

Schlüsselfiguren im Untergrund

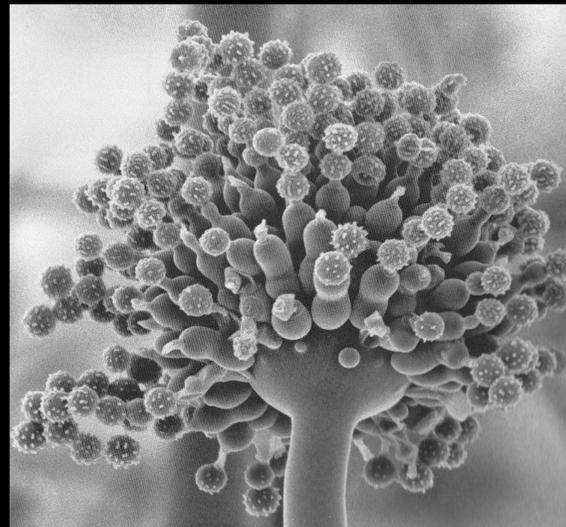
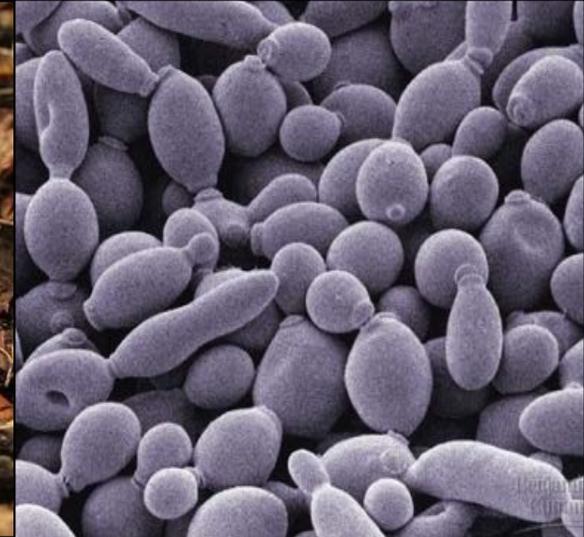
Das verborgene Reich
der Pilze

Netzwerk Essbare Region 18.7.2024
Werkstatthaus Stuttgart-Uhlandshöhe

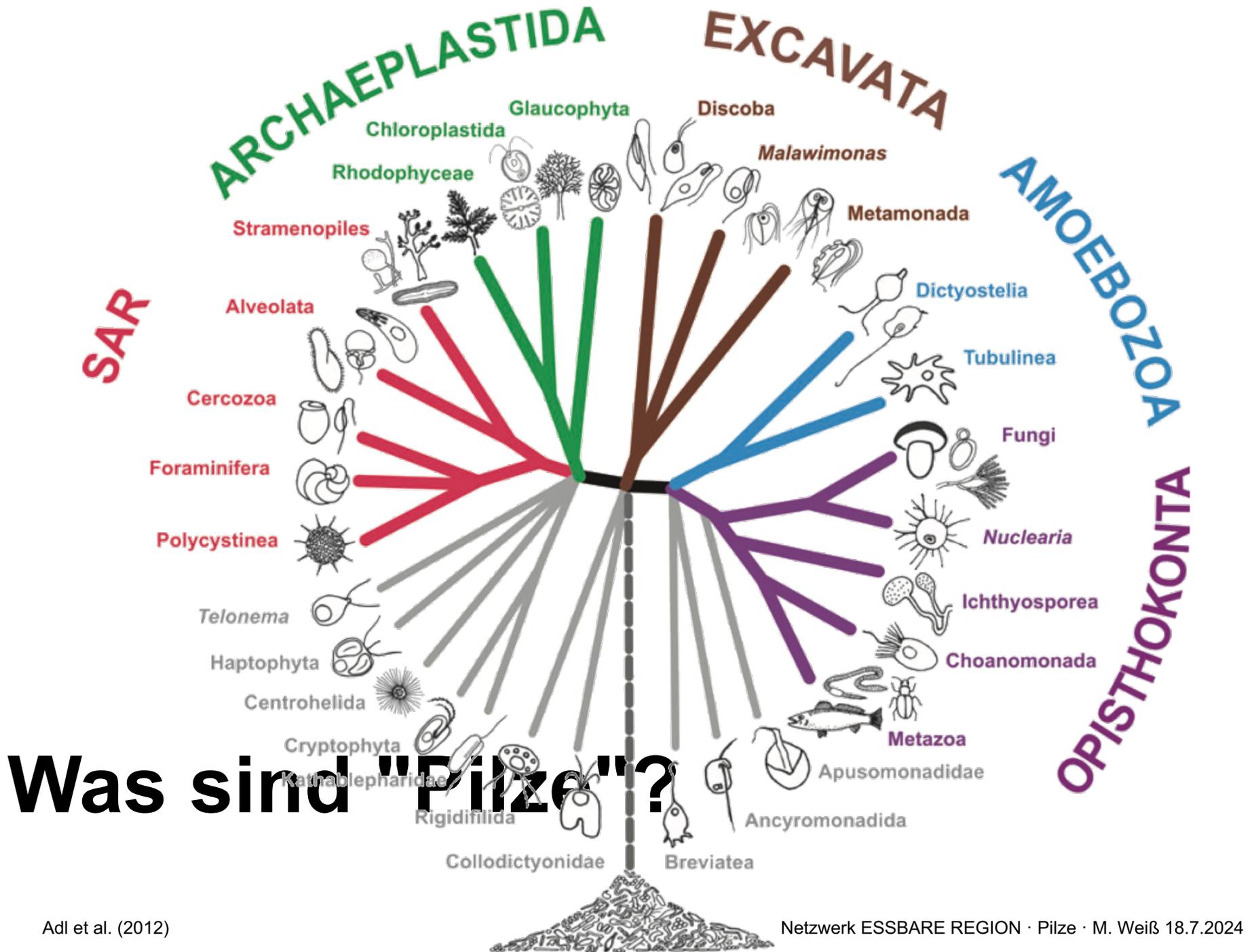
Michael Weiß

Steinbeis-Innovationszentrum
Organismische Mykologie und Mikrobiologie
Tübingen

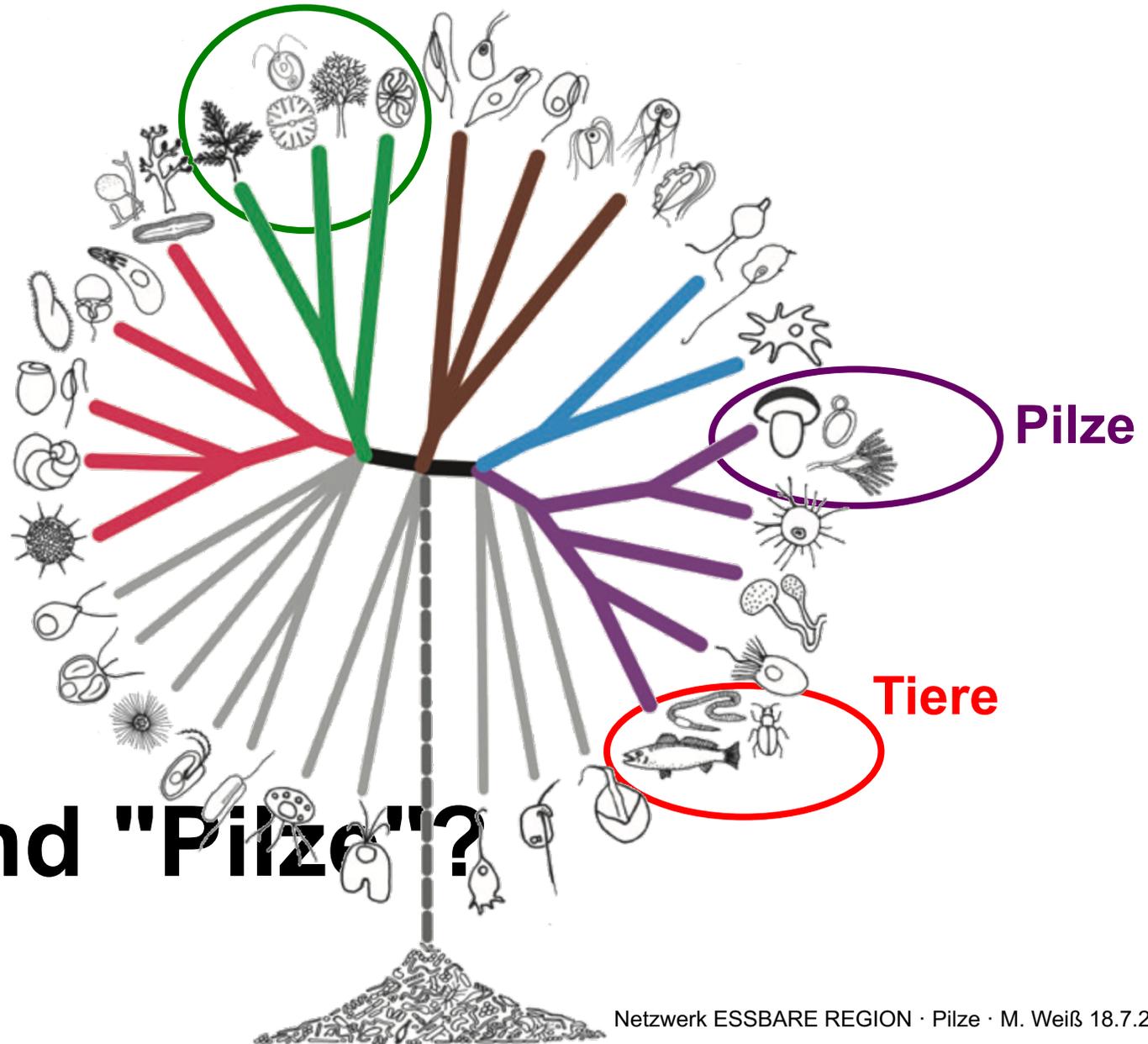
michael.weiss@stw.de



Was sind Pilze?



Pflanzen



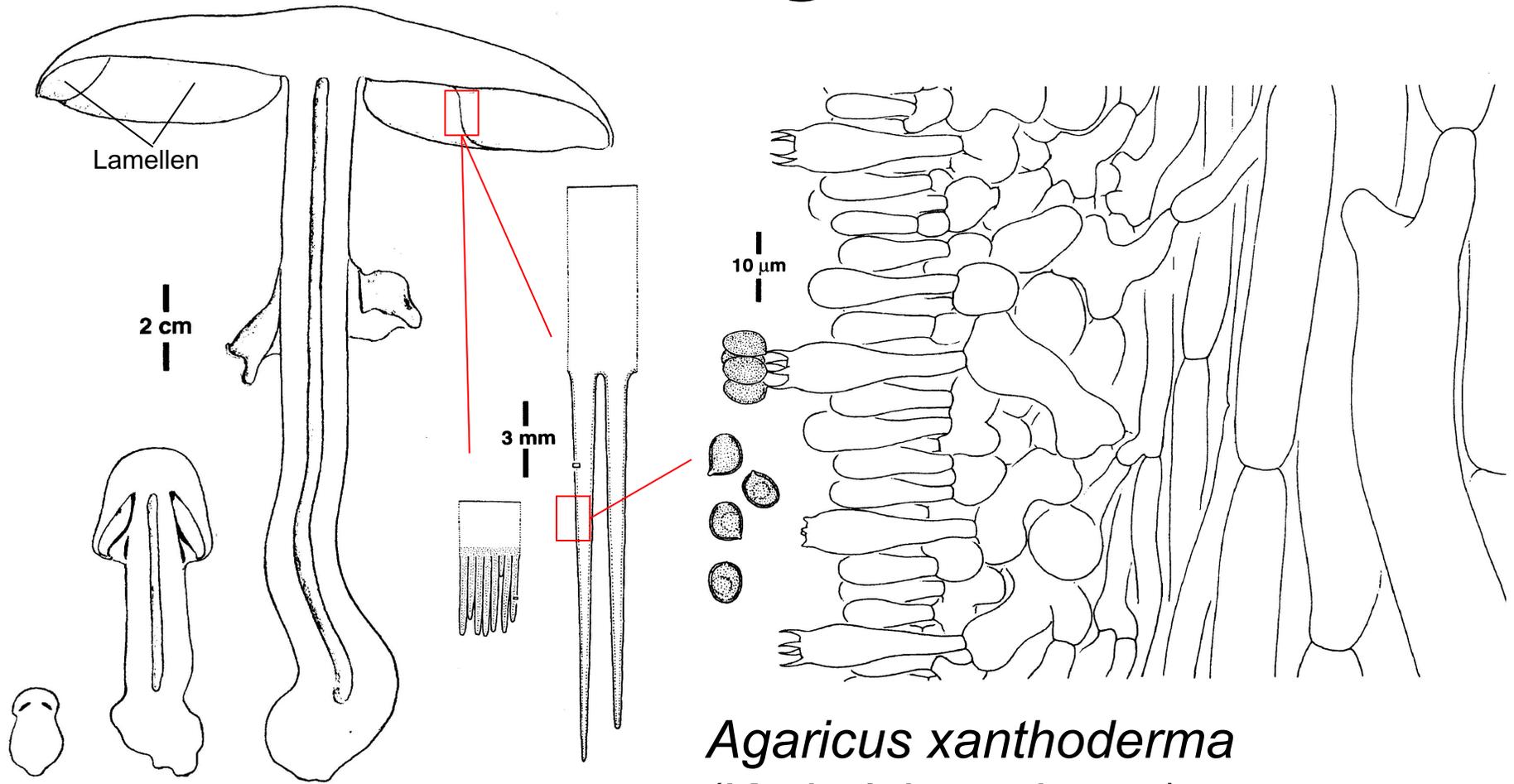
Was sind "Pilze"?

Basidiomyceten



Hygrocybe psittacina (Grüner Saftling)

Basidiomyceten



Agaricus xanthoderma
(Karbolchampignon)

Sporenbilder



Galerina marginata
(Nadelholzhäubling)



Psathyrella candolleana
(Behangener Faserling)



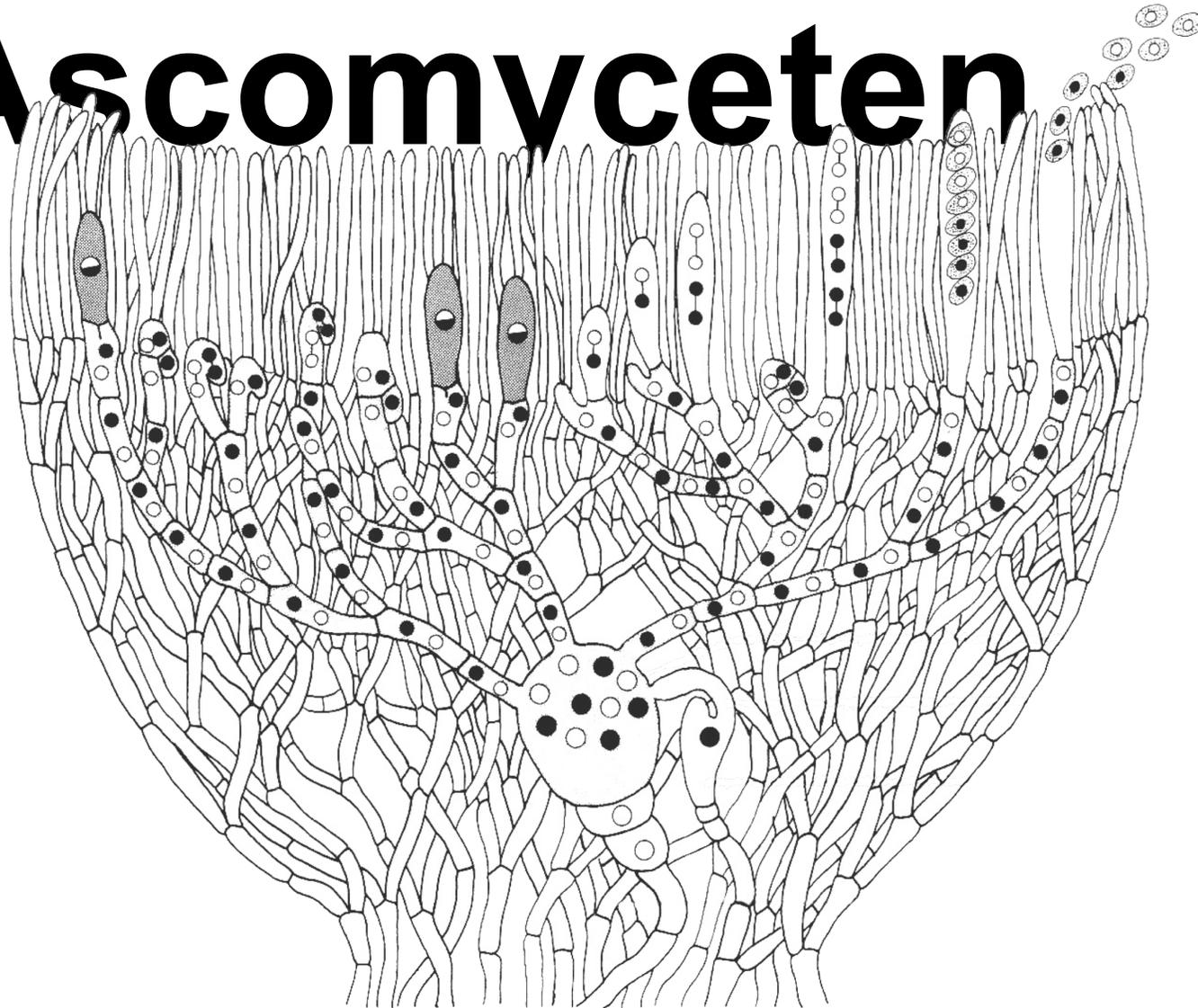
Laccaria bicolor
(Zweifarbiger Lacktrichterling)

Ascomyceten



Aleuria aurantia
(Orange-Becherling)
mit Sporenstaub

Ascomyceten



Schema eines schüsselförmigen Fruchtkörpers

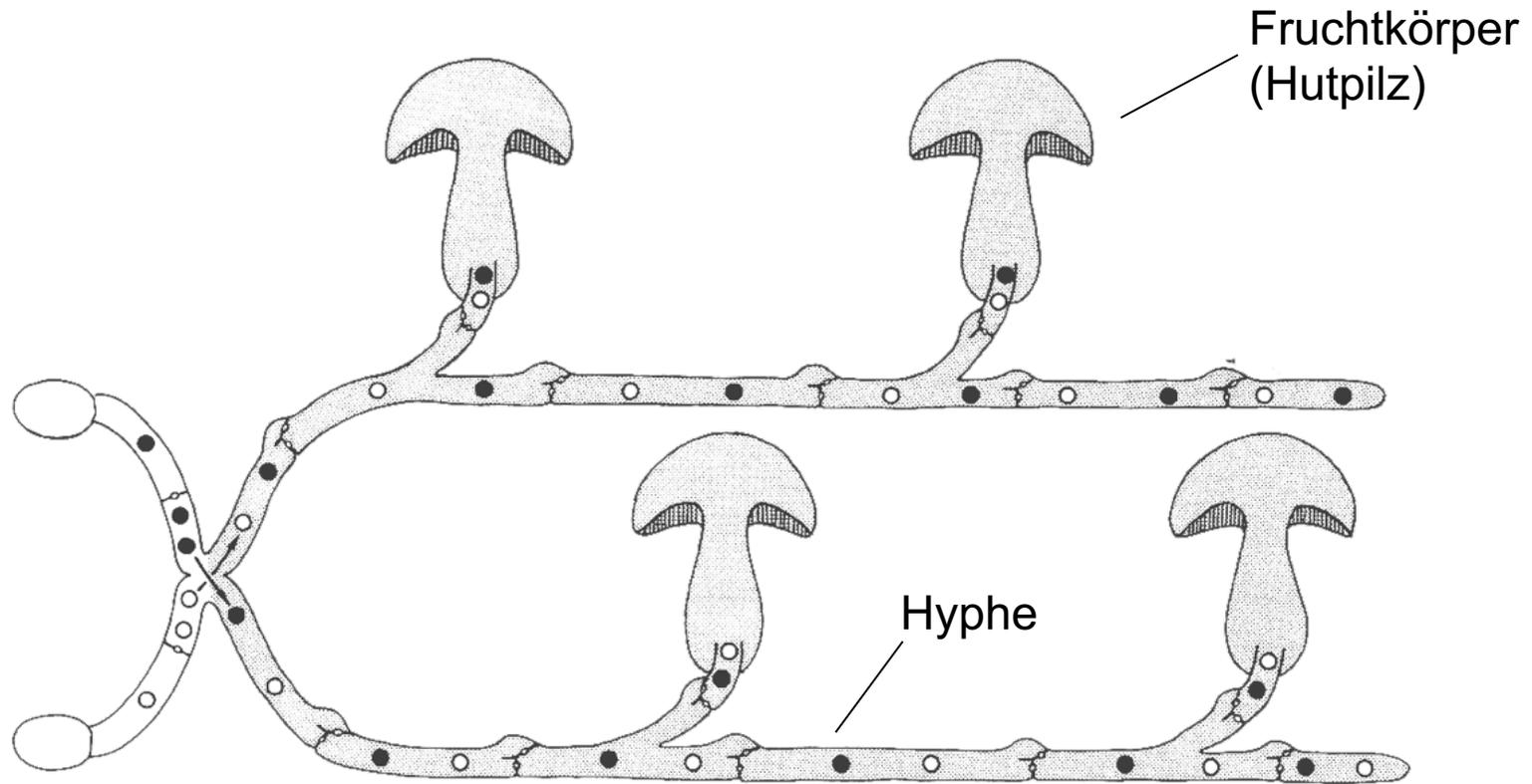
A circular ring of small, white, cup-shaped mushrooms, likely Amanita muscaria, growing on a mossy forest floor. The mushrooms are arranged in a dense, roughly circular pattern, with some scattered outside the ring. The ground is covered in green moss and dry, brown pine needles. The word "Hexenring" is overlaid in large white text in the center of the image.

Hexenring

Hexenring

Hexenring

Basidiomyceten: Dikaryon



A scanning electron micrograph (SEM) showing a dense population of yeast cells. The cells are primarily spherical or oval-shaped, with some elongated forms. They exhibit various stages of budding, with small protrusions or necks connecting parent cells to daughter cells. The surface of the cells appears textured and slightly granular. The overall color is a monochromatic purple-grey.

Hefen

Saccharomyces cerevisiae
(Bäckerhefe)

Hefen

... zur Herstellung von
Grundnahrungsmitteln
unentbehrlich!



Wie leben Pilze?

Wie leben Pilze?

- als Verwerter von totem organischen Material

Schimmelpilze

A close-up photograph of a piece of bread that has been cut open. The bread is heavily covered in mold. The mold is primarily a bright green color, with some white, fuzzy patches. The bread itself is a light brown color, and the mold is growing on both the surface and the interior. The background is a plain, light-colored surface.

Vesperdosen-Experiment
Jonathan Weiß



Schimmelpilze: *Penicillium*

A scanning electron micrograph (SEM) showing a dense, tree-like structure of Aspergillus niger. The structure consists of a central, thick, cylindrical stalk that branches out into numerous smaller, rounded, and textured structures, which are the conidia. The overall appearance is that of a complex, multi-layered biological structure. The background is a light, textured surface.

Schimmelpilze

Aspergillus niger:
Konidien bildende
Strukturen

Saprotrophe Pilze



Laetiporus sulphureus (Schwefelporling)

Nutzpilze: Champignon

A large indoor mushroom cultivation facility, likely a tunnel or greenhouse, filled with rows of white champignon mushrooms. The mushrooms are growing on dark substrate in trays, and the facility has a high ceiling with structural beams and lighting fixtures. The mushrooms are densely packed and appear to be in various stages of growth.

Nutzpilze – selbst ziehen

Flammulina velutipes (Samtfußrübling, enoki-take)
auf gemahlene Erdnussschalen, Kaffeesatz,
zerfasertem Langgras



Pleurotus ostreatus
(Austernseitling)

Bauchpilze



Calvatia gigantea (Riesenbovist)

A close-up photograph of a piece of wood covered with several large, irregular, pinkish-tan patches of the fungus Corticium roseum. The fungus has a slightly textured, fibrous appearance. The wood grain is visible in the background.

Saprotrophe Pilze

Corticium roseum (Rosafarbener Rindenpilz)

Saprotrophe Pilze



Clathrus ruber (Roter Gitterling)

Saprotrophe Pilze



Hexenei-Stadium

Phallus impudicus
(Stinkmorchel)

Pilz-Perspektiven



Nachhaltig erzeugte Formteile aus organischem Abfall + Pilzmyzel

Wie leben Pilze?

- als Verwerter von totem organischen Material
- als Parasiten oder Jäger

Rostpilze



Gymnosporangium fuscum (Birnen-Gitterrost) auf Birne und auf Wacholder

Fotos: F. Oberwinkler

Netzwerk ESSBARE REGION · Pilze · M. Weiß 18.7.2024

Brandpilze



Ustilago maydis, Mais-Beulenbrand: befallener Maiskolben

... auch zum Essen



Cuitlacoche ("caviar azteca"): Gericht aus mit *Ustilago maydis* infizierten Maiskolben

Eschentriebsterben



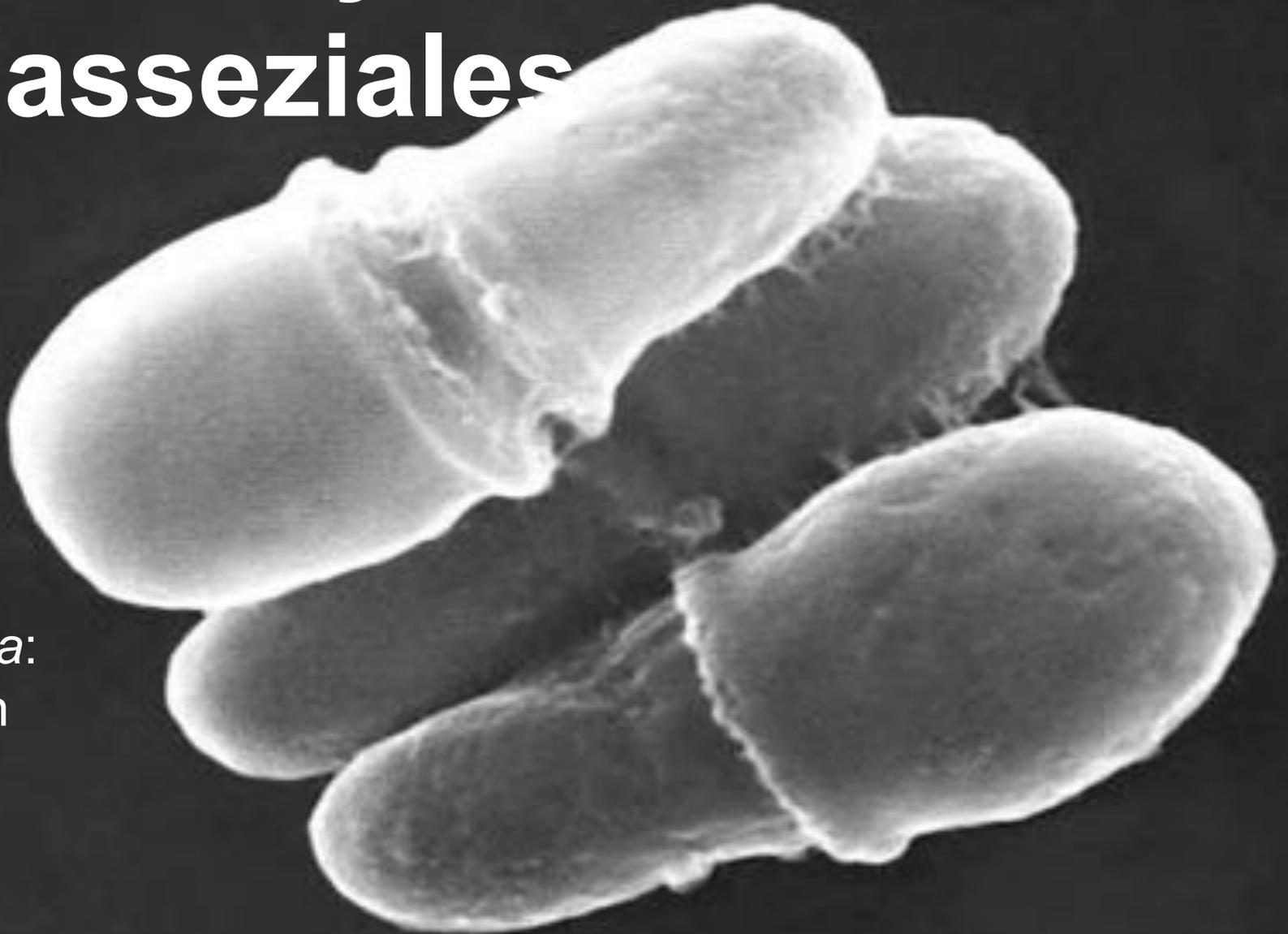
Fruchtkörper von *Hymenoscyphus fraxineus* auf Spindeln abgefallener Eschenblätter

Basidiomycota: Malasseziales

Befallsbild von *Malassezia furfur*: Pityriasis

Basidiomycota: Malasseziales

Malassezia:
Hefezellen



Entomophthoromycetes

Von *Entomophthora muscae*
getötete Fliege



2
mm

Foto: D. Mitchell in Boddy & Coleman (2010)

Netzwerk ESSBARE REGION · Pilze · M. Weiß 18.7.2024

Insektenfressende Pilze



Ophiocordyceps sinensis, ein Parasit auf Schmetterlingsraupen (endemisch in Tibet)

Ascomycota: Hypocreales

Verschiedene Arten der Gattung *Cordyceps* und Verwandte



Sung et al. (2007)

Netzwerk ESSBARE REGION · Pilze · M. Weiß 18.7.2024

Pilze als Jäger

A scanning electron micrograph (SEM) showing a nematode (a small, worm-like animal) caught in a trap of the fungus *Arthrobotrys anchonia*. The nematode is curled up, and its head is stuck in a small, circular opening in the fungal structure. The background shows the intricate, textured surface of the soil or substrate.

Nematode in Schling-Fallen des Schlauchpilzes
Arthrobotrys anchonia

Pilze als Jäger

A close-up photograph of several light-colored, gilled mushrooms (Pleurotus ostreatus) growing on a dark, textured substrate. The mushrooms have a fan-like shape with distinct gills. The background is slightly blurred, showing more mushrooms and a hint of a natural setting.

Fruchtkörper von *Pleurotus ostreatus*
(Austernseitling)

Pilze als Jäger



Hyphen des Austernseitlings (*Pleurotus ostreatus*)
mit toxischen Drüsenanhängseln

Pilze als Jäger



Hyphen des Austernseitlings (*Pleurotus ostreatus*)
mit toxischen Drüsenanhängseln
wirken als Klebfallen für Nematoden

Wie leben Pilze?

- als Verwerter von totem organischen Material
- als Parasiten
- in Symbiosen

Pilze + Insekten



Termitomyces-Kulturen
im Inneren eines Termitenhügels

Pilze + Insekten

Fruchtkörper von
Termitomyces titanicus

Pilze + Algen

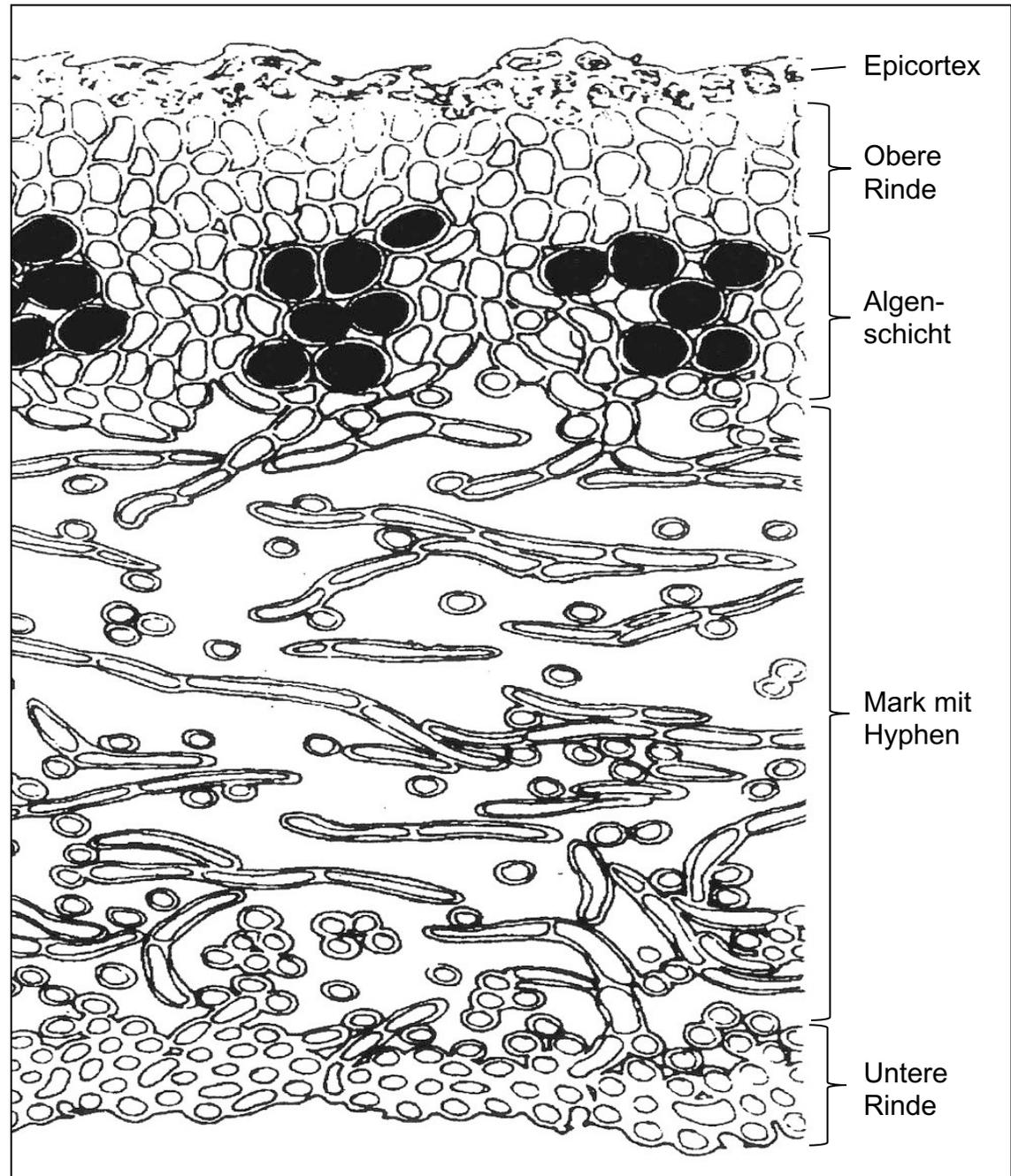


Xanthoria parietina
(Gewöhnliche Gelbflechte)

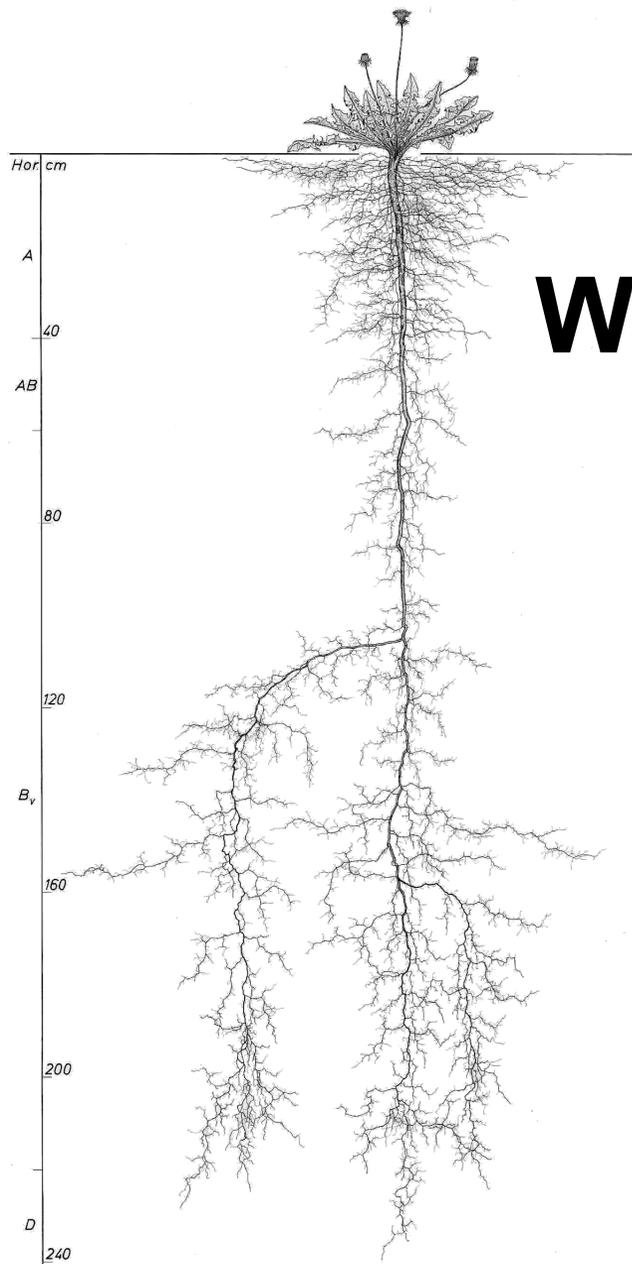
= Flechte

Flechten: Anatomie

Querschnitt durch den
Thallus einer Blattflechte



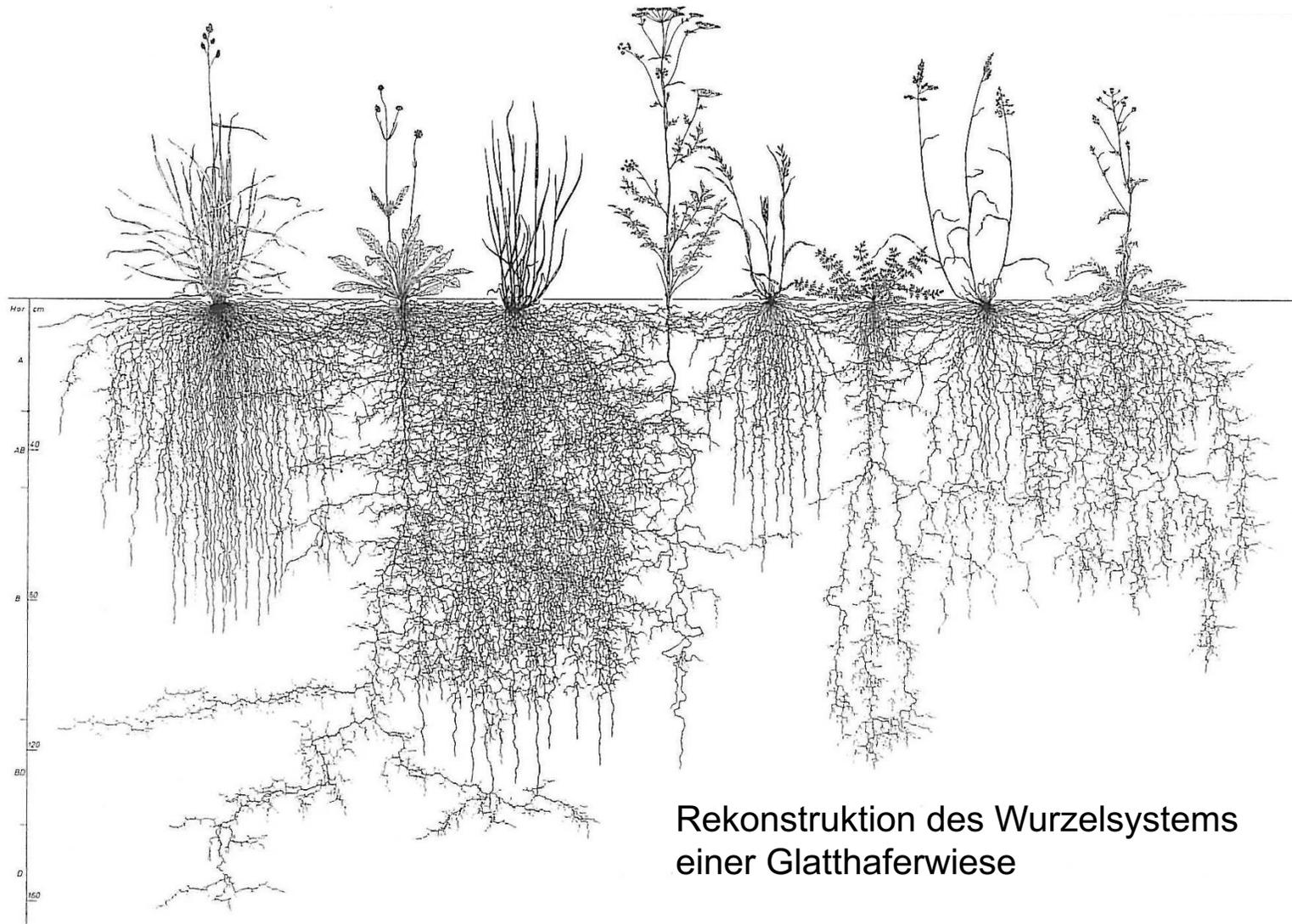
Pilz-Wurzel-Symbiosen



Wurzelsysteme *in situ*

Taraxacum officinale (Löwenzahn; Asteraceae):
Rekonstruktion des Wurzelsystems

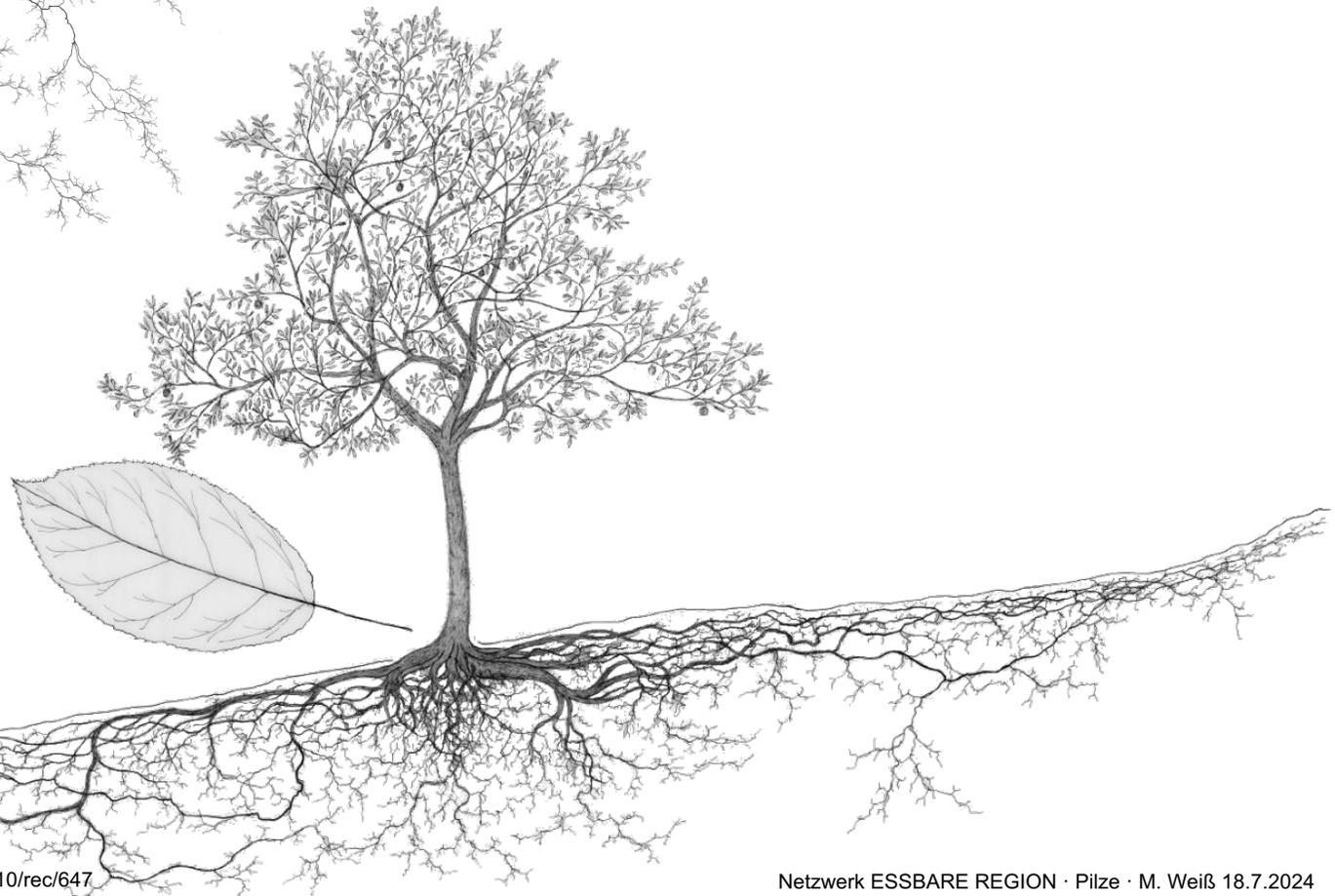
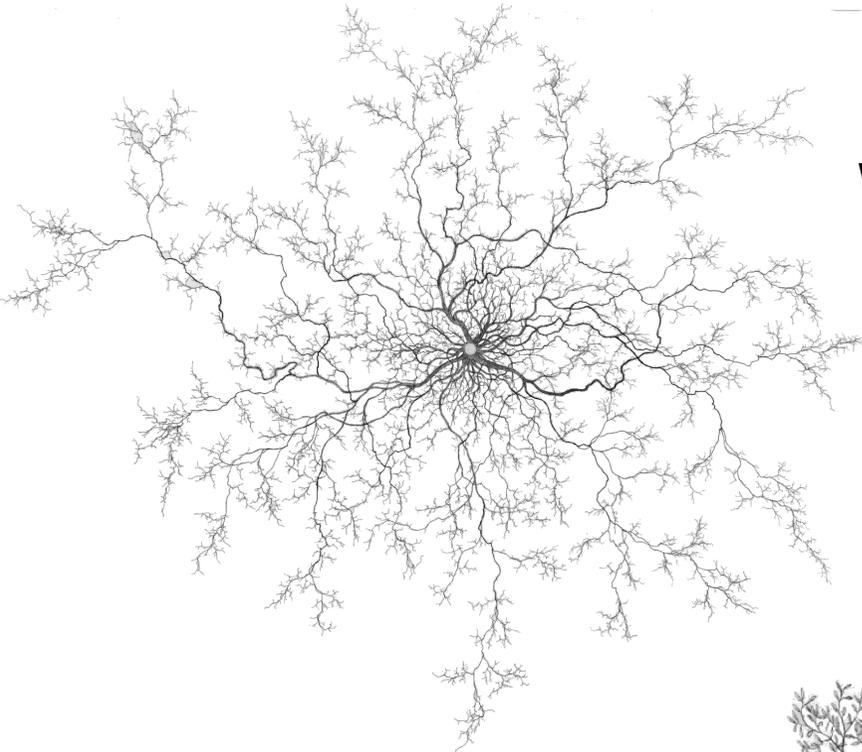
Wurzelsysteme *in situ*



Rekonstruktion des Wurzelsystems
einer Glatthaferwiese

Wurzelsysteme *in situ*

Malus sylvestris (Apfelbaum; Rosaceae):
Rekonstruktion des Wurzelsystems



1 cm

240

Kutschera & Lichtenegger (2002)
via <https://images.wur.nl/digital/collection/coll13/id/1310/rec/647>

Die Geburt der Mykorrhizologie

B. Frank (1885) Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 3: 128-145.

Netzwerk ESSBARE REGION · Pilze · M. Weiß 18.7.2024

128

B. Frank:

Membran durch die auf ihrer Innenseite sich erhebenden, eng nebeneinander liegenden Spiralleisten ausreichend geschützt.

Inwieweit für andere Fälle das Vorkommen isolirter oder zu Gruppen vereinigter Spiralzellen im Assimilationsgewebe (*Crinum*, *Salicornia* etc.) dieselbe Deutung zutreffend ist, müssen weitere Untersuchungen lehren.

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

(Mit Tafel X)

Eingegangen am 17. April 1885.

Se. Excellenz der Herr Minister für Landwirtschaft, Domänen und Forsten hat, um die Zucht der Trüffel im Königreiche Preussen nach Möglichkeit zu fördern, mich beauftragt zunächst durch wissenschaftliche Untersuchungen über die Bedingungen des Vorkommens und der Entwicklung dieser Pilze der Angelegenheit planmässig näher zu treten. Gewisse durch Beobachtung und Erfahrung schon festgestellte Thatsachen, wie das stete Zusammenvorkommen der echten Trüffeln mit lebenden Bäumen, die namentlich auch bei den bis jetzt vorgenommenen Erhebungen in den preussischen Trüffelgegenden hervorgetretene Beziehung des Trüffelvorkommens zu bestimmten Baumarten, nämlich Buche, Hainbuche und Eiche, vor allen Dingen auch die von Reess¹⁾ erkannte an Parasitismus erinnernde Verbindung des Myceliums von *Elaphomyces* mit den Kiefernwurzeln, richten die Untersuchungen von vornherein auf die Frage, ob auch bei den echten Trüffeln ein Zusammenhang des Myceliums mit lebenden Baumwurzeln besteht. Wie die folgenden Mittheilungen zeigen werden, muss diese Frage aber noch viel weiter ausholen, weil sie die Kenntniss von Dingen hinsichtlich der Natur und der Ernährung der Pflanzen voraussetzt, von welchen die Wissenschaft bis jetzt keine Ahnung gehabt hat. Von diesen soll in meiner heutigen Mittheilung zunächst allein nur die Rede sein. Es betrifft die Thatsache, dass gewisse Baumarten, vor allen die Cupuliferen ganz regelmässig sich im Boden nicht selbst-

1) Sitzungsber. d. physik-med. Soc. zu Erlangen, 10. Mai 1880.

Die Geburt der Mykorrhizologie

B. Frank (1885) Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 3: 128-145.

Netzwerk ESSBARE REGION · Pilze · M. Weiß 18.7.2024

ständig ernähren, sondern überall in ihrem gesammten Wurzelsystem mit einem Pilzmycelium in Symbiose stehen, welches ihnen Ammendienste leistet und die ganze Ernährung des Baumes aus dem Boden übernimmt. So überraschend dieser Satz klingen mag, so ist er durch die Ausdehnung meiner Untersuchungen schon jetzt als festbegründet zu betrachten.

Wenn man von irgend einer unserer einheimischen Eichen, Buche, Hainbuche, Hasel oder Kastanie die im Boden gewachsenen Saugwurzeln, welche die letzten Verzweigungen des Wurzelsystems sind und die eigentlich nahrungsaufnehmenden Organe darstellen, untersucht, so erweisen sie sich allgemein aus zweierlei heterogenen Elementen aufgebaut: aus einem Kern, welcher die eigentliche Baumwurzel repräsentirt, und aus einer mit jenem organisch verwachsenen Rinde, welche aus Pilzhyphen zusammengesetzt ist. Dieser Pilzmantel hüllt die Wurzel vollständig ein, auch den Vegetationspunkt derselben lückenlos überziehend, er wächst mit der Wurzel an der Spitze weiter und verhält sich in jeder Beziehung wie ein zur Wurzel gehöriges mit dieser organisch verbundenes peripherisches Gewebe. Der ganze Körper ist also weder Baumwurzel noch Pilz allein, sondern ähnlich wie der Thallus der Flechten, eine Vereinigung zweier verschiedener Wesen zu einem einheitlichen morphologischen Organ, welches vielleicht passend als Pilzwurzel, Mycorrhiza bezeichnet werden kann.

1. Bau der Mycorrhiza. In der Oberflächenansicht gleicht die Pilzwurzel im feineren Baue den meisten Pilzsclerotien; sie zeigt ein aus regellos und sehr dicht verschlungenen Hyphen gebildetes Pseudoparenchym, dessen Zellen in ihrer Grösse je nach dem Quer- oder Längendurchmesser etwa zwischen 0,0024—0,01 mm schwanken (Taf. X, Fig. 3). Die Membranen sind relativ dünnwandig, bald fast farblos, bald hell- oder dunkelbraun, wonach die Mycorrhiza hell oder bräunlich oder fast schwarz aussieht. Das Pseudoparenchym ist seltener einschichtig, häufiger mehrschichtig und bildet darum oft, wie aus Quer- oder Längsschnitten ersichtlich, einen ziemlich dicken Mantel. Dieser liegt der Wurzelepidermis nicht bloss innig auf, sondern von ihm aus dringen Pilzfäden auch zwischen den Epidermiszellen in die Wurzel selbst ein (Fig. 6). Das Periblem incl. der Epidermis macht meist etwa 4 Zellschichten aus; die Epidermis und die subepidermale Schicht oder nur die erstere bestehen hier aus ziemlich weiten oft in radialer Richtung gestreckten Zellen, und in der Regel ist nur die Epidermis von den Pilzfäden durchwuchert; die inneren Periblemzellen bleiben immer frei; bis in die Endodermis oder das Fibrovasalbündel konnte ich sie nie verfolgen. Diese endophyten Hyphen wachsen immer nur in der Membran der Zellen, treten nicht in das Lumen ein, umspinnen aber meist die Zellen von allen Seiten vollständig. Diese Fäden sind nur 0,0012—0,0024 mm, also erheblich dünner als die des Pilzmantels,

Die Geburt der Mykorrhizologie

B. Frank (1885) Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 3: 128-145.

Netzwerk ESSBARE REGION · Pilze · M. Weiß 18.7.2024

als dessen Fortsetzungen sie sich übrigens deutlich erkennen lassen; die grosse Dünwandigkeit der peripherischen Wurzelzellen gestattet ihnen eben nur geringe Breite anzunehmen. Man sieht sie darum am deutlichsten in der Flächenansicht der Membranen, und da sie hier gewöhnlich in dicht geschlossener fast ebenfalls pseudoparenchymatischer Lage angeordnet sind, so erscheinen sie auf den ersten Blick wie eine zarte netzförmige Zeichnung der Membran; doch belehrt jeder Querdurchschnitt durch die letztere, dass diese Structur von den intercellular in den Membranen wuchernden Pilzfäden herrührt.

Die Oberfläche der Mycorrhiza ist häufig vollkommen glatt, indem der Pilzmantel nach aussen sich scharf gegen die Umgebung abgrenzt (Fig. 3). Eine Bildung von Wurzelhaaren ist durch die fest anschliessende Pilzhülle unmöglich gemacht und nie von mir gesehen worden. Wohl aber werden dieselben oft gewissermassen ersetzt durch eine ähnliche Bildung des Pilzmantels, indem die oberflächlichen Zellen desselben in Fäden sich fortsetzen, welche durch Wachstum an ihren Spitzen sich verlängern und zwischen den umgebenden Bodentheilchen sich verbreiten. Die Form, in der das geschieht, ist sehr mannichfaltig. Bald umkleidet die Pilzwurzel ein dicker, lockerer Filz regellos hin und her geschlängelter heller oder blassbrauner, in der Stärke einander gleicher, aber je nach Fällen variirender, nämlich von 0,0012 bis 0,0036 mm dicker Fäden, die sich überall zwischen den umliegenden Erdpartikeln verbreiten (Fig. 4) und an denen man sehr häufig, ebenso wie an den Rhizinen der Flechten oder den Wurzelhaaren höherer Pflanzen, bemerkt, dass sie, oft mit erweiterten Stellen, an kleine Bodentheilchen angewachsen sind. Bald auch strahlen eine Menge längerer und mehr gerade gewachsener, meist ziemlich starker, brauner oder bei entsprechender Färbung des Pilzmantels wohl auch schwarzer Fäden in den Boden hinaus, so dass die ins Wasser gelegten Pilzwurzeln an ihren Spitzen wie ein Besen oder Haarschopf erscheinen. Bald vereinigen sich an diesem oder jenem Punkte des Pilzmantels die Fäden zu mehrfaserigen Strängen, die je nach der Zahl der parallel mit einander verwachsenen Fäden in allen Stärken von wenigfaserigen Gebilden bis zu rhizomorphaartigen Körpern fast von der Dicke der Mycorrhiza selbst vorkommen, so dass sie dann mit der letzteren ohne genauere Untersuchung leicht verwechselt werden können. Sie verzweigen sich auch in gleich starke oder dünnere Zweige, hängen oft auch anastomotisch zusammen. Auch an diesen rhizomorphaartigen Gebilden, die übrigens hinsichtlich der Farbe und der Stärke der Hyphen gewöhnlich mit den Pilzfasern der Mycorrhiza übereinstimmen, gehen oft zahlreiche einzelne Fäden von der Oberfläche ab in den umgebenden Boden. In den Trüffelgegenden, besonders in der Nachbarschaft einer im Boden gewachsenen Trüffel pflegen diese Myceliumstränge sehr reichlich im Boden vorhanden zu sein, sie bilden unter

Die Geburt der Mykorrhizologie

zahllosen Verzweigungen und Anastomosen ein durch den Boden sich verbreitendes System, und es gelingt unschwer den Zusammenhang derselben mit den Mycorrhizen der im Boden vorhandenen Cupuliferenwurzeln nachzuweisen (Fig. 7).

2. Entwicklung der Mycorrhiza. Längsschnitte belehren uns, dass der Pilzmantel auch bis auf die Spitze der Mycorrhiza sich fortsetzt und diese ebenfalls vollständig einhüllt, und dass der Kern an der Spitze durch einen deutlich ausgebildeten Vegetationspunkt in die Länge wächst, welcher nach der Beschaffenheit seiner Gewebe demselben alle Charaktere einer echten Wurzel verleiht (Fig. 5). **Es muss also angenommen werden, dass auch der Pilzmantel eines Wachstums, einer Erweiterung fähig ist, um mit der Verlängerung der von ihm eingeschlossenen Wurzel Schritt zu halten. In der That hat auch er dort, wo der Vegetationspunkt und die Region der Längenzunahme des Mycorrhizakernes liegt, seine Zuwachsregion.** Stets sind nämlich die Hyphen, welche den um die Wurzelspitze herumgehenden Theil des Pilzmantels zusammensetzen, viel dünner als diejenigen in dem weiter rückwärts liegenden, nicht mehr wachsenden Stück, nämlich 0,0008—0,0024 mm breit und bis etwa 0,005 mm lang, und gehen nach rückwärts ganz allmählich in die grösseren Zellen über (Fig. 5). **Der Pilzmantel vergrössert sich also dadurch, dass an der Spitze der Mycorrhiza immer neue Fäden sich zwischen die vorhandenen einschieben und dass dann die Zellen des so gebildeten Pseudoparenchyms sich bis auf ihre definitive Grösse erweitern. Beide Theile der Mycorrhiza halten in diesem Wachsthum gleichen Schritt, so dass der Pilzmantel auch der wachsenden Wurzelspitze immer dicht anliegt.** Eine organische Verwachsung durch in die Epidermis eindringende Pilzfäden ist aber in der wachsenden Region noch nicht, sondern erst von der Stelle an, wo das Längenwachsthum abgeschlossen ist, zu beobachten. Man kann auf Längsschnitten von den jüngeren zu den älteren Regionen fortschreitend deutlich das allmähliche Eindringen der endophyten Fäden von der Oberfläche der Epidermis aus verfolgen. Was die Wachstumserscheinungen im Vegetationspunkte der Wurzel anlangt, so unterscheiden wir die gewöhnlichen Gewebe aller Wurzelspitzen: Plerom, Periblem, Dermatogen und Wurzelhaube, und sehen diese Meristeme nach rückwärts in die gewöhnlichen Dauergewebe der Wurzel, nämlich in den centralen Fibrovasalstrang, in die Wurzelrinde und die Epidermis übergehen. Die Gliederung dieser Meristeme folgt dem für die meisten Dikotylen gültigen Typus, welcher in de Bary's Vergleichender Anatomie (pag. 12) unter Nr. 3 besprochen ist, d. h. wo bei scharf abgegrenztem Plerom und Periblem der Wurzelschleitel von einer gemeinsamen Initialschicht für Dermatogen und Wurzelhaube bedeckt ist (Fig. 5). Bemerkenswerth ist die schwache Entwicklung der Wurzelhaube, von welcher häufig momentan immer nur eine einzige Zellschicht

B. Frank (1885) Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 3: 128-145.

Netzwerk ESSBARE REGION · Pilze · M. Weiß 18.7.2024

Die Geburt der Mykorrhizologie

vorhanden ist, indem sie bald nachdem die nächste vom Dermatogen sich abzuspalten beginnt, auch schon wieder desorganisirt wird. Man erkennt die Ueberreste der älteren Haubenschicht oft noch als dünne braune Massen, welche durch die sie umspinnende Pilzhülle zusammengedrückt und bald undeutlich werden. So verständlich der Rückgang der Wurzelhaubenbildung in diesem Falle ist, da durch das Vorhandensein des Pilzmantels sowohl die räumlichen Bedingungen für die Entwicklung der Haube beeinträchtigt als auch die Nothwendigkeit derselben wegen des Ersatzes durch den Pilzmantel vermindert erscheint, so interessant ist es doch zu sehen, wie trotz der Symbiose die ererbten histiologischen Differenzirungen der Wurzel intact geblieben sind.

Eine andere Frage ist, wie die Mycorhiza sich an der im Boden aufgekeimten jungen Pflanze entwickelt. Am Keimlinge des Samens ist natürlich von einer Verpilzung der Radicula nichts zu finden. Auch in den ersten Stadien der Keimung zeigt sich die Pfahlwurzel pilzfrei. Bald entwickelt die letztere ihre Seitenwurzeln, welche ziemlich dünn bleiben und in ihrer ganzen Länge sich mit zahlreichen kurz und wiederholt verzweigten, daher fast korallenartig erscheinenden Saugwurzeln bekleiden. An diesen Seitenwurzeln erster und folgender Ordnung kann man die allmähliche Verpilzung eintreten sehen. An einzelnen Punkten setzen sich zunächst Hyphen eine Strecke weit an die Wurzelepidermis an und indem sie nun Zweige entwickeln, die auf der Wurzel weiter kriechen und mit dieser und mit einander in Verband treten, baut sich von solchen Ausgangspunkten aus allmählich der Pilzmantel auf. Bei *Carpinus* scheint die Verpilzung am raschesten vor sich zu gehen; einjährige Pflanzen haben in der Regel schon ihr ganzes Saugwurzelsystem zu Mycorhizen umgewandelt. Bei *Quercus* erfolgt es relativ am langsamsten, so dass man hier am leichtesten den Vorgang verfolgen kann; manchmal sind ein- und zweijährige Pflanzen, oder wohl auch einzelne Wurzelpartien älterer Pflanzen nur erst partiell verpilzt. Diese pilzfreien Saugwurzeln sind dann auch wie diejenigen anderer Gewächse mit Wurzelhaaren bekleidet, die den Mycorhizen ausnahmslos fehlen. Immerhin sind aber solche pilzfreie Cupuliferenwurzeln verhältnissmässig selten zu finden; und häufig pflegt an solchen doch wenigstens die Wurzelspitze verpilzt zu sein, indem das Mycelium vorherrschend nach den jungen Partien des Wurzelkörpers sich ausbreitet und bei dem langsamen Wachsthum dieser stets kurz bleibenden Saugwurzeln die Spitze derselben bald zu umwachsen vermag. Nur diejenigen kräftigeren und sehr rüstig gerade vorwärts wachsenden Wurzeln, welche in noch wurzelfreie Bodenstellen hinein zu dringen pflegen und als Träger der eigentlichen hier sich entwickelnden Saugwurzeln fungiren, bleiben häufiger pilzfrei. Wie an der jungen Pflanze, so erfolgt auch an älteren Wurzeltheilen, wenn aus diesen

B. Frank (1885) Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 3: 128-145.

Die Geburt der Mykorrhizologie

B. Frank (1885) Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 3: 128-145.

Netzwerk ESSBARE REGION · Pilze · M. Weiß 18.7.2024

Saugwurzeln sich entwickeln, Verpilzung der letzteren direct aus dem Boden.

Veränderung der Wurzel durch den Pilz. Die Mycorhiza ist auch gestaltlich von der gewöhnlichen unverpilzten Wurzel unterschieden. Die Saugwurzeln anderer Laubhölzer und ebenso Cupuliferenwurzeln, wenn sie wie unten noch zu erwähnen, pilzfrei cultivirt wurden, sind bei verhältnissmässiger Dünne ziemlich lang, ihre Seitenwurzeln entspringen monopodial in ziemlich weiten Abständen und pflegen der Tragwurzel in Gestalt und Verzweigung wiederum ähnlich zu werden. Demgegenüber zeigt die Mycorhiza ein sehr verlangsamtes Längenwachsthum, nimmt aber, indem die Zellschichten des Periblems und des Pleroms etwas zahlreicher sich bilden und besonders wegen der grösseren Weite, welche die Epidermiszellen erreichen, meist eine grössere Stärke an, so dass sie einen kurzen und relativ dicken Körper bildet. Dazu kommt eine grössere Neigung zur Verzweigung, indem die Seitenwurzeln schon nahe hinter der Spitze und in sehr kurzen Abständen auftreten; diese verhalten sich dann in Wachsthum, Gestalt und Verzweigung wieder wie ihre Tragwurzel. Die Mycorhizen bilden daher mehr oder weniger korallenähnliche Wucherungen (Fig. 1), die oft zu grossen dichten Büscheln anwachsen (Fig. 2). Die Verzweigung der Mycorhiza geschieht übrigens nach dem für Wurzeln gewöhnlichen Typus, d. h. endogen, und der aus der Tragwurzel hervortretende neue Vegetationspunkt ist daher schon von Anfang an mit dem Pilzmantel der Mutterwurzel bedeckt, der nun in der beschriebenen Weise an dieser Stelle mit der neuen Wurzel zusammen fortwächst. Die Verzweigungsform ist streng monopodial; trotz der korallenförmigen Wucherung lässt sich keine Dichotomie beobachten; immer tritt erst in der Strecke hinter der Spitze, wo das Längenwachsthum erloschen ist, die erste Verzweigung auf, und schreitet acropetal fort, so dass die der Spitze nächsten Zweige die jüngsten und kürzesten sind. Dieselben stehen ziemlich deutlich in Längsreihen wie gewöhnlich bei den Wurzeln; bald in 2, bald in 3, bisweilen auch in 4 Reihen, manchmal auch nur einseitig in einer Reihe, Zustände, die wohl zum Theil von den gegebenen Raumverhältnissen abhängen mögen. Uebrigens finden auch in der Formveränderung durch den Pilz Abstufungen statt, indem die Saugwurzeln manchmal sich in der Form den normalen Wurzeln nähern (Fig. 1a), trotzdem, dass auch sie von dem typischen Pilzmantel umgeben sind, der dann freilich meist nicht so dick zu sein pflegt, wie an Wurzeln, welche die Korallenform am ausgeprägtesten zeigen.

Späteres Schicksal der Mycorhiza Das im Vorstehenden beschriebene eigenthümliche aus Pilz und Wurzel combinirte Organ hat im Allgemeinen nur eine beschränkte Lebensdauer; doch diese Eigenschaft theilt es mit den Saugwurzeln der Holzpflanzen überhaupt. Denn wie mit dem Alter des Baumes sein Wurzelsystem erstarkt und

Die Geburt der Mykorrhizologie

B. Frank (1885) Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 3: 128-145.

Netzwerk ESSBARE REGION · Pilze · M. Weiß 18.7.2024

nach neuen Stellen im Boden weitergreift, so gehen die genannten Organe an den älter werdenden Theilen verloren um an den neuen Wurzeltrieben an anderen Stellen des Bodens durch neue ersetzt zu werden. Man findet, dass die bis zu einer gewissen Grösse herangewachsenen Mycorhizen nach einiger Zeit aufhören zu wachsen, oder zunächst nur noch an einzelnen Zweigen sich verjüngen, bis gänzlicher Stillstand und endlich Absterben eintritt, indem das Gebilde unter Dunkel- bis Schwarzfärbung vertrocknet und mürbe wird. Dafür bilden sich wie gesagt an anderen Stellen, nicht selten dicht neben einem abgestorbenen Mycorhizabüschel, neue. Wie lange eine Mycorhiza vegetirt, mag von einer Menge Umständen abhängen und sehr variiren, sicher zählt ihre Dauer oft nach vielen Jahren; denn man findet nicht selten umfangreiche Nester von Pilzwurzeln, die nach dem langsamen Wachstum zu urtheilen, seit langer Zeit bereits in ihrer Fortbildung begriffen sein müssen. In den ältesten Gliedern der Mycorhiza beobachten wir den bekanntlich auch bei den gewöhnlichen Wurzeln der Bäume mit fortschreitendem Alter eintretenden Process des Absterbens des Periblems unter Bräunung der Zellen bis zur Endodermis, unter deren Schutze dann der Fibrovasalstrang weiter fungirt. Damit geht bei der Mycorhiza auch ein Absterben des Pilzmantels an dieser Stelle Hand in Hand. Auf dieselbe Weise verlieren natürlich auch diejenigen kräftigeren Triebe der Mycorhiza ihre Pilzhülle, welche dazu bestimmt sind durch weitere Verlängerung und weiteres Dickenwachsthum unter Constituirung eines Korkkambiums unterhalb der Endodermis und eines holzbildenden Kambiumringes im Fibrovasalstrange zu dauernden verholzenden Zweigen des Wurzelsystems zu erstarken. Man sieht also, dass der Pilzmantel nur den jüngeren Wurzelpartien, und gerade denjenigen, welche die bei der Nahrungsaufnahme allein in Betracht kommenden sind, eigen ist.

Regelmässiges Vorhandensein des Pilzes in allen Lebensaltern und an allen Wurzeln des Baumes. Um die Wurzeln der Cupuliferen in den verschiedenen Lebensaltern zu untersuchen habe ich von Eichen, Rothbuchen, Hainbuchen und Haseln aus verschiedenen Gegenden jedesmal sowohl 1-, 2-, und 3jährige Pflanzen, als auch mit Saugwurzeln versehene Wurzelstücke älterer Bäume kommen lassen, nämlich von Eichen bis zu 120jährigem, von Rothbuche bis zu 120jährigem, von Hainbuchen bis zu 100jährigem und von Haseln bis zu 40jährigem Alter. Es ergab sich das Resultat, dass bei diesen Bäumen die Saugwurzeln in allen Lebensaltern in der Form der Mycorhiza entwickelt sind, dass der Pilz während des ganzen Lebens die Wurzel begleitet. Bei den älteren Pflanzen hat es auch Interesse, wie der Pilz in den verschiedenen Bodentiefen, in denen die Wurzeln verbreitet sind, sich verhält. Ich habe das besonders an Rothbuchen und Hainbuchen verfolgen können. In der obersten ca. 5 cm mächtigen,

Die Geburt der Mykorrhizologie

B. Frank (1885) Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 3: 128-145.

Netzwerk ESSBARE REGION · Pilze · M. Weiß 18.7.2024

relativ humusreichsten Schicht pflegen die Baumwurzeln die grösste Menge von Saugwurzeln zu bilden, und diese sind wie erwähnt, bei den Cupuliferen immer als Mycorhizen entwickelt. Ueberraschend reich sind dieselben in dieser Bodenschicht gerade in den Trüffelorten vorhanden, so dass die reifen Trüffel auf und in einem dichten Gefilz von Mycorhizen ruhen. In tiefgründigem Boden kann man verfolgen, wie von dieser Region aus tiefer die Häufigkeit der Saugwurzeln abnimmt, zunächst langsam, aber weiterhin immer mehr. Die stärkeren Wurzeln dringen freilich in die Tiefe, aber sie bilden dort nur spärlich Saugwurzeln oder thun dies mehr nur an denjenigen Zweigen, die in höhere Bodenschichten hinaufgedrungen sind. Auf Waldböden, wo erst in der Tiefe eines halben Meters der Gesteinsuntergrund anstand, liessen sich die Wurzeln auch bis dorthin verfolgen, aber in dieser Tiefe nur noch mit sehr spärlicher Bildung von Saugwurzeln. Jedoch auch hier noch zeigten sich die letzteren als Mycorhizen entwickelt. Man könnte dies durch die Annahme erklären, dass der die Wurzeln befallende Pilz in allen Bodenschichten verbreitet sei. Aber noch einfacher lässt es sich erklären durch den Umstand, dass der Parasit mit den Wurzeln selbst, die ja immer verpilzt sind, beim Eindringen derselben in den Boden, in die tieferen Schichten gelangt.

Vorkommen des Wurzelpilzes nach Pflanzenarten. Es ist eine überaus interessante Thatsache, dass dieser im Boden lebende Pilz die Wurzeln, die er befällt, genau nach Species auswählt und dabei eine streng systematische Beschränkung einhält. Wenn man z. B. aus Buchenbeständen Boden untersucht, so findet man nur die Buchenwurzeln als Mycorhizen entwickelt. Die ganze dort vorkommende krautartige Vegetation, wie *Oxalis acetosella*, *Mercurialis perennis*, *Anemone nemorosa*, *Asperula odorata*, *Viola canina*, *Convallaria multiflora* etc., desgleichen andere Holzpflanzen, z. B. *Hedera helix*, *Acer pseudoplatanus*, haben völlig pilzfreie Wurzeln mit Wurzelhaaren, wie gewöhnliche Pflanzenwurzeln. Selbst dann ist dies der Fall, wenn dieselben dicht neben einem Mycorhizabüschel oder durch ein solches hindurchgewachsen sind. Um nun den Kreis der Nährpflanzen der Wurzelpilze genauer festzustellen, habe ich die Mehrzahl unserer einheimischen Holzpflanzengattungen daraufhin geprüft und kann zunächst angeben, wo die Wurzelpilze fehlen. Es sind dies: *Betula alba*, *Alnus incana*, *Ulmus campestris*, *Morus alba*, *Platanus occidentalis*, *Juglans regia*, *Pyrus malus*, *Sorbus aucuparia*, *Crataegus oxyacantha*, *Prunus padus*, *Robinia pseudacacia*, *Tilia europaea*, *Acer platanoides* und *pseudoplatanus*, *Rhamnus cathartica*, *Cornus mas*, *Fraginus excelsior*, *Syringa vulgaris*, *Sambucus nigra*. Hieraus ergibt sich, dass die übergrosse Mehrzahl der Pflanzenfamilien, zu denen die einheimische Baumwelt gehört, nach den hier geprüften Repräsentanten zu urtheilen, von den Wurzelpilzen frei ist. Da somit die Beschränkung auf einen kleineren

Die Geburt der Mykorrhizologie

spiele genug bekannt, dass das Mycelium von Pilzen Jahre lang steril bleibt, weiter wachsen kann ohne jemals Fruchträger zu bilden und dass das letztere nur geschieht, wenn gewisse äussere Bedingungen erfüllt sind. Wir würden somit vor die Frage gestellt sein, ob es möglich ist, die fraglichen Pilze schon nach der Beschaffenheit ihres Myceliums zu bestimmen. Es wurde schon oben beschrieben, wie namentlich die von der Mycorrhiza aus in den Boden sich abzweigenden Pilzfäden hinsichtlich der Gestalt, der Dicke, der Färbung, der Verbindung allerdings viele Mannichfaltigkeiten zeigen. Genauere Betrachtung führt aber bald zu der Ueberzeugung, dass diese Merkmale zu einer specifischen Unterscheidung nicht ohne Weiteres zu verwenden sind, indem sie oft an derselben Mycorrhiza vorkommen und in einander übergehen, also wenigstens zum Theil als Formänderungen eines und desselben Pilzmyceliums zu betrachten sind. Vergleicht man die Mycorrhiza von einem Trüffelager mit derjenigen aus Nicht-Trüffelgegenden, so sind bezüglich der eben angedeuteten morphologischen Merkmale scharfe Differenzen auch nicht zu finden, vielmehr besteht der Unterschied hauptsächlich nur in quantitativer Hinsicht, in der Massenentwicklung der Mycorrhizen und der den Boden durchsetzenden Mycelien, die in den Trüffelorten den Höhegrad erreicht. Hiernach würden wir berechtigt sein anzunehmen, dass die Pilze, welche in manchen Gegenden Trüffeln erzeugen, viel weiter als die letzteren verbreitet, vielleicht ganz gemeine Pflanzen und in den sterilen Gegenden nur durch den Mangel der geeigneten äusseren Bedingungen an der Fruchtbildung verhindert sind. Jedoch wäre es andererseits auch ungerechtfertigt, ohne weiteres aus der Aehnlichkeit des Myceliums überall auf dieselbe Pilzspecies schliessen zu wollen. Es giebt verschiedene Arten Tuberaceen, welche nach der gewöhnlichen Regel der Pilze, dass verwandte Arten in ihren Mycelien keine zuverlässigen Unterscheidungsmerkmale darbieten, voraussichtlich ebenfalls nicht nach ihren Mycelien sich unterscheiden lassen werden. Jedoch komme ich hier auf Fragen, welche bereits aus dem Rahmen meiner heutigen vorbereitenden Mittheilung hinausgreifen und mit den Ergebnissen der noch schwebenden weiteren Untersuchung der Trüffelfrage späterer Gelegenheit vorbehalten bleiben sollen.

Biologische und physiologische Bedeutung der Mycorrhiza. Die organische Verbindung zwischen der Cupuliferenwurzel und dem Pilzmycelium zu einem morphologisch selbständigen Organ, sowie das in inniger gegenseitiger Abhängigkeit erfolgende Wachstum beider Theile und die engen Beziehungen physiologischer Functionen, welche zwischen beiden bestehen müssen, lassen dieses Verhältniss als ein neues Beispiel von Symbiose im Pflanzenreiche erscheinen, und da es sich dabei nicht mehr um niedere Organismen, sondern um die höchst entwickelte Pflanzenform, um Bäume handelt, unstreitig als eines der ungeahntesten und interessantesten. Was zunächst das Pilz-

B. Frank (1885) Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 3: 128-145.

Die Geburt der Mykorrhizologie

B. Frank (1885) Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 3: 128-145.

Netzwerk ESSBARE REGION · Pilze · M. Weiß 18.7.2024

mycelium anlangt, so muss es unzweifelhaft der lebenden Cupuliferenwurzel gegenüber als Parasit angesehen werden, wie aus der ganzen Art seiner Ansiedelung und seines Eindringens an der wachsenden Wurzel hervorgeht. Das hier zu Grunde liegende Nahrungsbedürfniss des Pilzes wird sich, wie das ja für alle parasitischen Pilze gilt, hauptsächlich auf die assimilirten, kohlenstoffhaltigen Nahrungsstoffe beziehen, welche der Baum durch seine chlorophyllhaltigen Organe bereitet. Dagegen übernimmt hinsichtlich der mineralischen Bodennährstoffe der Pilz seine Ernährung offenbar selbst, denn er ist es ja, der die mit dem Boden allein in Berührung stehenden peripherischen Theile der Mycorhiza bildet und von da mit zahllosen Fäden in den Boden eindringt, die gleich Wurzelhaaren mit dessen Partikeln verwachsen. Von hohem Interesse muss jetzt die Frage sein, ob durch den Pilzparasitismus auf den Wurzeln dem Baume ein Schaden erwächst, da wir ja aus tausend Fällen wissen, dass parasitische Pilze ihren Nährpflanzen verderblich sind. Die morphologischen Veränderungen, welche die Baumwurzeln unter dem Einflusse des Parasiten annehmen, charakterisiren sich unzweifelhaft als eine wenn auch schwachgradige Hypertrophie oder Cecidienbildung, die auf einen durch den Pilz auf das Wachstum der Wurzel ausgeübten Reiz hindeutet. Allein die Wurzel wird durch den Pilz keineswegs getödtet und sie verliert auch trotz ihrer Veränderung nicht die Fähigkeit für den Baum zu functioniren, wie ja das Gedeihen des letzteren zur Genüge beweist. Aus demselben Grunde kann auch die Entziehung von assimilirten Nährstoffen durch den Pilz für den Baum nicht ins Gewicht fallen. Wäre dem nicht so, so könnte es ja, da der Pilz bereits vom ersten Lebensjahre bis ins hohe Alter die Wurzeln eines jeden Cupuliferenbaumes begleitet, überhaupt keine gesunde Buche und Eiche geben. Wir schliessen aus alledem, dass die Wurzelpilze wenigstens im Myceliumzustande dem Baume keinerlei Nachtheil bereiten können. Schon dieser Umstand drückt eben diesem Verhältnisse den Stempel der Symbiose auf, wo die beiden vereinigten Wesen, ohne gegenseitige Schädigung, vielmehr zur wechselseitigen Hülfeleistung zusammenleben. Denn für das, was der Pilz von der Pflanze empfängt, leistet er ihr auch einen Gegendienst, einen Dienst von eminenter Bedeutung, denn dieser stellt sich als der wichtigste Factor in der Ernährung des Baumes dar. Es kann nicht bestritten werden, dass das ganze für den Baum erforderliche Quantum von Wasser und Nährstoffen aus dem Boden nur durch Vermittelung des Pilzes demselben zugeführt wird, weil eben nur er es ist, der den ganzen oberflächlichen Theil der Saugwurzeln ausmacht und mit seinen Fäden die Rolle der Wurzelhaare anderer Pflanzen den festen Bestandtheilen des Bodens gegenüber spielt. In der Volumvergrößerung der Epidermiszellen der Wurzel und in der vollständigen Umspinnung derselben mit den Hyphen des

Die Geburt der Mykorrhizologie

Pilzes müssen wir eine Einrichtung erkennen, welche wahrscheinlich mit zum Geschäfte der Nahrungsaufnahme für den Baum bestimmt ist. Der Pilz nimmt also die mineralischen Bodennährstoffe nicht nur zu seiner eigenen Ernährung, sondern zugleich auch für den Baum auf, und wir müssen daher den Wurzelpilz als das alleinige das Wasser und die Bodennahrung aufnehmende Organ der Eiche, Buche etc. betrachten; er functionirt in Bezug auf diese Ernährung als die Amme des Baumes. So würden die Cupuliferen gegenüber den autotrophen Pflanzen und Bäumen das Verhältniss der Heterotrophie, wie man es nennen kann, d. h. die Ernährung aus dem Erdboden mit Hilfe eines anderen Wesens, in einem wahrhaft grossartigen Massstabe zeigen, denn bislang war dies nur von den Gonidien der Flechten und einigen in höheren Pflanzen eingeschlossen lebenden niederen Algen bekannt.

Mit dieser Symbiose der Flechten ist aber diejenige der Cupuliferen in der That mutatis mutandis in genaueste Parallele zu stellen, nämlich was den biologischen Charakter, d. h. sowohl die Bedürfnisse wie die Leistungen, die aus dieser Lebensgenossenschaft für die Ernährung beider Theile erwachsen, anbetrifft, und zwar ist der Wurzelpilz den Flechtenhyphen, der Baum den Flechtengonidien analog; der Vergleich braucht nicht näher erläutert zu werden. Sogar bezüglich der Frage, inwieweit dieses symbiotische Verhältniss für beide Theile nothwendig oder entbehrlich ist, scheint völlige Uebereinstimmung zu herrschen. Denn wie bei den Flechten bekannt ist, dass für die Gonidien die Symbiose keine nothwendige Existenzbedingung ist, indem man dieselben auch aus der Flechte isolirt zu weiterer Entwicklung in freier Algenform zu bringen vermocht hat, so lassen sich auch, wie oben erwähnt, Cupuliferen in Wasserculturen wurzelpilzfrei Jahre lang ziehen. Besonders kräftig entwickeln sich freilich Cupuliferen in Wasserculturen nicht. Doch das ist wohl sicher zum Theil wenigstens auf Rechnung des ungewöhnlichen Mediums zu setzen, denn es zeigt sich in ähnlicher Weise auch an anderen Landpflanzen bei dieser Culturemethode. Ob also die Cupuliferen mit ihrer Pilzamme sich vielleicht sogar besser ernähren als ohne dieselbe, ist aus diesen Versuchen nicht zu erkennen, und ein anderer Massstab fehlt uns für diese Frage, weil es eben keine wurzelpilzfrei erwachsene Cupulifere zu geben scheint. Wie dagegen die Flechtenhyphen ohne die Gonidien sich nicht zu gedeihlicher Entwicklung und jedenfalls nie zur Erreichung ihrer typischen Fruchtbildung bringen lassen, so scheinen auch die Pilze der Mycorhiza in ihrer Entwicklung auf den chlorophyllbegabten Baum angewiesen zu sein. Es ist mir bisher nicht gelungen, an Schnitten durch lebende Mycorhizen nach Einlegen in Wasser oder in pilzliche Nährstofflösungen, z. B. Pflaumendecoct, irgend ein weite-

B. Frank (1885) Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 3: 128-145.



Ektomykorrhiza

Ektomykorrhiza-Matte von *Pinus sylvestris*
(Kiefer)

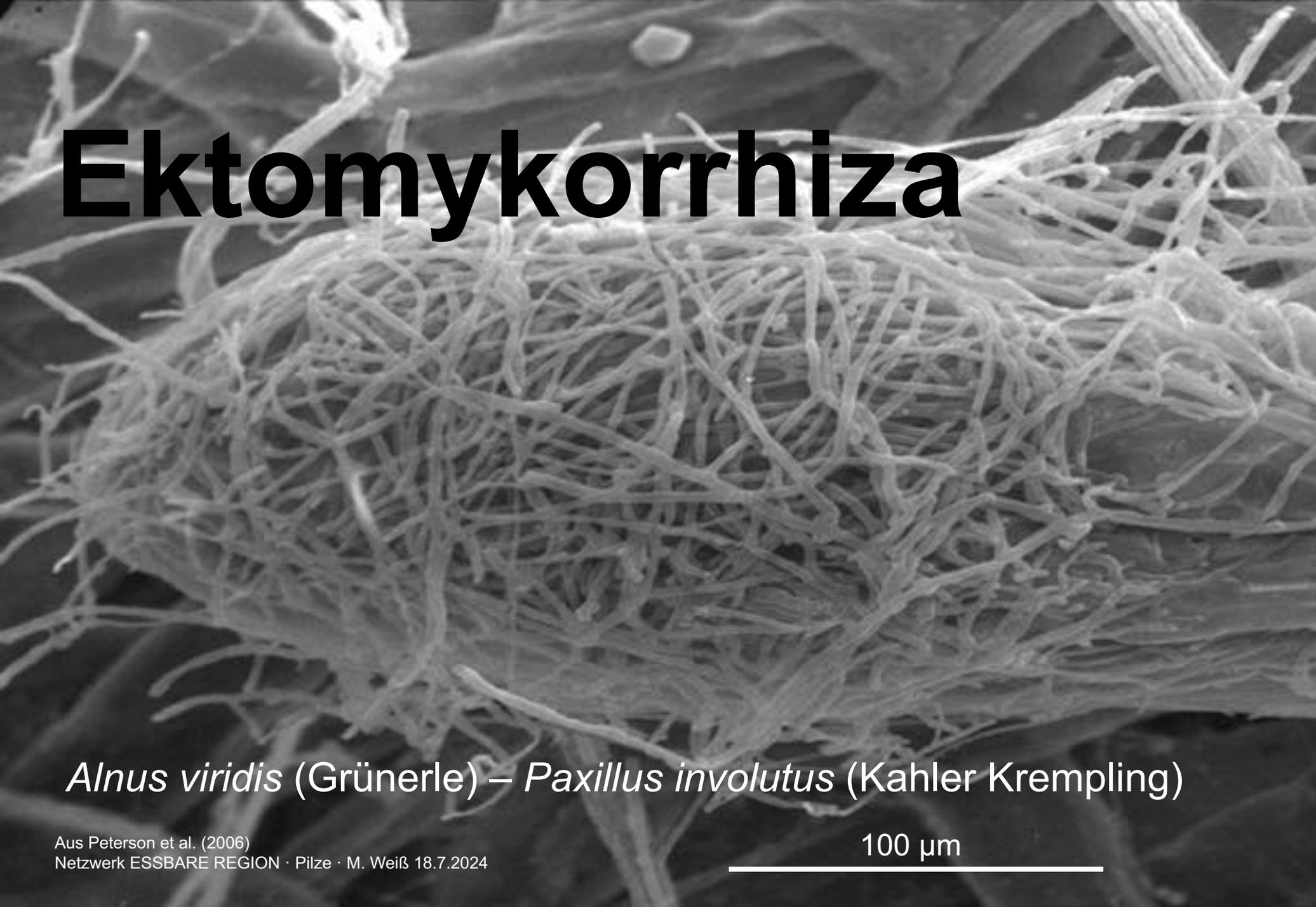
Ektomykorrhiza

Abies lasiocarpa (Felsentanne) – *Cenococcum geophilum*

Hyphenmantel

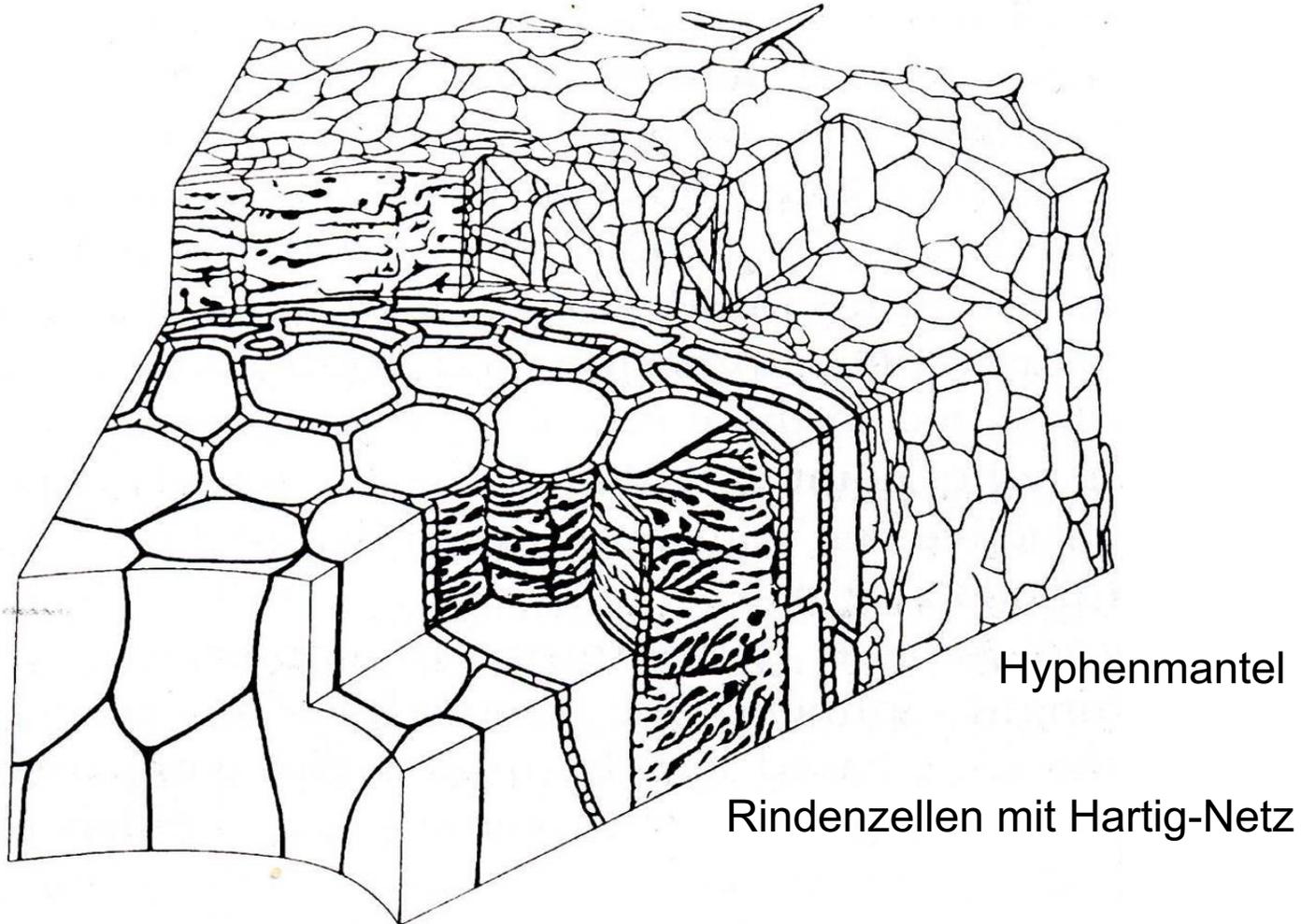
1 mm

Ektomykorrhiza

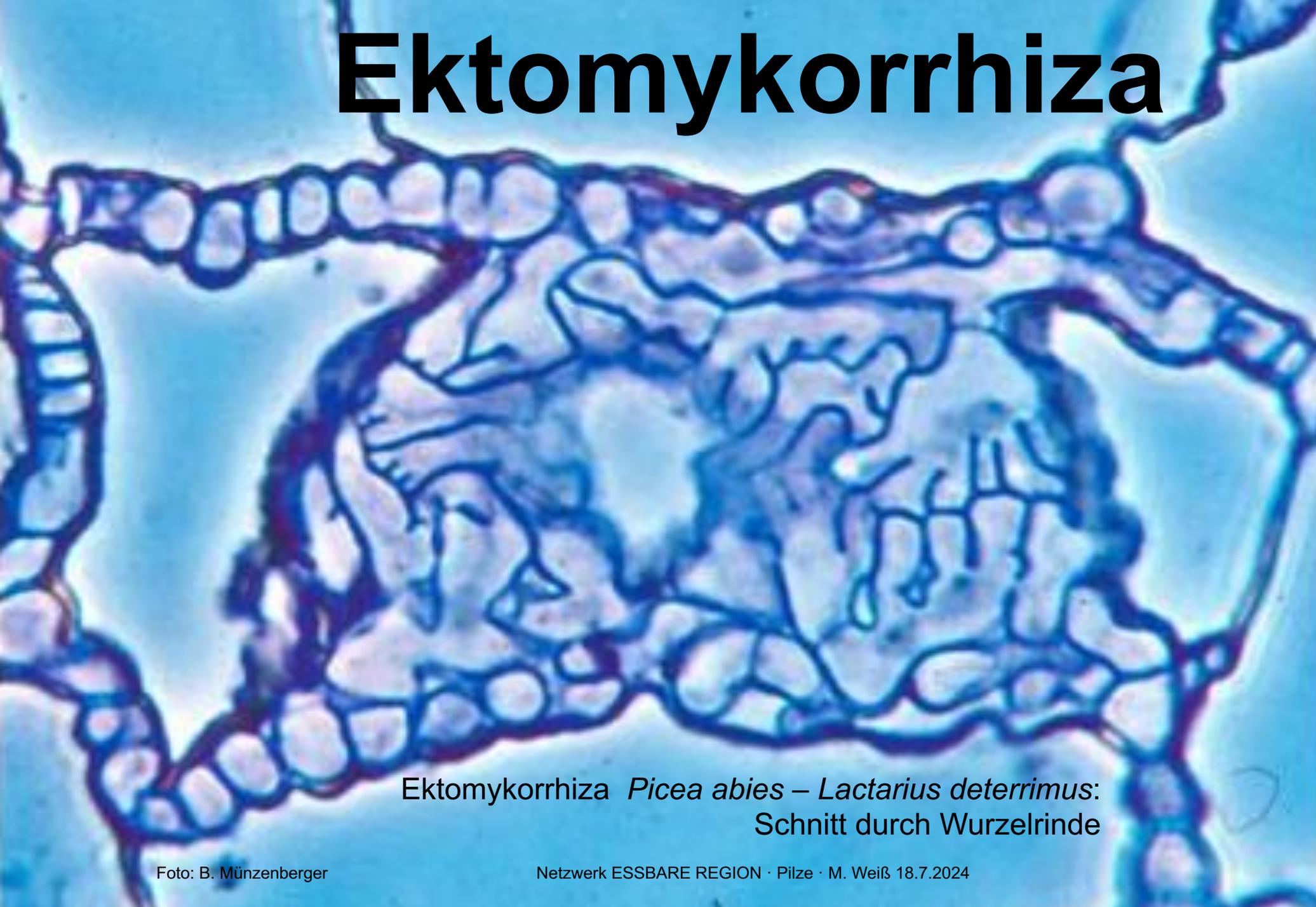


Alnus viridis (Grünerle) – *Paxillus involutus* (Kahler Krempling)

Ektomykorrhiza: Anatomie



Ektomykorrhiza

A light micrograph showing a cross-section of a root. The central vascular cylinder is surrounded by a distinct layer of cells, likely the cortex. The outermost layer consists of several layers of rectangular cells. The internal structure shows a complex network of cells, characteristic of an ectomycorrhizal association. The overall appearance is that of a well-developed root with a clear boundary between the cortex and the vascular tissue.

Ektomykorrhiza *Picea abies* – *Lactarius deterrimus*:
Schnitt durch Wurzelrinde

Ektomykorrhiza

A close-up photograph of ectomycorrhizal roots. The roots are yellowish-brown, thick, and branched, with a slightly fuzzy or granular texture. They are set against a dark, out-of-focus background.

Picea abies (Fichte) – *Lactarius deterrimus* (Fichtenreizker)

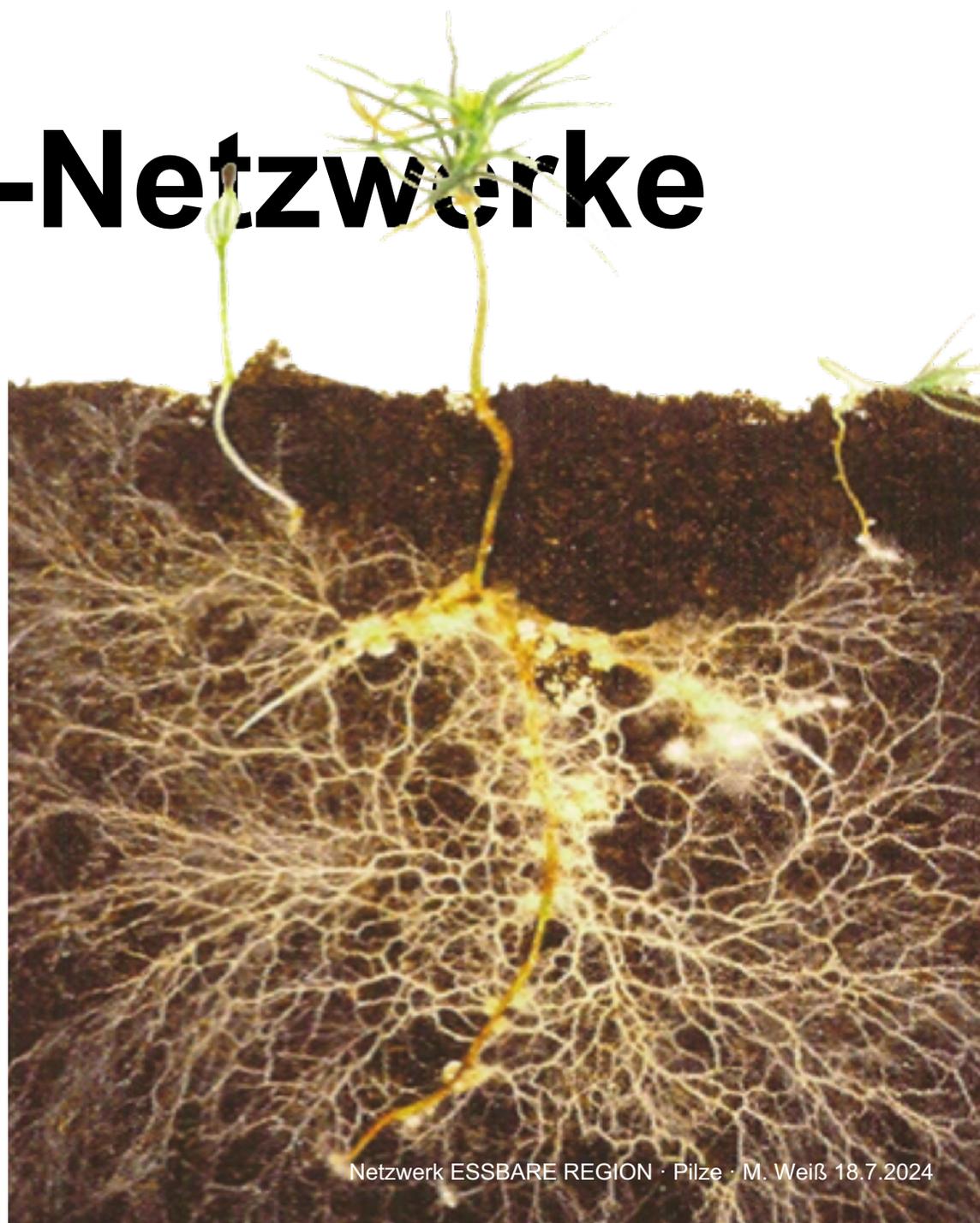
Ektomykorrhiza

Lactarius deterrimus (Fichtenreizker)



Mykorrhiza-Netzwerke

Ektomykorrhiza-System von
jungen Kiefern (*Pinus sylvestris*)
mit *Suillus bovinus* (Kuhröhrling)



Ektomykorrhiza-Pilze



Amanita muscaria (Fliegenpilz)

Ektomykorrhiza- Pilze



Clavulina cinerea (Graue Koralle)

Ektomykorrhiza-Pilze



Hydnum rufescens (Stoppelpilz)

Ektomykorrhiza-Pilze

A close-up photograph of a purple coral fungus, Ramaria versatilis, growing on a forest floor. The fungus has a dense, branching, coral-like structure with a vibrant purple color. It is surrounded by dry, brown leaves and twigs, which are slightly out of focus in the background.

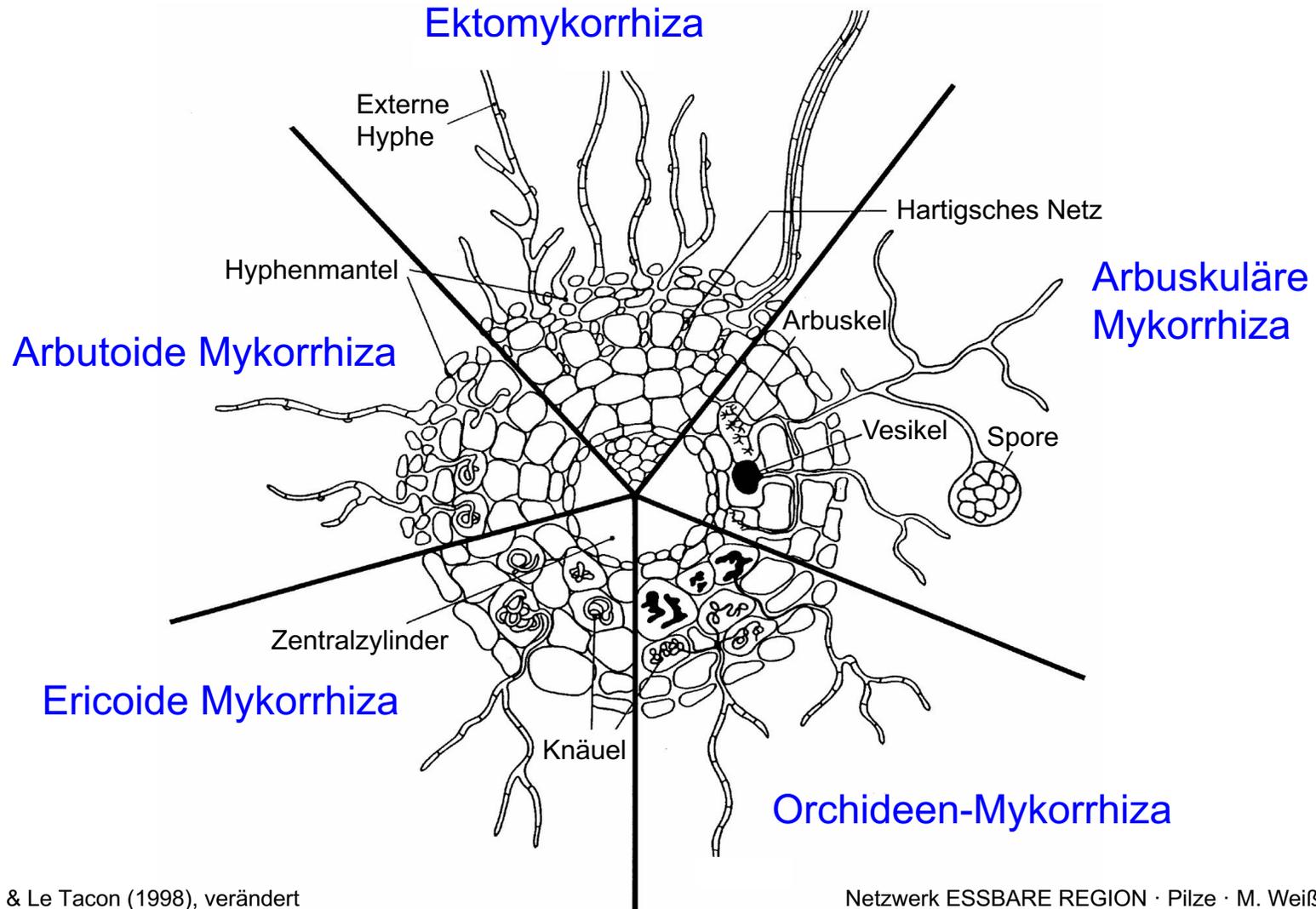
Ramaria versatilis
(Violette Koralle)

Ektomykorrhiza-Pilze

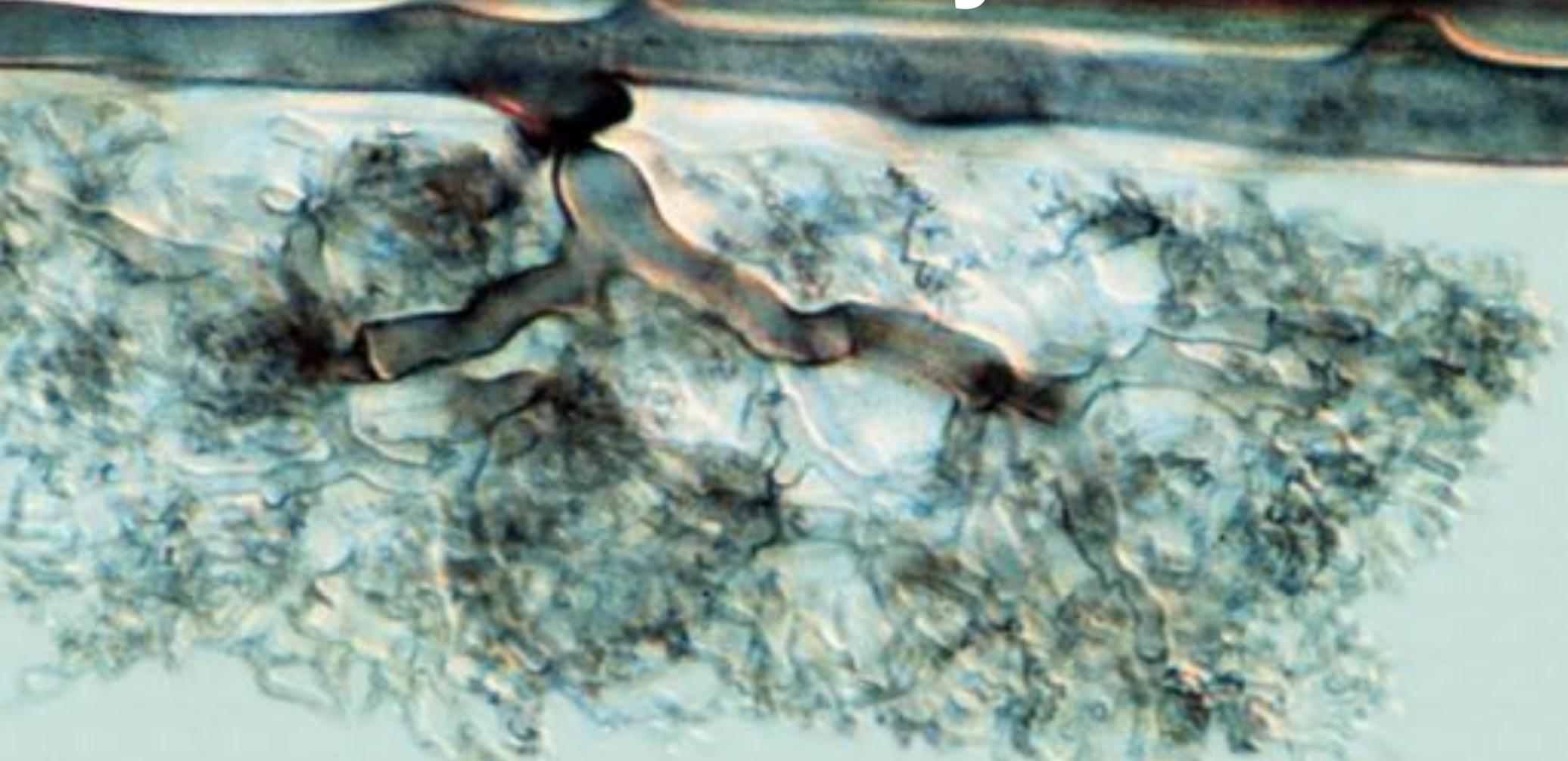


Tuber mesentericum (Gekrösetrüffel; Ascomycota: Tuberales)

Mykorrhiza-Typen

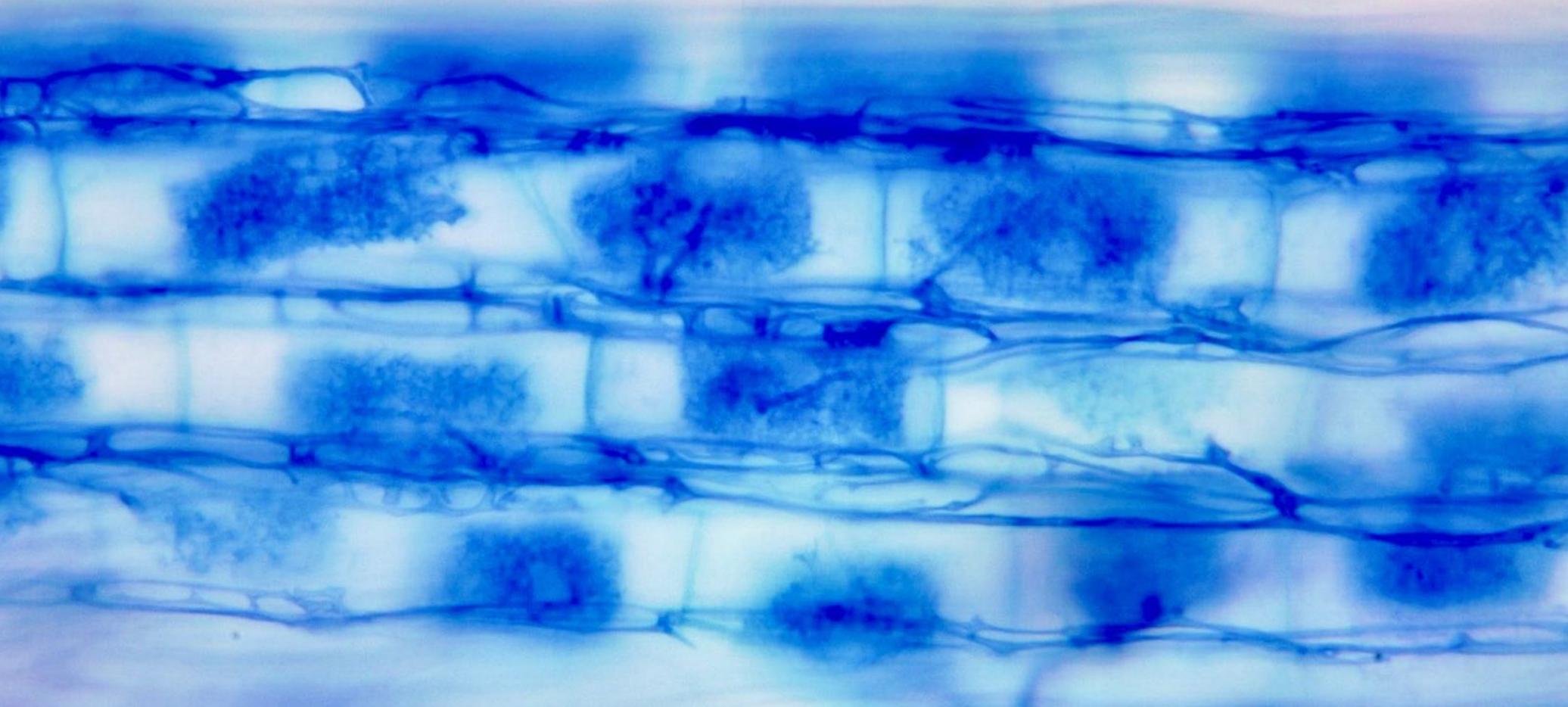


Arbuskuläre Mykorrhiza



Funneliformis mosseae: Arbuskel in einer Wurzel-Rindenzelle von *Allium porrum* (Lauch)

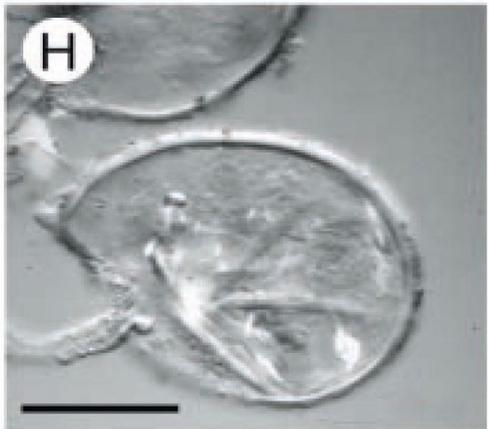
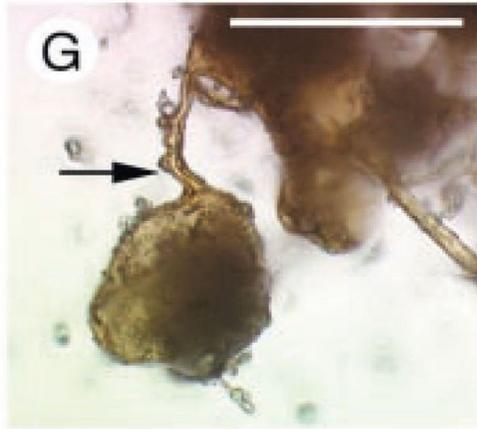
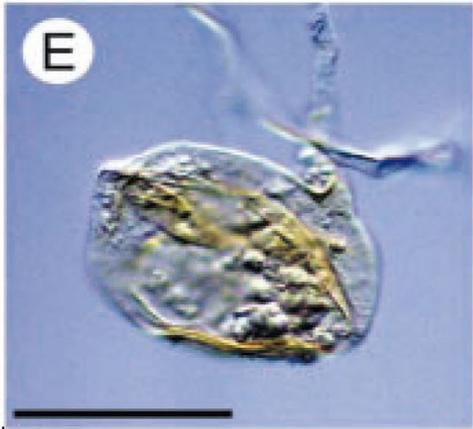
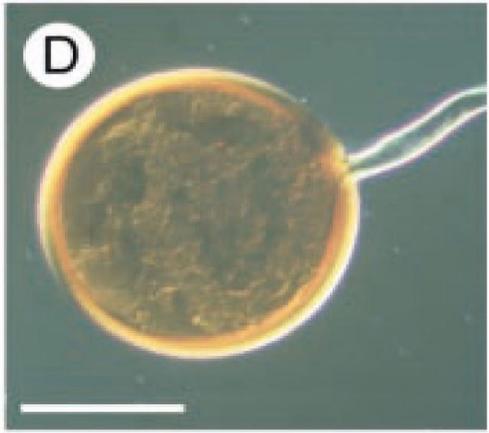
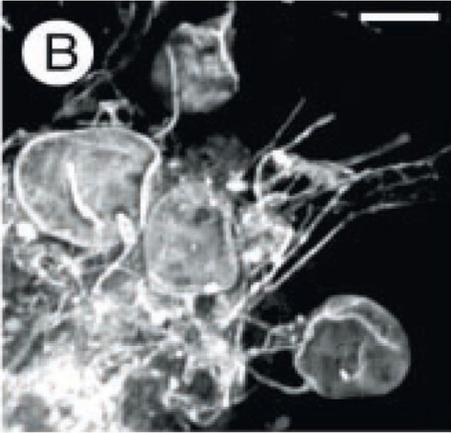
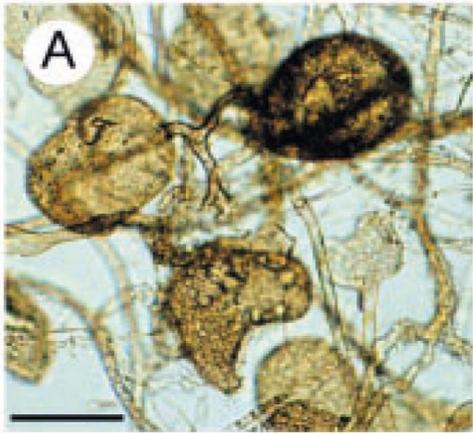
Arbuskuläre Mykorrhiza



Sporen verschiedener Glomeromyceten (Knäuelpilze)



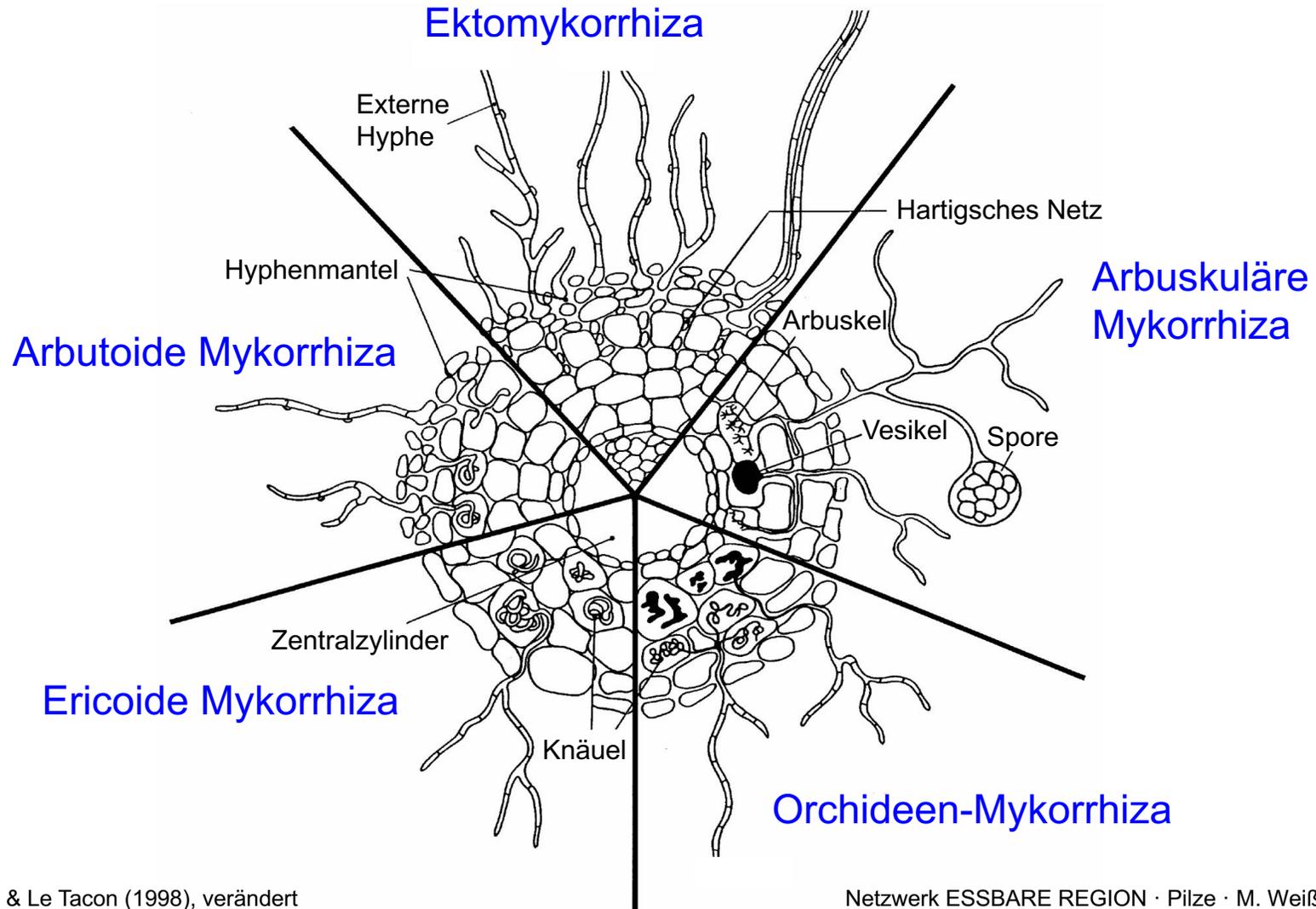
Glomeromyceten



Fossile Sporen: – 460 Ma)

Heutige Sporen

Mykorrhiza-Typen





Aussamende Orchidee

Staubfeine Samen

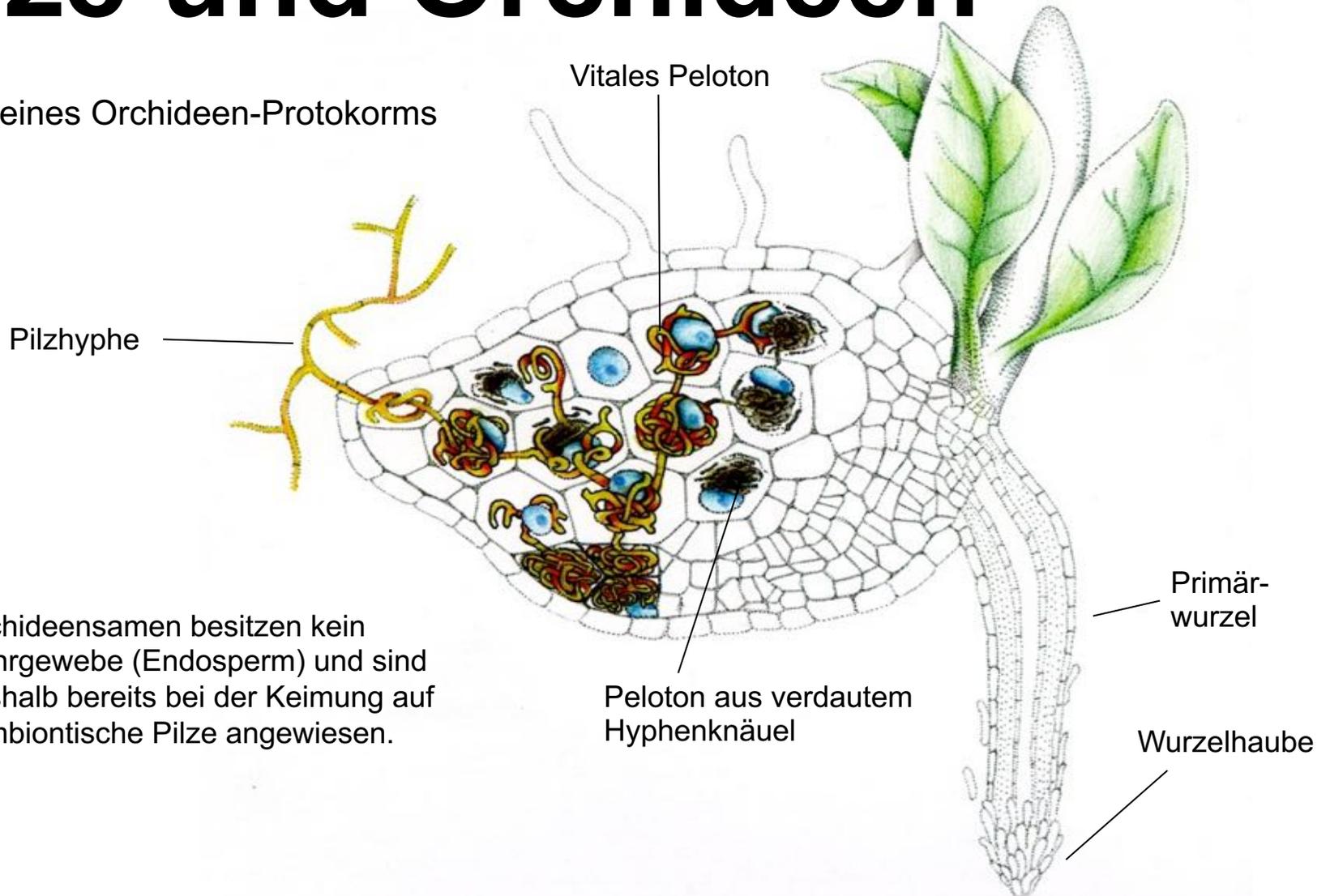
Pilze und Orchideen



Samen einer einzigen Kapsel

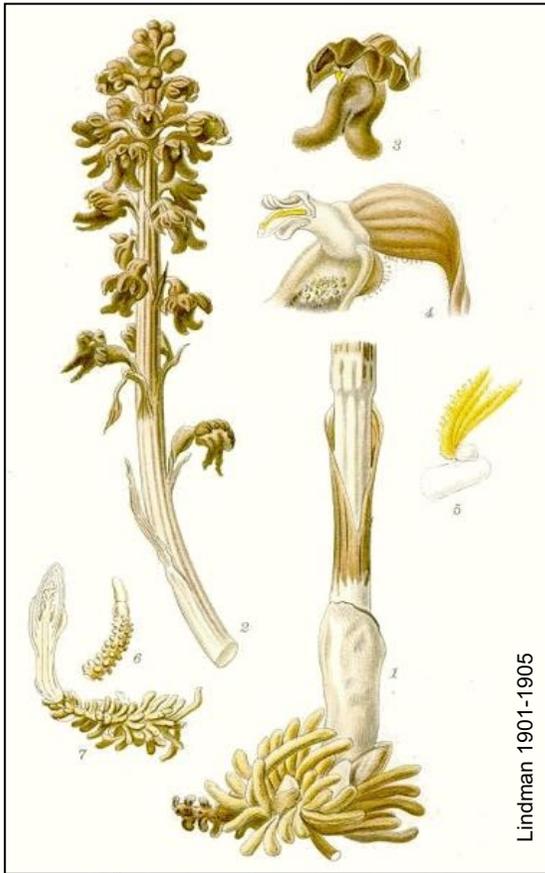
Pilze und Orchideen

Schema eines Orchideen-Protokorms



Orchideensamen besitzen kein Nährgewebe (Endosperm) und sind deshalb bereits bei der Keimung auf symbiontische Pilze angewiesen.

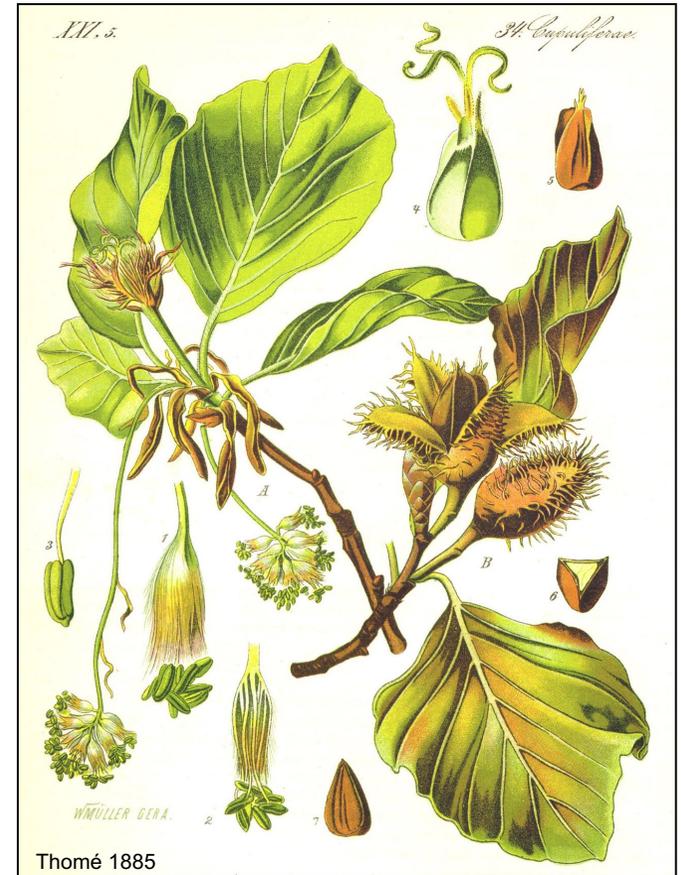
Mykorrhiza-Netzwerke



Vogelneest-Orchidee (*Neottia nidus-avis*)

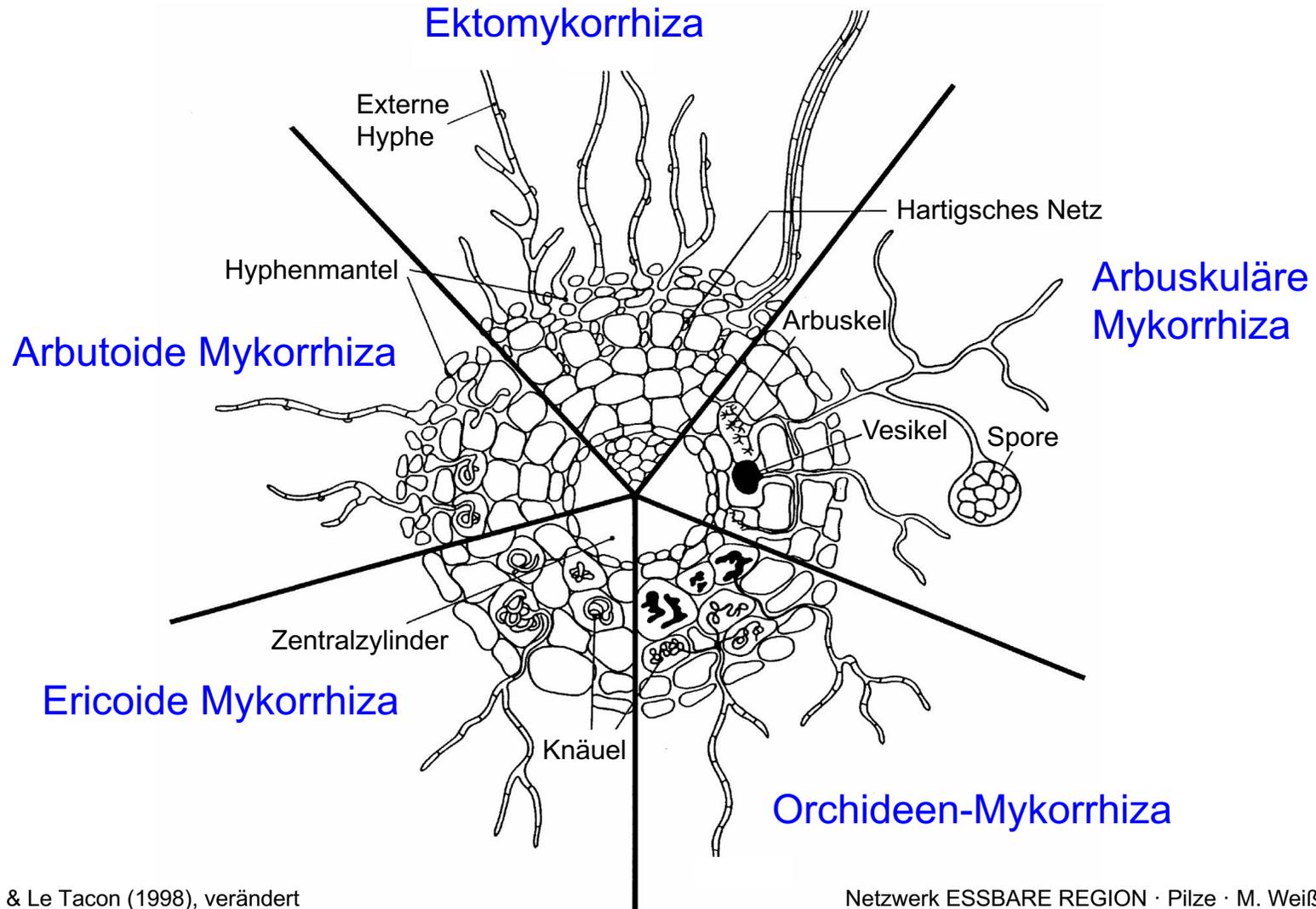


Sebacina incrustans



Rotbuche (*Fagus sylvatica*)

Mykorrhiza-Typen



Endophytische Pilze

A fluorescence microscopy image showing a network of green, thread-like structures (fungal hyphae) growing within a plant root. The background is dark, and the green signal highlights the intricate branching of the fungus.

Wurzel der Ackerschmalwand (*Arabidopsis thaliana*),
kolonisiert von *Serendipita indica*

Endophytische Pilze



Kontrolle

Fusarium oxysporum

Serendipita indica

F. oxysporum
S. indica

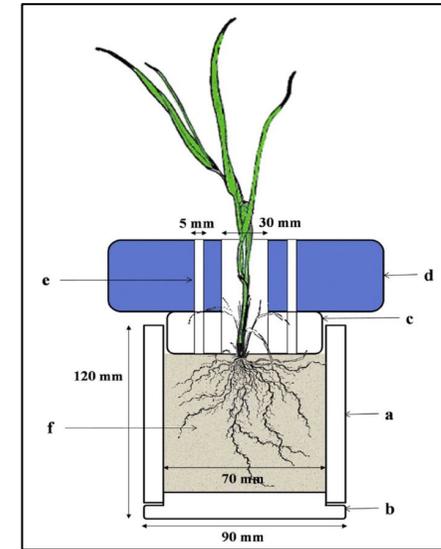
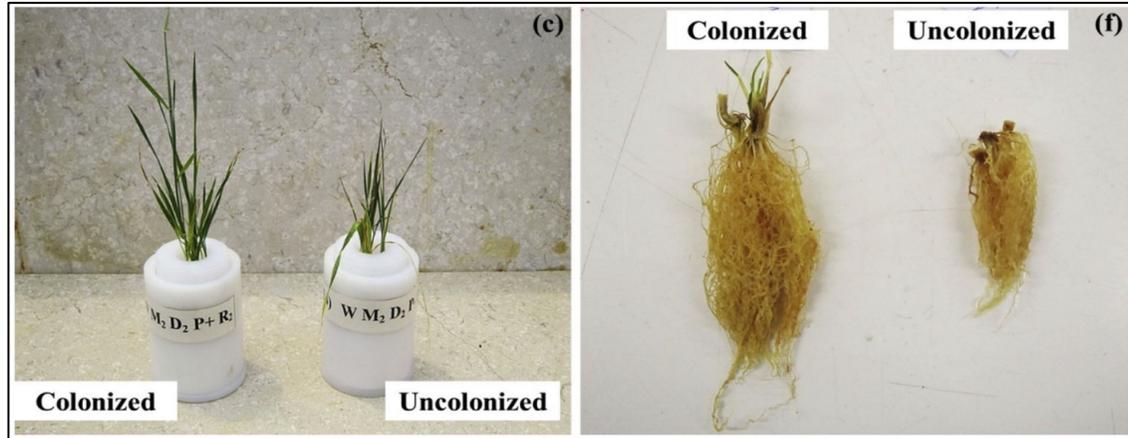
Endophytische Pilze



Gerste + *Fusarium culmorum*

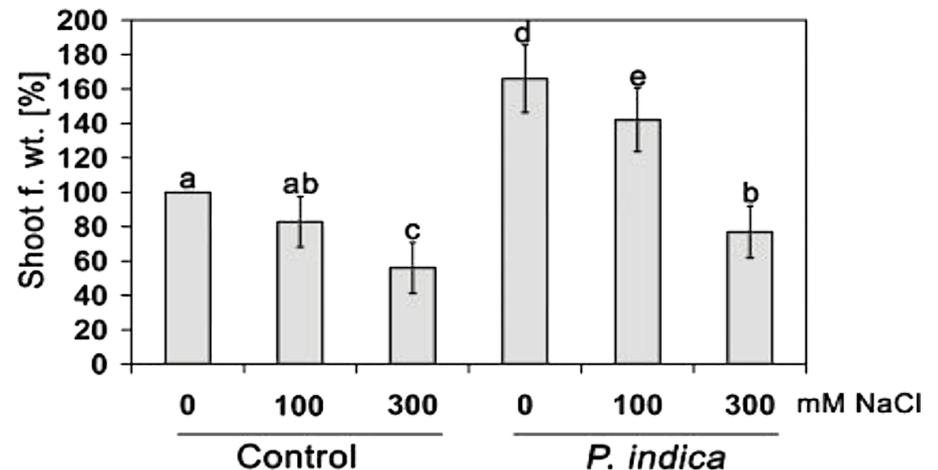
Gerste + *Fusarium culmorum*
+ *Serendipita indica*

Sebacinales: Erhöhung der Toleranz gegen abiotischen Stress



Effekte der Wurzelbesiedelung mit *Serendipita* auf die Spross- und Wurzelentwicklung von Weizen unter kombiniertem Stress durch Bodenverdichtung (Auflage von 5,0 kg Last) und Versalzung (0,5 MPa).

Effekte der Wurzelbesiedelung mit *Serendipita* auf das Wachstum von Gerste (5 Wochen in hydroponischer Kultur, dabei die letzten 2 Wochen in 10 oder 300 mM NaCl).



Sebacinales: Beizversuche



Triticale (Wintergetreide):
Feldversuch in Niedersachsen 2017/18

Fotos: H. Jobmann



Netzwerk ESSBARE REGION · Pilze · M. Weiß 18.7.2024

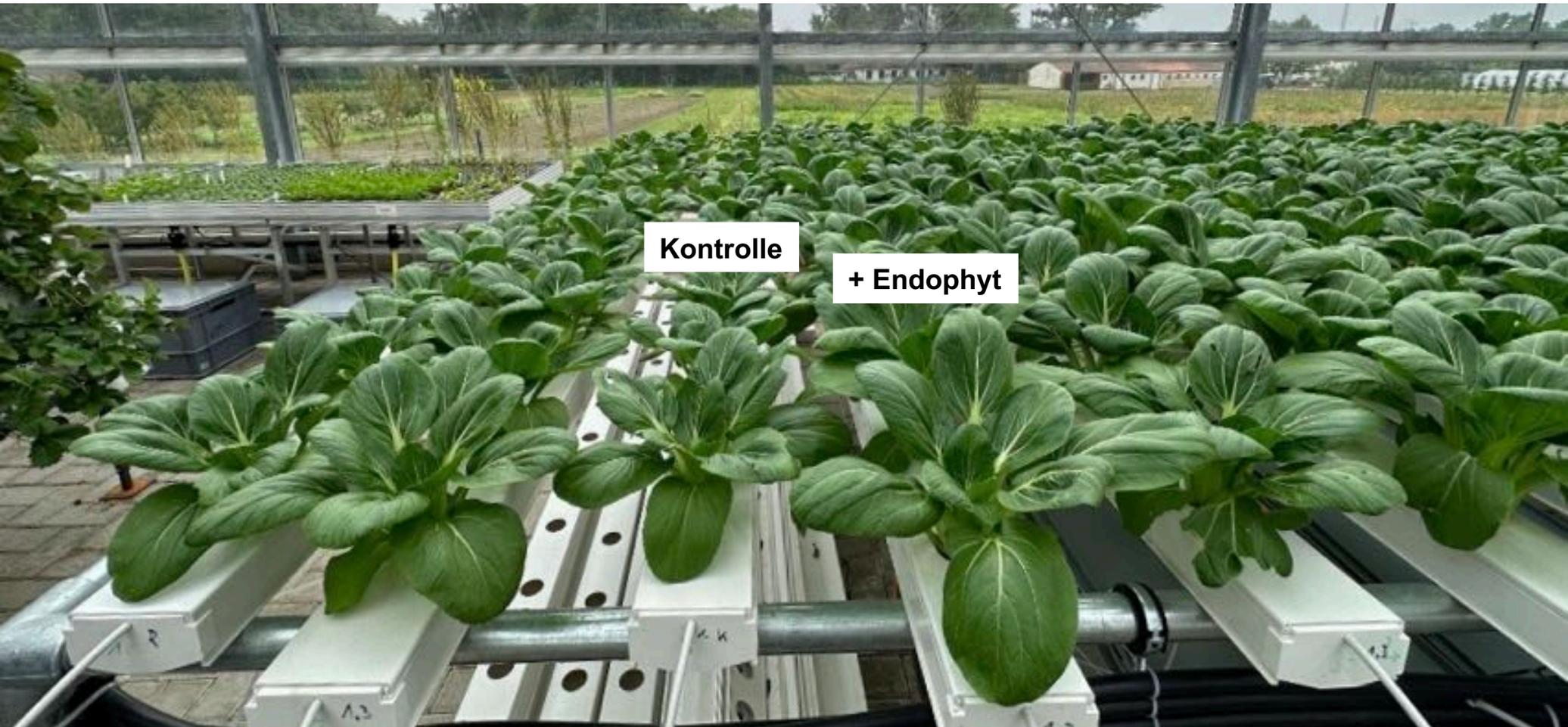
Beizversuch Spinat

— +

Beizversuch Hydroponik I



Beizversuch Hydroponik II



Schlüsselfiguren im Untergrund

Das verborgene Reich
der Pilze

18.7.2024

Michael Weiß

Steinbeis-Innovationszentrum
Organismische Mykologie und Mikrobiologie

michael.weiss@stw.de

