

Pilzwurzeln

Die Lebensgemeinschaft zwischen den Feinwurzeln von Pflanzen mit bestimmten Pilzen wird Mykorrhiza (= Pilzwurzel) genannt. Das Wissen um diese Symbiose ist bereits mehr als 140 Jahre alt und geht auf den Berliner Forstbotaniker Prof. B. Frank zurück. Dieser sollte für den König von Preußen Trüffel züchten und entdeckte hierbei bereits die wichtigsten Veränderungen und enormen Vorteile, die in dieser Baum-Pilz-Gemeinschaft entstehen.

Neben unzähligen wissenschaftlichen Veröffentlichungen über die Genetik, den Stoffwechsel und die Artenkombinationen sind in den 1960er- bis 1990er-Jahren auch vielfältige Schriften über den erfolgreichen Einsatz im Forst erschienen. Ziel dieses Beitrages ist es, ein Grundverständnis für die Mykorrhiza zu vermitteln und Anwendungsbeispiele aufzuzeigen.

Pilz und Baum

Im Laufe von vielen Millionen Jahren hat sich zwischen dem überwiegenden Anteil der Landpflanzen und verschiedenen, nicht schädigenden Pilzarten eine gut funktionierende Lebensgemeinschaft entwickelt. Diese hat für die Wasserversorgung der Pflanzen und die Ernährung beider Lebewesen erhebliche Vorteile. So kann durch das wattefeine Pilzgeflecht deutlich mehr Wasser auch aus wurzelfernen Bodenbereichen und Bodenporen, für die die Feinwurzeln und auch Wurzelhaare zu dick



Abb. 1: Hemmung eines Schadpilzes (oben) durch antibiotische Ausscheidungen;
Foto: Dr. Jürgen Kutscheidt



Abb. 2: Hallimaschbefall kann durch Mykorrhiza deutlich verringert werden;
Foto: Dr. Jürgen Kutscheidt

sind, aufgenommen werden. Verglichen mit den Wurzelhaaren (die jedoch an vielen unserer Hauptbaumarten fast nur an sehr jungen Pflanzen auftreten), sind Pilzhyphen viel effektiver und können die Wasseraufnehmende Oberfläche auf das 100- bis 1.000-Fache vergrößern. Bei der Wasseraufnahme werden auch hierin gelöste Nährstoffe mit zur Pflanze transportiert und zusätzlich sind diese Pilze in der Lage, mittels Enzymen und von ihnen produzierten organischen Säuren Phosphat, Stickstoff, Kalium, Calcium, Magnesium, Eisen und weitere Mikronährstoffe aus dem Boden herauszulösen. Nur so können an sehr armen Standorten Gehölze überleben. Zusätzlich sind der Schutz der Wurzeln vor giftigen Metallen wie Aluminium⁺⁺⁺-Ionen und vor einigen bodenbürtigen Schadorganismen durch den Pilzbesatz als weitere wichtige „Benefits“ belegt.

Der Pilzpartner profitiert seinerseits durch die Versorgung mit Kohlenhydraten (aus der Photosynthese) von den Pflanzen. Hierbei erhält er etwa einen Anteil von 20 %. Für beide Parteien ist dieses „Geschäft“ äußerst lohnenswert und hat sich als stabilisierendes Element in der Natur bewährt.

Endo- und Ekto-Mykorrhiza sind die Bezeichnungen für die beiden Grundtypen der Lebensgemeinschaft. **Ekto-Mykorrhiza** (ektos = außen) sind mit bloßem Auge an der Wurzel erkennbar und bilden zumeist „richtige“ Pilzfruchtkörper (Steinpilz, Pfifferling, Fliegenpilz, Kartoffelbovist, Trüffel ...; in Mitteleuropa ca. 2.000 Arten). Im Gegensatz dazu sind die Veränderungen an der Feinwurzel bei der **Endo-Mykorrhiza** (endon = innen) nicht äußerlich sichtbar und die Pilze bilden keine Fruchtkörper. Weltweit werden ca. 200 Arten zu diesem Symbiosetyp gezählt. Die Sporen der beteiligten Pilze sind so winzig, dass man sie mit der Lupe suchen muss. Um diese Symbiose an den Wurzeln zu erkennen, kommen Mikroskop und Färbemethoden zum Einsatz.

An Ericaceen und Azaleen/Rhododendren kommen ebenfalls Endomykorrhizen vor, weil diese aber von völlig anderen Pilzarten gebildet werden, sind sie mit denen der anderen Gehölze nicht kompatibel.

Dagegen müsste man die „Mykorrhiza“, die in den Wurzeln von Orchideen beobachtet werden kann, eigentlich umbenennen, weil hier nur die Pflanze Vorteile hat, indem der Pilz das Keimen der Orchideen-Samen unterstützt und die Pilzfäden in den Wurzeln später von der Pflanze verdaut werden. Auch diese Pilzarten können nicht bei Gehölzen angewendet werden.

Endomykorrhiza oder arbuskuläre Mykorrhiza		Ahorne Eschen Kirschen Nussbäume Eberesche Eibe viele Sträucher	Baumarten mit beiden Mykorrhizatypen: Als Jungbäume und an nassen Standorten mehr „Endo“:
Ekto-Mykorrhiza		Buchen Eichen Hainbuche Linden Fichten Kiefern Hasel Erle	Als Altbäume und an trockenen Standorten mehr „Ekto“

Abb. 3+4: Beispiele für Baumarten mit Ekto- und Endomykorrhiza; Fotos: Dr. Jürgen Kutscheidt

Wie finden nun beide Parteien im Wurzelraum zueinander?

Die wattefeinen Hyphen (Pilzfäden) von Mykorrhizapilzen durchziehen den Boden im Wurzelraum von Pflanzen. Dort, wo sie auf noch nicht verholzte Wurzeln treffen oder wenn sie aktiv durch Wurzelausscheidungen (sogenannte Exsudate) angelockt zu diesen hinwachsen, bilden sie zunächst ein feines Geflecht um die Wurzelspitzen herum aus. Innerhalb von wenigen Stunden bis Tagen verdichtet sich das Hyphengeflecht und dann dringen einzelne Pilzhyphen zwischen die Zellen der äußeren Rindenschicht ein. Dieser Bereich, der Hartigsches Netz genannt wird, sorgt dann nach und nach immer intensiver für einen gewinnbringenden Austausch zwischen den beiden Organismen. Hier findet – zum gegenseitigen Vorteil – die wohl weltweit bedeutsamste Symbiose statt.

Neuere Forschungen belegen, dass das Eindringen der Pilzhyphen in das Pflanzengewebe keinen parasitischen Hintergrund hat. Alle Mykorrhizapilze haben eine saprophytische Herkunft – sie stammen also von Streu- und anderen organischen Materialien abbauenden Pilzen ab. Über wechselseitige biochemische Prozesse gehen beiden Partner eine friedliche, dauerhafte Lebensgemeinschaft (Koexistenz) ein.

In Wäldern findet über diesen natürlichen Weg eine Mykorrhizierung von Jungpflanzen relativ schnell und sicher statt. Durch Versauerung und hohe Stickstoffeinträge in den vergangenen 60 Jahren ist jedoch eine star-

ke Artenverarmung bei den Mykorrhizapilzen eingetreten, sodass hier nicht immer besonders leistungsfähige Arten und Pilzstämme vorhanden sind. Die Unterschiede zwischen den Pilzarten und sogar zwischen verschiedenen Individuen (Stämme) der gleichen Art in Bezug auf die Fähigkeit, mit bestimmten Gehölzarten eine Symbiose einzugehen, oder ihre Toleranz gegenüber Schadstoffen, hohen oder niedrigen pH-Werten oder einer Stickstoffbelastung können sehr groß sein. Es macht daher in vielen Fällen Sinn, leistungsstarke Pilzstämme zur Beimpfung einzusetzen.

Bei Baumartenwechsellern (z. B. nach Ausfall der Fichte) oder bei der Aufforstung von Acker- oder Weideflächen ist der gezielte Einsatz einer passenden Mykorrhiza besonders anzuraten, weil hier kaum ein geeigneter natürlicher Besatz vorhanden ist.

Methoden zur Beimpfung mit Mykorrhizapilzen

Die einfachste Methode zur Beimpfung wäre das Einbringen von Waldboden (entnommen unter der gleichen Baumart) bei der Pflanzung. Leider können hierbei auch eine Vielzahl von Schadorganismen (Hallimasch, Verticillium ...) mit verteilt werden, sodass dieser Weg nicht empfohlen werden kann. Beimpfungen mit Sporen von Mykorrhizapilzen sind auf wenige „Bauchpilze“ wie den Kartoffelbovisten oder den Erbsenstreuling beschränkt, weil nur von diesen Pilzen eine leichte Gewinnung des Sporenmaterials möglich ist. Weiterer Nachteil ist

auch, dass die Sporen nach ihrem Auskeimen sehr schnell vertrocknen können und somit auf günstige Witterungsverläufe angewiesen sind. Über viele Jahre wurden Impfstoffe von leistungsfähigen Pilzstämmen – die entweder aus der Natur entnommen oder gezüchtet wurden – unter vermehrt sterilen Bedingungen auf Nährböden produziert. Das war kostengünstig und die Fähigkeiten der Stämme waren bekannt. Leider können die Pilze mit zunehmender Kulturdauer „verweichlichen“ und sind dann häufig nicht konkurrenzfähig gegen Schädlinge oder sie verlieren die Fähigkeit, eine Symbiose einzugehen.

Bei einer unsterilen Anzucht von Mykorrhiza-Pilzstämmen an der Gehölzart, für die der Impfstoff später vorgesehen ist, kommen ausgetestete und entsprechend selektierte Pilze zum Einsatz. Hierdurch kann sichergestellt werden, dass der Pilz bereits das erforderliche „Werkzeug“ (Enzyme und Botenstoffe) zur Verfügung hat, um die Feinwurzel dieser Baumart besiedeln zu können. Bei diesem Verfahren lässt sich der Impferfolg und die Besiedlungsgeschwindigkeit direkt ablesen, eine Konkurrenzstärke entwickelt sich, die Impfstoffdichte nimmt immer mehr zu und durch das Kulturverfahren kann die Produktion von erwünschten Dauerorganen (Sklerotien, die über mehrere Jahre überdauern können) drastisch erhöht werden. Wird dieser sterile Impfstoff von den Jungpflanzen abgeerntet, stehen hierin Hyphen, Rhizomorphen, (Sporen), besiedelte Feinwurzelstücke und eine hohe Anzahl Sklerotien als Infektionsquellen zur Verfügung. Sollte durch eine



Abb. 5: Mit Mykorrhizapilzen beimpfte Eichensämlinge und gleich alte unbeimpfte Kontrollpflanzen; Foto: Dr. Jürgen Kutscheidt



Abb. 6: Schwere Startbedingungen: Wenige Monate nach dem Absterben der Fichten sind sehr viele Zersetzerpilze im Boden, aber ohne lebende Bäume kaum noch Mykorrhiza. Braune Nadelstreu heizt sich extrem auf und erhöht den Wasserbedarf der Verjüngung, um Blätter zu kühlen und vor dem Verwelken zu bewahren; Foto: René Klages

Dürre ein Teil verloren gehen, besitzt dieser Impfstoff noch weiterhin ein ausreichend hohes Infektionspotenzial.

Weil die Qualität eines Impfstoffs nicht einfach zu erkennen ist, sind von der Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e. V. (FLL) Hinweise zu „Anforderungen an Mykorrhiza-Impfstoffe“ erarbeitet worden. Neben der Einhaltung dieser FLL-Kriterien sollte unbedingt beachtet werden, dass der Impfstoff möglichst in der Nähe der Feinwurzeln ausgebracht wird und der ausgewählte Impfstoff zur Symbiosefähigkeit des Gehölzes passt.

Ein einmaliger Mykorrhiza-Einsatz ist in der Regel ausreichend – der Pilz breitet sich dauerhaft und selbständig aus. Es findet hierbei kein Verdrängen der noch vorhandenen natürlichen Pilzarten statt. Häufig kann beobachtet werden, dass die Artenzahl nach der Beimpfung der Bäume sogar wieder zunimmt.

Erfolgreicher Einsatz auch im Wald

Durch die Klimaveränderungen, mit deutlich höheren Sommertemperaturen und langanhaltenden Dürren wird es schwieriger, Bestände zu erhalten oder sie neu zu begründen. Auch Schäden durch Schwächeparasiten (z. B. Borkenkäfer, Hallimasch) nehmen hierdurch zu und Bäume und Symbiosepilze können in eine Abwärtsspirale geraten.

Neueste Forschungsergebnisse aus den USA (Allsup et al., University of Wisconsin, veröffentlicht in Science, Mai 2023) zeigen deutlich, dass sich mit Mykorrhizapilzen und anderen begleitenden Mikroorganismen die Toleranz von Bäumen gegenüber dem Klimawandel verbessern kann. Zu vergleichbaren Ergebnissen – hier bezüglich des Einsatzes in Waldschadensgebieten („Waldsterben“) und bei der Aufforstung von Halden aus dem Braunkohle- und Uranabbau – kamen in den letzten Jahrzehnten auch deutsche Wissenschaftler. Der-

zeit wird hier, gemeinsam mit der belgischen Forstverwaltung, an extrem armen und trockenen Sandstandorten der Einsatz von Mykorrhiza und Wasserspeicherstoffen geprüft.

Weiterführende Informationen, Veröffentlichungen und Hinweise können unter www.mycorrhiza.de oder über die Mycorrhiza-App (Apple und Android) angesehen werden.

Dr. Jürgen Kutscheidt
leitet das Sachverständigen-
büro für Bäume in Krefeld und
Hattingen



Dr. Sven Martens
war bis zu seinem Wechsel an
die Hochschule Weihenstephan-
Triesdorf im September 2023
Leiter des Referates Forstein-
richtung, Waldbewertung, Wald-
inventuren bei Sachsenforst

