

Was ist ein Pilz?

Aufbau

Alle kennen es: nach regenreichen Tagen sprießen sie im Herbst plötzlich überall aus dem Boden. Pilze! Doch was man dort sieht, sind nur die Fruchtkörper der Pilze, der größte Teil eines Pilzes befindet sich als Geflecht von Pilzfäden (Myzel) unter der Erde. Die Fruchtkörper nehmen bei den verschiedenen Pilzarten unterschiedlichste Formen an. Eher klassisch sind hierbei die Hutpilze wie Champignons und Knollenblätterpilze oder die Röhrlinge, zu denen Steinpilz und Marone zählen. Die Vielfalt der Fruchtkörper von Pilzen zeigt sich in korallenförmigen Gebilden am Boden, Krusten an Holz oder becherförmigen Schalen.

Vermehrung

Pilze vermehren sich durch die Ausbildung von Sporen. Dabei handelt es sich um meist einzellige Entwicklungsstadien, die für die Vermehrung, Ausbreitung und Überdauerung genutzt werden. Sie werden an dafür spezialisierten Regionen der Fruchtkörper gebildet. Bei einem Champignon passiert dies auf der Hutunterseite auf den Lamellen. Bis zu zwei Milliarden winziger Sporen kann ein Fruchtkörper eines Champignons ausbilden. Wenn man den Hut eines reifen Champignons über Nacht mit der Unterseite (Lamellen nach unten) auf ein weißes Papier legt, kann man am nächsten Morgen, wenn man den Hut wegnimmt, das aus unzähligen Sporen bestehende, dunkle Sporenpulver sehen.

Artenvielfalt

Mit schätzungsweise vier Millionen Arten sind Pilze das zweitgrößte Organismenreich der Erde nach den Tieren. Pilze übertreffen die Artenvielfalt der Pflanzen um etwa das Sechs- bis Zehnfache. Derzeit sind erst 120.000 Pilzarten bekannt und wissenschaftlich beschrieben. Dies entspricht nur etwa drei bis acht Prozent der geschätzten globalen Pilzvielfalt.



Es gibt auch Pilze, die ihr ganzes Leben im Verborgenen verbringen, wie Trüffel. Von anderen Arten wiederum sind die Fruchtkörper noch nicht bekannt und man kennt nur das Geflecht im Boden.

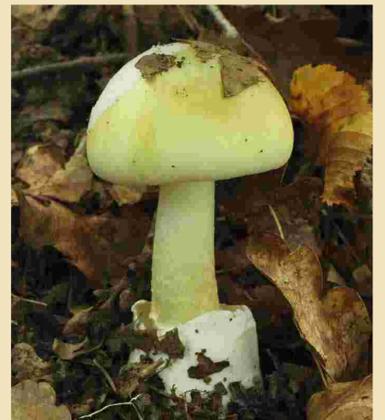


Eine Gruppe Sommer-Steinpilze (*Boletus reticulatus*) unterschiedlichen Alters im Sommer in einem Mischwald. Foto: R. Wald

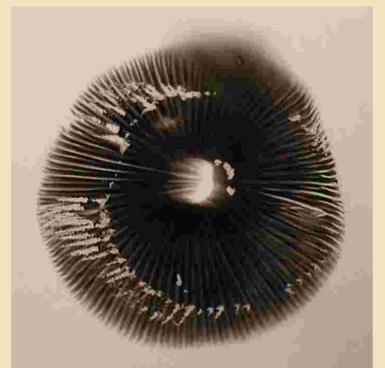


Maronen (*Imleria badia*) findet man oft in moosreichen Wäldern.

Der tödlich giftige Grüne Knollenblätterpilz (*Amanita phalloides*).
Foto: K. Wehr



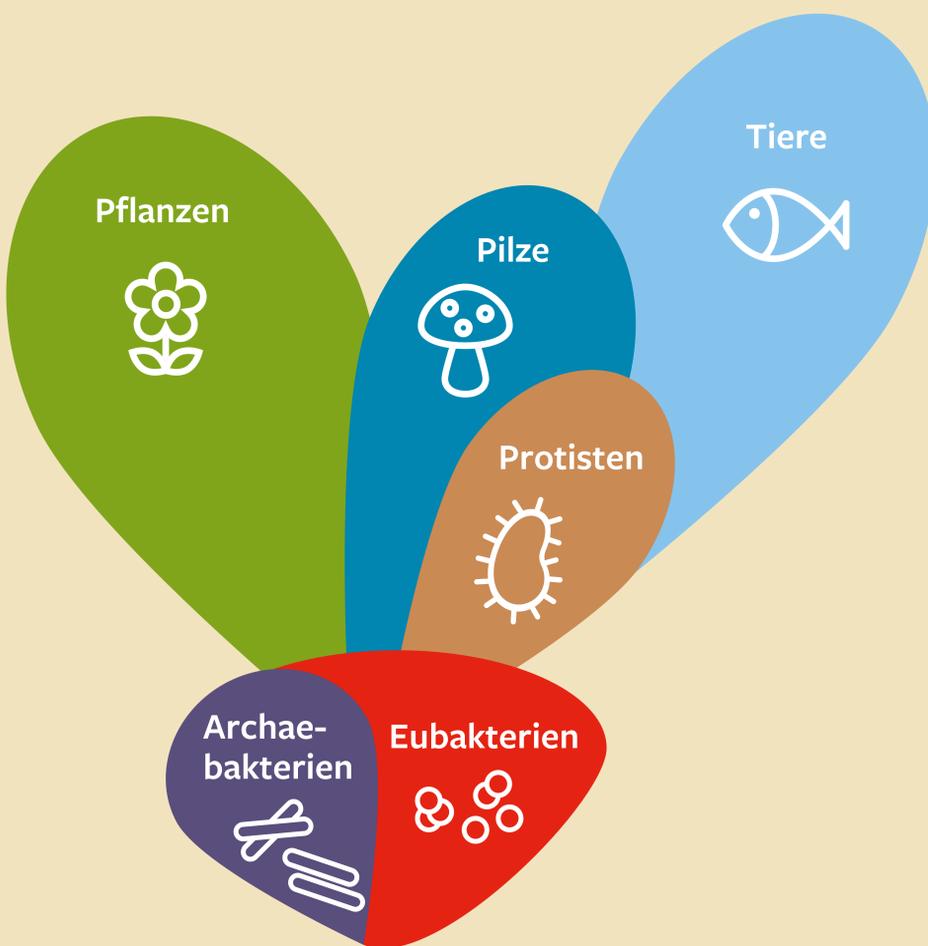
Der Wiesen-Champignon (*Agaricus campestris*) auf einer Weide.
Foto: K. Wehr



Das Sporenabwurfbild eines Mürblings (*Psathyrella*) mit zahlreichen schwarzbraunen Sporen.



Nicht Pflanze, nicht Tier



Das System der sechs Reiche in der Biologie.

Es gibt unterschiedlichste Lebewesen auf der Erde. Um diese ganze Vielfalt in ein System zu bringen und zu ordnen, haben Wissenschaftler sie in insgesamt sechs verschiedene Gruppen (Reiche) eingeteilt. Dabei werden in einem Reich alle Lebewesen zusammengefasst, die näher miteinander verwandt sind. Protisten bilden eine Ausnahme: sie sind eine Sammelgruppe nicht näher verwandter Lebewesen, die eigentlich in andere Gruppen gehören.

Pilze

Pilze sind weder Pflanze noch Tier und bilden deshalb ein eigenes Reich. Auch Flechten (Lebensgemeinschaft aus Pilzen und Algen) gehören in dieses Reich. Im Aussehen ähneln Pilze Pflanzen und besitzen wie diese in den Zellen Vakuolen und haben Zellwände. Allerdings bestehen die Wände hier nicht wie bei den Pflanzen aus Cellulose sondern aus dem auch bei vielen Tieren vorkommenden Baustoff Chitin. Mit Tieren haben sie ebenfalls gemein, dass sie nicht in der Lage sind, ihre eigene Nahrung herzustellen, sondern sie zersetzen bereits vorhandene Biomasse durch den Einsatz von spezialisierten Eiweißen (Enzymen) oder erlangen sie durch symbiotische Beziehungen vorwiegend zu Pflanzen (Mykorrhiza, Flechten). Ohne Pilze wäre kein Leben auf der Erde möglich, denn sie unterstützen die Bakterien maßgeblich im Zersetzungsprozess von Biomasse. Von keinem anderen Lebewesen kann Holz z.B. so effektiv in seine einzelnen Bestandteile zerlegt werden wie von Pilzen.



Der Violette Rötlerling (*Lepista nuda*) ist ein Folgezersetzer von verrotetem Laub.

Wer die Espen-Rotkappe (*Leccinum aurantiacum*) finden möchte, muss ihren Baumpartner Zitter-Pappel (*Populus tremula*) suchen.



Die Gewöhnliche Gelbflechte (*Xanthoria parietina*) gehört wie alle Flechten in das Reich der Pilze.



Nicht Pflanze, nicht Tier

Pflanzen

Farne, Moose oder auch Sonnenblumen zählen zu den Pflanzen. Im Gegensatz zu Tieren können sie ihre Nährstoffe aus Kohlenstoffdioxid und Wasser selbst durch den Prozess der Fotosynthese herstellen (autotrophe Lebensweise). Dafür benutzen sie die Energie des Sonnenlichts. Ihre Zellwände bestehen aus Cellulose und in den Zellen befinden sich Vakuolen.



Gewöhnlicher Tüpfelfarn (*Polypodium vulgare*) in einem Mischwald.



Ein Moospolster des Goldenen Frauenhaarmooses (*Polytrichum commune*).



Die Gewöhnliche Sonnenblume (*Helianthus annuus*).



Pferde zählen, wie auch der Mensch, zu den Säugetieren.

Tiere

Säugetiere, Reptilien, Insekten & Co. – alle diese Lebewesen sind Tiere. Auch der Mensch ist ein Tier, er zählt zu den Säugetieren. Eine gemeinsame Gruppe bilden diese Lebewesen, weil sie bei ihrer Ernährung von anderen Lebewesen abhängig sind (heterotroph). Sie müssen essen, d.h. Nährstoffe aufnehmen, um zu überleben. Zahlreiche Tiere können sich zudem von einem zum anderen Ort bewegen. Weiterhin haben die Zellen weder Vakuolen noch Zellwände aus Cellulose, was sie klar von den Pflanzen abgrenzt.



Die Mauereidechse (*Podarcis muralis*), ein Reptil, beim Sonnenbaden.



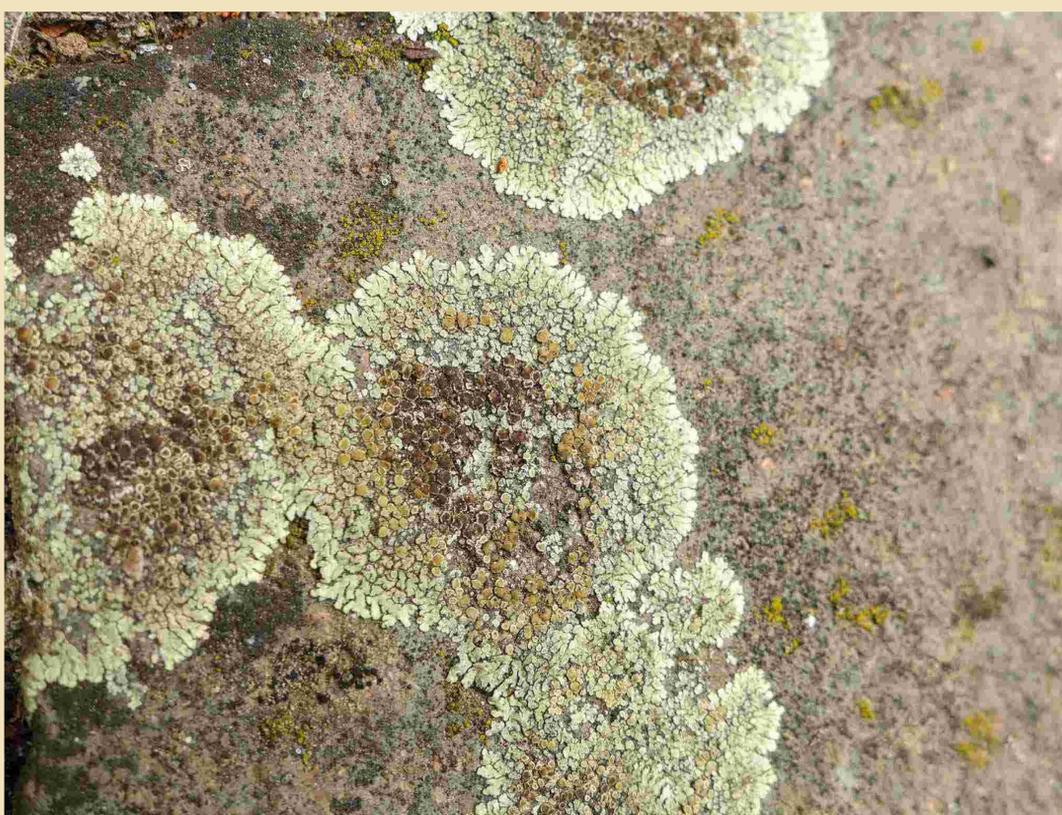
Schmetterlinge, wie der Faulbaum-Bläuling (*Celastrina argiolus*), zählen zu den Insekten.

Da Viren keine Lebewesen sind, tauchen sie in der Einteilung der verschiedenen Reiche nicht auf. Sie gelten aber als „dem Leben nahestehend“.



Nicht Pflanze, nicht Tier

	Tier 	Pilz 	Pflanze 
Ernährung	<p>heterotroph</p> <p>benötigen für ihren Stoffwechsel von anderen Lebewesen gebildete organische Stoffe</p> <p>können keine Energie mit Hilfe des Sonnenlichts gewinnen</p>	<p>heterotroph</p> <p>benötigen für ihren Stoffwechsel von anderen Lebewesen gebildete organische Stoffe</p> <p>können keine Energie mit Hilfe des Sonnenlichts gewinnen</p>	<p>autotroph</p> <p>sind in der Lage mit Hilfe des Sonnenlichts Nährstoffe herzustellen</p>
Zellkomponenten	<p>keine Zellwand, aber dafür Zellmembran</p> <p>weder Plastiden (wie z.B. Chloroplasten) noch Vakuolen</p>	<p>Zellwand aus Chitin</p> <p>keine Plastiden (wie z.B. Chloroplasten) aber Vakuolen</p>	<p>Zellwand aus Cellulose</p> <p>Plastiden (wie z.B. Chloroplasten) und Vakuolen</p>
Strukturbildende Substanz	Calciumcarbonat, Ceratin, Chitin ...	Chitin	Cellulose
Speichersubstanz	Glykogen	Glykogen	Stärke
Aufbau	Gewebe aus miteinander verbundenen Zellen	kein Gewebe, sondern Geflecht aus einzelnen Zellfäden (Hyphen)	Gewebe aus miteinander verbundenen Zellen
Rolle im Stoffkreislauf	Konsument	Destruent, Konsument	Produzent



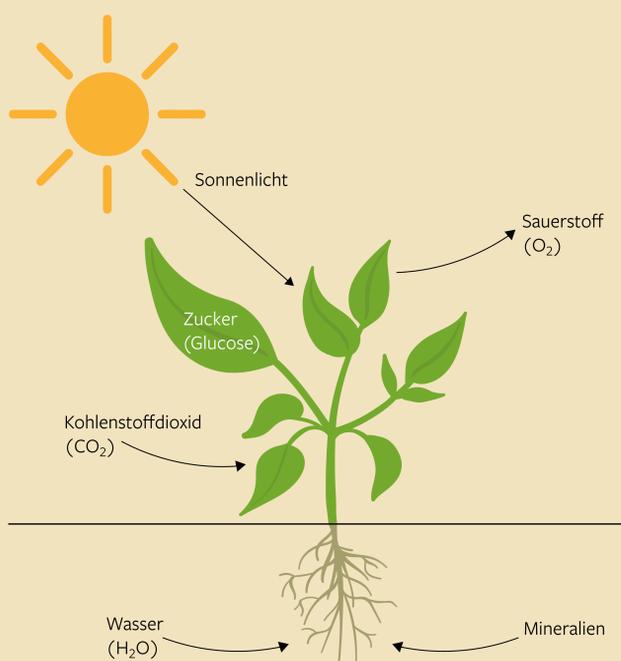
Bei Flechten handelt es sich um eine Lebensgemeinschaft zwischen Pilzen und Grünalgen oder Cyanobakterien. Sie können, wie auch Pflanzen, mit Hilfe des Sonnenlichts Nährstoffe herstellen.



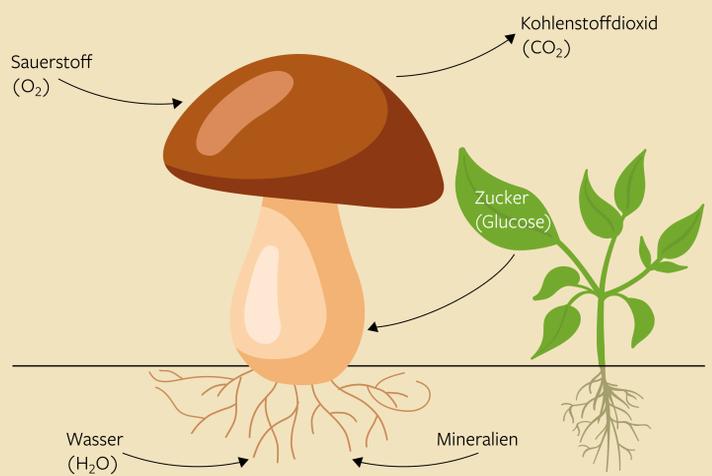
Ernährung von Pflanzen und Pilzen

Pflanzen sind autotroph

Alles Leben auf der Erde basiert auf den Pflanzen. Nur sie sind in der Lage mit Hilfe der Energie des Sonnenlichts aus Kohlenstoffdioxid (CO_2) und Wasser (H_2O) einen Grundbaustein des Lebens, Glucose (Traubenzucker), herzustellen. Dieser gesamte Prozess heißt Fotosynthese. Dafür benötigen Pflanzen kleine spezialisierte Organellen, die Chloroplasten. Pflanzen haben somit eine autotrophe Ernährung, da sie in der Lage sind, ihre Nährstoffe selbst herzustellen. Als Nebenprodukt bei der Fotosynthese entsteht Sauerstoff (O_2), den die Pflanzen in die Atmosphäre abgeben.



Grafische Darstellung der autotrophen Ernährung der Pflanzen mittels Fotosynthese.



Grafische Darstellung der heterotrophen Ernährung der Pilze.

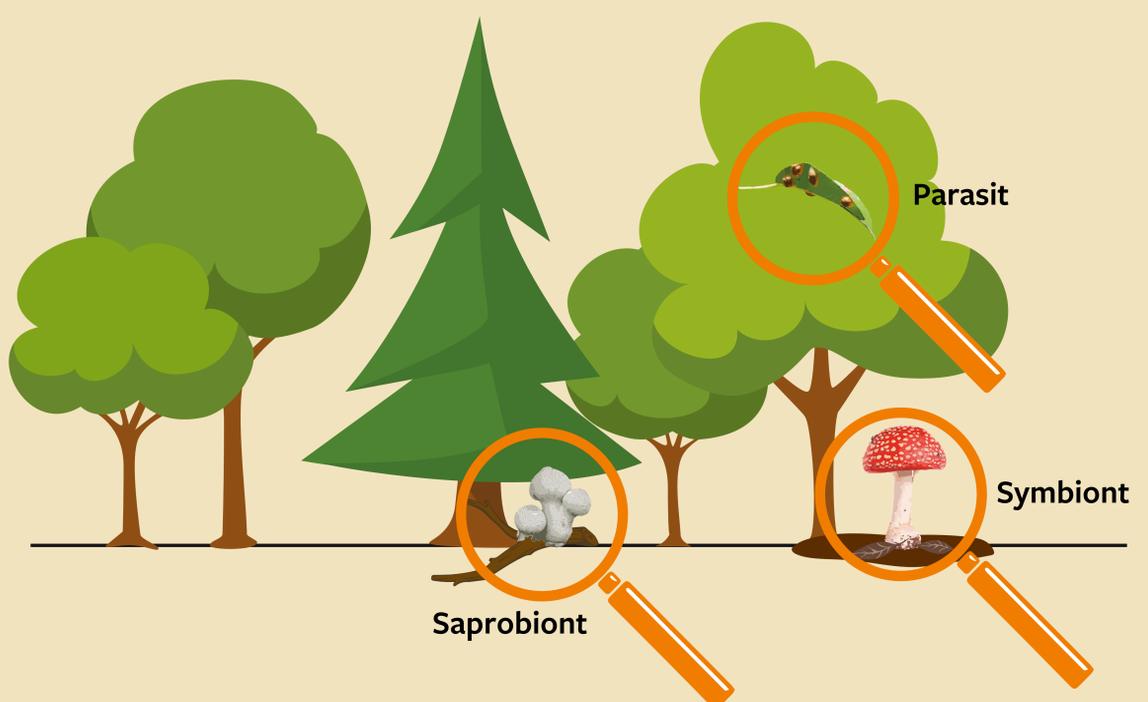
Pilze sind heterotroph

Pilze besitzen keine Chloroplasten, können also nicht wie Pflanzen selbst organische Substanzen mit Hilfe von Lichtenergie (Sonnenlicht) aufbauen. Sie müssen sich ihre Nährstoffe aus bereits vorhandenem organischen Material besorgen. Diese Ernährungsweise bezeichnet man als heterotroph. Dafür haben sich im Pilzreich unterschiedliche Methoden entwickelt.



Ernährung von Pilzen

Pilze haben unterschiedliche Strategien entwickelt, um an Nährstoffe zu kommen: durch die Symbiose mit Pflanzen, durch das Parasitieren anderer Organismen oder durch den Abbau von abgestorbenem pflanzlichen oder tierischen Material.



Die Kooperativen

Bei einer Symbiose handelt es sich um eine Wechselbeziehung zwischen zwei Organismen, aus der beide Partner einen Nutzen ziehen. Es ist für beide ein Geben und Nehmen. Eine Vielzahl an Pilzarten wie z.B. Fliegenpilz oder Blasser Kokosmilchling gehen mit Wurzeln unterschiedlicher Pflanzen enge symbiontische Lebensgemeinschaften ein, die als Mykorrhiza bezeichnet werden. Die Pilze ummanteln die Wurzeln mit ihrem Pilzmyzel und nehmen organische Stoffe (Kohlenhydrate) aus der Pflanze auf. Im Gegenzug ermöglichen sie der Pflanze eine verbesserte Aufnahme von Wasser und Mineralien aus dem Boden z.B. durch Oberflächenvergrößerung durch das feinere und weiter als die pflanzlichen Wurzeln reichende Myzel.



Der Fliegenpilz (*Amanita muscaria*) kommt gerne in der Nähe von Fichten (*Picea abies*) und Birken (*Betula*) vor, mit denen er eine Mykorrhiza bildet.



Als Pilzpartner von Birken (*Betula*) findet man den Blassen Kokosmilchling (*Lactarius glycosmus*) nur bei selbigen.



Ernährung von Pilzen

Die Zersetzer

Saprobionten ernähren sich von abgestorbenem pflanzlichen oder tierischen Material. Sie zersetzen dieses mit Hilfe von Enzymen, nehmen die darin enthaltenen Stoffe auf und nutzen diese für den eigenen Bau- und Betriebsstoffwechsel. Pilze werden deshalb auch als Destruenten bezeichnet. Dabei reichern sie den Boden mit Mineralien aus dem zersetzten Material an. Ein klassisches Beispiel für einen Destruenten ist der Champignon. Ihn kann man auf Stroh züchten, da er dieses zersetzt und seine Nährstoffe daraus erhält. Es gibt einige Pilze, die nur bestimmtes Substrat nutzen können. So kommt der Ästige Stachelbart nur auf Buchenholz (*Fagus sylvatica*) vor. Auch Schimmelpilze auf Obst zählen zu den Saprobionten. Die in den Stoffkreislauf zurückgeführten Mineralien können wiederum von Pflanzen für den Biomasseaufbau genutzt werden.

Kultur-Champignons (*Agaricus bisporus*) werden auf einem Substratgemisch aus Pferdemist, Hühnermist und Stroh gezüchtet, das sie zersetzen.



Der Ästige Stachelbart (*Hericium coralloides*) an Buchenholz.



Die parasitische Erlen-Narrentasche (*Taphrina alni*) bildet zungenförmige Fruchtkörper an den Erlenzapfen.

Die Egoisten

Im Gegensatz zur Symbiose geht es beim Parasitismus um eine Wechselbeziehung zwischen zwei Organismen, bei der nur einer der beiden Partner einen Nutzen daraus hat. Parasitisch lebende Pilze, wie der Birnen-Gitterrost oder die Erlen-Narrentasche, ernähren sich von Nährstoffen einer lebenden Wirtspflanze. Sie schädigen diese und in der Konsequenz kann es sogar zu deren Absterben kommen. Es können auch Tiere als Wirte dienen, wie bei verschiedenen Hauterkrankungen von Mensch und Tier, z.B. Fußpilz.



Der Birnen-Gitterrost (*Gymnosporangium sabinae*) ist ein Parasit, der auf lebenden Birnenblättern seine Fruchtkörper bildet.

Pilze sind keine Pflanzen, aber ohne Pflanzen können sie nicht leben. Und ohne die Abbauarbeit der Pilze würden die Pflanzen nicht existieren.



Haben Pilze Wurzeln?

Wenn Pflanzen Wurzeln haben, die für die Verankerung im Boden und die Mineralienversorgung wichtig sind, was haben dann Pilze?



Pflanze

Die Wurzeln von Pflanzen sind in der Regel in eine Hauptwurzel und mehrere Seitenwurzeln unterteilt. Zusammen mit den Wurzelhaaren, die als Abschlussgewebe die äußere Hülle (Rhizodermis) der Seitenwurzeln bilden, sorgen sie für eine Oberflächenvergrößerung. Damit können mehr Mineralien und Wasser aufgenommen werden. Die Wurzelhaare sind sehr fein und wachsen nur an der Spitze. Sie sind empfindlich gegen Austrocknung, haben oft nur eine kurze Lebensdauer und werden meist nur wenige Zentimeter lang. Die Hauptwurzeln sind bei einigen Pflanzen auffällig dick ausgebildet. Das dient der Speicherung von Reservestoffen wie Stärke, die für das neue Wachstum benötigt werden.



Wurzel eines jungen Feld-Ahorns (*Acer campestre*) mit einer deutlichen Haupt- und mehreren Seitenwurzeln.

Pilz

Das Fadengeflecht aus dem die Pilze bestehen, auch bekannt als Myzel, spannt dichte Netze im Verborgenen im Boden und hat ähnliche Aufgaben wie für die Pflanze die Wurzel. Es besteht aus zahlreichen kleinen, mikroskopisch feinen Fäden, die Hyphen genannt werden. Sie haben eine Zellwand und wachsen lediglich an der Spitze. Sie können sich verzweigen und durch die Ausbildung eines Hyphengeflechtes eine große Oberfläche (bis zu mehreren Quadratkilometern) ausbilden. Vergleichbar ist dies mit den Wurzelhaaren der Pflanzen. Myzelfäden sind jedoch zarter als die Wurzeln von Pflanzen. Sie speichern Reservestoffe in Form von Glykogen.



Weißes und reich verzweigtes Pilzmyzel.



Haben Pilze Wurzeln?

Nährstoffaufnahme

Zur Aufnahme von Nährstoffen durchwächst ein Pilz mit seinen Hyphen abgestorbene Pflanzen oder Tiere, um deren Nährstoffe aufzunehmen. Ziel ist die Verdauung verschiedenster energiereicher Verbindungen, um das Überleben der Pilze zu sichern. Wasserlösliche Stoffe können direkt durch die Hyphenwand aufgenommen werden. Andere Stoffe, wie Holz oder Pflanzenfasern (Lignin und Cellulose), müssen außerhalb des Pilzorganismus vorverdaut werden. Dafür gibt das Myzel Enzyme für die Aufspaltung dieser Stoffe in seine Umgebung ab. Am Myzel selbst können spezielle Strukturen ausgebildet sein, die die Anheftung an Substrat erleichtern (Appressorien) oder die Nährstoffaufnahme optimieren (Haustorien).

Hyphen können bis über 1 mm pro Stunde wachsen. So kann ein Hyphengeflecht in kürzester Zeit eine enorme Oberfläche ausbilden. Übrigens besteht auch ein Pilzfruchtkörper aus zahlreichen verflochtenen Hyphen.



Hexenringe

Sie entstehen, weil das Fadengeflecht der Pilze von einem zentralen Punkt ringförmig nach außen in alle Richtungen wächst, um an möglichst viele Mineralien und Nährstoffquellen zu kommen. Anhand von Hexenringen kann man die unterirdische Ausbreitung eines Pilzes oberirdisch sehr gut nachvollziehen. Oberirdisch sieht man die ringförmig angeordneten Fruchtkörper von ein und derselben Pilzart. Auf Wiesen fällt dies meist besonders auf, da das Gras an den Stellen auffällig dunkelgrün oder gelblich (beim Vertrocknen) gefärbt ist. Je nach beteiligter Pilzart, können Hexenringe unterschiedlich geformt sein. Jedes Jahr wächst der Ring weiter und nimmt in seinem Durchmesser zu.



Deutlicher Hexenring aus zahlreichen Fällblings-Fruchtkörpern (*Hebeloma*) auf einem Parkrasen.



Hexenringe sind auf Wiesen meist deutlich zu erkennen.



Abgestorbenes Gras an der Hexenringzone eines Pilzes auf einer Wiese.

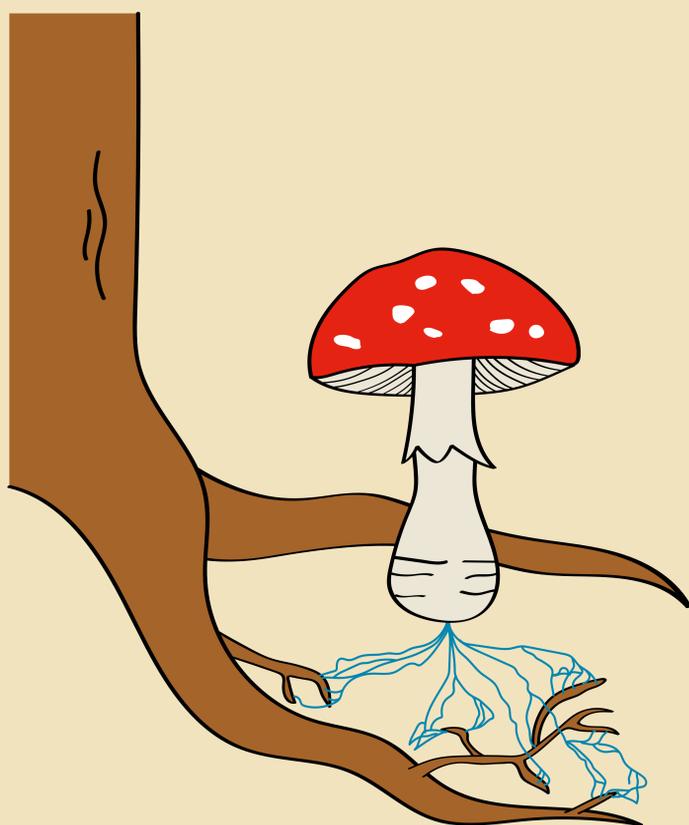


Unterirdische Beziehungen

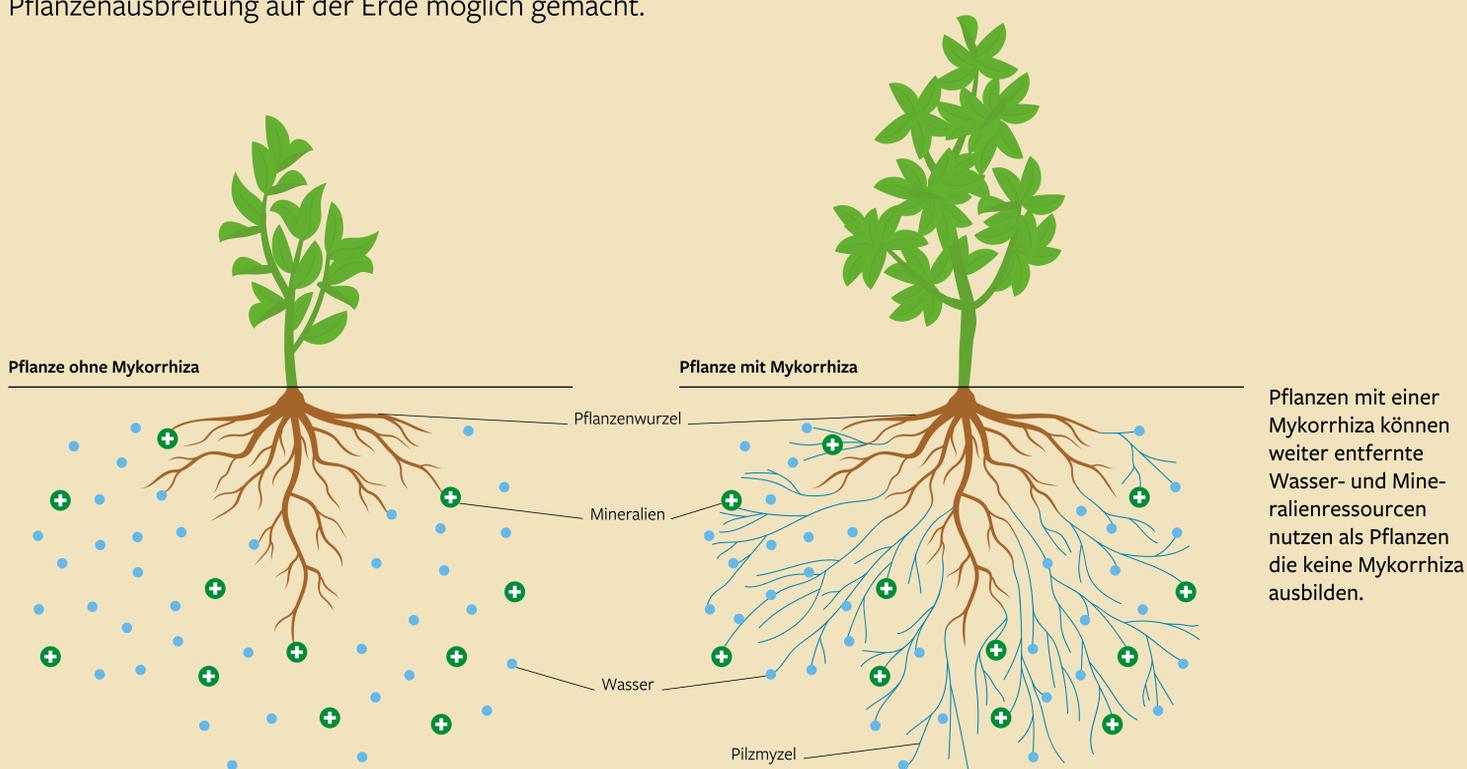
Mykorrhiza

Bei der Mykorrhiza geht es um einen wechselseitigen Stoffaustausch. Hierbei bekommt der Pilz von der Pflanze Zuckerverbindungen, während die Pflanze vom Pilz Stickstoff, Phosphor und Spurenelemente in Form ihrer Salze und eine bessere Wasserversorgung erhält.

Mykorrhiza ist aus zwei griechischen Begriffen – „mykes“ (Pilz) und „rhiza“ (Wurzel) – abgeleitet. Es handelt sich hierbei um eine Form der Symbiose zwischen Pflanzenwurzeln und Pilzhyphen. Hierfür wachsen die Hyphen um und in die Wurzeln der Pflanzen und weitere Hyphen breiten sich ins Erdreich aus. Die Gesamtheit der sich verzweigenden Hyphen wird Myzel genannt. Schon kleine Pflanzenkeimlinge gehen eine Partnerschaft mit Pilzen ein. Die meisten uns bekannten Pflanzen sind regelmäßig mit Pilzen verbunden. Lediglich für ein paar wenige Pflanzenfamilien, wie z. B. die Kreuzblütler mit Vertretern wie Raps (*Brassica napus*) und Senf (*Sinapis*), wurde bisher noch keine Mykorrhizabildung nachgewiesen. Die Mykorrhiza hat sich vermutlich in der Stammesgeschichte der Erde parallel zu den Landpflanzen entwickelt und sogar erst die Pflanzenausbreitung auf der Erde möglich gemacht.



Grafische Darstellung einer Mykorrhiza zwischen Pilz und Baum.



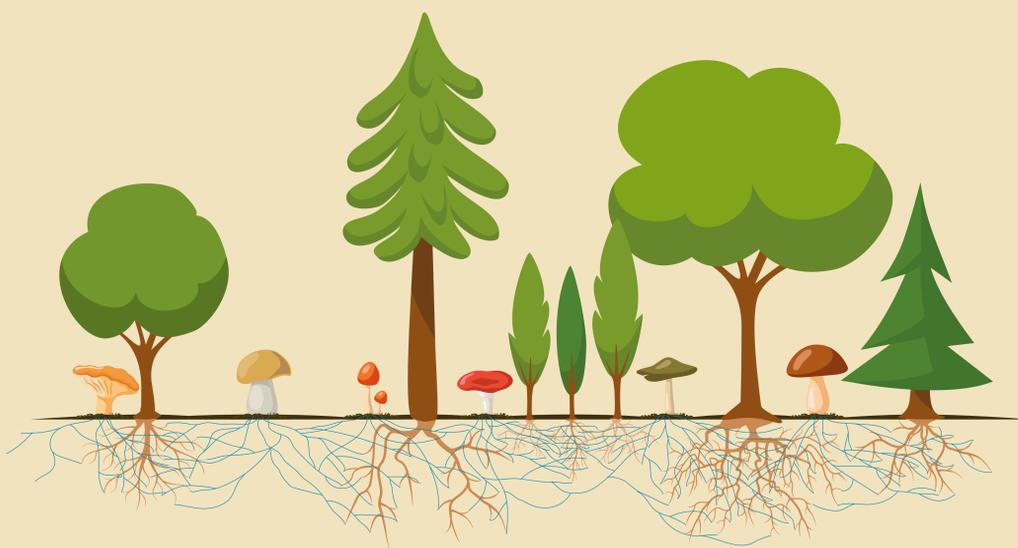
Eine stattliche Schwarz-Kiefer (*Pinus nigra*) unter der regelmäßig Fruchtkörper vom Ringlosen Butterpilz (*Suillus collinitus*) wachsen. Er ist ein Pilzpartner von Kiefern (*Pinus*).



Unterirdische Beziehungen

Das „Wood Wide Web“

Wie das Internet heute zu einer weltweiten Vernetzung führt, so haben auch Pilze einen wesentlichen Anteil an der Vernetzung von Pflanzengemeinschaften. Die im Boden befindlichen Pilzhyphen, die für den Menschen in der Regel so nicht sichtbar sind, spannen dort ein dichtes und verzweigtes Myzelnetz. Dabei verbinden sie sowohl verschiedene Bäume, Sträucher und weitere Pflanzen als auch andere Pilze miteinander. Bis zu sechs Tonnen dieser Pilzfäden können sich in einem Hektar Erdboden befinden. Über das Myzel werden zwischen Pflanzen und Pilzen Nährstoffe, Mineralien und Botenstoffe hin und her getauscht. Forscher haben herausgefunden, dass Mutterbäume ihre Sprösslinge vor allem in der Anfangsphase ihrer Entwicklung über das Pilzmyzel mit Nährstoffen versorgen. Es ist ein Geben und Nehmen und was genau bei diesen Lebensgemeinschaften abläuft, ist noch längst nicht erforscht. Fakt ist aber, dass diese Beziehungskiste komplizierter ist, als man denkt, und eine „Partnerschaft“ manchmal ursprünglich mit der „Absicht“ des Ausnutzens begonnen wurde.



Auch wenn man es oberirdisch nicht sieht: Unterirdisch sind zahlreiche verschiedene Pflanzen und Pilze über ein Myzelnetz aus Hyphen miteinander verbunden und stehen im gegenseitigen Stoffaustausch.

Warum schließen sich Pilze und Pflanzen zusammen?

Pilze und Pflanzen sind eigenständige Lebewesen, warum ist es also überhaupt zu einem Zusammenschluss dieser beiden gekommen? Rückschlüsse aus Fossilien und aus molekularen Daten zeigen, dass diese Interaktionen bereits sehr alt sind (ca. 400 Millionen Jahre). Vermutlich ging der Zusammenschluss einher mit der Landbesiedlung der ersten niederen Pflanzen. Der Boden könnte damals noch sehr pflanzenfeindlich gewesen sein und durch die Interaktion mit den Pilzen konnten die Pflanzen genug Mineralien für eine Besiedelung der Erde erschließen. Mittlerweile sind die meisten Pflanzen mit Wurzelpilzen assoziiert. Auch von Farnpflanzen und Moosen ist dies bekannt. Letztere bilden nur wurzelähnliche Strukturen, Rhizoide, aus. Das Ausmaß der Interaktion hat einen großen Einfluss auf die Nährstoff- und Mineralienverfügbarkeit der Lebensräume der Erde. Obwohl eine Mykorrhiza im Regelfall positiv für die Pflanzen ist, kann sie unter bestimmten Umweltbedingungen auch zum Ausnützen der Pflanze durch den Pilz führen, wie bei der orchidoiden Mykorrhiza.

Ein einziger Pilz kann sich unterirdisch über eine Fläche von mehreren hundert Quadratmetern ausbreiten und zahlreiche Bäume und andere Pflanzen miteinander verknüpfen.



Unterirdische Beziehungen

Mykorrhiza – Zahlreiche Vorteile für Pflanzen:

Oberflächenvergrößerung

Das Wurzelsystem der Pflanzen ist reich verzweigt. Neben den Hauptwurzeln gibt es zahlreiche Seitenwurzeln und feinste Wurzelhaare die Wasser und Mineralien der Umgebung den Pflanzen verfügbar machen. Das Pilzmyzel ist im Vergleich dazu aber viel feiner und weiter verzweigt. Durch die Lebensgemeinschaft mit dem Pilz können die Pflanzen also viel mehr Mineralien und Wasser aufnehmen.

Kooperation mit Bakterien

Mykorrhizapilze gehen mit verschiedenen Bakterien eine Kooperation ein: „mycorrhiza helper bacteria“. Die Bakterien fördern die Ausbildung von Mykorrhiza und Glomeromycota-Sporenbildung (Pilzgruppe, die wichtig bei der Endomykorrhiza ist). Für diese Zusammenarbeit hat sich der Begriff „Mykorrhizosphäre“ etabliert.

Vernetzung der Pflanzen untereinander

Pilze vernetzen mit ihren Hyphen unterschiedliche Pflanzen. Dabei kann eine Pilzart mit zahlreichen Pflanzenarten verbunden sein und über das Hyphennetz (Myzel) Zucker und Mineralien zwischen den beteiligten Partnern austauschen. Wie das genau abläuft und wie weit das Vor- oder Nachteile sind, ist Gegenstand der heutigen Forschung. Als Faustregel kann man sagen, je größer die Diversität von Mykorrhiza-Pilzen in einem Lebensraum ist, desto artenreicher (Pflanzen, Tiere etc.) ist ein bestimmtes Gebiet.

Schutz der Wurzeln

Der Hyphenmantel sitzt bei der Ektomykorrhiza als dichtes Netz um die Wurzeln der Pflanze. Diese werden dadurch vor mechanischen äußeren Einflüssen und auch vor Trockenstress geschützt.

Verbesserung der Wasserversorgung

Diesen Vorteil haben nur Pflanzenarten, die eine arbuskuläre Mykorrhiza ausbilden. Es können Glykoproteine (zuckerhaltig) ausgeschieden werden, die die Bodenpartikel verkleben und so die Partikel zu größeren Einheiten verklumpen lassen. Diese können dann viel mehr Wasser speichern. Vor allem auf Sandböden, wo Pflanzen Trockenstress haben, ist dies von Vorteil.



Von zahlreichen Pflanzen ist bekannt, dass sie eine Mykorrhiza mit Pilzen eingehen, so auch Kuhschellen (*Pulsatilla*).



Unterirdische Beziehungen

Stoffaustausch

Ist eine Pflanze nicht in der Lage, ausreichend Zuckerverbindungen für einen Pilz zur Verfügung zu stellen, kann dies die Ausbildung einer Mykorrhiza hemmen. Mangelt es der Pflanze an Stickstoff und Phosphor, kann dies die Mykorrhizabildung fördern. Die weitere Vernetzung des Pilzes und seine Möglichkeit, an Zucker zu gelangen, haben einen Einfluss auf das Zustandekommen und die Intensität der Symbiose. Bei einer Mykorrhiza ist der Stoffaustausch zwischen den beiden Beteiligten nicht immer ausgewogen und kann sich je nach Verfügbarkeit bestimmter Stoffe eher für den einen oder den anderen Partner lohnen.



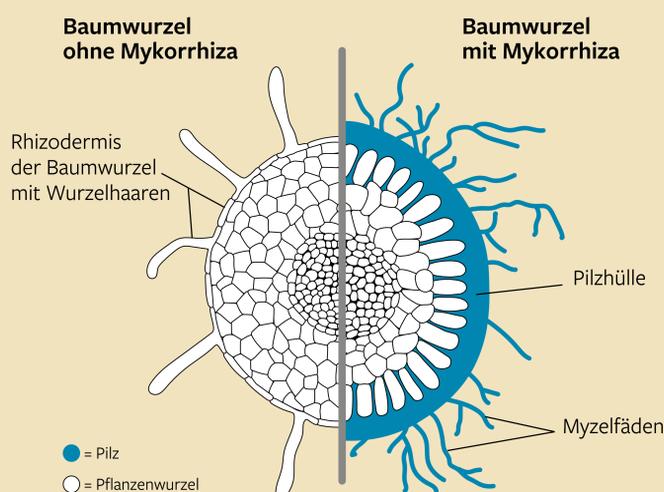
Bei der Mykorrhiza geht es vor allem um einen wechselseitigen Stoffaustausch zwischen Pilz und Pflanze.



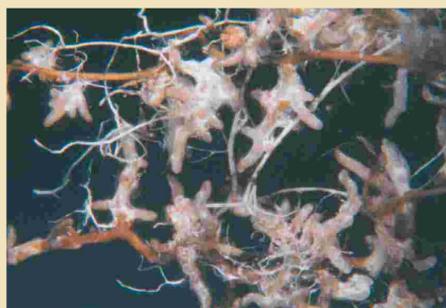
Nahezu 90 Prozent aller Landpflanzen bilden mit verschiedenen Pilzen Mykorrhiza-Lebensgemeinschaften aus. Junge Bäume sind hierbei öfter mit Pilzen verbunden als ältere.

Wurzel mit und ohne Mykorrhiza

Im Aufbau unterscheiden sich die Wurzeln mit und ohne Mykorrhizabildung. Am auffälligsten ist das Fehlen von Wurzelhaaren an Wurzeln mit Mykorrhiza. Hier sitzt als dichter Mantel ein Geflecht aus Hyphen auf den Wurzeln, aus dem einzelne, sich verzweigende Hyphen (Myzel) in das umgebende Erdreich vordringen. Sie übernehmen die Funktion der Wurzelhaare, nämlich die Aufnahme von Wasser und Mineralien in der weiteren Umgebung der Wurzeln. Die Hyphen sitzen nicht nur außen an den Wurzeln, sondern können auch ins Rindengewebe der Wurzeln entsandt werden und sich dort netzförmig ausbreiten.



Unterschiedlicher Aufbau von Wurzeln ohne (links) und mit (rechts) Mykorrhiza. Bei einer Mykorrhiza ersetzen die Myzefäden des Pilzes (bestehend aus Hyphen) die Wurzelhaare.



Von weißlichem Myzel der Nadelwald-Rotkappe (*Leccinum vulpinum*) ummantelte Kiefernwurzeln (*Pinus*). Foto: R. Agerer

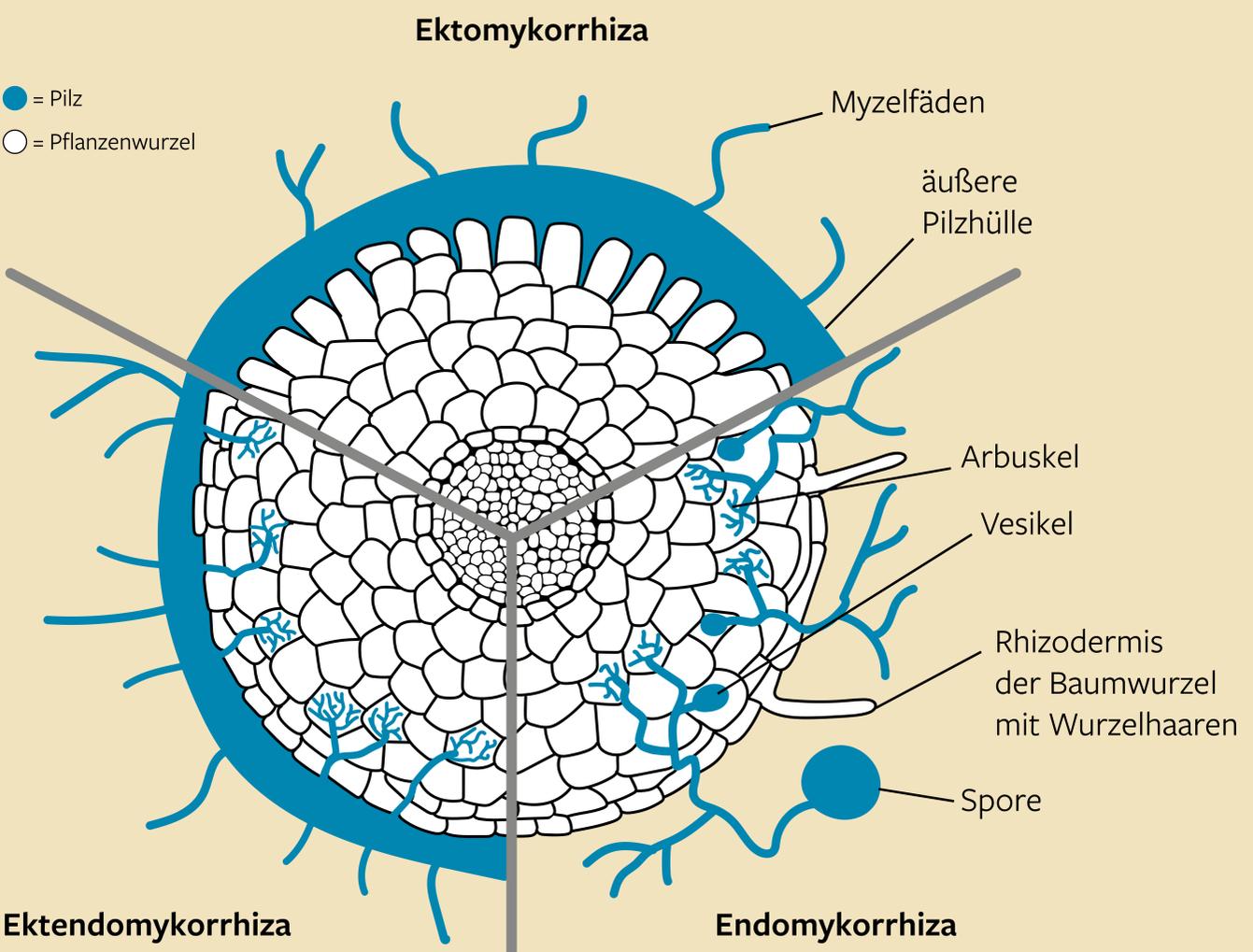




Mykorrhizavielfalt

Mykorrhiza mal innen, mal außen

Man unterscheidet zwei verschiedene Hauptformen der Mykorrhiza (Endo- und Ektomykorrhiza). Die Abgrenzung zwischen diesen beiden Hauptformen ist aber oftmals fließend und manche Ausprägungen können eher als Übergangsform angesehen werden. Sie werden als Ektendomykorrhiza bezeichnet.



Endo- und Ektomykorrhiza sind die Hauptformen der Mykorrhiza. Die Ektendomykorrhiza ist die Übergangsform zwischen beiden.





Mykorrhizavielfalt

Ektomykorrhiza

Hierbei handelt es sich um die typische Mykorrhiza unserer Waldbäume (z.B. Buche, Fichte und Kiefer), bei der Pilz und Baum aus ihrer Verbindung großen Nutzen ziehen. Bei der Ektomykorrhiza (ekto = außen) bildet der Pilz einen dichten Hyphen-Mantel um die Wurzel und dringt stellenweise sogar in ihr Rindengewebe über die Hohlräume (Interzellularräume) zwischen den einzelnen Zellen ein. Dort verzweigen sich die Hyphen und bilden das sogenannte Hartig'sche Netz (nach dem deutschen Forstwissenschaftler R. Hartig benannt). Dies sorgt für einen dichten Kontakt zwischen Pilz und Pflanze und ermöglicht den Stoff-Austausch. Als Komplex (Pilz-Pflanze) sind diese Arten besser an die Umwelt angepasst als jede für sich selbst.



Fruchtkörper der Birken-Rotkappe (*Leccinum versipelle*) in einem Fichtenwald mit einzelnen Birken. Foto: R. Wald

Endomykorrhiza

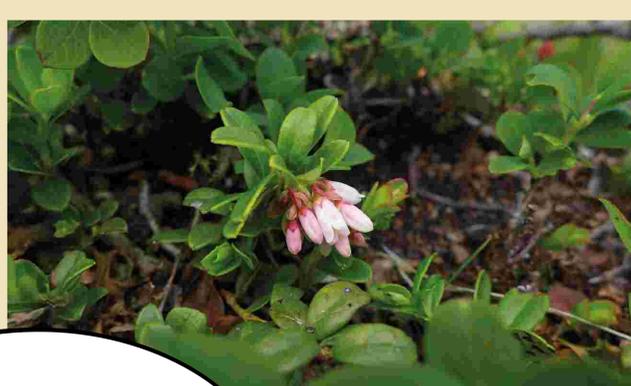
Es handelt sich hierbei um die häufigste Mykorrhiza-Form, vor allem von krautigen Pflanzen, aber auch Bäumen und Sträuchern. Bei der Endomykorrhiza (endo = innen) wächst der Pilz in die Zellen des Rindengewebes der Wurzel hinein. Ein äußerer Pilzhyphenmantel ist nicht vorhanden. Die wichtigste und weltweit häufigste Form der Endomykorrhiza ist die arbuskuläre (vesikuläre) Mykorrhiza (AM). Sie ist vor allem für Kulturpflanzen wie Getreide sehr wichtig. Die Pilzhyphen verzweigen sich in der Wurzelrinde zu typisch bäumchenförmigen Strukturen (Arbuskel) für die Stoffaufnahme und bilden ovale Strukturen (Vesikel) für die Speicherung von Fetten. Eine Spezialform ist die orchidoide Mykorrhiza, bei der Orchideen mit Pilzen eine Lebensgemeinschaft eingehen.



Die Pyramiden-Hundswurz (*Anacamptis pyramidalis*) zählt zu den Erdorchideen und bildet mit bestimmten Pilzen eine Mykorrhiza aus.

Ektendomykorrhiza

Diese Mykorrhiza nimmt eine Zwischenstellung ein, da Pilzhyphen sowohl in die Wurzelzellen eindringen als auch zwischen den Rindenzellen der Wurzeln vorkommen und eine lockere Hyphenhülle um die Wurzeln bilden können. Bekannt ist diese Form bei verschiedenen Pflanzen wie Heidekrautgewächsen oder dem Erdbeerbaum (*Arbutus*).



Die Preiselbeere (*Vaccinium vitis-idaea*) gehört, wie auch die Heidelbeere (*V. myrtillus*), zu den Heidekrautgewächsen (*Ericaceae*).

Die meisten Pilze, von denen die Ausbildung einer Endomykorrhiza bekannt ist, bilden keine oberirdischen Fruchtkörper aus.





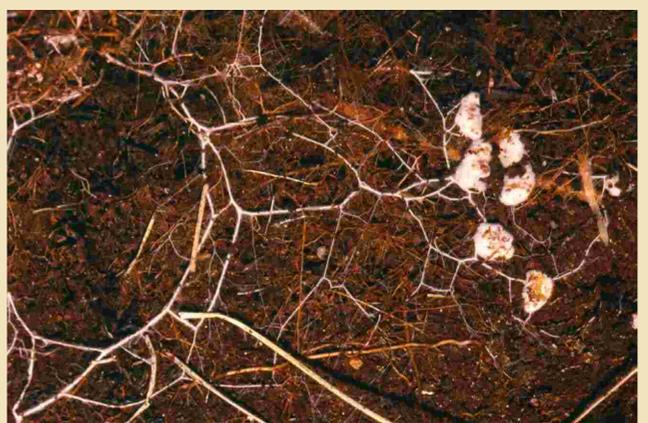
Ektomykorrhiza



Eine Gruppe Flockenstielige Hexenröhrlinge (*Neoboletus erythropus*), bei Fichten (*Picea abies*), einem möglichen Mykorrhiza-Partner. Foto: R. Wald

Ektomykorrhiza, der Mantel

Bei der Ektomykorrhiza bilden die Pilzhyphen einen dichten Hyphenmantel auf der Oberfläche der Wurzeln und stellenweise dringen sie auch zwischen den Zellen in die Wurzel ein. Durch die resultierende Oberflächenvergrößerung und das reich verzweigte Myzel-Netz außerhalb des Wurzelbereichs im Boden können die Mineralstoffe in der weiteren Umgebung der Pflanze erschlossen werden. Die Baumwurzeln reagieren auf die „Infektion“ mit dem Pilz mit einem verringerten Längenwachstum und einer Änderung des Verzweigungsmusters. Zudem werden die kurzlebigen Wurzelhaare nicht mehr gebildet und durch das Pilzmyzel ersetzt.



Ausgedehntes Myzelnetz des Zirben-Röhrlings (*Suillus plorans*) mit Myzelverdichtungen. Foto: R. Agerer



Wenn eine Pflanze mit einem Pilz eine Mykorrhiza bildet, stellt die Pflanze die eigene Produktion von Wurzelhaaren ein und lässt die Hyphen des Pilzes die Aufgabe der Mineralien- und Wasseraufnahme übernehmen.



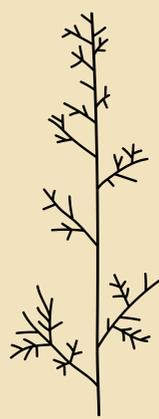


Ektomykorrhiza

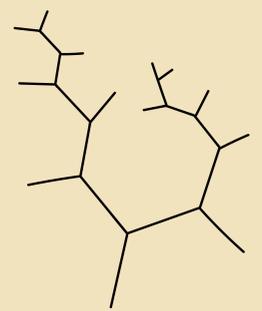
Strukturunterschiede

Mykorrhizapilze verändern die Wurzeln ihrer Wirtsbäume und dabei gibt es Unterschiede zwischen Laub- und Nadelbäumen. Die verpilzte Wurzel erfährt durch den Pilz eine Umgestaltung: sie ist verkürzt, verdickt, häufig charakteristisch verzweigt und hat kaum Wurzelhaare. Bei Laubbäumen sind die Wurzeln durch den Pilzeinfluss typischerweise monopodial ausgebildet. Das bedeutet, dass eine Hauptachse bestehen bleibt und von dieser die einzelnen weiteren Seitenwurzeln abzweigen. Meist sitzen die Verzweigungen so nah beieinander, dass es zu korallenähnlichen Wucherungen kommt.

Nadelhölzer hingegen haben durch den Pilzeinfluss typische dichotome Ausprägungen der Wurzeln. Dabei teilt sich eine Hauptachse in zwei Gabelachsen und es besteht keine durchgehende Achse der Wurzel mehr. Dies kann mehrfach hintereinander passieren.



monopodial



dichotom

Gehen Bäume mit Pilzen eine Ektomykorrhiza ein, verändern sich ihre Wurzeln.

Pilze, die Ektomykorrhiza mit Bäumen bilden

Es gibt zahlreiche Pilzarten, die in der Lage sind, Ektomykorrhiza auszubilden. Ein großer Teil der Röhrenpilze, wie Steinpilz, Marone, Birkenpilz oder Butterpilz, gehört zu den wohl bekanntesten Vertretern. Aber auch Arten der Knollenblätterpilze (*Amanita*), Milchlinge und Täublinge (*Lactarius* und *Russula*), Pfifferlinge (*Cantharellus*) und Schleierlinge (*Cortinarius*) und viele andere Arten von Blätterpilzen sind mit bestimmten Bäumen vergesellschaftet. Es gibt auch eine ganze Reihe Arten, von denen bisher die Fruchtkörper nicht bekannt sind, sondern nur das im Boden lebende Myzel. Auch sie sind ein wichtiger Bestandteil der vorkommenden Mykorrhiza-Verbindungen.



Der Butterpilz (*Suillus luteus*) ist ein Mykorrhizapartner der Kiefer (*Pinus*) und hat einen bei Feuchtigkeit schmierigen Hut. Foto: R. Wald



Ausschließlich unter Lärchen (*Larix*) findet man den Lärchenmilchling (*Lactarius porninsis*) der bei Verletzung weiß milcht. Foto: R. Wald



Der Orangefuchsiges Raukopf (*Cortinarius orellanus*) bildet mit verschiedenen Laubbäumen eine Mykorrhiza und ist einer der gefährlichsten Giftpilze Deutschlands. Foto: R. Wald





Ektomykorrhiza

Baumarten, die Ektomykorrhiza mit Pilzen eingehen

Zahlreiche Baumarten können eine Ektomykorrhiza ausbilden. Hierzu gehören sowohl Laub- als auch Nadelbäume. Die häufigsten einheimischen Arten mit nachgewiesener Mykorrhiza sind bei den Laubbäumen Buche (*Fagus*), Birke (*Betula*) und Eiche (*Quercus*) und bei den Nadelbäumen Fichte (*Picea*) und Kiefer (*Pinus*). Auch wenn bei Bäumen und Sträuchern in Mitteleuropa und der gesamten gemäßigten Zone Ektomykorrhiza vorherrscht, gibt es mehrere verholzte Pflanzenarten, die zusätzlich oder manchmal auch ausschließlich eine Endomykorrhiza ausbilden können, wie Esche (*Fraxinus*) oder Ahorn (*Acer*). Es ist ebenfalls möglich, dass bestimmte Baumarten im Jugendstadium eine andere Form der Mykorrhiza als im ausgewachsenen Stadium bilden. In der Anzahl der Pilzpartner, mit denen eine Mykorrhiza eingegangen werden kann, unterscheiden sich die verschiedenen Baumarten. Innerhalb der Ektomykorrhiza gibt es einige ausgesprochen wirtsspezifische Pilze. Das bedeutet, dass diese Pilze eng an eine Baumart oder wenige nah verwandte Baumarten gebunden sind. Man hat herausgefunden, dass Jungbäume mehr Mykorrhiza-Partner haben als ältere Bäume. Das hängt damit zusammen, dass die Mykorrhiza sich vor allem dann ausbildet, wenn wenige Mineralien verfügbar sind. Da Jungbäume noch kein reich verzweigtes Wurzelsystem haben, werden sie regelmäßig von Pilzen über die Ausbildung einer Mykorrhiza versorgt. An Extremstandorten hat man es deshalb oftmals mit Mykorrhiza zu tun.



Bäume können mit verschiedenen Pilzen eine Mykorrhiza eingehen. Dabei unterscheiden sie sich in der Anzahl und Art der Pilzpartner.

Wer mit wie vielen

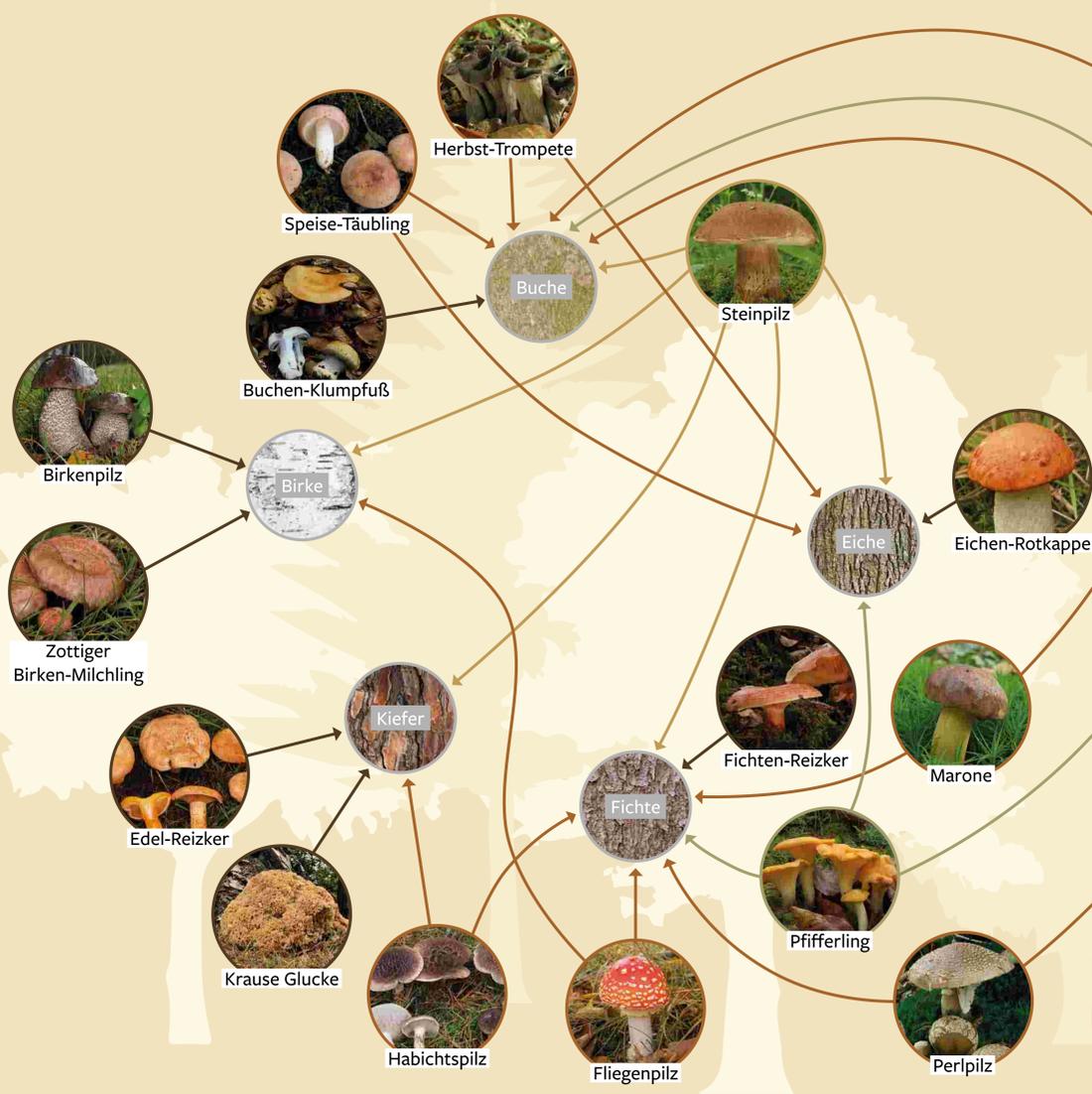
Baumgattungen/ Baumarten	Anzahl der Pilzarten als Ektomykorrhiza-Partner
Grau-Erle (<i>Alnus incana</i>)	31
Birke (<i>Betula</i>)	199
Gewöhnliche Hasel (<i>Corylus avellana</i>)	48
Rot-Buche (<i>Fagus sylvatica</i>)	102
Eiche (<i>Quercus</i>)	118
Fichte (<i>Picea abies</i>)	132
Wald-Kiefer (<i>Pinus sylvestris</i>)	30



Ektomykorrhiza

Häufige Baumarten, die regelmäßig als Ektomykorrhiza-Partner dienen

Fünf allgemein häufige und weitbekannte Laub- und Nadelbäume (Buche, Eiche, Birke, Fichte und Kiefer) bilden regelmäßig Ektomykorrhiza mit verschiedenen Pilzen. Dabei gibt es Pilze, die nur mit einer bestimmten Baumart vorkommen, und andere, die mit zahlreichen verschiedenen Arten in Verbindung stehen. So kommt der Birkenpilz nur bei Birken vor. Wer diese Pilze in der Natur sehen will, muss also den jeweiligen Baumpartner finden und dann nach dem Pilz suchen. Den Fliegenpilz kann man dagegen sowohl unter Fichten als auch bei Birken finden, da er mit beiden Baumarten Ektomykorrhiza ausbilden kann.



Übersicht über eine Auswahl von Ektomykorrhiza-Pilzen, die nur bei einer bestimmten oder mehreren Baumarten wachsen können.





Ektomykorrhiza

Ich will mehr!

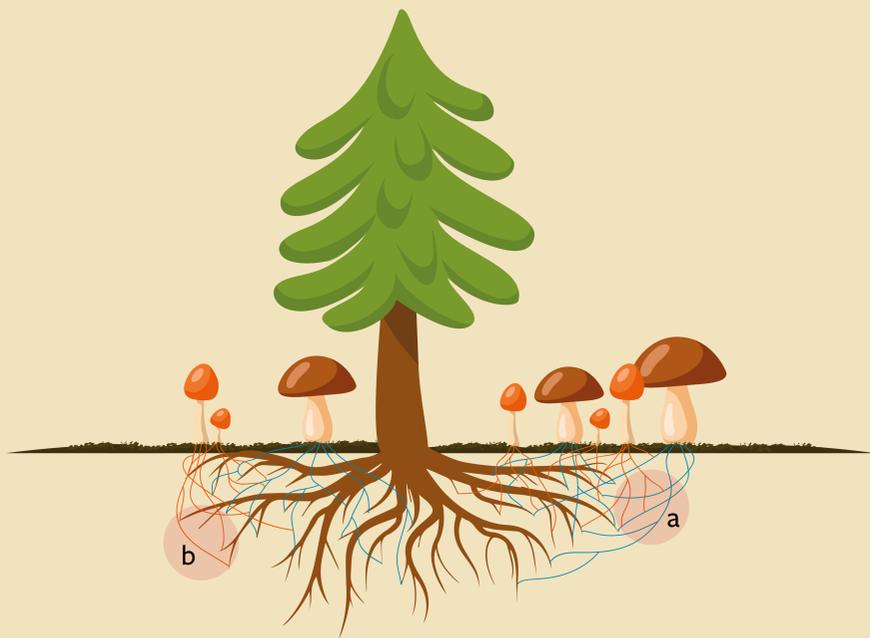
Es gibt Pilze, die nicht nur selbst Mykorrhiza ausbilden, sondern zusätzlich das Myzel anderer Pilzarten parasitieren. Dadurch erschließen sie sich zwei verschiedene Nahrungsquellen. Mithilfe seiner eigenen Ektomykorrhiza erhält der Pilz Nährstoffe vom Baum. Durch das Parasitieren des Myzels eines anderen Pilzes erhält er zusätzliche Nährstoffe. Meist handelt es sich bei dem parasitierten Pilz ebenfalls um eine Art, die Ektomykorrhiza bildet. Der parasitische Pilz nimmt also Stoffe von dem parasitierten Pilz, die letzterer vorher von seinem Wirtsbaum erhalten hat – eine Doppelmikorrhiza sozusagen. Beispiel hierfür ist der Rosenrote Gelbfuß mit Kiefer als Baumpartner, der auf dem Myzel des Kuhröhrlings wächst, der seinerseits ebenfalls mit Kiefer eine Symbiose eingeht. Mit dem Parasitischen Röhrling verhält es sich ähnlich. Dieser bildet Mykorrhizen mit Nadelbäumen aus und wächst zusätzlich auf Kartoffelbovisten, die ihrerseits Mykorrhiza mit verschiedenen Laubbäumen ausbilden.



Der Parasitische Röhrling (*Pseudoboletus parasiticus*, gelbbraun) bildet zwar eine Mykorrhiza mit Nadelbäumen aus, hat aber durch das Parasitieren des Kartoffelbovist-Myzels (*Scleroderma*, weißlich) eine zweite Nährstoffquelle. Foto: H. Bender



Der Rosenrote Gelbfuß (*Gomphidius roseus*, rosenroter Hut) sitzt auf dem Myzel des Kuhröhrlings (*Suillus bovinus*, gelbbraun) und erhält von diesem Nährstoffe. Foto: R. Wald



Beispiel der Doppelmikorrhiza grafisch dargestellt. Der Rosenrote Gelbfuß parasitiert das Kuhröhrlingsmyzel (a) und bildet zusätzlich eine Ektomykorrhiza mit den Wurzeln der Kiefer aus (b).



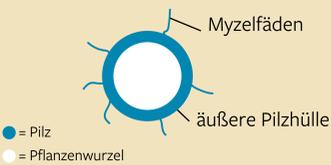


Ektomykorrhiza

Bis hierhin und noch viel weiter

Wie stark erweitert ein Pilz den Versorgungsradius für die Pflanze? Dies hängt vom Explorationstyp des Pilzes ab.

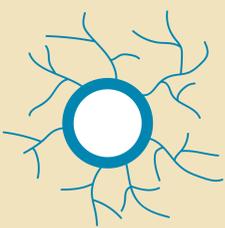
Ektomykorrhizen lassen sich in unterschiedliche Explorationstypen (Reichweitentypen) unterteilen, die unterschiedlich gut für die Aufnahme von Mineralstoffen in der näheren Umgebung oder auch weiterer Entfernung geeignet sind. Je weiter sich die Pilzhyphen vom symbiontischen Partner entfernen, desto verzweigter und ausdifferenzierter werden sie.



Ein direkter Kontakt mit dem Erdreich wird durch eine fast glatte Oberfläche mit nur wenigen abzweigenden Hyphen bewerkstelligt.



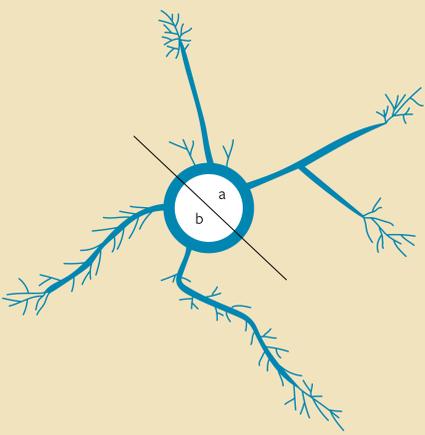
Der Ocker-Täubling (*Russula ochroleuca*) nimmt mit seinen Hyphen vor allem Mineralien und Wasser der unmittelbaren Umgebung auf. Foto: K. Wehr



Für die Überbrückung kurzer Distanzen wird zusätzlich zum Hyphenmantel ein dichtes Netz aus Hyphen (Myzel) im Substrat für die Verbindung von Mantel und Substrat gebildet.



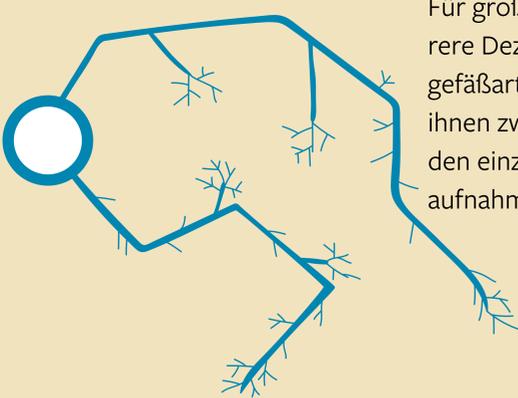
Die Sommertrüffel (*Tuber aestivum*) überbrückt mit ihren Hyphen kurze Distanzen. Foto: R. Wald



Mittlere Distanzen werden durch die Ausbildung von Rhizomorphen überbrückt. Dabei handelt es sich um Zusammenschlüsse von dickwandigen äußeren und feinen inneren Hyphen. Aufgrund der Einlagerungen von Pigmenten sind die Rhizomorphen dunkel gefärbt. Von ihnen können zusätzlich auf der ganzen Länge einzelne Hyphen abzweigen (b) oder fransig an der Spitze der Rhizomorphe austreten (a).



Sowohl Hyphen als auch Rhizomorphen bildet der Violette Lacktrichterling (*Laccaria amethystina*) für die Nährstoffversorgung aus. Foto: K. Wehr



Für große Distanzen werden bis zu mehrere Dezimeter lange Rhizomorphen mit gefäßartigen Strukturen ausgebildet. Von ihnen zweigen in unregelmäßigen Abständen einzelne Hyphen für die Mineralstoffaufnahme ab.



Der Kahle Krempling (*Paxillus involutus*) überbrückt durch Rhizomorphe mehrere Dezimeter für die Mineralien- und Wasser-aufnahme. Foto: R. Wald



Endomykorrhiza

Endomykorrhiza: ein inniges Verhältnis

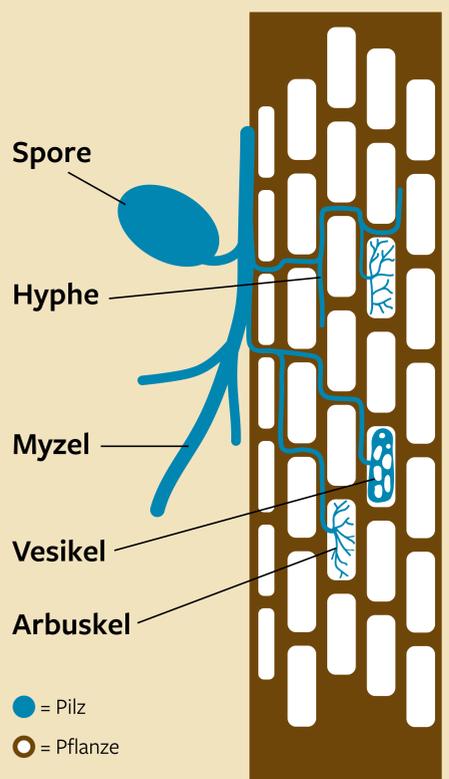
Hierbei geht es um eine Form der Mykorrhiza, bei der ein Pilz in Wurzelzellen aktiv eindringt. Dort werden verschiedene Strukturen für den Austausch von Stoffen gebildet. Zwei wichtige Formen sind die arbuskuläre (vesikuläre) Mykorrhiza und die orchidoide Mykorrhiza.

Pflanzen mit Endomykorrhiza verkraften Trockenstress, Schwermetallstress oder erhöhte Salzkonzentration besser.

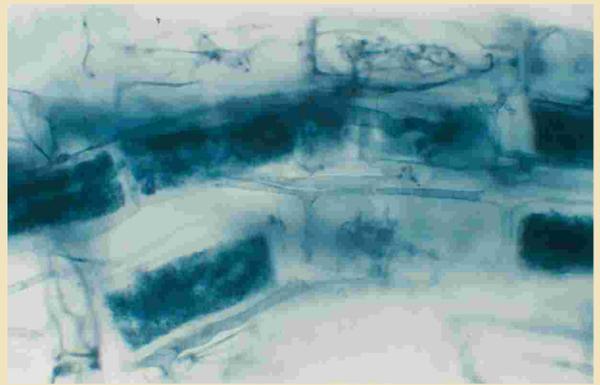
Arbuskuläre (vesikuläre) Mykorrhiza (AM)

Dies ist die häufigste Form der Mykorrhiza, denn von mindestens 80 Prozent aller Gefäßpflanzen ist sie bekannt. Sie hat sich vor mehr als 400 Millionen Jahren ausgebildet, parallel zur Entwicklung der Landpflanzen. Es handelt sich hierbei um die ursprünglichste Form der Mykorrhiza – die Ektomykorrhiza hat sich erst später entwickelt. Charakteristisch ist ein Eindringen des Myzels eines Pilzes in die Wurzelzellen mit Ausbildung von Blasen (Vesikeln) und baumartig verzweigten Strukturen (Arbuskeln). Die Vesikel dienen der Speicherung von Fetten als Öltröpfchen, die der Pilz aus den von der Pflanze erhaltenen Kohlenhydraten aufbaut. Die Ausbildung von Arbuskeln ist eine Oberflächenvergrößerung zur Verbesserung der Stoffaufnahme. Die mykorrhizierten Wurzeln unterscheiden sich in der Regel makroskopisch nicht von Wurzeln ohne Endomykorrhiza. Erst wenn man die Wurzelzellen mikroskopiert, sieht man die Arbuskeln und Vesikel innerhalb der Rindenzellen.

Nicht immer werden alle hier benannten Strukturen gleichermaßen ausgebildet. Vesikel z.B. werden nur selten produziert.



Grafische Darstellung der arbuskulären (vesikulären) Mykorrhiza, bei der Pilzhyphe aktiv in die Wurzelzellen der Pflanzen eindringen.



Arbuskelbildung in den Wurzelzellen des Weidelgrases (*Lolium*), mikroskopisches Präparat. Foto: R. Agerer



Ein Arbuskel bleibt nur wenige Tage funktionstüchtig. Dann wird es abgebaut und die betreffende Rindenzelle der Wurzel bildet sich zu ihrem ursprünglichen Zustand zurück.





Endomykorrhiza

Mit bloßem Auge unsichtbar

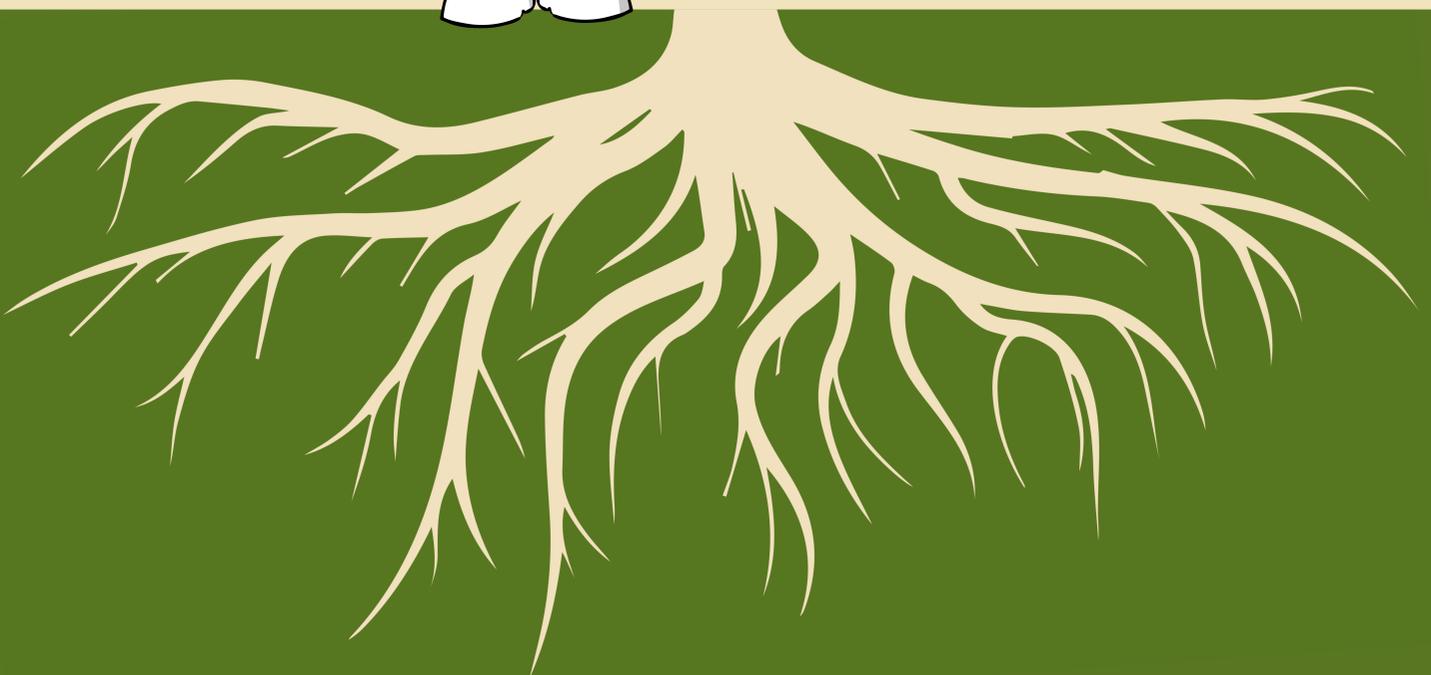
Pilze, die Endomykorrhiza ausbilden, zählen zu einer eigenen Abteilung innerhalb der Pilze, den Glomeromycota. Es handelt sich dabei um eine Pilzgruppe, die meist keine oberirdisch sichtbaren Fruchtkörper ausbildet. Der Pilz lebt als Myzel im Boden und in der Pflanze. Lediglich kleine Zusammenschlüsse von Sporen in der Erde oder am Stängelgrund wurden bereits beobachtet. Von Pilzen dieser Gruppe ist bisher keine sexuelle Vermehrung bekannt. An Hyphenden werden asexuell Sporen ausgebildet, die bis maximal 1 mm im Durchmesser haben können und sich manchmal zu Sporenbällen zusammenschließen. Im Grunde genommen handelt es sich bei allen Glomeromycota um endophytische (im Inneren von Pflanzen lebende) Symbionten, welche ohne ihren Wirtspartner nicht überleben könnten. Man geht davon aus, dass die Gruppe der Glomeromycota sehr artenreich ist und bisher nur knapp fünf Prozent der tatsächlich vorkommenden Arten entdeckt und beschrieben wurden. Neubeschreibungen sind Gegenstand aktueller Forschung. Meist werden die Arten aber mangels morphologisch unterscheidbarer Merkmale mit molekulargenetischen Methoden bestimmt.

Einer tanzt immer aus der Reihe: *Geosiphon pyriformis* steht nicht auf Pflanzen. Er nimmt Cyanobakterien auf und lässt sie für sich arbeiten.



Auf einem Getreideacker kann zum Beispiel das gepflanzte Getreide, aber auch die zahlreichen Beikräuter eine arbuskuläre Mykorrhiza mit im Boden befindlichen Pilzen ausbilden und so die Nährstoffversorgung verbessern.

In der Natur kann eine Pflanze mit zahlreichen verschiedenen Pilzen eine arbuskuläre Mykorrhiza ausbilden. Die Wurzeln mancher Pflanzen werden nach der Besiedlung von arbuskulären Mykorrhiza-Pilzen gelb.





Endomykorrhiza

Pflanzen, die eine arbuskuläre Mykorrhiza eingehen, können Bodenbereiche in einem Radius von bis zu 30 cm um eine Wurzel erschließen. Eine normale Wurzel kann dies nicht und befindet sich deshalb relativ schnell in einer mineralstoffarmen Zone.

Hungersnot oder Mykorrhiza?

Unter den zahlreichen Pflanzen, die eine arbuskuläre Mykorrhiza eingehen, befinden sich auch viele vom Menschen genutzte Kulturpflanzen, wie Mais, Wein oder Zwiebel. Nur von wenigen Pflanzenfamilien wie etwa den Fuchsschwanzgewächsen (*Amaranthaceae*) oder Kreuzblütlern (*Brassicaceae*) ist dies nicht bekannt. Während auf der Nordhalbkugel die meisten Bäume eine Ektomykorrhiza eingehen und nur selten eine arbuskuläre Mykorrhiza, ist das auf der Südhalbkugel in den Tropen genau umgekehrt.



Zwiebeln (*Allium cepa*)



Wein (*Vitis vinifera*)



Mais (*Zea mays*)

Aus einem Stück Wurzel können acht bis zehn verschiedene arbuskuläre Mykorrhizapilze isoliert werden - sie können unterschiedliche Funktionen für die Pflanze übernehmen, wie z.B. verbesserte Nährstoff- oder Wasseraufnahme.



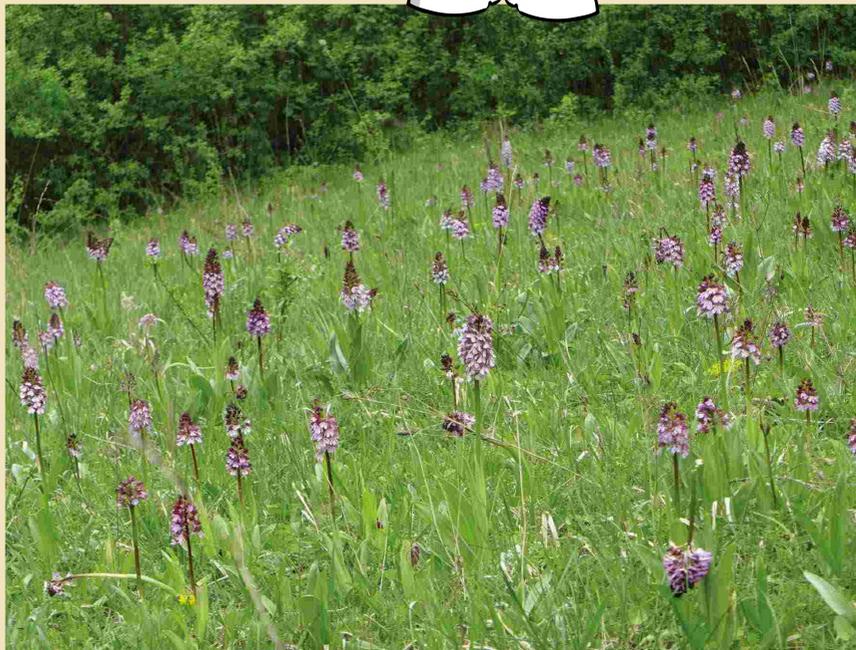


Endomykorrhiza

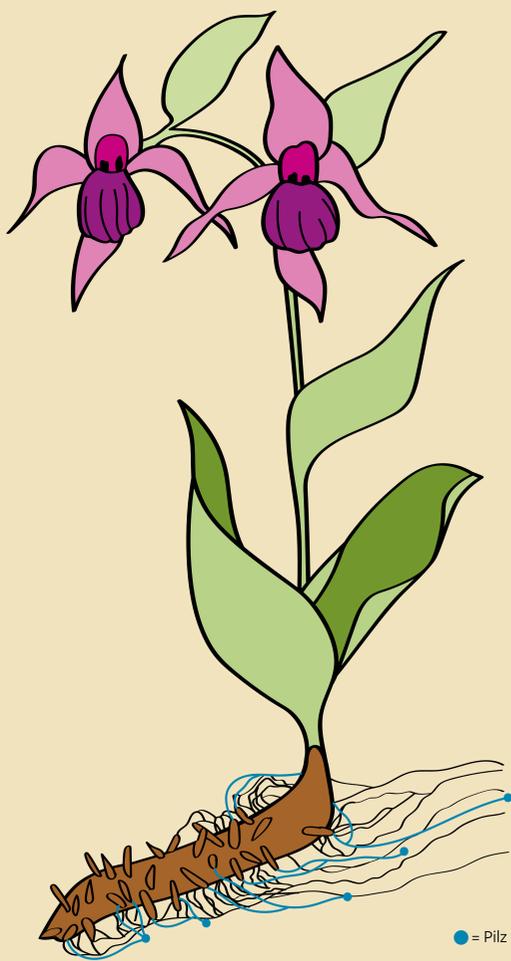
Zahlreiche Orchideensamen sind ohne Pilzpartner nicht keimfähig! Orchideen aus Samen im eigenen Garten zu kultivieren, ist deshalb meist von Anfang an zum Scheitern verurteilt, da man dort nicht den passenden Pilzpartner hat.

Ohne Pilze keine Orchideen: die orchidoide Mykorrhiza

Was erst einmal hart klingt, ist die blanke Realität. Gäbe es keine Pilze auf der Erde, würde es auch keine Orchideen, die in der Erde verwurzelt sind (Erdorchideen), geben. Denn Samen von Erdorchideen sind nur durch die „Infektion“ mit bestimmten Pilzen überhaupt keimfähig. Die winzigen Samen der Orchideen (sie bilden z.B. das Mark der Vanilleschote) enthalten meist nur wenig bis kein Nährgewebe oder Reservestoffe. In der kritischen Phase der Samenkeimung sind also diese Orchideen auf Nahrungshilfe durch Pilze angewiesen. Dies wird als mykotroph bezeichnet. Pilze die orchidoide Mykorrhiza eingehen, gehören im weiten Sinne zur Gruppe Rhizoctonia.



Ein Blütenmeer des Purpur-Knabenkrauts (*Orchis purpurea*) in einem Naturschutzgebiet.



Zahlreiche Erdorchideen gehen mit Pilzen eine Mykorrhiza ein, die orchidoide Mykorrhiza genannt wird.

● = Pilz





Endomykorrhiza

Wer nutzt hier eigentlich wen aus?

Im Grunde genommen parasitieren Erdorchideen im jungen Keimlingsstadium Pilze. Erst werden die Pilzhyphen durch die Orchideen angelockt und erhalten Kohlenhydrate. Kurz nachdem die Pilze zwischen die Zellen eingedrungen sind, werden sie bei viel Orchideenarten aufgelöst und verdaut. Dennoch stehen viele Orchideen auch nach dem Keimlingsstadium weiterhin mit Pilzen in Kontakt.



Die Vogel-Nestwurz (*Neottia nidus-avis*) ist eine chlorophyllfreie Orchidee.

Orchideenarten ohne grünen Blattfarbstoff sind mykoheterotroph. Sie zersetzen keine Biomasse, sondern erhalten ihre Kohlenhydrate durch das Parasitieren von Pilzmyzelien. Diese Pilze stehen wiederum mit Bäumen in enger Verbindung (Ektomykorrhiza). Sie haben es sich zum Prinzip gemacht, dauerhafte Partnerschaften mit Pilzen einzugehen und dadurch von Pilzen weitere Mineralien und Wasser zu bekommen. Diese Form der Mykorrhiza zeigt Übergänge zur Ektomykorrhiza.

Dabei wird der Pilz ausgebeutet, denn er erhält nichts von der Orchidee. Vor allem in schattigen Wäldern, wo kaum Sonne auf den Waldboden fällt, macht diese Ernährung Sinn. Beispiel für diese komplizierte Dreiecksbeziehung zwischen krautiger Pflanze, Pilz und Baum ist die Vogel-Nestwurz. Diese chlorophyllfreie Orchidee sitzt auf dem Pilzmyzel von Erdkrusten, welches seinerseits eine Ektomykorrhiza mit den Wurzeln von Haselnsträuchern ausbildet und erhält so lebensnotwendige Kohlenhydrat-Verbindungen. Es wurden auch Mischernährungen von Orchideen mit Chlorophyll beobachtet: Obwohl Fotosynthese betrieben werden kann, wird zusätzlich auch Pilzmyzel angezapft.



Die Opalfarbige Wachskruste (*Sebacina epigaea*) wächst auf Boden oder morschen Holz. Foto: H. Ostrow

Die Ausbildung einer Mykorrhiza steigert die Toleranz der Orchideen gegenüber Wasser-, Mineralstoff- und Lichtmangel. Die enge Lebensgemeinschaft von Orchidee und Pilz kann daher als eine der wesentlichen Ursachen für die weltweit enorme Vielfalt der Erdorchideen angesehen werden.



Männliche Haselnussblüten (*Corylus avellana*).





Ektendomycorrhiza

Drinnen und Draußen

Es gibt spezielle Mykorrhiza-Formen, die weder einer klassischen Endo- noch Ektomykorrhiza zugeordnet werden können. Sie stehen dazwischen. Die Pflanzenwurzel ist von einem lockeren Hyphengeflecht umhüllt, der Pilz dringt aber auch in einzelne Zellen ein. Die Wurzelhaare werden wie bei der Ektomykorrhiza durch feine Hyphen ersetzt. Es handelt sich um eine sehr spezifische Form der Mykorrhiza, da nur bestimmte Pflanzen diese eingehen. Pilzpartner sind in der Regel Vertreter der Schlauchpilze (Ascomycota). Je nach beteiligter Pflanzengruppe werden verschiedene Mykorrhizabezeichnungen angewandt.

So unterscheidet man beispielsweise je nach Partner ericoide Mykorrhiza bei Heidekrautgewächsen, Jungermann'sche Mykorrhiza bei Lebermoosen und arbutoide Mykorrhiza beim Erdbeerbaum.



Die Mykorrhiza der Erdbeerbäume, die mit Gattungsnamen *Arbutus* heißen, wird arbutoide Mykorrhiza genannt.



Besenheide (*Calluna vulgaris*) zählt zu den Heidekrautgewächsen (*Ericaceae*) und bildet eine ericoide Mykorrhiza mit Pilzen aus.



Von mehreren Lebermoosen ist die Ausbildung einer Jungermann'schen Mykorrhiza bekannt.



Ektendomycorrhiza

Ericoide Mykorrhiza

Hierbei stehen Pilze mit Heidekrautgewächsen (Ericaceae) im Stoffaustausch. Bei den Pflanzen handelt es sich überwiegend um kleine Sträucher mit nadel- oder schuppenförmigen, immergrünen Blättern. Dazu gehören bekannte Arten wie Glockenheide (*Erica tetralix*), Heidel- (*Vaccinium myrtillus*), Krähen- (*Empetrum nigrum*) und Preiselbeere (*V. vitis-idaea*). Sie wachsen vor allem auf sauren und meist extrem nährstoffarmen (stickstoffarmen) Böden. Erst die Verbindung von Pilz und Pflanze ermöglicht den Heidekrautgewächsen, diese kargen Böden optimal zu nutzen. Denn der Pilz ist in der Lage, die schlecht löslichen, an den Untergrund gebundenen Mineralsalze chemisch umzusetzen und den Pflanzen verfügbar zu machen.

Ein Spezialfall mit einer komplizierten Dreiecksbeziehung findet sich beim Fichtenspargel. Diese Lebensgemeinschaft mit Pilzen ist unter monotropoider Mykorrhiza bekannt. Die chlorophyllfreie Pflanze parasitiert auf dem Pilzmyzel von Täublingen, um an die Kohlenhydrate der Bäume zu kommen, mit denen verschiedene Täublingsarten Ektomykorrhiza bilden. Bekannt ist dieses Phänomen unter dem Namen Mykoheterotrophie.



Die Glockenheide (*Erica tetralix*) wächst in nährstoffarmen Mooren und hat große, rosafarbene glockige Blüten.



Der Fichtenspargel (*Monotropa hypopitys*) gehört zu den Heidekrautgewächsen und besitzt kein Chlorophyll.

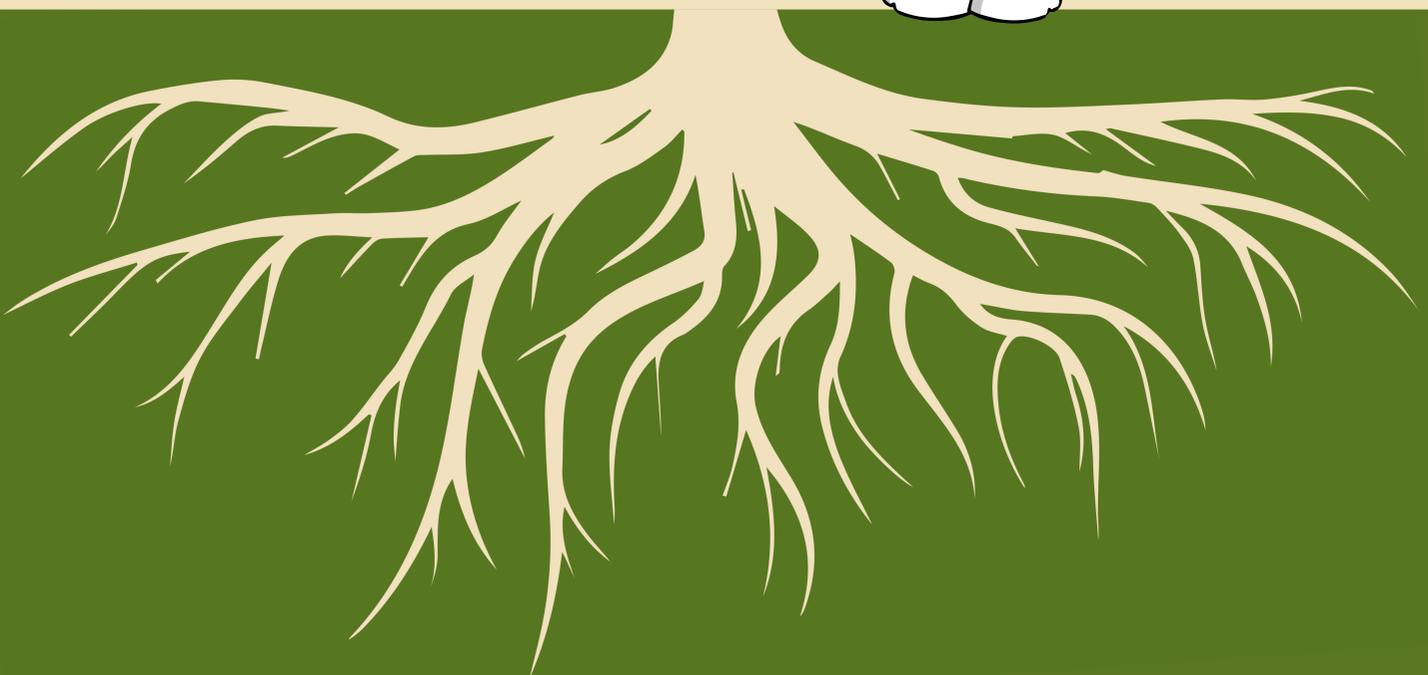


Neben Rot-Buche (*Fagus sylvatica*) bildet der Violettstielige Täubling (*Russula violeipes*) auch mit Eiche (*Quercus*) oder Fichte (*Picea*) Mykorrhizen.



Fruchtansatz einer Rot-Buche (*Fagus sylvatica*).

Nicht die Feuchtigkeit ist hier der begrenzende Faktor, sondern die Verfügbarkeit von Stickstoff!



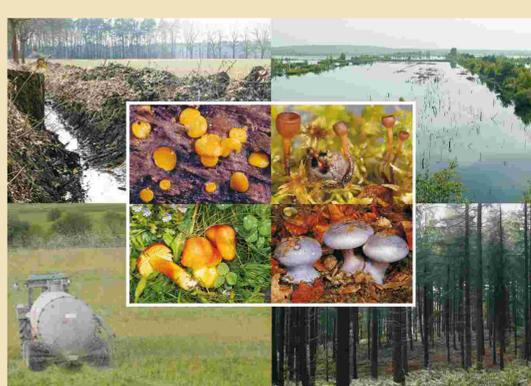


Artensterben

Gefährdung von Mykorrhiza

In den letzten Jahren nimmt die Anzahl der Pilze auf der Roten Liste Deutschlands immer weiter zu. Darunter sind auch Ektomykorrhiza-Pilze wie der Silber-Röhrling (*Boletus fechtneri*) und der Königs-Röhrling (*Butyriboletus regius*). Selbst der allseits beliebte Pfifferling (*Cantharellus cibarius*) z.B. geht in den Niederlanden stark zurück. Die Gründe für die Gefährdung von Mykorrhiza-Pilzen sind vielfältig:

- Durch Versiegelung und Bewirtschaftung von Böden schwindet der Lebensraum.
- Stickstoffeinträge führen dazu, dass Pflanzen nicht mehr auf ihre Mykorrhiza-Partner angewiesen sind, weil verwertbarer Stickstoff in genügender Menge für sie zur Verfügung steht. Daher stellen sie die Zuckerlieferungen an die Pilze ein, die dadurch geschwächt werden und schließlich absterben.
- Durch Bodenversauerung kommt es zur Freisetzung von Schwermetallsalzen wie Zink, Blei oder Kupfer, die nachweislich einen negativen Einfluss auf Mykorrhiza haben.
- Kalkung soll die negativen Folgen der Versauerung abpuffern, verschiebt aber die Artenzusammensetzung der Mykorrhizapilze in einem Gebiet.



Naturschutz und Biologische Vielfalt 70 (8)



Die „Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands“ umfasst mehr als 6.000 im Bestand bedrohte Großpilze.



Der Königs-Röhrling ist in Deutschland stark gefährdet.
Foto: R. Wald





Angewandte Mykorrhiza

Mykorrhiza im Einsatz

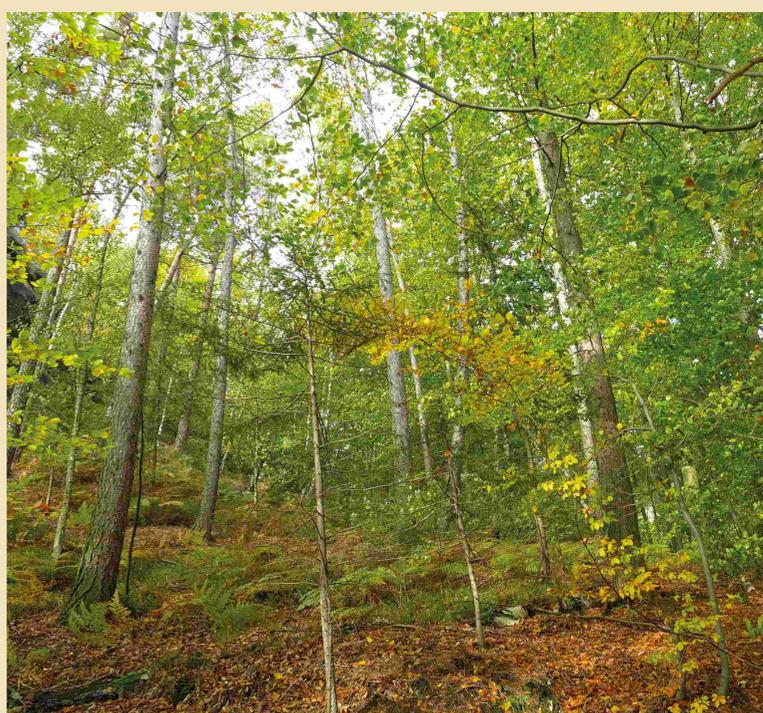
Mykorrhiza bringt viele Vorteile für Pflanzen, die auch vom Menschen genutzt werden. Dazu gehören die Bäume in den Forstwäldern, die Nutzpflanzen in der Landwirtschaft und die Zierpflanzen im Gartenbau. Diese Vorteile kann man gezielt fördern. Entweder indem man die natürlich vorhandene Mykorrhiza schützt und pflegt oder indem man Mykorrhiza-Pilze vermehrt und die entsprechenden Pflanzen damit impft. Solche Mykorrhiza-Präparate sind Mischungen oder Reinkulturen von bestimmten Mykorrhiza-Pilzen als Flüssigkeit, Gel, Pulver oder Granulat. Sie sind bisher aber noch relativ teuer.



Getreideacker mit angegliedertem landwirtschaftlichen Betrieb.



Bunt bestücktes Beet einer Landesgartenschau.



Mischwald aus Laub- und Nadelbäumen im Herbst.



Etwa 80 Euro kostet es, einen Hektar Maisacker mit Pilzen zu impfen, weshalb diese Präparate bisher eher für empfindliche Kulturpflanzen oder Einzelanwendungen benutzt werden.





Angewandte Mykorrhiza: Forstwirtschaft

Pilze im Forst

Je mehr Mykorrhiza-Pilze in einem bestimmten Gebiet vorhanden sind, desto größer sind die Pflanzenvielfalt und die Produktivität dieses Standortes. Die größte Gefahr für Pilze allgemein und somit auch für Mykorrhiza-ausbildende Arten ist die Lebensraumzerstörung. Sekundär kommt es auch zu einer Schädigung der Wirtsbäume, die durch den Wegfall oder die Reduzierung einer Mykorrhiza weniger Mineralsalze und Wasser erhalten. Forstwirtschaftliche Maßnahmen sollten daher auf den Erhalt der Mykorrhiza-Pilze ausgelegt sein. So sollten Bodenverdichtungen durch Fahrzeuge, der Einsatz von Fungiziden und Kalkung vermieden werden. Auch Stickstoffverbindungen aus Abgasen von Verkehr und Industrie führen als Düngung zum Rückgang von Mykorrhiza, da die Bäume dann auch ohne Pilzpartner genug Mineralsalze erhalten.



Durch schweres Gerät zerstört und verdichteter Waldweg.



Natürlicher Buchenmischwald im Odenwald.



Zahlreiche frisch geschlagene Baumstämme warten auf den Abtransport.

Aufforstungen

Jungbäume sind sehr empfindlich gegenüber Hitze oder Trockenheit. Helfen können da Mykorrhiza-Präparate. Jungbäume, die im Anfangsstadium mit Mykorrhiza-Präparaten angeimpft wurden, haben eine verbesserte Wasser- und Mineralsalzversorgung, da die verschiedenen Pilzarten aus den Präparaten durch ihre unterschiedlichen Myzelformen unterschiedlich weit entfernte Mineralsalz- und Wasservorkommen erreichen. Außerdem verbessern sich die Bodenhaftung und die Immunabwehr der Jungbäume. Auf gleiche Weise profitieren auch junge Straßen- und Parkbäume in der Stadt, die oft besonderen Stressfaktoren ausgesetzt sind, von einer Animpfung mit Mykorrhiza-Präparaten.

Bei der Aufforstung von Heideflächen ergeben sich oft Probleme. Grund dafür sind die mit der Heide vergesellschafteten Pilze: Sie produzieren Hemmstoffe. Nur wenige Pilzarten, die Ektomykorrhiza mit Bäumen bilden, sind gegen diese Hemmstoffe resistent.



Aufforstung einer Lichtung mit verschiedenen jungen Laubbäumen.



Eine Aufforstung mit Kiefern (*Pinus*), die bereits mehrere Jahre alt ist.





Angewandte Mykorrhiza: Forstwirtschaft

Fremd oder heimisch, wer gewinnt?

Im Zuge des Klimawandels dürfte sich die Baumartenzusammensetzung der deutschen Wälder wohl in den nächsten Jahrhunderten erheblich ändern. Mehrere der heute noch verbreiteten Arten werden vermutlich nicht rechtzeitig mit den sich verändernden Umweltbedingungen oder neuen Schädlingen zurechtkommen und absterben. Ziel ist daher ein möglichst artenreicher Wald, der in der Summe optimal an diese Änderungen angepasst ist. Ein wichtiger Faktor ist das gezielte Aufforsten mit Baumarten aus anderen Regionen, in denen jetzt schon warme und trockene Bedingungen herrschen. Bäume aus diesen Regionen sollten an dieses Klima angepasst sein und beim Aufbau intakter Waldökosysteme helfen. Weiterhin ist es wichtig, dass es sich hierbei um nicht invasive Arten handelt, die keine negativen Auswirkungen auf Lebensräume oder Artengefüge haben.



Zahlreiche abgestorbene Fichten (*Picea abies*) am Waldrand.

Potenzielle Alternativen

Es gibt mehrere Arten, wie die nordamerikanischen Douglasien (*Pseudotsuga menziesii*) und Rot-Eichen (*Quercus rubra*), die für die Forstbetriebe eine echte Bereicherung der potenziell pflanzbaren Bäume darstellen. Allerdings sollte man die möglichen Pilzpartner nicht außer Acht lassen. Auch dazu gibt es Untersuchungen, die z.B. die Zerr-Eiche (*Quercus cerris*) aus Süd- und Südosteuropa und die Baum-Hasel (*Corylus colurna*) aus Südosteuropa und Vorderasien als gute Wahl ansehen. Deren Artenspektrum von Mykorrhiza-Pilzen ähnelt dem von einheimischen Bäumen. Dies erhöht die Chance, dass diese Bäume sich hier etablieren und gut gedeihen.



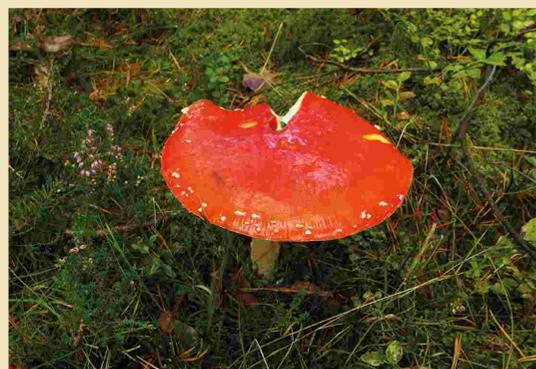
Die Rot-Eiche (*Quercus rubra*) kommt ursprünglich aus Nordamerika.



Die Eicheln der Rot-Eiche sind auffällig breit-eiförmig.

Auswirkungen

Bisher ist noch für zahlreiche Bäume nicht bekannt, welche Pilzpartner sie bevorzugen oder ob sie eine Bindung nur mit einer bestimmten Pilzart eingehen. Anpflanzungsversuche von Kiefern in Puerto Rico scheiterten wohl mangels passender Mykorrhiza-Pilze.



Fliegenpilz (*Amanita muscaria*)

Durch das Einbringen neuer Baumarten können zwar auch nicht heimische Mykorrhiza-Pilze mit eingeführt werden, dies wird aber vermutlich keinen negativen Einfluss auf die heimischen Pilze oder Bäume haben. In Neuseeland z.B. wurde der Fliegenpilz aus Versehen eingeführt und man hat ihn dort nach Jahren als Partner einheimischer Bäume gefunden. Dies zeigt, dass Mykorrhiza-Pilze in der Lage sind, ihren Wirkkreis von potenziellen Pflanzenpartnern unter bestimmten Umständen zu erweitern.





Angewandte Mykorrhiza: Landwirtschaft

Pilze auf dem Acker

Von zahlreichen Kulturpflanzen wie Getreide, Wein und vielen mehr ist bekannt, dass sie arbuskuläre Mykorrhizen bilden. Diese verbessern die Mineralsalz- und Wasseraufnahme der Pflanzen. Daher brauchen Kulturpflanzen mit Mykorrhiza weniger Dünger. Zudem sind diese Pflanzen widerstandsfähiger gegen Schädlinge. Bisher spielt die gezielte Nutzung der arbuskulären Mykorrhiza bei der Bewirtschaftung von landwirtschaftlich genutzten Flächen jedoch eine eher untergeordnete Rolle. Dafür gibt es mehrere Gründe:

- Eine intensive Bodenbearbeitung schädigt das Myzel.
- Der Einsatz von Düngemitteln führt dazu, dass die Pflanzen nicht auf die Mykorrhiza angewiesen sind. Folglich bekommen die Pilze von den Pflanzen weniger Zucker und sterben dadurch ab.
- Es ist noch nicht genug darüber bekannt, welche Pflanzen mit welchen Pilzen erfolgreiche Mykorrhizen ausbilden.
- Die Vermehrung von geeignetem Pilzmaterial ist nur unter Zuhilfenahme der Pflanzenpartner möglich und nicht mit isolierten Pilzen, was zu hohen Preisen der Präparate führt.
- Der Nutzen der Präparate hängt sehr von den Standortfaktoren wie z.B. Mineralsalzversorgung, Wasserverfügbarkeit, Bodenverdichtung etc. ab.



Ein frisch mit Gülle gedüngtes Maisfeld.



Ein Getreidefeld mit Gerste (*Hordeum*) und Roggen (*Secale*).



Für mehr Ertrag können Weinpflanzen (*Vitis vinifera*) mit Mykorrhiza-Pilzen beimpft werden.



Lagerplatz für Kunstdünger.





Angewandte Mykorrhiza: Landwirtschaft

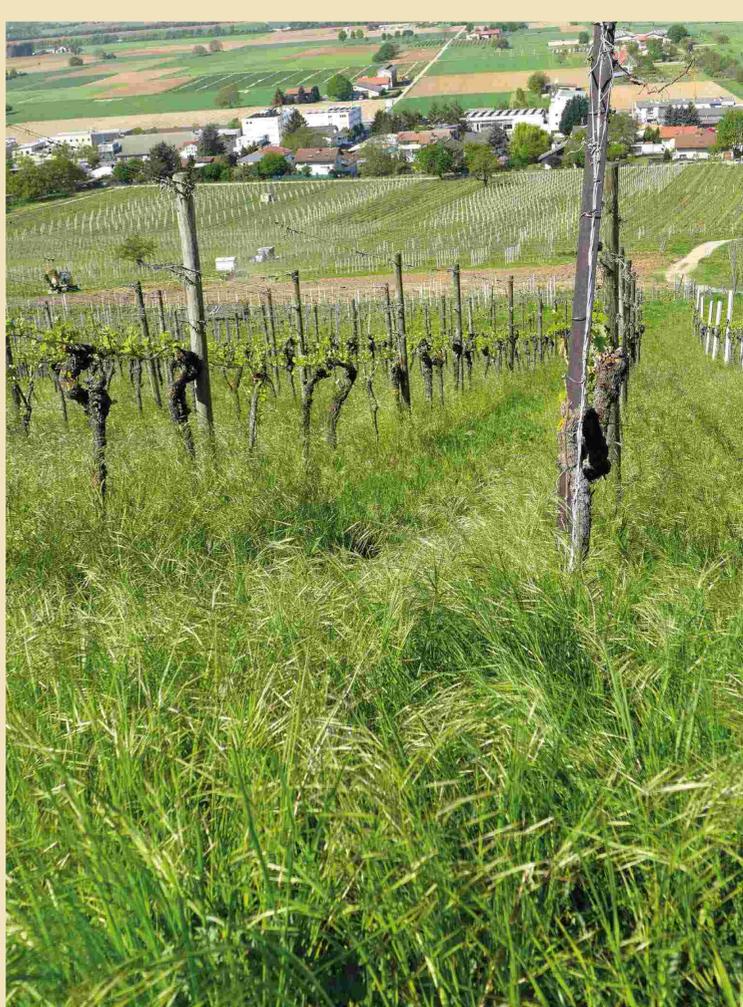
Fruchtfolge

Besondere Beachtung muss auch die Fruchtfolge finden, wenn arbuskuläre Mykorrhiza erfolgreich zum Einsatz kommen soll. Getreidearten und zahlreiche weitere Gräser können beispielsweise mit Pilzen arbuskuläre Mykorrhiza ausbilden und davon profitieren. Doch der anschließende Anbau von Kreuzblütlern (*Brassicaceae*) wie Raps (*Brassica napus*) oder Gänsefußgewächsen (*Amaranthaceae*) wie Rübe (*Beta vulgaris*) schwächt die Mykorrhiza-Pilze im Boden, da diese Pflanzen keine Mykorrhiza ausbilden und die Pilze somit nicht mit Zucker versorgt werden. Werden danach wieder Feldfrüchte wie Getreide oder Hülsenfrüchte angebaut, die von einer Mykorrhiza profitieren könnten, müssen die Pilze sich erst wieder entwickeln. Der positive Effekt ist dann nicht so groß wie er z. B. ohne Raps in der Fruchtfolge sein könnte. Bleiben jedoch Unkrautstreifen am Ackerrand stehen oder wird eine Gründüngung angelegt, bleiben auch die Mykorrhiza-Pilze erhalten, da die darin enthaltenen Beikräuter mögliche Mykorrhiza-Partner für die Pilze sind.

Positive Beispiele für die gezielte Anwendung von Mykorrhiza zeigen sich im Weinbau. Dort wurden bei einem Animpfen von frisch gepflanzten Weinreben mit Mykorrhiza-Präparaten eine Reduzierung des Trockenstresses und eine geringere Anfälligkeit für Pathogene festgestellt.



Von Kreuzblütlern ist keine Ausbildung von Mykorrhizen bekannt. Hederich (*Raphanus*) hilft jedoch gegen Fadenwürmer, die Weinpflanzen (*Vitis*) schädigen.



Gräser (*Poaceae*) bilden mit verschiedenen Pilzen Mykorrhizen aus und können darüber die Mineralienverfügbarkeit steigern, was wiederum positiven Effekt für den Wein hat.





Angewandte Mykorrhiza: Gartenbau

Pilze im Garten

Beim Anbau von Kulturpflanzen wie auch im Zierpflanzenbau werden regelmäßig Düngemittel eingesetzt. Statt aber dem Boden künstlich Stickstoff und Phosphor zuzufügen, könnte man auf Mykorrhiza-Pilze zurückgreifen. Sie sind in der Lage, gebundenen Stickstoff oder Phosphat in Zusammenarbeit mit Bodenbakterien für die Pflanzen verfügbar zu machen.

Aufzucht junger Pflanzen

Weit verbreitet in Gärtnereien und Baumschulen ist die Aufzucht junger Pflanzen aus Setzlingen oder dem Teilen von Pflanzen. Hierzu schneidet man Blätter in kleine Teile und steckt sie in die Erde, damit Wurzeln ausgebildet werden. Besonders diesen sehr empfindlichen Setzlingen können unterstützende Mykorrhiza-Präparate helfen. Gibt man sie beim Einpflanzen an die Wurzel, gehen sie im optimalen Fall eine Mykorrhiza mit den noch jungen Wurzeln ein und versorgen die Pflanze in der kritischen Anfangszeit mit Mineralsalzen und Wasser. Ob sich eine Mykorrhiza-Symbiose in einer verbesserten Leistung der Wirtspflanze äußert, hängt neben äußeren Bedingungen auch von der genetischen Ausstattung einer Pflanze ab. Gerade bei Kulturpflanzen mit ihren unterschiedlichen Sorten und Züchtungen gibt es unterschiedliche Reaktionen auf die Besiedelung durch einen Mykorrhiza-Pilz.



Die Aufzucht von Jungpflanzen kann durch Animpfen mit Mykorrhizen unterstützt werden.



Die Garten-Petunie (*Petunia x hybrida*) gibt es in zahlreichen verschiedenen Färbungen.



Auf Selbstpflückfeldern kann die Mykorrhiza zu länger haltbaren und reichblütigeren Pflanzen führen.

Die Garten-Petunie wird schon seit mehreren Jahren als Modellpflanze für die Mykorrhizaforschung genutzt.



Mykorrhiza im Kochtopf



Die Guten ins Töpfchen ...

Die meisten haben vermutlich bereits Mykorrhizapilze gegessen, ohne es gewusst oder wahrgenommen zu haben. Steinpilze, Maronen, Pfifferlinge, sie alle sind Mykorrhizapilze, kommen also nur bei bestimmten Bäumen vor. Doch auch viele giftige Arten zählen zu den Mykorrhizapilzen.

Beim Pilzesammeln „erntet“ man die Fruchtkörper. Sie werden aus dem Boden gedreht oder mit einem Messer abgeschnitten. Dabei schädigt man das unterirdische Pilzmyzel und die Mykorrhizagemeinschaft nicht. Das entstandene Loch sollte jedoch mit Erde oder Moos bedeckt werden, damit das an der Schnitt- oder Bruchstelle freigelegte Myzel nicht durch Austrocknung beschädigt wird.



Steinpilz ist nicht gleich Steinpilz, denn es gibt zahlreiche verschiedene Arten. Der Fichten-Steinpilz (*Boletus edulis*) bildet vor allem mit Fichten, aber auch mit Buchen und Eichen eine Mykorrhiza. Foto: R. Wald



Pilzernte mit dem Messer.



Wer die Pilze direkt an Ort und Stelle putzt und erst dann ins Sammelkörbchen legt, hat zu Hause weniger Arbeit. Hier vorbildliches Sammelgut von Marone, Reizker, Steinpilz und Co.

Es empfiehlt sich, den Pilz mit kompletter Stielbasis zu entnehmen, wenn man sich bei der Artbestimmung am Standort unsicher ist. So kann man zu Hause in Ruhe alle Merkmale studieren.



Man sollte nur Arten sammeln, die man kennt und sicher bestimmen kann. Im Sammelkorb sollten nur frische Pilze, deren Hüte sich nicht eindrücken lassen und die man in der Qualität auch auf dem Markt kaufen würde, landen. Pilzvergiftungen durch den Verzehr von alten, überständigen Pilzen sind nicht selten. Die Pilze sollten keinesfalls in Plastiktüten gesammelt werden. Durch das „Schwitzen“ der Pilze in der Tüte zersetzt sich das Eiweiß schneller und sie können eher verderben.

Auch für Pilze gelten die gängigen Naturschutzregeln. Zahlreiche Speisepilze wie Steinpilze und Pfifferlinge stehen unter Naturschutz und dürfen nur in kleinen Mengen für den Eigenbedarf (in der Regel etwa 1–2 kg pro Sammler und Tag) gesammelt werden. Doch auch nicht unter Naturschutz stehende Pilze sollten zur Schonung der Vorkommen nachhaltig gesammelt werden. In Naturschutzgebieten darf grundsätzlich nichts gesammelt werden.



Essbare Pilze können zu zahlreichen Speisen verarbeitet werden. Oftmals wird es aber der Klassiker: Mischpilzpfanne!

Mykorrhiza im Kochtopf



Auswahl des Sammelortes

Zahlreiche Röhrenpilze, zu denen auch der Steinpilz zählt, haben jeweils unterschiedliche Laub- oder Nadelbäume als Mykorrhizapartner. So findet man den Flockenstieligen Hexenröhrling (*Neoboletus erythropus*) nur bei Fichten (*Picea abies*) oder den Echten Pfifferling nur bei Fichten oder Buchen (*Fagus sylvatica*). Aber auch zahlreiche Lamellenpilze, wie Fliegenpilz (*Amanita muscaria*), Pantherpilz (*A. pantherina*) oder Sprödblättler, zu denen Täublinge (*Russula*) zählen, sind Mykorrhizapilze verschiedener Pflanzen.

Im Frühjahr wird man Speisepilze am ehesten in Auwäldern und an Wegrändern finden, im Sommer auf Wiesen und in Wäldern und im Herbst vor allem in Wäldern und Parkanlagen.

Man muss nicht immer in den dichten Wald, um Speisepilze zu sammeln. An Wegrändern und in Parks wachsen ebenfalls Pilze.



Parklandschaft mit zahlreichen verschiedenen Baumarten und großen Wiesenflächen bieten vielen Pilzen eine Heimat.



Nadelwälder mit einer dichten Krautschicht aus Heidelbeeren bieten zahlreichen Pilzen Lebensraum.



Buchenwälder haben meist nur im Frühjahr eine dichte Krautschicht, die ab Sommer fast vollständig verschwunden ist. Hier kann man im Herbst zahlreiche Pilze finden.



Zahlreiche Hexenringe unterschiedlicher Pilzarten in einem moosigen Mischwald.

Mykorrhiza im Kochtopf



Bestimmungshilfen

In Büchern sind Speisepilze meist mit einem Piktogramm (Messer und Gabel) als essbar gekennzeichnet. Viele von ihnen haben aber unverträgliche oder giftige Doppelgänger. Deswegen ist es besonders wichtig, sich auch mit diesen auseinanderzusetzen.

Natürlich kann man nicht alle Pilze kennen. Deshalb empfiehlt es sich, Bestimmungshilfen mit auf den Spaziergang zu nehmen. Dies können zum einen Pilzbestimmungsbücher sein. Mit ihnen studiert man die verschiedenen Merkmale von Pilzen und lernt sie zu unterscheiden. Zum anderen gibt es Bestimmungssapps, die versprechen, Pilze anhand hochgeladener Fotos zu bestimmen. Sie können jedoch ein Buch nicht ersetzen und verleiten eventuell zu grob fahrlässigem Handeln. Als Anfänger ist es sicherlich am besten, sich einer Pilzwanderung oder -führung anzuschließen. Es gibt auch geprüfte Pilzsachverständige (PSV) in ganz Deutschland, die bei der Zuordnung der gesammelten Pilze behilflich sind, und Pilzkurse in verschiedenen Einrichtungen.

Die Deutsche Gesellschaft für Mykologie (DGfM) führt auf ihrer Internetseite eine regelmäßig aktualisierte „Positivliste der Speisepilze“, in der die derzeit als essbar geltenden Pilzarten gelistet sind.



Am besten ist es mit weiteren Interessierten und mit Hilfe von Pilzbüchern Merkmale und Unterschiede verschiedener Pilze zu studieren und so dazulernen.



Für Pilzbegeisterte



Begeistert von Pilzen

Die Deutsche Gesellschaft für Mykologie (DGfM) wurde im Jahre 1921 als „Deutsche Gesellschaft für Pilzkunde (DGfP)“ zur Förderung der wissenschaftlichen Pilzforschung, der Pilzkenntnis und der Pilzberatung gegründet. Die DGfM versteht sich als Interessenvertreter aller Mykologen und Pilzfreunde Deutschlands und somit aller Berufs- und Freizeitmykologen. Verschiedene Aufgaben wie Bildung, Beratung oder Forschung werden durch die Gemeinschaft wahrgenommen.

Die DGfM vertritt als nicht-staatliche Organisation den Natur- und Biotopschutz und versteht sich als zuständig in Fragen des Artenschutzes bei Pilzen. Zu diesem Zweck werden von der DGfM Daten über die Verbreitung der Pilzarten gesammelt, aus denen sich z.B. Rote Listen ableiten lassen. Zudem koordiniert die DGfM die bundesweite Pilzkartierung, unterstützt bei Kartierungsprojekten und ver-

öffentlicht die Ergebnisse auf der Webseite pilze-deutschland.de. Dennoch gibt es natürlich immer noch zahlreiche Daten, die bisher dort nicht eingeflossen sind.

Weiterhin betreibt die DGfM aktive Öffentlichkeitsarbeit, beispielsweise mit Vorträgen, Pilzwanderungen, Ausstellungen, Beteiligung am „Tag der Artenvielfalt“ und am „Tag des Pilzes“, Auswahl und Bekanntgabe des „Pilz des Jahres“.

Pilzsachverständige (PSV) beraten die Bevölkerung bezüglich Essbarkeit und Giftwirkung von Pilzen und ihrer Rolle für Mensch und Umwelt. Eine Liste mit PSVs nach Regionen sortiert, findet man auf der Homepage der DGfM (<https://www.dgfm-ev.de/>). Viele PSV arbeiten ehrenamtlich. Es gibt regelmäßig öffentliche Termine für Pilzberatungen.

Die Deutsche Gesellschaft für Mykologie (DGfM) versteht sich als Interessenvertreter aller Mykologen und Pilzfreunde Deutschlands.
Foto: DGfM/Rita Lüder

Begeistert von Pilzen
Deutsche Gesellschaft für Mykologie e.V.

Pilze

- ▲ gibt es überall
- ▲ vernetzen Bäume
- ▲ sind unersetzlich

www.dgfm-ev.de / www.pilze-deutschland.de **DGfM**

Pilz des Jahres 2021

Grünling

Tricholoma equestre
(L.) P. Kumm. 1871

Deutsche Gesellschaft für Mykologie e.V.
www.dgfm-ev.de

DGfM
Begeistert von Pilzen



Der Grünling (*Tricholoma equestre*), Pilz des Jahres 2021, wächst vor allem in sandigen Kiefernwäldern und bildet mit Kiefern Mykorrhiza. Foto: DGfM

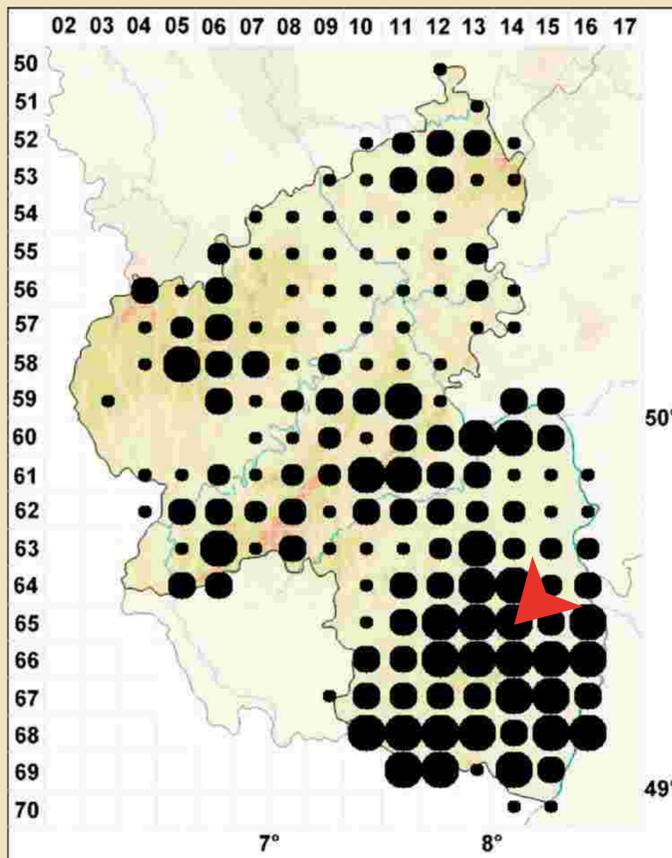
Für Pilzbegeisterte



Pilzkunde in Rheinland-Pfalz

Eine erstmalige flächendeckende Erhebung der Großpilze in Rheinland-Pfalz wurde im Rahmen der Erstellung des dreibändigen Werkes „Die Großpilze Deutschlands“ (1991, 1993, Krieglsteiner) durchgeführt. Bereits damals hatte diese aber keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Die meisten Informationen über das Vorkommen von Pilzen in Rheinland-Pfalz kommen mittlerweile durch Kartierungen und Erhebungen von ambitionierten Freizeitmykologen oder den pilzkundlichen Vereinen von Rheinland-Pfalz. Meist handelt es sich dabei um lokale Vereine mit nur wenigen, aber sehr aktiven Mitgliedern.



Durchforschungsgrad von Rheinland-Pfalz hinsichtlich seiner Pilzvielfalt. Je größer der Punkt ist, desto mehr Meldungen sind aus der Region bekannt. Solche Karten geben oftmals den Aktionsradius der Melder von Pilzfunden wieder – ein Fehlen von Nachweisen auf der Karte bedeutet nicht unbedingt ein Fehlen in der Natur. Der Rote Pfeil zeigt die Lage des Pfalzmuseums. Stand: September 2020, DGfM

Pilze kennenlernen

Um Pilzarten kennenzulernen, ist es empfehlenswert, bei Pilzführungen der hiesigen Vereine mitzulaufen. Dabei liegt der Fokus aber nicht immer auf Speisepilzen, sondern auch auf der Vielfalt allgemein und dem Naturschutz. Um die Verbreitung der Pilzarten nachvollziehen zu können, werden in der Regel alle Pilze, die gefunden werden, notiert. Hierzu müssen zahlreiche Arten mitgenommen und mit dem Mikroskop bestimmt werden. Hier und da werden auch Pilzausstellungen angeboten, auf denen man viel über Pilze lernen kann.

Eine Gruppe Pilzinteressierter bei der intensiven Auseinandersetzung mit den Bestimmungsmerkmalen in einem Pilzbestimmungsbuch.



Ausschnitt einer Frischpilzausstellung im Rahmen einer Pilztagung in Bayern 2017.

Pilzsammlung

Zahlreiche Belege von Pilzen, die in Rheinland-Pfalz gesammelt wurden, liegen in der Belegsammlung der POLLICHIA am Pfalzmuseum für Naturkunde in Bad Dürkheim. Sie umfasst nach derzeitigem Stand mehr als 10 000 Exsikkate (getrocknete Pilze) und wird nach und nach digitalisiert. Die Sammlungen werden stetig durch Mitglieder der POLLICHIA und weitere Personen erweitert. Diese Belege stehen auf Anfrage Wissenschaftlern und Wissenschaftlerinnen für ihre Forschung zur Verfügung.



Getrocknete Pilzproben werden in Schälchen oder Faltkapseln in der Sammlung der POLLICHIA archiviert und gelagert.



Die mykologische Sammlung aus getrockneten Pilzexsikkaten am Pfalzmuseum für Naturkunde – POLLICHIA-Museum in Bad Dürkheim.

Pilzvielfalt



▲ Käppchen-Morchel (*Morchella gigas*) Foto: R. Wald



▲ Bauchwehkoralle (*Ramaria pallida*) Foto: R. Wald



▲ Zottiger Birken-Milchling (*Lactarius torminosus*) Foto: K. Wehr



▲ Goldstieliger Trompetenpfefferling (*Cantharellus lutescens*) Foto: R. Wald



▲ Gezonter Ohrklappenpilz (*Auricularia mesenterica*) Foto: R. Wald



▲ Aderiger Morchelbecherling (*Disciotis venosa*) Foto: R. Wald



▲ Honiggelber Hallimasch (*Armillaria mellea*) Foto: R. Wald



▲ Gemeiner Birkenpilz (*Leccinum scabrum*) Foto: R. Wald



▲ Frühjahrs-Lorchel (*Gyromitra esculenta*) Foto: R. Wald



▲ Indigo-Farbrindenpilz (*Terana caerulea*) Foto: R. Wald



▲ Orangeroter Ritterling (*Tricholoma aurantium*) Foto: R. Wald



▲ Rosaschneidiger Helmling (*Mycena rosella*) Foto: R. Wald



▲ Karbol-Egerling (*Agaricus xanthodermus*) Foto: K. Wehr



▲ Erdmuscheling (*Hoenuhelia pethaloides*) Foto: R. Wald

Pilzvielfalt



▲ Gemeiner Spaltblättling (*Schizophyllum commune*)



▲ Speisemorchel (*Morchella esculenta*) Foto: R. Wald



▲ Ochsenzunge (*Fistulina hepatica*) Foto: K. Wehr



▲ Schwarzweiße Becherlorchel (*Helvella leucomelaena*) Foto: K. Wehr



▲ Buckel-Tramete (*Trametes gibbosa*) Foto: R. Wald



▲ Österreichischer Kelchbecherling (*Sarcoscypha austriaca*) Foto: K. Wehr



▲ Judasohr (*Auricularia auricula-judae*) Foto: K. Wehr



▲ Gelbgrüner Kamm-Porling (*Albatrellus cristatus*) Foto: R. Wald



▲ Gemeiner Orangeseitling (*Phyllotopsis nidulans*) Foto: R. Wald



▲ Gift-Häubling (*Galerina marginata*) Foto: R. Wald



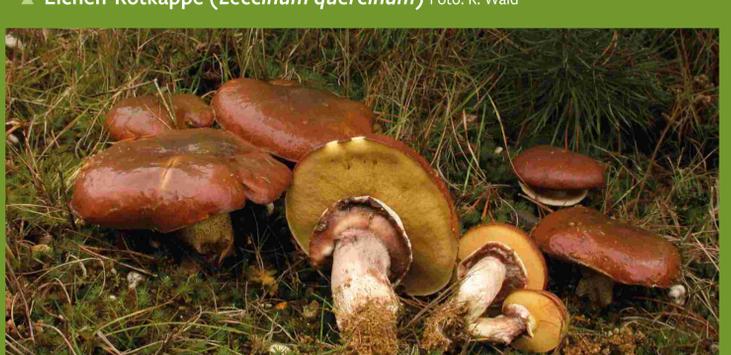
▲ Speise-Täubling (*Russula vesca*) Foto: K. Wehr



▲ Eichen-Rotkappe (*Leccinum quercinum*) Foto: R. Wald



▲ Wurzelnder Bitterling (*Caloboletus radicans*) Foto: K. Wehr



▲ Butterpilz (*Suillus luteus*) Foto: R. Wald



Ektomykorrhizapilze



▲ Krause Glucke (*Sparassis crispa*) Foto: R. Wald



▲ Dickschaliger Kartoffelbovist (*Scleroderma citrinum*) Foto: K. Wehr



▲ Weinroter Kiefern-Reizker (*Lactarius sanguifluus*) Foto: R. Wald



▲ Laubwald-Rotkappe (*Leccinum aurantiacum*) Foto: K. Wehr



▲ Perlpilz (*Amanita rubescens*) Foto: K. Wehr



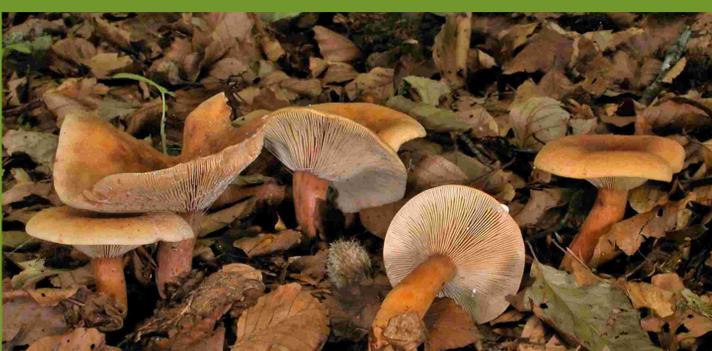
▲ Stachelbeer-Täubling (*Russula queletii*) Foto: K. Wehr



▲ Goldstieliger Trompetenpfefferring (*Cantharellus lutescens*) Foto: R. Wald



▲ Blaufüßiger Rauhfuß (*Leccinum cyaneobasileucum*) Foto: R. Wald



▲ Rotgegürtelter Milchling (*Lactarius rubrocinctus*) Foto: R. Wald



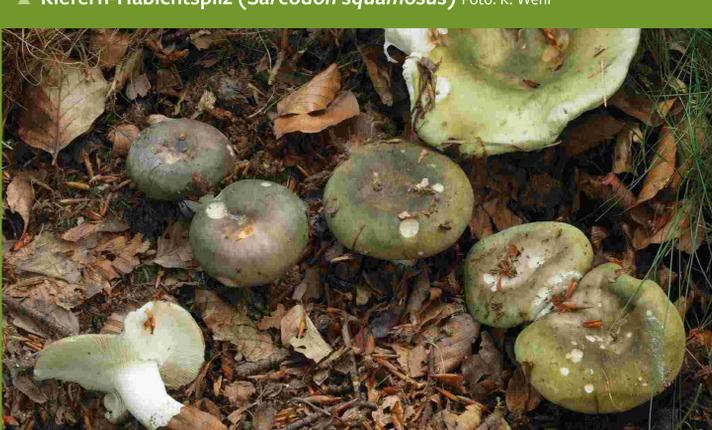
▲ Blutroter Hautkopf (*Cortinarius sanguineus*) Foto: R. Wald



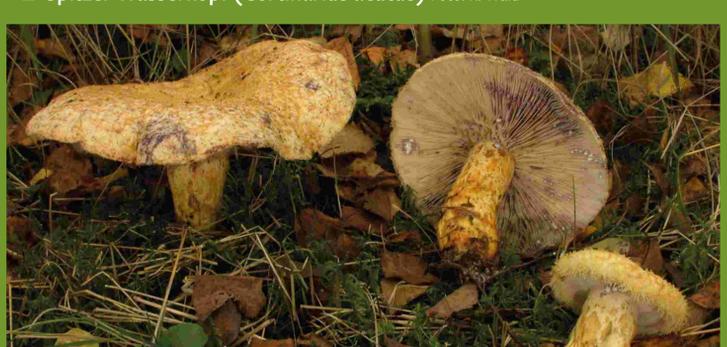
▲ Kiefern-Habichtspilz (*Sarcodon squamosus*) Foto: K. Wehr



▲ Spitzer Wasserkopf (*Cortinarius acutus*) Foto: R. Wald



▲ Frauentäubling (*Russula cyanoxantha*) Foto: K. Wehr



▲ Zottiger Violett-Milchling (*Lactarius repraesentaneus*) Foto: R. Wald



Ektomykorrhizapilze



▲ Grauer Wulstling (*Amanita excelsa*) Foto: K. Wehr



▲ Orangefuchsiges Rauhkopf (*Cortinarius orellanus*) Foto: R. Wald



▲ Flockenstieler Hexenröhrling (*Neoboletus erythropus*) Foto: K. Wehr



▲ Tiger-Ritterling (*Tricholoma tigrinum*) Foto: R. Wald



▲ Blaugrüner Reiftäubling (*Russula parazurea*) Foto: K. Wehr



▲ Sommer-Steinpilz (*Boletus reticulatus*) Foto: R. Wald



▲ Edel-Reizker (*Lactarius deliciosus*) Foto: K. Wehr



▲ Buchen-Klumpfuß (*Cortinarius anserinus*) Foto: K. Wehr



▲ Großer Schmierling, Kuhmaul (*Gomphidius glutinosus*) Foto: R. Wald



▲ Grüner Anistrichterling (*Clitocybe odora*) Foto: K. Wehr



▲ Gelber Erdritterling (*Tricholoma scalpturatum*) Foto: K. Wehr



▲ Espen-Rotkappe (*Leccinum leucopodium*) Foto: K. Wehr



▲ Violette Schweinsohr (*Gomphus clavatus*) Foto: R. Wald



▲ Satans-Röhrling (*Suillellus satanas*) Foto: R. Wald



Orchideenvielfalt



▲ Schwertblättriges Waldvögelein (*Cephalanthera longifolia*)



▲ Pyramiden-Hundswurz (*Anacamptis pyramidalis*)



▲ Purpur-Knabenkraut (*Orchis purpurea*)



▲ Breitblättriges Knabenkraut (*Dactylorhiza majalis*)



▲ Bienen-Ragwurz (*Ophrys apifera*)



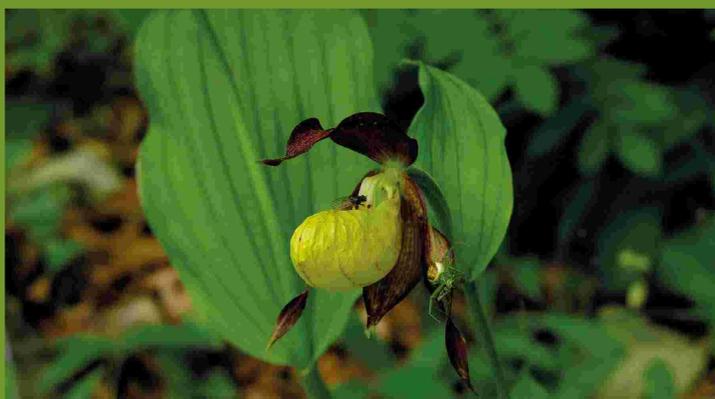
▲ Holunder-Knabenkraut (*Dactylorhiza sambucina*)



▲ Helm-Knabenkraut (*Orchis militaris*)



▲ Kleines Knabenkraut (*Orchis morio*)



▲ Frauenschuh (*Cypripedium calceolus*)



▲ Fliegen-Ragwurz (*Ophrys insectifera*)



▲ Männliches Knabenkraut (*Dactylorhiza mascula*)



▲ Bocks-Riemenzunge (*Himantoglossum hircinum*)



▲ Blasses Knabenkraut (*Orchis pallens*)



▲ Sumpf-Stendelwurz (*Epipactis palustris*)