

Diversität der Ektomykorrhizen im unter- und oberirdischen Vergleich: die Explorationstypen

REINHARD AGERER

AGERER, R. (2007): Diversity of ectomycorrhizae as seen from below and above ground: the exploration types. Z. Mykol. 73/1: 61-88

Key words: ectomycorrhizae, diversity, ecology, space occupation, extramatrical mycelium, rhizomorphs, emanating hyphae, hydrophily, hydrophoby, contact, short-distance, medium-distance smooth, medium-distance fringe, medium-distance mat, long-distance, pick-a-back, exploration types

Summary: Ectomycorrhizae (ECM) can be categorized into so-called exploration types that are indicative of the ectomycorrhiza's ecological role in space occupation in the soil, their possible reach regarding nutrient acquisition and their demand of carbohydrates that have to be invested by the trees for their fungal partners. For all known exploration types the specific characters are given and examples provided: Contact exploration type (*Russula ochroleuca*, *Hygrophorus olivaceoalbus*, and *Lactarius badiosanguineus*), Short-Distance exploration type (*Inocybe fuscomarginata*, *Rozites caperatus*, and *Tuber aestivum*), Medium-Distance smooth exploration type (*Laccaria amethystina*, *Thelephora terrestris*, and *Lactarius picinus*), Medium-Distance fringe exploration type (*Cortinarius armillatus*, *Tricholoma vaccinum*, and *Amphinema byssoides*), Medium-Distance mat exploration type (*Hydnellum caeruleum*, *Ramaria subbotrytis*, and *Hysterangium spec.*), Long-Distance exploration type (*Paxillus involutus*, *Xerocomus badius*, and *Suillus bovinus*), and Pick-a-Back exploration type (*Chroogomphus rutilus* and *C. helveticus ssp. helveticus*). For comparison of colours of fruitbodies and ectomycorrhizae, fruitbody colour prints are provided as well. Some additional important features of the ectomycorrhizae are mentioned.

Zusammenfassung: Ektomykorrhizen (ECM) lassen sich in sog. Explorationstypen unterteilen, die Hinweise geben können auf die ökologische Bedeutung der Ektomykorrhizen hinsichtlich Raumbesetzung im Boden, Reichweite für Nährstoffaufnahme und in Bezug auf Kohlenhydratkosten, die von Bäumen für ihre symbiontischen Partner investiert werden müssen. Alle Explorationstypen werden hinsichtlich ihrer Merkmale erklärt und Beispiele gezeigt: Contact-Explorationstyp (*Russula ochroleuca*, *Hygrophorus olivaceoalbus*, *Lactarius badiosanguineus*), Short-Distance Explorationstyp (*Inocybe fuscomarginata*, *Rozites caperatus*, *Tuber aestivum*), Medium-Distance smooth Explorationstyp (*Laccaria amethystina*, *Thelephora terrestris*, *Lactarius picinus*), Medium-Distance fringe Explorationstyp (*Cortinarius armillatus*, *Tricholoma vaccinum*, *Amphinema byssoides*), Medium-Distance mat Explorationstyp (*Hydnellum caeruleum*, *Ramaria subbotrytis*, *Hysterangium spec.*), Long-Distance Explorationstyp (*Paxillus involutus*, *Xerocomus badius*, *Suillus bovinus*), und Huckepack Explorationstyp (*Chroogomphus rutilus*, *C. helveticus ssp. helveticus*). Um die Farben der Ektomykorrhizen mit jenen der Fruchtkörper vergleichen zu können, werden auch die Fruchtkörper präsentiert. Einige weitere Ektomykorrhizenmerkmale werden angegeben.

Ektomykorrhizapilze bilden die Voraussetzung für Wachstum und Ernährung unserer bestandesbildenden Waldbäume, wie Fichte (*Picea abies* [L.] Karst), Lärche (*Larix decidua* Mill.), Kiefer (*Pinus sylvestris* L.), Buche (*Fagus sylvatica* L.), Eiche (*Quercus robur* L.), Tanne (*Abies alba* Mill.) und vieler weiterer Arten (MOLINA et al. 1992). Sie ummanteln die Wurzeln der Bäume und schotten sie physisch – nicht aber physikalisch – vom umgebenden Boden ab (SMITH & READ 1997). Sie nehmen in Vertretung der Wurzeln mit ihren Hyphen für das Baumwachstum nötige Substanzen auf, wie Wasser, Stickstoff, Phosphat u. a. Ionen, transportieren sie zum wurzelumgebenden Hyphenmantel und leiten diese an die Wurzeln weiter (KAMMERBAUER et al. 1989; SMITH & READ 1997; LEAKE et al. 2004). Andererseits sind Mykorrhizapilze zur Bildung ihrer Fruchtkörper von den Kohlenhydraten der Bäume abhängig, da sie selbst nicht in der Lage sind, komplexe organische Substanzen abzubauen (AGERER et al. 2000; READ 1992; READ et al. 2004). Allerdings muss davon ausgegangen werden, dass noch weitere Substanzen den Pilzen zufließen, weil es bisher nur in ausgesprochen seltenen Fällen gelang, Fruchtkörper von Mykorrhizapilzen in Sterilkultur zu ziehen (OHTA & FUJIWARA 2003).

Bäume bezahlen für die Leistung der Pilze einen sehr hohen Preis, der je nach Baumart, Klima und Bodentyp zwischen 10 und 30 % der Kohlenstoffnettoproduktion durch Photosynthese betragen kann (RILLIG et al. 2002), ja in Ausnahmefällen offenbar sogar bis zu 50 % (SIMARD et al. 2002). Der Aufwand der Bäume für ihre Partner manifestiert sich im wesentlichen durch die pilzliche Biomasse, die zur Bildung der ECM nötig ist (AGERER & RAIDL 2004; RAIDL et al. 2005, 2006).

Je nach Menge, Reichweite und Organisation des den Boden nach Nährstoffen explorierenden Mycels der ECM werden sog. Explorationstypen unterschieden (AGERER 2001), die zugleich Ausdruck der potentiellen Nährstoffaufnahmekapazität sowie der Investition des Baumes in Form von Kohlenhydraten sind (AGERER & RAIDL 2004, RAIDL et al. 2007). Die Pilze sind es aber, die Form, Farbe, Mantel- und Mycelstruktur der Ektomykorrhizen bestimmen, wie dies BRAND (1991) für ECM verschiedener Pilzarten an Buche zeigen konnte (Abb. 1), während die Gestaltungsmöglichkeiten der Bäume als vergleichsweise gering einzuschätzen sind (PILLUKAT & AGERER 1992). Eine Zusammenstellung wesentlicher Merkmale von ECM, durch die Pilzverwandtschaften charakterisiert werden können, wurde kürzlich publiziert (AGERER 2006). Wichtige Charakteristika können im umfangreich bebilderten Colour Atlas of Ectomycorrhizae (AGERER 1987-2006) nachgeschlagen werden. Im Internet bestehen Bestimmungsmöglichkeiten unter www.deemy.de (AGERER & RAMBOLD 2004-2007).

Im Folgenden ist eine Auswahl an ECM anhand ihrer Explorationstypen zusammengestellt und durch weitere wichtige Charakteristika ergänzt. Ausführliche Beschreibungen, die eine Bestimmung erlauben würden, sind nicht beabsichtigt und andernorts schon für die meisten der unten aufgeführten Arten publiziert. Die Gegenüberstellung von Fruchtkörpern und ECM soll eine schnelle Zuordnung erlauben und auch einen Farbvergleich ermöglichen.

Der **Contact-Explorationstyp** (Abb. 2-4) ist im wesentlichen durch glatte Oberflächen ausgezeichnet, in das Substrat abziehende Hyphen sind nur gelegentlich zu finden, Rhizomorphen fehlen. Außerdem sind die Mäntel hydrophil, d. h. sie lassen sich mit Wasser sehr leicht benetzen. Da bei diesem Explorationstyp der Mantel offensichtlich die eigentliche Aufnahmestelle für Wasser und darin gelöste Nährsalze ist, sind solche ECM bestens geeignet, in unmittelbarer Nähe, in direktem Kontaktbereich zum umgebenden Substrat, Nährstoffe aufzunehmen. Ein enger Kontakt ist nötig, da extrazelluläre Enzyme gebildet werden, die nur in wässrigem Milieu und in unmittelbarer Nähe zum Substrat wirken können.

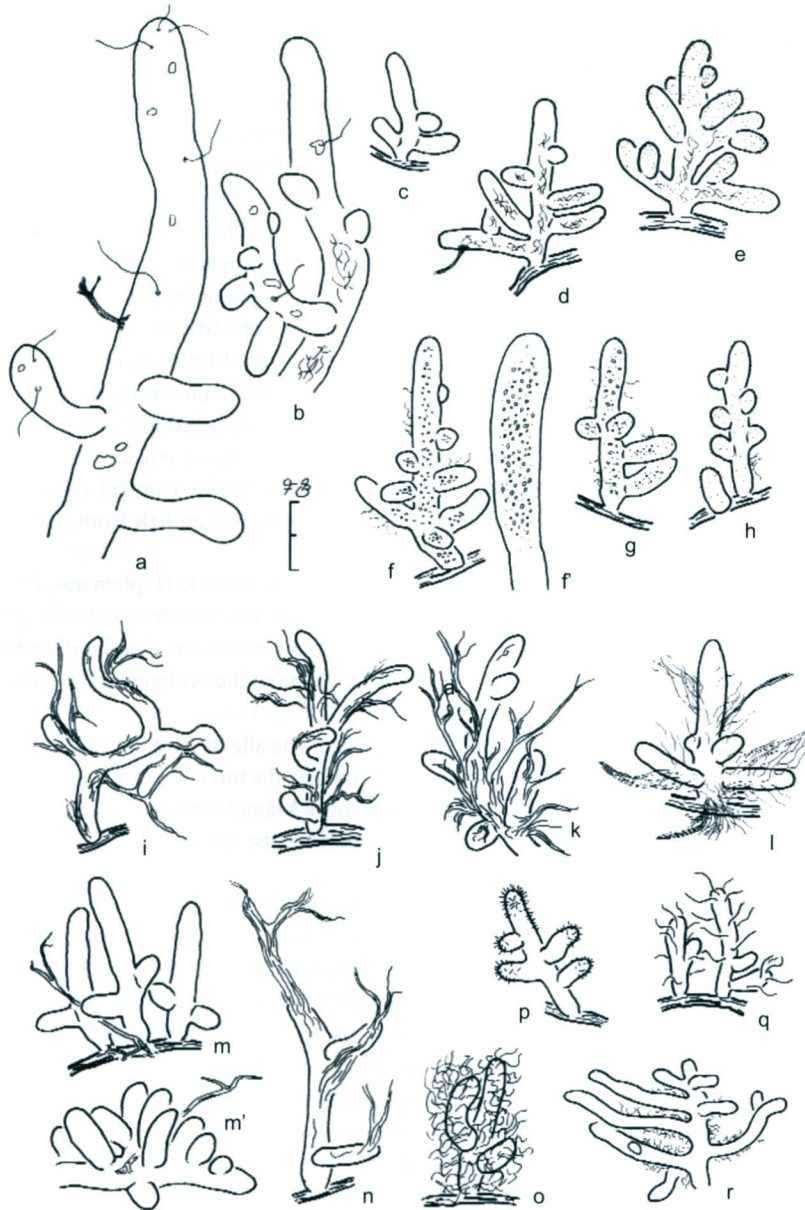


Abb. 1: Ektomykorrhizen von Buchen mit unterschiedlichen Pilzpartnern: **a.** *Lactarius subdulcis* (Bull.) Gray; – **b.** *Lactarius rubrocinctus* Fr.; – **c.** *Lactarius camphoratus* (Bull.) Fr.; – **d.** *Lactarius pallidus* Pers.; **e.** *Lactarius acris* (Bolton) Gray; – **f, f'.** *Russula ochroleuca* (Pers.) Fr.; – **g.** *Russula mairei* Singer; – **h.** *Russula ilota* Romang.; – **i.** *Cortinarius cinnabarinus* Fr.; – **j.** *Cortinarius bolaris* (Pers.) Fr.; – **k.** *Tricholoma sciodes* (Pers.) C. Martin; – **l.** *Laccaria amethystina* (Bull.) Murrill; – **m, m'.** *Xerocomus chrysenteron* (Bull.) Quél.; – **n.** *Piloderma croceum* J. Erikss. & Hjortstam; – **o.** *Byssocorticium atrovirens* (Fr.) Bondartsev & Singer ex Singer; – **p.** *Tuber puberulum* Berk. & Broome; – **q.** *Genea hispidula* Berk.; – **r.** *Elaphomyces muricatus* Fr. (aus BRAND 1991).

Russula ochroleuca (Pers.) Fr. (Abb. 2.) ECM zeichnen die gleiche Farbe aus wie die Huthaut der Fruchtkörper. Dies schließt auch die gleiche Reaktion mit KOH ein, die in beiden Fällen nach Rot umschlägt und durch Zugabe von Säure ins Grüngelbe reuert werden kann. Kleine, gelbe Punkte auf dem Hyphenmantel erweisen sich unter dem Mikroskop als Häufchen oft flachgedrückter Zellen. An präparationsbedingten Rissstellen des Hyphenmantels lässt sich im Untergrund die braune Wurzeloberfläche und damit die „physische Trennung“ der Wurzel vom Boden erkennen.

Hygrophorus olivaceoalbus (Fr.) Fr. (Abb. 3) ECM sind durch verquellende Zellwände der Mantelhyphen stark gelatinös, ein Merkmal, das den Mantel als unmittelbaren Aufnahmeort kennzeichnet und zum anderen eine Möglichkeit bietet, in gewisser Weise als Speicherpuffer für Wasser zu dienen. Die gelbliche Farbe erinnert in ihrer Tönung an manche Stellen des Fruchtkörpers.

Lactarius badiosanguineus Kühner & Romagn. (Abb. 4) ECM gleichen in der Farbe dem Fruchtkörper. Auch hier spricht der leicht glänzende Mantel für einen willigen Kontakt mittels Wasser zum umgebenden Boden. Es werden zwar ab und an sehr unauffällige, wenighyphige Rhizomorphen gebildet (BRAND 1991), doch dürften diese im Vergleich zur Aufnahmekapazität des Mantels kaum ins Gewicht fallen. Deshalb werden diese ECM zum Contact-Explorationstyp gerechnet, obwohl für dessen Definition fehlende Rhizomorphen eigentlich Voraussetzung ist.

Den **Short-Distance Explorationstyp** (Abb. 5-7) zeichnen abziehende Hyphen aus, die oft eine dichte Hülle bilden und den Mantel mit dem Boden verbinden. Ihre Reichweite bleibt relativ gering, da definitionsgemäß keine Rhizomorphen ausgebildet werden. Sie sind häufig recht dicht mit Bodenpartikeln beklebt. Ein hydrophiler Mantel unterstützt die Aufnahmekapazität der abziehenden Hyphen.

Inocybe fuscomarginata Kühner (Abb. 5) ECM zeigen, wie alle bislang untersuchten *Inocybe*-Mykorrhizen, einen lockeren Saum von abziehenden Hyphen, die mikroskopisch betrachtet, durch Schnallen mit einem Loch gekennzeichnet sind. Gelatinöse Mäntel kommen häufig vor (AGERER 2006). Die farbliche Entsprechung mit Fruchtkörpern ist meist gering, ein Phänomen, das oft für Arten mit braunen Fruchtkörpern zutrifft.

Rozites caperatus (Pers.) P. Karst. (Abb. 6) ECM gleichen morphologisch *Inocybe* ECM, doch besteht mit der Amyloidie des Hyphenmantels ein gravierender Unterschied zu den nicht amyloiden Mänteln von *Inocybe* (AGERER 1999a, 2006). Merkmale, die für die Gattung *Cortinarius* absolut unbekannt sind (s. unten) und schon deshalb eine Umkombination von *Rozites* in die Gattung *Cortinarius* (PEINTNER et al. 2002) abgelehnt werden sollte (AGERER 2006).

Tuber aestivum Vittad. (Abb. 7) ECM sind wie alle *Tuber* ECM zusätzlich zu den oft spärlich entwickelten abziehenden Hyphen durch einen Saum nadelartiger Cystiden (AGERER 2006, MÜLLER et al. 1996a,b, RAUSCHER et al. 1995, 1996) ausgezeichnet, die sich bei *Tuber melanosporum* Vittad. auch verzweigen können (RAUSCHER et al. 1995).

Für den **Medium-Distance Explorationstyp** (Abb. 8-16) ist das Vorhandensein von Rhizomorphen kennzeichnend, die oft in einen Verband abziehender Hyphen eingebettet sind. Die interne Organisation ist artabhängig sehr variabel und kann von lockeren, vollkommen undifferenzierten Hyphenbündeln bis hin zu hochdifferenzierten Strukturen mit gefäßartigen Hyphen reichen (AGERER 2001, 2006). Je nach Ausprägung des die Rhizomorphen umgebenden Mycels werden drei Subtypen unterschieden, die ‚smooth‘, ‚fringe‘ und ‚mat‘ Subtypen. Der **Medium-Distance smooth Explorationstyp** (Abb. 8-10) weist recht glatte Rhizomorphen auf, die wie die Mykorrhizenmäntel oft hydrophil sind.

Laccaria amethystina (Bull.) Murrill (Abb. 8) ECM sind ein recht schönes Beispiel für eine Farbentsprechung mit Fruchtkörpern. Allerdings ist die violette Farbe meist auf die unmittelbaren, aktiv wachsenden Spitzen begrenzt. Auch *Laccaria bicolor* (Maire) P. D. Orton ECM zeigen ähnliche Farben.

Thelephora terrestris Ehrh. (Abb. 9) ECM widerspiegeln die braue Fruchtkörperfarbe und, mikroskopisch gesehen, trägt der Mantel ähnliche Cystiden wie jene der Gattung *Tuber*, doch besitzen die Cystiden von *Thelephora terrestris* im Gegensatz zu *Tuber*-Arten Schnallen an der Basis (AGERER & WEISS 1989).

Lactarius picipinus Fr. (Abb. 10) ECM gehören, wie jene der meisten *Lactarius* Arten zu diesem Explorationstyp. *Lactarius picipinus* ECM sind zwar hydrophob, erkennbar anhand des silbrigen Glanzes des Hyphenmantels, der durch Einschluss von Luft verursacht wird, doch trifft dies nur für wenige *Lactarius* ECM zu. Die meisten Arten sind hydrophil. Werden in hydrophilen Fällen Rhizomorphen extrem selten und schwächlich ausgebildet, dann ist – wie für *L. badiosanguineus* erwähnt – die Abgrenzung zum Contact-Explorationstyp kaum möglich.

Für die Rhizomorphen des **Medium-Distance fringe Explorationstyps** (Abb. 11-13) ist ein stark ausgeprägter fransiger Rand typisch und zudem können von den Mänteln flächig und fächerartig zusammengelagerte Hyphen abziehen.

Cortinarius armillatus (Alb. & Schwein.) Fr. (Abb. 11) ECM sind typisch hydrophob – der silbrige Glanz ist wiederum Ausdruck dafür – und mit vielen hydrophoben, fransigen Rhizomorphen umgeben. Der Kontakt zum Substrat wird durch die feinen Hyphenendverzweigungen der abziehenden Hyphen des Mantels und der Rhizomorphen sichergestellt, dort sind sie hydrophil. Die im Mantel eingeschlossene Luft kann die Eigenfärbung der Hyphen verdecken, doch gilt hier wieder die Regel, braune Grundtöne der Fruchtkörper manifestieren sich meist nicht in den ECM.

Tricholoma vaccinum (Schaeff.) P. Kumm. (Abb. 12) ECM entsprechen in Gestalt und Farbe vielen weiteren *Tricholoma* und *Cortinarius* ECM. In beiden Gattungen entwickeln die Rhizomorphen eine Vielfalt an internen Differenzierungen.

Amphinema byssoides (Pers.) J. Erikss. (Abb. 13) ECM entsprechen der Fruchtkörperfarbe. Die Rhizomorphen setzen sich aus recht locker gebündelten, undifferenzierten Hyphen zusammen.

Der **Medium-Distance mat Explorationstyp** (Abb. 14-16) unterscheidet sich vom fringe-Subtyp nur durch seine sehr kompakten, dichten und oft nestartigen, Quadratdezimeter besetzenden ECM, die zudem viele Hyphenmatten und Rhizomorphen bilden. Sie schließen Bodenpartikel fast vollständig ein und trocknen sie derart aus, dass eine Wiederbenetzung nur sehr schwer möglich ist. Charakteristisch scheint auch ein konzentriertes Vorkommen in mineralischen Bodenhorizonten zu sein.

Hydnellum caeruleum (Hornem.) P. Karst. (Abb. 14) ECM verdeutlichen den engen Kontakt zu Bodenpartikeln und zeigen die ausgeprägten Hyphenmatten. Eine Farbentsprechung mit Fruchtkörpern liegt nicht vor, doch werden die ECM im Alter schwärzlich und lassen Mantel und Teile der Wurzeln wie Kohlestückchen abbröckeln, ein Merkmal das offenbar für ECM vieler Bankeraceen gilt (AGERER 2006).

Ramaria subbotrytis (Coker) Corner (Abb. 15) ECM gleichen dem äußeren Aussehen nach jenen von *Hydnellum*, doch ergeben sich wichtige Unterschiede im Rhizomorphenbau (AGERER 2006).

Hysterangium (Abb. 16) ECM zeigen die typischste Mattenstruktur, werden doch von solchen Arten oft mehrere Quadratdezimeter, ja sogar Quadratmeter mit dichten Matten aus Mykorrhizen und Rhizomorphen belegt (GRIFFITHS et al. 1991).

Den **Long-Distance Explorationstyp** (Abb. 17-19) charakterisieren Rhizomorphen mit extremer Reichweite von mehreren Dezimetern (SCHRAMM 1966) und gefäßartige Leitelemente (AGERER 2001). Sie gleichen in ihrem Aufbau den Rhizomorphen des saprotrophen Hausschwamms *Serpula lacrymans* (Wulfen) J. Schröt. (AGERER 1999b, AGERER & IOSIFIDOU 2004). Die ECM sind mitsamt ihren Rhizomorphen hydrophob, wodurch die Wasser- und Ionenaufnahme von der Wurzel aus gesehen in weit entfernte Bereiche verlegt wird, in die hydrophilen Endverzweigungen der Rhizomorphen. Gefäßartige Leitelemente und hydrophobe Rhizomorphen sind möglicherweise die Voraussetzung für einen long-distance Transport von Wasser.

Paxillus involutus (Batsch) Fr. (Abb. 17) ECM gleichen in ihrer Farbe den Fruchtkörpern. Ein auffälliges Merkmal sind an Rhizomorphen gebildete Sklerotien (GRONBACH 1988).

Xerocomus badius (Fr.) Kühner (Abb. 18) ECM bestätigen die Tendenz, braune Farben von Fruchtkörpern würden sich nicht in den ECM widerspiegeln. Die Gattung *Paxillus* (s. o.) scheint eine der wenigen Ausnahmen zu sein. Häufig liegen in solchen Fällen weiße ECM vor.

Suillus bovinus (Pers.) Roussel (Abb. 19) ECM verdichten ihre Enden meist zu kompakten Einheiten, die als deutliche Korallen vorkommen oder sich gar mit einer gemeinsamen Hülle umgeben. Die einzelnen ECM lassen sich dann oftmals nicht mehr erkennen. Es entsteht der Eindruck einer Knolle. Solche knollenförmigen ECM-Systeme kommen zum Beispiel bei *Suillus plorans* (Rolland) Kuntze vor (TREU 1990). Die ECM von *Suillus* können bei Lagerung in Wasser eine leicht rötlich-violette Farbe annehmen, was für Fruchtkörper mancher Arten nicht unbekannt ist (ENGEL et al. 1996). ECM an Kiefern sind zudem typisch gabelförmig verzweigt.

Der **Pick-a-Back Explorationstyp**, oder auch Huckepack-Explorationstyp genannt, (Abb. 20-21) ist eine Ausprägung, die hauptsächlich in der Familie der Gomphidiaceen vorkommt (AGERER 1996). Obwohl selbst zur Bildung von ECM in der Lage, nutzen sie ECM von Rhizopogonaceen und Suillaceen, um in deren Wurzelzellen einzudringen (AGERER 2002b), was den Gomphidiaceen als typische ECM Pilze alleine verwehrt ist. Sie wachsen entweder über die Rhizomorphen (Abb. 20) oder direkt über den Mantel ein und besiedeln das Lumen der Wurzelzellen (Abb. 21). Amyloide Reaktionen und ihre mit *Suillus* und *Rhizopogon* assoziiert wachsenden Fruchtkörper verraten schnell ihre Identität.

Danksagung

Großer Dank gebührt dem Einhorn-Verlag und der Deutschen Stiftung Denkmalschutz für die Erlaubnis, einige Abbildungen aus dem 'Colour Atlas of Ectomycorrhizae' bzw. aus dem Buch 'Vitalisierung von Bäumen' für diesen Beitrag zu verwenden. Einige Originalbilder wurden dankenswerterweise zur Verfügung gestellt von Dr. Ludwig Beenken, Dr. Barbara Berg-Bley, Josef Christan, Dr. Wolfgang Helfer, Thomas Rauscher, Friedrich Reinwald, Dr. Helmuth Schmid und Dr. Roland Treu. Der IHW-Verlag erlaubte die Reproduktion des abgedruckten Schemas.

Literatur

- AGERER, R. ed. (1987-2006) – Colour Atlas of Ectomycorrhizae, 1st-13th delivery. Einhorn, Schwäbisch Gmünd.
- AGERER, R. (1987a) – *Russula ochroleuca*. In: Agerer, R. (ed.) Colour Atlas of Ectomycorrhizae, plate 1. Einhorn, Schwäbisch Gmünd.
- AGERER, R. (1987b) – *Lactarius picinus*. In: Agerer, R. (ed.) Colour Atlas of Ectomycorrhizae, plate 4. Einhorn, Schwäbisch Gmünd.



Abb. 2: *Russula ochroleuca* + *Picea abies*, Contact-Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (aus AGERER 2005); **b.** Mykorrhizen, der Mantel ist an einer Stelle aufgerissen und zeigt im Untergrund die braune Wurzel, RA10763; 66:1 (aus AGERER 1987a)



Abb. 3: *Hygrophorus olivaceoalbus* + *Picea abies*, Contact-Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (R. Agerer, Orig.); – **b.** Mykorrhiza, EGA1; 38:1 (aus BERG & GRONBACH 1989).



Abb. 4: *Lactarius badiosanguineus* + *Picea abies*, Contact-Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (R. Agerer, Orig.), – **b.** Mykorrhiza, MTR52; 18:1 (R. Treu, Orig.).



Abb. 5: *Inocybe fuscomarginata* + *Populus*, Short-Distance Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (L. Beenken, Orig.); – **b.** Mykorrhiza, MBL59; 19:1 (L. Beenken, Orig.).



Abb. 6: *Rozites caperatus* + *Pinus sylvestris*, Short-Distance Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (J. Christan, Orig.); – **b.** Mykorrhiza, RA12345; 19:1 (aus AGERER 2002a).



Abb. 7: *Tuber aestivum* + *Corylus avellana*, Short-Distance Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (aus AGERER 2005); – **b.** Mykorrhiza, ThR8; 18:1 (T. Rauscher, Orig.).



Abb. 8: *Laccaria amethystina* + *Fagus sylvatica*, Medium-Distance smooth Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (F. Reinwald, Orig.); – **b.** Mykorrhiza, FBM14; 38:1 (F. Brand, Orig.).



Abb. 9: *Thelephora terrestris* + *Picea abies*, Medium-Distance smooth Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (R. Agerer, Orig.); – **b.** Mykorrhiza, RA10937; 38:1 (R. Agerer, Orig.).



Abb. 10: *Lactarius picinus* + *Picea abies*, Medium-Distance smooth Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (W. Helfer, Orig.); – **b.** Mykorrhiza, RA10926; 38:1 (aus AGERER 1987b).



Abb. 11: *Cortinarius armillatus* + *Picea abies*, Medium-Distance fringe Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (R. Agerer, Orig.); – **b.** Mykorrhiza, RA11675; 38:1 (R. Agerer, Orig.).



Abb. 12: *Tricholoma vaccinum* + *Picea abies*, Medium-Distance fringe Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (F. Reinwald, Orig.); – **b.** Mykorrhiza, RA10742; 38:1 (R. Agerer, Orig.).



Abb. 13: *Amphinema byssoides* + *Picea abies*, Medium-Distance fringe Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (H. Schmid, Orig.); – **b.** Mykorrhiza, BBA2; 18:1 (B. Berg-Bley, Orig.).



Abb. 14: *Hydnellum caeruleum* + *Picea abies*, Medium-Distance mat Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (R. Agerer, Orig.); – **b.** Mykorrhiza, RA11527; 18:1 (R. Agerer, Orig.).



Abb. 15: *Ramaria subbotrytis* + *Quercus robur*, Medium-Distance mat Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (J. Christan, Orig.); – **b.** Mykorrhiza, RA11765; 18:1 (R. Agerer, Orig.).



Abb. 16: *Hysterangium* + *Pseudotsuga menziesii*, Medium-Distance mat Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (R. Agerer, Orig.); – **b.** Mykorrhiza (R. Agerer, Orig.).



Abb. 17: *Paxillus involutus* + *Picea abies*, Long-Distance Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (aus AGERER 2005); – **b.** Mykorrhiza mit Sklerotium an einer Rhizomorphe, RA10939; 18:1 (R. Agerer, Orig.).



Abb. 18: *Xerocomus badius* + *Picea abies*, Long-Distance Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (aus AGERER 2005); – **b.** Mykorrhiza, RA11529; 18:1 (aus AGERER & GRONBACH 1990).



Abb. 19: *Suillus bovinus* + *Pinus sylvestris*, Long-Distance Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (F. Reinwald, Orig.); – **b.** Mykorrhiza, RA11668a; 9:1 (R. Agerer, Orig.).

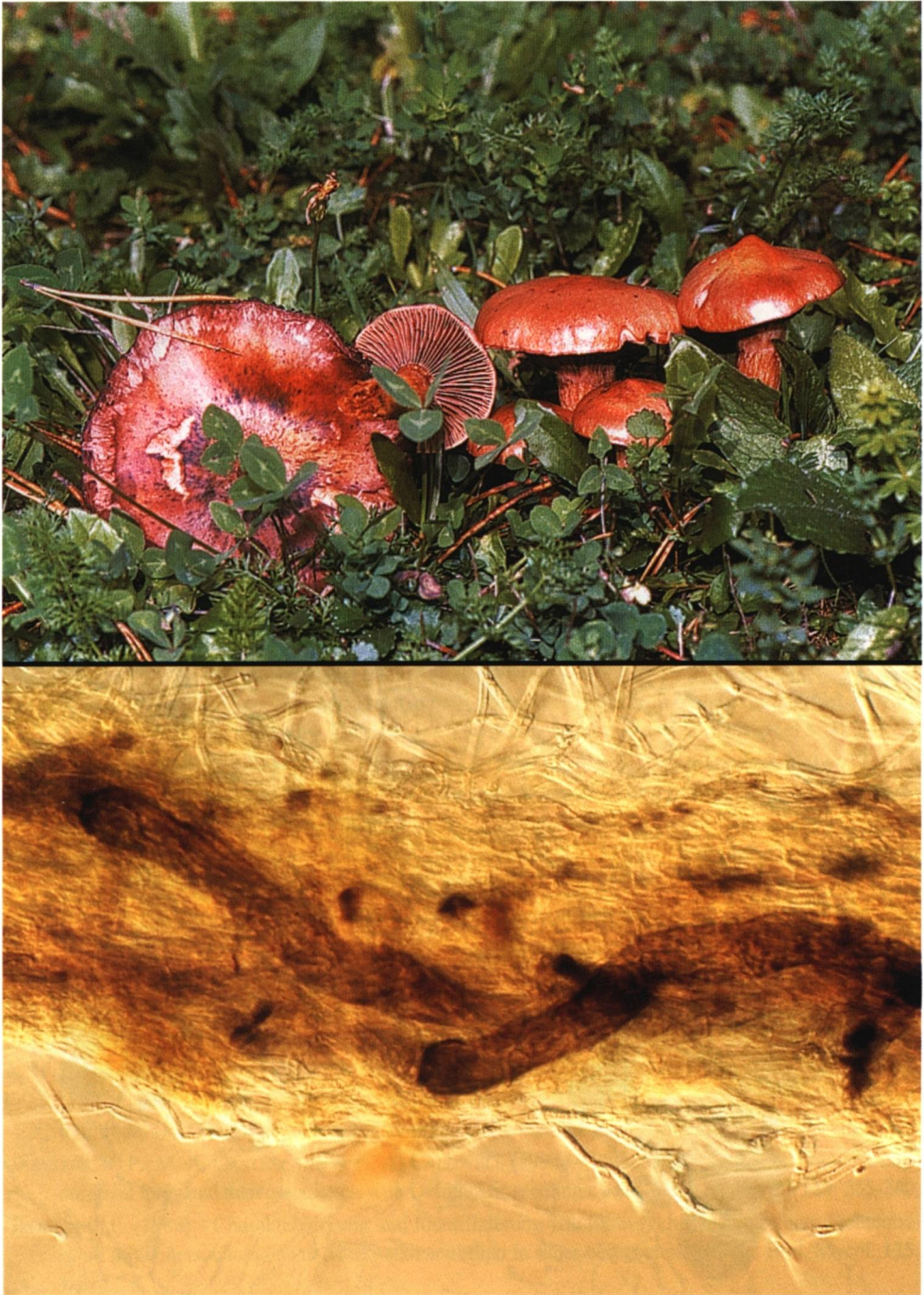


Abb. 20: *Chroogomphus rutilus* (Schaeff.) O. K. Mill., Pick-a-Back Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (Agerer, Orig.); – **b.** Rhizomorphen von *Rhizopogon* spec. mit amyloiden Hyphen von *Chroogomphus rutilus*, RA10960; 390:1 (R. Agerer, Orig.).



Abb. 21: *Chroogomphus helveticus* (Singer) M. M. Moser ssp. *helveticus* + *Suillus plorans*, Pick-a-Back Explorationstyp: **a.** Fruchtkörper (R. Agerer, Orig.); – **b.** Mykorrhizen von *Suillus plorans* mit amyloiden Haustorien von *Chroogomphus helveticus* ssp. *helveticus*, MTR409; 310:1 (R. Agerer, Orig.).

- AGERER, R. (1996) – Ectomycorrhizae in the fungal community: with special emphasis on interactions between ectomycorrhizal fungi. In Azcon-Aguilar, C. & J. M. Barea (eds.) Mycorrhizas in integrated systems from genes to plant development, pp 52-57. European Commission, Science Research and Development, Brussels.
- AGERER, R. (1999a) – *Rozites caperatus* (Pers.: Fr.) Karst. + *Pinus sylvestris* L. Descr. Ectomyc. **4**: 109-113.
- AGERER, R. (1999b) – Never change a functionally successful principle: the evolution of Boletales s. l. (Hymenomycetes, Basidiomycota) as seen from below-ground features. Sendtnera **6**: 5-91.
- AGERER, R. (2001) – Exploration types of ectomycorrhizae. A proposal to classify ectomycorrhizal mycelial systems according to their patterns of differentiation and putative ecological importance. Mycorrhiza **11**: 107-114.
- AGERER, R. (2002a) – *Rozites caperatus*. In: Agerer, R. (ed.) Colour Atlas of Ectomycorrhizae, plate **157**. Einhorn, Schwäbisch Gmünd.
- AGERER, R. (2002b) – Die besonderen Beziehungen von *Gomphidius roseus* und seiner Verwandten, oder wie intim können Mykorrhizapilze sein. Der Tintling **7**: 12-20.
- AGERER, R. (2005) – Baumgattungen und ihre Mykorrhizapartner. In Fröhlich HJ (ed) Vitalisierung von Bäumen, pp. 50-64. Monumente Publikationen, Deutsche Stiftung Denkmalschutz, Bonn.
- AGERER, R. (2006) – Fungal relationships and structural identity of their ectomycorrhizae. Mycol. Progress **5**: 67-107.
- AGERER, R. & E. GRONBACH (1990) – *Xerocomus badius*. In: Agerer, R. (ed.) Colour Atlas of Ectomycorrhizae, plate **49**. Einhorn, Schwäbisch Gmünd.
- AGERER, R. & P. IOSEFIDOU (2004) – Rhizomorph structure of Hymenomycetes: a possibility to test DNA-based phylogenetic hypotheses? In Agerer, R., M. Piepenbring & P. Blanz (eds.) Frontiers in Basidiomycote Mycology, pp 249-302. IHW-Verlag, Eching.
- AGERER, R. & S. RAIDL (2004) – Distance related half-quantitative estimation of the extramatrical ectomycorrhizal mycelia of *Cortinarius obtusus* and *Tylospora asterophora*. Mycol. Progress **3**: 57-64.
- AGERER, R. & G. RAMBOLD (2004–2007 [first posted on 2004-06-01; most recent update: 2007-01-25]) – DEEMY – An Information System for Characterization and Determination of Ectomycorrhizae. www.deemy.de – München, Germany.
- AGERER, R. & M. WEISS (1989) – Studies on ectomycorrhizae XX. Mycorrhizae formed by *Thelephora terrestris* on Norway spruce. Mycologia **81**: 444-453.
- AGERER, R., M. SCHLOTER & C. HAHN (2000) – Fungal enzymatic activity in fruitbodies. Nova Hedwigia **71**: 315-336.
- BERG, B. & E. GRONBACH (1989) – *Piceirhiza gelatinosa*. In Agerer, R. (ed.) Colour Atlas of Ectomycorrhizae, plate **30**. Einhorn, Schwäbisch Gmünd.
- BRAND, F. (1991) – Ektomykorrhizen an *Fagus sylvatica*. Charakterisierung und Identifizierung, ökologische Kennzeichnung und unsterile Kultivierung. Libri Botanici **2**: 1-229.
- ENGEL, H., A. DERMEK, W. KLOFAC, E. LUDWIG & T. BRÜCKNER (1996) – Schmier- und Filzröhrlinge s. l. in Europa. Die Gattungen: *Boletellus*, *Boletinus*, *Phylloporus*, *Suillus*, *Xerocomus*. Weidhausen.
- GRIFFITHS, R. P., M. A. CASTELLANO & B. A. CALDWELL (1991) – Hyphal mats formed by two ectomycorrhizal fungi and their association with Douglas-fir seedlings: a case study. Plant Soil **124**: 255-260.
- GRONBACH, E. (1988) – Charakterisierung und Identifizierung von Ektomykorrhizen in einem Fichtenbestand mit Untersuchungen zur Merkmalsvariabilität in sauer beregneten Flächen. Bibl. Mycol. **125**: 1-217.
- KAMMERBAUER, H., R. AGERER, H. SANDERMANN (1989) – Studies on ectomycorrhiza XXII. Mycorrhizal rhizomorphs of *Thelephora terrestris* and *Pisolithus tinctorius* in association with Norway spruce (*Picea abies*): formation in vitro and translocation of phosphate. Trees **3**: 78-84.

- LEAKE, J., D. JOHNSON, D. DONELLY, G. MUCKLE, L. BODDY & D. READ (2004) – Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystems. *Can. J. Bot.* **82**: 1016-1045.
- MOLINA, R., H. MASSICOTTE & J. M. TRAPPE (1992) – Specificity phenomena in mycorrhizal symbioses: community-ecological consequences and practical implications. In Allen, M. F. (ed.) *Mycorrhizal functioning, an integrative plant-fungal process*, pp. 357-423. New York.
- MÜLLER, W. R., T. RAUSCHER, R. AGERER & G. CHEVALIER (1996a) – *Tuber uncinatum* Chat. + *Corylus avellana* L. *Descr. Ectomyc.* **1**: 179-183.
- MÜLLER, W. R., T. RAUSCHER, R. AGERER & G. CHEVALIER (1996b) – *Tuber aestivum* Vitt. + *Corylus avellana* L. *Descr. Ectomyc.* **1**: 167-172.
- OHTA, A. & N. FUJIWARA (2003) – Fruit-body production of an ectomycorrhizal fungus in genus *Boletus* in pure culture. *Mycoscience* **44**: 295-300.
- PEINTNER, U., E. HORAK, M. M. MOSER & R. VILGALYS (2002) – *Rozites*, *Cuphocybe* und *Rapacea* are taxonomic synonyms of *Cortinarius*: new combinations and new names. *Mycotaxon* **83**: 447-451.
- PILLUKAT, A. & R. AGERER (1992) – Studien an Ektomykorrhizen XL. Vergleichende Untersuchungen zur baumbezogenen Variabilität der Ektomykorrhizen von *Russula ochroleuca*. *Z. Mykol.* **58**: 211-242.
- RAIDL, S., R. BONFIGLI & R. AGERER (2005) – Calibration of quantitative real-time Taqman PCR by correlation with hyphal biomass and ITS copies in mycelia of *Piloderma croceum*. *Plant Biol.* **7**: 713-717.
- RAIDL, S., H. RODENKIRCHEN, A. GÖTTLEIN & R. AGERER (2006) – Impact of elevated CO₂ on total hyphal and mycorrhizal length of *Piloderma croceum* and *Tomentellopsis submollis* as well as on nutrient content of mycorrhized seedlings of the host plant Norway spruce. *New Phytologist* (eingereicht).
- RAIDL, S., R. WEIGT, H. BLASCHKE, H.-H. HÄBERLE, R. MATYSSEK & R. AGERER (2007) – A method to estimate belowground space occupation of ectomycorrhizal fungal symbionts of spruce and beech. (in Vorbereitung)
- RAUSCHER, T., R. AGERER & G. CHEVALIER (1995) – Ektomykorrhizen von *Tuber melanosporum*, *Tuber mesentericum* und *Tuber rufum* (Tuberales) an *Corylus avellana*. *Nova Hedwigia* **61**: 282-322.
- RAUSCHER, T., W. R. MÜLLER, R. AGERER & G. CHEVALIER (1996) – *Tuber borchii* Vitt. + *Corylus avellana* L. *Descr. Ectomyc.* **1**: 173-178.
- READ, D. J. (1992) – The mycorrhizal mycelium. In: Allen, M. F. (ed.) *Mycorrhizal functioning. An integrative plant-fungal process*, pp. 102-133. Chapman & Hall, New York, London.
- READ, D. J., J. R. LEAKE & J. PEREZ-MORENO (2004) – Mycorrhizal fungi as drivers of ecosystem processes in heathland and boreal forest biomes. *Can. J. Bot.* **82**: 1243-1263.
- RILLIG, C. M., K. K. TRESEDER & M. F. ALLEN (2002) – Global change and mycorrhizal fungi. In Van der Heijden, M. G. A. & I. R. Sanders (eds.) *Mycorrhizal ecology, Ecological Studies* **157**, pp. 135-160. Springer, Berlin.
- SCHRAMM, J. R. (1966) – Plant colonization studies on black wastes from anthracite mining in Pennsylvania. *Trans. Am. Philos. Soc.* **56**: 5-189.
- SIMARD, S. W., D. M. DURALL & M. D. JONES (2002) – Carbon and nutrient fluxes within and between mycorrhizal plants. In: van der Heijden, M. G. A. & I. R. Sanders (eds.) *Mycorrhizal ecology*, pp. 33-74. *Ecological studies* **157**. Springer, Berlin.
- SMITH, S. E. & D. J. READ (1997) – *Mycorrhizal symbiosis*. 2nd ed. Academic Press, San Diego, London et al.
- TREU, R. (1990) – *Suillus plorans*. In: Agerer, R. (ed.) *Colour Atlas of Ectomycorrhizae*, plate **46**. Einhorn, Schwäbisch Gmünd.



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 Heftreihe 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. Freigegebiger 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: 2007

Band/Volume: [73_2007](#)

Autor(en)/Author(s): Agerer Reinhard

Artikel/Article: [Diversität der Ektomykorrhizen im unter- und oberirdischen Vergleich: die Explorationstypen 61-88](#)