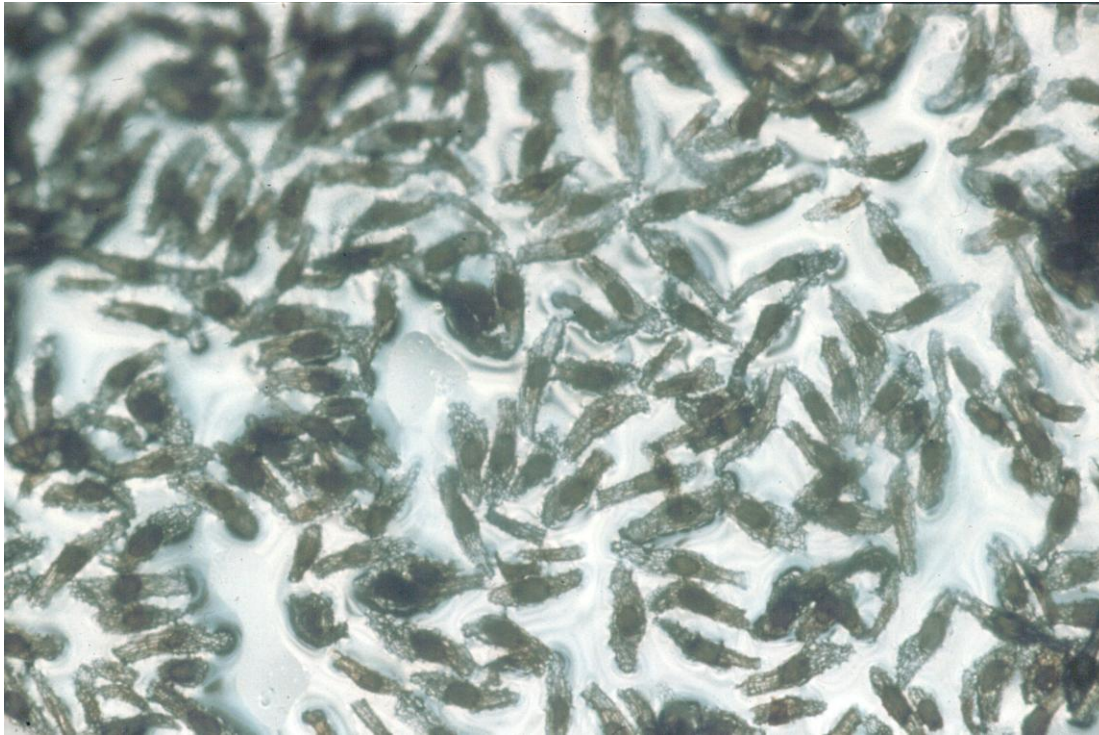
Endomykorrhiza

Wurzelquerschnitt, schematisch
(nach Deacon 1980)

Rhizoctonia als Mykorrhizapilz



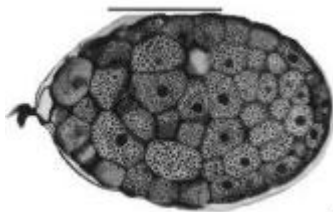
Orchideensamen



D. ericetorum



Samen von *Cyripedium calceolus*.
Länge des kleinen Samens: 1,3 mm



Embryo von *Dactylorhiza majalis*

aus Philipp Kasper: Orchideenmykorrhiza-Online

Protokorm, mykorrhiziert

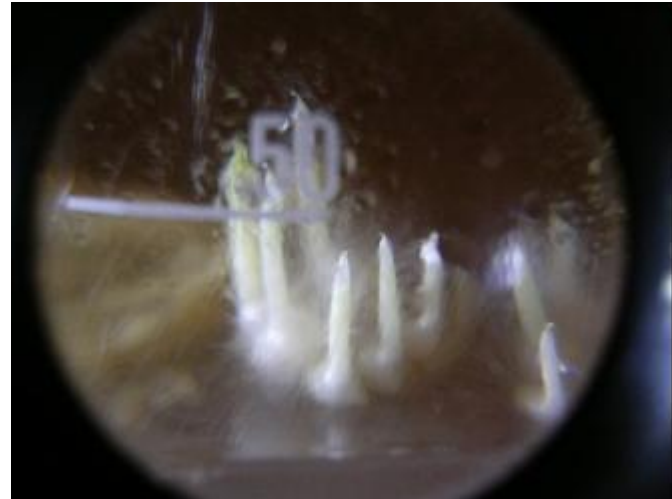


D. ericetorum

Symbiotische Protokormentwicklung



Dactylorhiza -Protokorme



Blattaustrieb 5 Wochen nach Aussaat



Entwicklung nach 4 Monaten



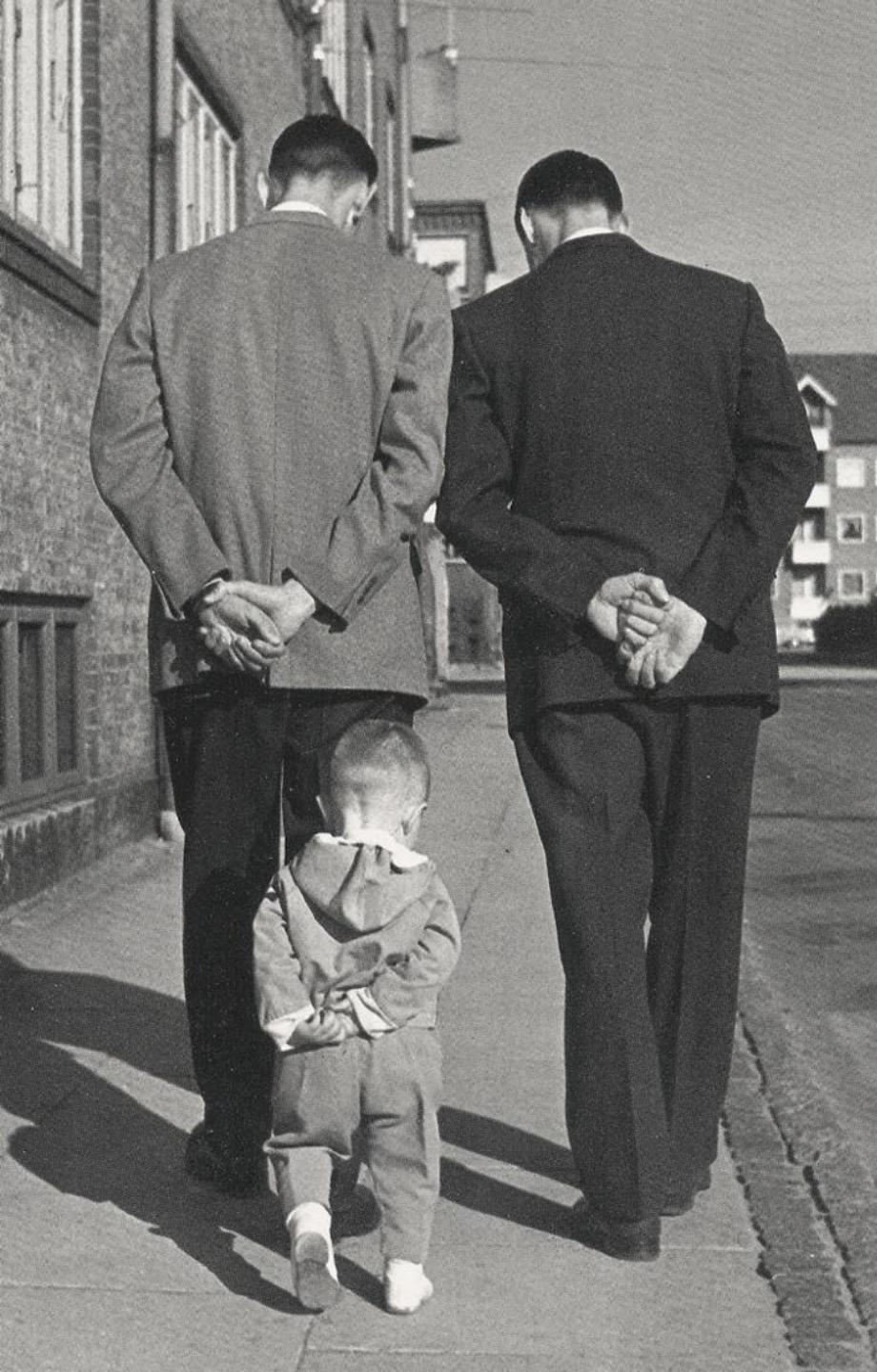
Frisch getopfte Sämlinge von *Anacamptis morio* (Kleines Knabenkraut) ⁴¹

Photos:
Frank Meissner,
Lengenbostel



Dactylorhiza incarnata

(Photo: Dr. H. Beyrle)



Ende!