

SYMBIOSEN MIT PILZEN

EIN UNZERTRENNLICHES PAAR: BAUM

UND PILZ

Pilze können sowohl Freunde, Hausmeister und Untermieter als auch Feinde der Bäume sein – und der Pflanzen generell. Doch in diesem Kapitel interessiert uns ihr freundliches Gesicht. Wie eng die nachfolgend beschriebene Partnerschaft ist, zeigt die Tatsache, dass Mykorrhizapilze ihre Partnerpflanzen aktiv gegen den Befall durch andere, weniger freundliche Pilze schützen.

Genau diesen Fachbegriff nehmen wir unter die Lupe: die **Mykorrhiza**. Das Wort stammt aus dem Griechischen: *mýkēs* bedeutet Pilz, *rhiza* heißt Wurzel. Es geht um die Symbiose von Pilzen und Pflanzen, bei der ein Pilz mit seinen Fäden (den Hyphen, deren Gesamtheit wird Myzel genannt) mit dem Feinwurzelsystem einer Pflanze in engem Kontakt steht und Austausch von Stoffen zum gegenseitigen Nutzen betreibt. Nach Schätzungen ist das wahrscheinlich bei 80 % oder mehr aller Landpflanzen der Fall, mangels der Unmöglichkeit genauer Zählungen unterscheiden sich die Angaben der Literatur hier geringfügig. Doch egal, ob 80 oder 90 %,

Typische Pilz-Baum-Partner in unseren Wäldern: Gemeine Fichte (*Picea abies*) und Fliegenpilz (*Amanita muscaria*). Wenn diese fruktifizieren, sind in der Regel auch Steinpilze nicht weit. Weitere Partnerbäume der Fliegenpilze sind Birken. In vielen Fällen können Bäume und Pilze mit verschiedenen Partnern eine Mykorrhiza bilden, doch sind zahlreiche Arten auch auf einen oder wenige Partner spezialisiert. Es handelt sich – wie in unseren Breiten typisch – um eine Ektomykorrhiza (Näheres auf der nächsten Seite).



Ein Zitat beschreibt die Ektomykorrhiza treffend. Es stammt vom deutschen Biologen Albert Bernhard Frank (1839 – 1900), der das Wort Mykorrhiza als erster in das Fachvokabular der Biologie eingeführt hat:

„[...] daß gewisse Baumarten [...] sich im Boden nicht selbständig ernähren, sondern überall in ihrem gesamten Wurzelsystem mit einem Pilzmycelium in Symbiose stehen, welches ihnen Ammendienste leistet und die ganze Ernährung des Baumes aus dem Boden übernimmt [...] Dieser Pilzmantel hüllt die Wurzel vollständig ein, auch den Vegetationspunkt derselben lückenlos überziehend, er wächst mit der Wurzel an der Spitze weiter und verhält sich in jeder Beziehung wie ein zur Wurzel gehörendes, mit dieser organisch verbundenes, peripheres Gewebe. Der ganze Körper ist also weder Baumwurzel noch Pilz allein, sondern ähnlich wie ein Thallus der Flechten eine Vereinigung zweier verschiedener Wesen zu einem einheitlichen morphologischen Organ, welches vielleicht passend als Pilzwurzel, Mykorrhiza bezeichnet werden kann [...]Dieser (der Mantel) liegt der Wurzelspitze nicht bloß innig auf, sondern von ihm aus dringen Pilzfädchen auch zwischen den Epidermiszellen in die Wurzel selbst ein [...].“

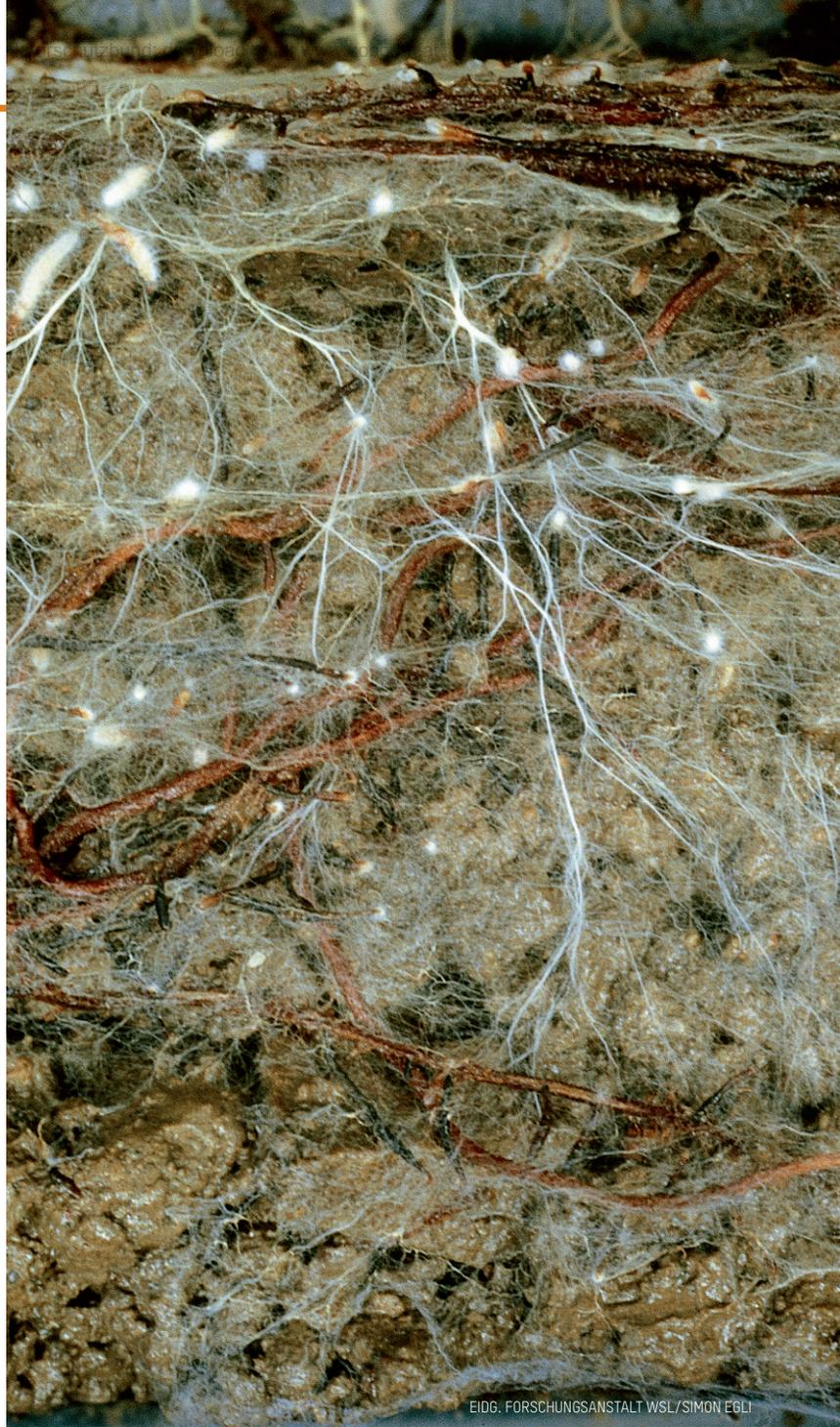


Pilzfäden eines Mykorrhizapilzes durchdringen den Boden und vergrößern damit für die Pflanze die aktive Oberfläche zur Aufnahme von Wasser und Nährstoffen. Diese werden in den sog. Rhizomorphen (Fadenbündeln) direkt zu den Mykorrhizen transportiert.

Gelegentlich sind auch Schimmelpilze wie diese Jochpilze Partner bei der Ektomykorrhiza.



PIXABAY



EIDG. FORSCHUNGSANSTALT WSL/SIMON EGLI

die Pilz-Pflanze-Partnerschaft ist die Norm und nicht etwa die Ausnahme. Das Grundprinzip der Mykorrhiza bleibt bei allen ihren Formen gleich: Pilzhyphen durchziehen den Boden, um Nährstoffe und Wasser zu den Pflanzen zu transportieren.

Man unterscheidet zwischen Ektomykorrhiza, Endomykorrhiza und Zwischenformen (z. B. die arbuskuläre Mykorrhiza, AM). Bei der Ektomykorrhiza formt der Pilz eine Hülle oder „Mantel“ um die Wurzelspitzen der Pflanzen. Zwar dringen dabei Pilzhyphen (Fäden) in das Rindengewebe der Wurzel ein, jedoch nur in die Zellzwischenräume und nicht in die Zellen selbst. Die Partnerpilze bei der Ektomykorrhiza sind vorwiegend Ständerpilze (Basidiomyceten), seltener Schlauchpilze (Ascomyceten), gelegentlich auch zu den Schimmelpilzen zählende Jochpilze (Zygomyceten).





Gewisse Mykorrhizapilze bilden unter erhöhtem Stickstoffeintrag keine Mykorrhizen mehr aus, wodurch das Substrat schlechter zusammengehalten wird (linkes Bild). Das rechte Bild zeigt eine gesunde Mykorrhiza. Bei hohen Stickstoffkonzentrationen wird der Austausch von Nährstoffen und Kohlenhydraten zwischen Pilz und Pflanze reduziert, was sich sowohl auf die Baumgesundheit als auch die Fruchtkörperbildung negativ auswirken kann. Das zeigen Feldbeobachtungen und Düngungsexperimente.

In den äußeren Schichten der Wurzeln des pflanzlichen Wirtes bildet sich das so genannte Hartigsche Netz (nach dem deutschen Forstbotaniker Robert Hartig, 1839 – 1901), ein dichtes Netzwerk bestehend aus Hyphen der symbiontischen Pilze. Sie dient einem effektiveren Stoffaustausch und der besseren Nährstoffaufnahme des Pilzes aus dem pflanzlichen Wirt.

WURZELSYMBIOSE EKTOMYKORRHIZA. Für den Pilzfreund in unseren Breiten, der gern „in die Schwammerln geht“, ist sie von entscheidender Bedeutung, denn sie ist jene in mitteleuropäischen Wäldern am häufigsten vorkommende Wurzelsymbiose mit Bäumen. Die meisten geläufigen Ständerpilze, die wir sammeln, fotografieren oder bloß bewundern, verdanken wir gerade der Ektomykorrhiza: die beliebten Röhrlinge, Pfifferlinge, Täublinge und Milchlinge, die extrem artenreichen Schleierlinge (*Cortinarius*; diese sollten aber unerfahrene Pilzfreunde nicht sammeln). Aber auch Ritterlinge (viele giftige Arten), Schnecklinge und die Wulstlinge sowie Knollenblätterpilze, deren Zahl auf geschätzte 1.000 Arten weltweit anwachsen wird und die man wegen der tödlichen Giftigkeit einiger Vertreter sehr gut kennen muss, zählen dazu. Doch auch manche Schlauchpilze (Ascomyceten) wie die Trüffel verdanken wir der Ektomykorrhiza. Während die Pflanzenpartner an geeigneten Standorten manchmal auch ohne Pilze gedeihen können, tun es andere nicht und sind obligat auf Pilze als Partner angewiesen. Praktisch immer ist es so, dass mit Pilzen ausgestattete Pflanzenpartner konkurrenzfähiger sind und bessere Chancen haben als solche ohne Pilz. Die meisten Birken-,



Die außerordentlich seltene Weiße Trüffel (*Tuber magnatum*), ein Schlauchpilz, verdanken wir der Ektomykorrhiza. FOTO: WOLFGANG SCHRUF





Kaiserling

Violetter Lacktrichterling

Gold-Röhrling

Herkuleskeule

Weitere Mykorrhizapilze (v. l.): Kaiserling (*Amanita caesarea*, „kaiserlicher“ Genuss, kommt in Österreich nur im Südburgenland und der Südoststeiermark vor), Violetter Lacktrichterling (*Laccaria amethystina*; essbar), Gold-Röhrling (*Suillus grevillei*; essbar; stark an Lärchen gebunden), Herkuleskeule (*Clavariadelphus pistillaris*; bitter, eher ungenießbar)

3. FOTO V. L.: WOLFGANG SCHRUF

Buchen-, Kiefern-, Weiden- und Rosengewächse, denen wir in unserer Natur begegnen, sind auf diese Art mykorrhiziert, während die meisten tropischen Bäume eine arbuskuläre Mykorrhiza bilden. Das Pilzgeflecht reicht bis weit in den Boden hinein und stellt eine gute und umfangreiche Nährstoff- und Wasseraufnahme sicher. Die Hyphen des Pilzes übernehmen gewissermaßen die Aufgabe der fehlenden Wurzelhaare, die durch die „Pilzhaube“ auf den Wurzeln aufhören zu wachsen. Zudem schützen die Mykorrhizen die Baumwurzel vor Infektionen durch das Eindringen anderer Bakterien oder Pilze.

WURZELSYMBIOSE ENDOMYKORRHIZA. Hier können die Verhältnisse etwas komplizierter sein. Grundsätzlich können die Zellen der Pilze (in ihren Hyphen zu Fäden vereinigt) nicht nur in die Zell-Zwischenräume der Pflanzenwurzeln eindringen, sondern sogar in die Pflanzenzellen selbst – überwiegend bei krautigen Pflanzen und nur selten bei Bäumen. Innerhalb der Zellen der Wurzelrinde des Pflanzenpartners bilden die Pilze ein sog. Haustorium aus, durch das Nährstoffe und Wasser effektiver abgegeben und Kohlenhydrate aufgenommen werden können. Dafür fehlt in diesen Fällen jenes typische Hyphennetz, das bei der Ektomykorrhiza die Wurzeln der Pflanzen umgibt.

Man muss sich das „Vertrauen“ bildlich vorstellen, das die Pflanzen den entsprechenden Pilzen entgegenbringen. Denn zuzulassen, dass ein fremder Organismus bis in die einzelnen Zellen des Körpers vordringt, könnte tödlich sein. Zahlreiche Pilze sind parasitär und bringen andere Pflanzen oder auch Tiere (und Menschen) um. Doch in diesem Fall kann die Pflanze dank ausgeklügelter biochemischer Kommunikation genau unterscheiden: Sie weiß, dass es bei diesem konkreten „Eindringling“ um ihr eigenes Wohl geht. Sie weiß, dass es ein stammesgeschichtlich uralter Freund ist, mit dem die Art seit ihrer Entstehung zum beidseitigen



“*Nur dank der Pilze schließen sich die Stoffkreisläufe der Natur.*”

Nutzen koexistiert hat. Durch das Pilzmyzel wird der Einzugsbereich der Wurzel wesentlich vergrößert und damit die Nährstoff- (vor allem Phosphor und Spurennährstoffe) und Wasseraufnahme verbessert. Eine mykorrhizale Pflanze hält außerdem Trockenheit besser aus und ist widerstandsfähiger gegenüber Schädlingen.

FLIESENDE ÜBERGÄNGE. Ekto- und Endomykorrhiza sind nicht immer scharf und eindeutig auseinanderzuhalten, da in vielen Fällen fließende Übergänge zwischen den beiden Formen auftreten. Deswegen brauchen wir weitere Begriffe, um dieses hochkomplexe Phänomen überragender Symbiose zu fassen: die Ekto-Endomykorrhiza sowie die sog. arbuskuläre Mykorrhiza, kurz AM. Bei diesem weit verbreiteten Spezialfall der Endomykorrhiza bilden sich in den beteiligten Wurzelzellen verzweigte, zarte Hyphen in Bäumchenform (Arbuskeln), welche die Kontaktfläche zwischen den beiden vergrößern und den Austausch der Stoffe intensivieren. In anderen Fällen bilden sich im Wurzelgewebe der Pflanze dickwandige Pilzzellen, so genannte Vesikel.

Unser Wissen über die AM-Pilze ist in den letzten Jahren enorm gewachsen. So weiß man heute, dass 80 - 90 % aller Pflanzen nicht ohne diese Symbiose leben oder gar leben können – weltweit existieren also die meisten verholzenden Pflanzen in Symbiose mit AM-Pilzen.

Die neuen Erkenntnisse haben auch zu tiefgreifenden systematischen Änderungen geführt: Für die AM-Pilze wurde eine eigene „Klasse“ geschaffen, die Glomeromycetes, die allesamt symbiotisch als AM-Pilze leben. Zahlreiche Gattungen und Arten sind bereits bekannt und diese entscheidende Pilzgruppe wird derzeit intensiv erforscht. Die bekannteste Gattung ist *Glomus* mit derzeit etwa 90 beschriebenen Arten. Die Pilze scheiden – mit weitreichenden positiven ökologischen Folgen – ein Protein namens Glomalin aus, das im Boden kleinste Erdpartikel zu kleinen Kügelchen verklebt, was die Bodenstruktur für Pflanzen verbessert und den Boden luftdurchlässiger und wasserspeichernder macht. Vermutlich existieren AM-Pilze bereits seit 900, andere vermuten sogar 1.200 Millionen Jahren. Sie sind somit wesentlich älter als Landpflanzen. Das Zusammenleben des AM-Pilzes *Geosiphon pyriformis* mit dem Cyanobakterium *Nostoc* wurde im vorherigen Abschnitt beschrieben.

Die Zahl jener Pflanzen, die von AM-Pilzen profitieren, ist enorm. Auch viele Nutzpflanzen sind darunter, wodurch sie zu einer gesteigerten



Praktisch alle Pilze in diesem Korb sind das Ergebnis einer Mykorrhiza. Die allermeisten Speisepilze unserer Breiten verdanken wir dem Zusammenleben von Baum (oder allgemein Pflanze) und Pilz. Es handelt sich um eine Symbiose im wahrsten Sinn des Wortes, bei der beide Partner einen beträchtlichen, oft entscheidenden und überlebenswichtigen Nutzen aus dem Zusammenleben ziehen...



“*Nichts auf unserer Welt
wäre ohne die Pilze denkbar.*”

Phosphat-Versorgung gelangen und so höheren Ertrag liefern. Um nur ein aktuelles Beispiel zu nennen, welche Bedeutung diese Pilze haben: Indem wir durch AM-Pilze geimpfte Bäumchen pflanzen, können wir der Ausdehnung der Wüsten entgegenwirken. Die Symbiose ermöglicht auch noch den letzten Tropfen Wasser für den Baum nutzbar zu machen. Wüsten erwachen mit Hilfe von Pilzen zu neuem Leben, wie es in der Sahelzone längst geschieht.



...Die Pflanzen bekommen Wasser und Nährstoffe, welche Pilze effektiver aus dem Boden ziehen können, die Pilze Produkte der Assimilation und zahlreiche weitere Stoffe bis zu den Vitaminen. Viele Pilze sind wie wir Menschen vitaminheterotroph und damit auf die Versorgung durch die Pflanzen angewiesen. Der Tauschhandel zwischen Pflanzen und Pilzen gehört zu den bedeutendsten Symbiosen der Erdgeschichte – zum Vorteil beider. ZEICHNUNG: EIDG. FORSCHUNGSANSTALT WSL

WAS ALSO LÄUFT DA UNTEN GENAU AB? Was Pilze für Wald und Flur leisten, weiß man so ungefähr seit etwa 140 Jahren, doch das enorme Ausmaß dieser Kooperation wurde erst nach und nach in den letzten Jahren sichtbar. Die Wissenschaft hatte lange Zeit mehr Erkenntnisse über ferne Himmelskörper als über das Geschehen in dem einen Meter unter unseren Füßen. Als Kinder haben wir über die Funktionsweise von Pflanzen gelernt, dass sie mit ihren Chlorophyll enthaltenden Blättern Energie einfangen und mit ihren Wurzeln Nährstoffe aus dem Boden holen. Es war ein Märchen oder bleiben wir sachlicher, es war eine unvollständige Teilwahrheit, völlig unzureichend um die Realität unserer Welt wiederzugeben. Dass die Pilze die eigentliche Brücke zwischen dem Boden und den Pflanzen bilden, wurde aus Unwissenheit lange Zeit übersehen.

Die Fungi, diese fädigen Unterweltbewohner, teilen gern: Fast ihre gesamte im Boden gesammelte Mineralienernte geben sie an „ihre“ Pflanzen ab, welche diese als photosynthetisch aktive Lebewesen besser brauchen können.

Die Beschenkten freuen sich und nehmen die Gabe begierig entgegen. Ihre Wurzeln würden nie so leicht und effektiv an die Mineralien herankommen wie die extrem dünnen Pilzfäden mit ihren überaus mächtigen Enzymen. Doch bedeutet Symbiose nicht nur Nehmen, sondern auch Geben. Also vergelten die Pflanzen den Pilzen ihre Leistung mit Zucker, den sie über die Photosynthese in großen Mengen produzieren – was Pilze nicht können. Sie haben kein Chlorophyll und können keine eigene Nahrung herstellen. Vielmehr ähneln sie in dieser Beziehung uns Menschen und den Tieren, die der Ökologe „heterotroph“ nennt: Sie müssen „fressen“. Der Tauschhandel mit den Pflanzen ist die ideale Lösung: Die Pilze kommen einfach an Zucker, die Pflanzen bequem an Mineralien. Bereits seit mehr als 460 Mio. Jahren profitieren beide von dieser wundersamen Kooperation.

Nichts auf unserer Welt wäre ohne die Pilze denkbar. Sie sind sowohl lebenswichtige Partner als auch (in manchen Fällen) tödliche Feinde aller anderen Organismen, eine eigenständige Gruppe, bei der wir erst lernen mussten, sie als solche aufzufassen. Nur gemeinsam mit ihnen, den Bäumen und allen anderen Kreaturen können wir leben und überleben. Nur dank der Pilze schließen sich die Stoffkreisläufe der Natur. Im nächsten Abschnitt präsentieren wir eine weitere unzertrennliche Partnerschaft: Die Flechten.



Das freut die Biertrinker

KEIN BIER OHNE PILZ ODER WARUM DER MENSCH SESSHAFT WURDE

Bier, Brot und Pilze gehören enger zusammen als die meisten Menschen denken. In der historischen Entwicklung war der Beruf des Bäckers eng mit dem des Brauers verbunden. Bäcker hielt man im Mittelalter oft für geniale aber ebenso für vom Teufel gesegnete Bierkünstler. Ihre Braukünste waren umso erstaunlicher, weil man den Grund für ihre Erfolge nicht verstand. Während den meisten Bierbauern im Mittelalter von zehn Versuchen Bier zu brauen nur zwei gelangen, hatten damit viele Bäcker kein Problem. Sie brauten drauf los – sogar ohne irgendwelche Zusätze wie Ochsgalle, Safran oder Hirschhornsalz – und ihr Bier gelang! Daher wurde das Braurecht im Mittelalter oft gut und gern an Bäcker vergeben. Zu verdanken war das wundersam anmutende Geschehen schlicht der Hefe. Hefen sind einzellige Pilze, die auch Spaltpilze genannt werden. In jeder Backstube schwirren noch heute Unmengen von mikroskopisch kleinen Hefezellen herum, die ein wunderbares obergäriges Bier erzeugen. Hinter den Vorgängen rund um die beliebten Getränke steckt *Saccharomyces cerevisiae*, die Back-, Bäcker- oder Bierhefe. Der aus dem Griechischen und Lateinischen stammende Gattungsname *Saccharomyces* bedeutet nichts anderes als Zuckerpilz. Und das Artbeiwort *cerevisiae* – des Bieres – legt nahe, dass dieser einzellige Pilz hinter dem Erfolg der Bäcker als Bierbrauer steckte (Spanien- und Portugalreisende kennen das Wort „cerveza“ und „cerveja“). „Zuckerpilz des Bieres“ – geradezu lieblich klingt dieser Name in den Ohren des Biertrinkers.

WIR SIND MIT DER BIERHEFE VERWANDT. Die für uns mit freiem Auge unsichtbaren, rundlichen bis

ovalen Zellen von *Saccharomyces cerevisiae* mit einem Durchmesser von fünf bis zehn Tausendstel Millimeter wurden aus mehreren Gründen zu einem der wichtigsten Modellorganismen der molekularbiologischen und zellbiologischen Forschung gekürt: Es ist einfach sie in Kultur zu halten. *Saccharomyces* war 1996 der erste Organismus mit Zellkern, dessen Genom vollständig ermittelt wurde, beim Menschen war dies erst 2003 der Fall. Es besteht aus 13.000.000 Basenpaaren und 6.275 Genen in 16 Chromosomen. Das menschliche Genom umfasst im Vergleich dazu 3.270.000.000 Basenpaare und etwa 23.000 Gene. Jedem Bierliebhaber lässt folgende Information warm ums Herz werden: Wir sind mit jenem Hefepilz, der Bier, Wein und Brot entstehen lässt, zu einem beträchtlichen Maß verwandt! Denn zu mehr als 23 % der Gene der Hefe lassen sich homologe Gene in unserem eigenen Genom finden.

DER BAYERISCHE BIOLOGIE-PROFESSOR Joseph Reichholf ging so weit, dass er das Sesshaftwerden des Menschen in direkten Zusammenhang mit den Anfängen der Bierproduktion brachte. Es entbehrt wie bereits gesagt nicht einer gewissen Ironie, dass ausgerechnet ein bayerischer Wissenschaftler zum Vorkämpfer dieser „Biertheorie“ wurde. Diese „bierige“ Spekulation sieht in etwa so aus: Vor grob gerechnet 12.000 Jahren,

als der Mensch als Nomade durch die Lande zog, nutzte er gelegentlich die Körner von Wildgetreide, die er mit harten Gegenständen auf flachen Steinen zertrümmerte oder zermalmte, um sie leichter verarbeiten zu können. Etwas von diesen Wildgetreideresten blieb unbeachtet liegen, bis der nächste Regen einige Tropfen Wasser auf sie fallen ließ. Der Steinzeitmensch beachtete dieses Malheur nicht weiter (Malheur ist übrigens auch eine belgische Biermarke!), bis er nach einigen Tagen bemerkte, dass sich Geruch und Aussehen der zurückgebliebenen Getreidereste und der Flüssig-



Bierhefe oder Germ, daneben *Saccharomyces cerevisiae* im Mikroskop

keit geändert hatten. Er steckte den Finger hinein (wir würden heute wohl auch nichts Anderes tun), schnüffelte daran, schleckte seinen Finger ab, machte ein stauendes Gesicht und rief Heureka! Das Bier war geboren!

FOTO HEFE: WIKIPEDIA/HELLAHULLA





FOTO: HEIDELINDE SOFIE PFELEGER

FLECHTEN: EINE VERBORGENE DREIERBEZIEHUNG

Im Jahr 2016 fand eine kleine Revolution in der Flechtenforschung statt: Seit 150 Jahren wusste man, dass die Lebensgemeinschaft von Pilz und Alge zum Vorteil beider Partner gereicht und dass es sich damit um eine Symbiose im wahrsten Sinn des Wortes handelt. Deshalb galt lange Zeit die einfache Gleichung Flechte = 1 Pilz + 1 Alge (oder 1 Cyanobakterium) als Garant für ein erfolgreiches Lebenskonzept. Durch einen erst 2016 im renommierten Wissenschaftsmagazin *Science* publizierten Beitrag wurde bekannt, dass ein weiterer Partner in Form von Hefepilzen nachgewiesen wurde.

Für jene, die etwas von Flechten verstehen, war die Sensation groß, und die Medien freuten sich über doppeldeutige Überschriften wie „Heimliche Dreier-Beziehung“. Als man feststellte, dass die neu entdeckten dritten Pilzpartner der Flechten Ständerpilze (Basidiomyceten) der Gattung *Cyphobasidium* sind, war die Überraschung groß, wird doch nur eine Minderheit der Flechten durch einen Ständerpilz als Mycobionten aufgebaut. Auch bei weiteren Studien an verschiedensten Flechten aus unterschiedlichen Teilen der Welt fand sich *Cyphobasidium* wieder, ein Hefepilz aus der Gruppe der

Rostpilzverwandten (Pucciniomycetes). Während die meisten Vertreter dieses Kreises Parasiten an Pflanzen, Tieren und Pilzen sind, tauchte unter ihnen nun dieser entscheidende Symbiosepartner auf, der die Wissenschaft auf den Kopf stellte. Dazu der Evolutionsbiologe Toby Spribille vom Institut für Pflanzenwissenschaften der Universität Graz: „Die Erkenntnis erschüttert unser grundlegendes Wissen über Flechten. Wir müssen von Neuem untersuchen, wie diese Lebewesen entstehen und wer welche Funktionen in der Gemeinschaft übernimmt. Offensichtlich sind die Hefepilze evolutiv gesehen schon lange Teil dieser Symbiose. Man vermutet, dass sie dem ‚Superorganismus Flechte‘, dessen substanzieller Teil sie sind, bei der Abwehr unerwünschter Mikroben helfen. Eine wichtige Rolle bei dieser Forschung spielte die Flechte *Vulpicida canadensis*, die häufig auf Baumrinden in Nordamerika wächst.“ Die neue vereinfachte Definition der meisten Flechten lautet somit: 1 Schlauchpilz + 1 Ständerpilz + 1 photosynthetisch aktive Alge oder Cyanobakterium.

Foto oben: Zierliche Gelbflechte *Rusavskia elegans*

„SUPERORGANISMUS“ FLECHTE VON ROMAN TÜRK

Flechten sind im Allgemeinen eine wenig bekannte und in den meisten Fällen unscheinbare Organismengruppe. Sie tritt in einer Vielfalt von verschiedensten Formen auf. Flechten – Lichenes – gehören in das Reich der Pilze. Die Flechtenpilze (Mykobionten) sind eine Gruppe, die sich wie alle Pilze heterotroph ernährt, das heißt, sie benötigen schon vorhandenes organisches Material als Nahrungsgrundlage. Allerdings haben sie im Laufe der Evolution die Fähigkeit entwickelt, mit Grün- und Blaualgen eine Organismengemeinschaft – Symbiose – zu bilden. Grünalgen und Blaualgen (Cyanobakterien) sind zur Photosynthese befähigt, das heißt, sie stellen ihre lebensnotwendigen organischen Stoffe Kohlenhydrate, Eiweiße und Fette mit Hilfe von Sonnenlicht aus CO₂ und Wasser her. Sie

sind also die Nahrungsgrundlage für den Pilzpartner. Und die Flechtenpilze haben es gelernt, diese Stoffwechselprodukte, vor allem Kohlenhydrate, den Grünalgen und Cyanobakterien (sog. Photobionten) so sorgsam zu entziehen, dass diese nicht absterben. Der Photobiont bildet also mit dem Flechtenpilz eine morphologische und physiologische Einheit – die Flechte eben! In der letzten Zeit wird auch das generelle Vorhandensein von Bakterien in dieser Symbiose diskutiert. Zur sexuellen Vermehrung ist allerdings nur der Flechtenpilz befähigt, weshalb sich der Artnamen einer Flechte immer auf den Pilzpartner bezieht.

Über 99 % der Flechtenpilze sind Schlauchpilze (Ascomyceten), weniger als 1 % Ständerpilze (Basidiomyceten). 31 Familien der Ascomyceten sind zur





Vom Pilz die Hülle, von der Alge die Fülle: Der Pilz ist das gestaltbildende Element einer Flechte, er bildet die obere und untere Rinde, zwischen denen die Algen- und Marksicht eingebettet sind. Diesen Flechtenkörper nennt man Lager oder Thallus, weil er weder in Wurzel, Stamm noch Blatt gegliedert ist. Der Pilz bildet Fruchtkörper, die Apothecien, aus – sie sind bei der Gefelderten Krustenflechte (*Lecanora chlorotera*) becherartig ausgebildet. FOTO: ROMAN TÜRK

Bildung von Flechten-Assoziationen befähigt. Daraus ist ersichtlich, dass die Flechtensymbiosen mehrfach und auf verschiedenen Wegen der Stammesgeschichte entstanden sind.

Bei den Photobionten gehören etwa 90 % der Abteilung der Grünalgen (Chlorophyta) an, etwa 10 % den Cyanobakterien (Blaualgen). Viele Flechtenpilze haben ein gewisses Auswahlvermögen für eine bestimmte Algenart entwickelt. Die Photobionten vermehren sich im Flechtenkörper nur vegetativ, ihr Anteil beträgt etwa 5 – 10 % des Gesamt-Trockengewichts und ernährt die restlichen 90 – 95 % des Flechtenpilzes. Dadurch erklärt sich das im Allgemeinen langsame Wachstum der Flechten. Allerdings können sie auch sehr alt werden. Von

einigen Krustenflechten der Hochgebirge und in den arktischen und antarktischen Gebieten wird ein Alter von über 3.000 Jahren und mehr angegeben.

Viele Flechten bilden Flechtensäuren aus. Das sind sekundäre Stoffwechselprodukte mit wichtigen Funktionen, z. B. als Schutz vor hoher Sonneneinstrahlung, Verringerung der Benetzbarkeit der Pilzfäden mit Wasser und der Abwehr von Fraßfeinden.

Flechten wachsen sehr unterschiedlich. Im einfachsten Fall bilden sie Krusten auf oder in Gestein, Boden, Erde, Rinde, ja sogar auf Glas und Metallen. Die Laub- oder Blattflechten bilden einen blättrigen, meist gelappten Thallus (= Lager) aus. Sie sind mit der Wuchsunterlage durch Hyphen oder Hyphenstränge (Rhizinen) verbunden. Die scheid-



SYMBIOSEN MIT PILZEN

benförmigen Thalli der Nabelflechten sind nur in der Mitte am Substrat befestigt. Die Strauchflechten bilden strauchige, zumeist aufrecht stehende Thalli aus, aber auch fädige Formen, dann meist hängende. Nur in seltenen Fällen wird die Form der Thalli von den Algen bestimmt, wie bei den Fadenflechten und den Gallertflechten, bei denen der Mykobiont auf oder in den Cyanobakterien-Kolonien wächst.

Flechten gehören zu den wechselfeuchten Organismen. Bei hoher Luftfeuchtigkeit, Regen und hohem Wassergehalt des Substrates weisen auch die Photobionten einen hohen Sättigungsgrad mit Wasser auf, sodass sie bei günstigen Lichtbedingungen photosynthetisch aktiv sein und somit dem Pilz Nahrung liefern können. Bei trockener Witterung können die Thalli fast vollständig austrocknen und fallen in einen „Trockenschlaf“. Die Flechten sind dann weder zur Photosynthese noch zur Atmung befähigt. Im Trockenzustand werden die Thalli vieler Flechten – vor allem Bodenflechten – spröde und splintern bei Trittbelastung. Dies ist ein wichtiger Mechanismus zur vegetativen Vermehrung.

Die Flechtenpilze und deren Photobionten sind an die ständigen Wassergehaltsschwankungen

angepasst, manche können auch den Wasserdampf aus der Atmosphäre aufnehmen und damit ihren Quellungszustand verbessern.

Auf der anderen Seite gibt es Arten, die eine Benetzung mit Wasser vollkommen vermeiden und wasserabweisende Stoffe in ihrem Thallus bilden. Diese hohe Austrocknungsfähigkeit ist bei vielen Arten verbunden mit einer enormen Resistenz gegenüber extremen Temperaturen. So vermögen viele Arten der Kältewüsten in arktischen, antarktischen Bereichen und im Hochgebirge noch bis zu $-18,5^{\circ}\text{C}$ Photosynthese zu betreiben. Sie ertragen im trockenen Zustand wochenlanges Einfrieren bis -60°C , kurzfristiges Einfrieren in flüssigem Stickstoff bis -196°C ohne nennenswerte Einschränkungen der Vitalität. Ähnliches gilt auch für hohe Temperaturen. In feuchtem Zustand allerdings schränken unsere einheimischen Arten die Photosynthese ab 32°C – 36°C stark ein.

So widerstandsfähig die meisten Flechten gegenüber Kälte, Hitze und Austrocknung sind, so empfindlich sind sie gegenüber dem Einfluss von Luftverunreinigungen. Sie besitzen kein schützendes Abschlussgewebe, sind relativ langlebig und können sich nach einer Schädigung infolge ihrer wechselfeuchten Organisationsform nur geringfü-



Wolfsflechte (*Letharia vulpina*)



Hornflechte (*Cladonia cornuta*)



Stern-Rentierflechte (*Cladonia stellaris*)



gig regenerieren. So führte die Belastung der Atmosphäre mit Schwefeldioxid zu einem großflächigen Absterben der Flechten in Industriegebieten und Ballungsgebieten in Mitteleuropa. Nach der Reduktion des Schwefeldioxids durch die Rauchgasentschwefelung kam es kurzfristig zu einer Erholung der Flechtenvegetation in Mitteleuropa. In den letzten zwei Jahrzehnten spielen allerdings andere Stoffgruppen eine große Rolle am Absterben von epiphytischen Flechten, nämlich Stickstoff-Verbindungen und zusätzlich Aerosole. Vor allem Flechten mit Cyanobakterien als Photobionten einiger Gattungen sind im Nordalpenraum von der Flyschzone bis zum Anstieg der Kalkhochalpen stark gefährdet.

Literatur

Beck, A. & D. Peršoh 2009: Flechten und ihre Stellung im Reich der Pilze. – In: Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 36 „Ökologische Rolle der Flechten“, S. 13-24. Verlag Friedrich Pfeil, München.

Bresinsky, A. & J. W. Kadereit 2008: Teil III: Evolution und Systematik. – In: Strasburger, Lehrbuch der Botanik. Spektrum Akademischer Verlag: 554-945.

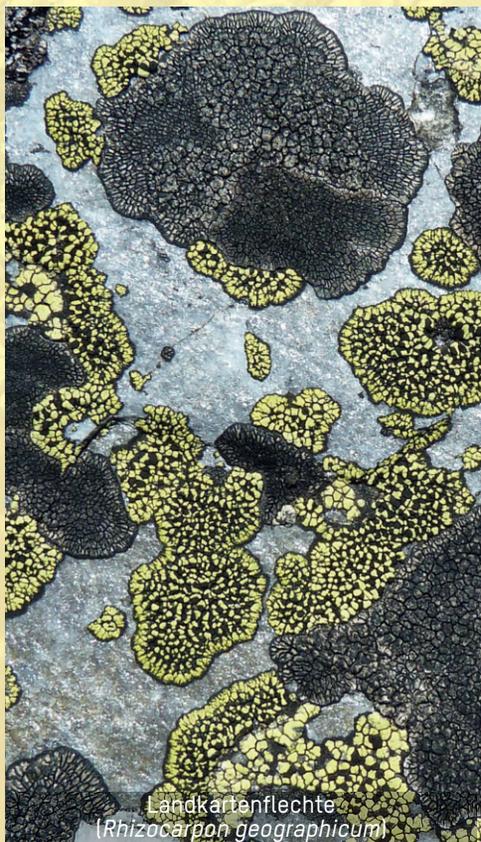
Dirnböck, T., Mirtl, M., Dullinger, S., Grabner, M.-T., Hochrathner, P., Hülber, K., Karrer, G., Kleinbauern, I., Mayer, W., Perterseil, J., Pfefferkorn - Dellali, V., Reimoser, F., Reimoser, S., Türk, R., Willner, W. & H. Zechmeister 2007: Effets of nitrogen and sulphur deposition on forests and forest diversity. Austrian Integrated Monitoring Zöbelboden. – Umweltbundesamt Report Rep-0077,



Lackmusstreifen
FOTO: WIKIMEDIA

Hätten Sie gewusst...

...dass Lackmus ein Flechtenfarbstoff ist? Er wird als Indikator eingesetzt, da er mit dem pH-Wert seine Farbe ändert.



Landkartenflechte
(*Rhizocarpon geographicum*)



„Goldener Schönfleck“ (*Caloplaca aurea*)



Silikat-Appelflechte
(*Peltigera aphthosa*)



SYMBIOSEN MIT PILZEN

60 pp.

Gauslaa, Y. 2009: Ecological functions of lichen compounds. - In: Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 36 „Ökologische Rolle der Flechten“, S. 95-108. Verlag Friedrich Pfeil, München.

Green, T. G. A. 2009: Lichens in arctic, antarctic and alpine ecosystems. - In: Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 36 „Ökologische Rolle der Flechten“, S. 45-65. Verlag Friedrich Pfeil, München.

Honegger, R. 2009: Flechten: ökologische Aspekte der Wechselbeziehung zwischen Pilz und Alge. - In: Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 36 „Ökologische Rolle der Flechten“, S. 25-41. Verlag Friedrich Pfeil, München.

Kienesberger, A., Pfleger, H. S., Than, B. & R. Türk 2007: Epiphytische Flechten an Probeflächen für immissionsökologische Untersuchungen nach der VDI-Methode 2005 und Untersuchungen über die Artenzusammensetzung in industriefernen Flächen – ein Hinweis für zunehmenden Einfluss von Stickstoff-Verbindungen. - In: Stickstoff und die Wirkungen auf die Vegetation. KRdL. Expertenforum 12. und 13. Februar 2007, FAL Braunschweig. KRdL-Schriftenreihe 37: 119-127.

Mayer, W., Pfefferkorn-Dellali, V., Türk, R., Dullinger, S., Mirtl, & T. Dirnböck (2013): Significant decrease in epiphytic lichen diversity in a remote area in the European Alps, Austria. - Basic and Applied Ecology 14 (2013) 396-403.

Ruprecht, U., Brunauer, G. & R. Türk 2014: High photobiont diversity in the common soil crust lichen *Psora decipiens*. - Biodivers Conserv DOI 10.1007/s10531-014-0662-1, p 1-15.

Schauer, Th. (1964): Zur epiphytischen Flechtenvegetation der Umgebung von Lunz (Niederösterreich). - Verh. zool.-bot. Ges. Wien. 103/104: 191-200.

Türk, R. 1985: Befunde der Flechtenuntersuchungen in den FIW-Versuchsflächen Schöneben, Wurzeralm, Judenburg und Ofenbach/Rosalia. - In: Forschungsinitiative gegen das Waldsterben. Bericht 1985 (Hrsg. Bundesministerium für Wissenschaft und Forschung; E. Führer): 112-119.

Türk, R., Wirth, V. & O. L. Lange (1974): CO₂-Gaswechsel-Untersuchungen zur SO₂-Resistenz von Flechten. - Oecologia (Berl.) 15: 33-64.

„Flechten – Farbe, Gift & Medizin“



Andrea Benedetter-Herramhof, Roman Türk et al
Katalog des OÖ Landesmuseums N.S. 179, ISBN 978-3-85474-323-1, € 5,00

Bezug: Biologiezentrum des OÖ Landesmuseums,

Johann-Wilhelm-Klein-Str.73, 4040 Linz
www.biologiezentrum.at www.zobodat.at



Flechten

Roman Türk. Reihe der Wissenschaftlichen Nationalpark-Schriften, Tyrolia Verlag, 2016

Bezug: Nationalparkverwaltung Salzburg, T +43/(0)6562/40849-0
nationalpark@salzburg.gv.at



Text & Fotos:

Univ.-Prof. i.R. Dr. Roman Türk
roman.tuerk@sbg.ac.at



Sparrige Evernie (*Evernia divaricata*)



Blaue Lappenflechte (*Pannaria conoplea*)



Schönfrüchtige Cladonie (*Cladonia bellidiflora*)



ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Natur und Land \(vormals Blätter für Naturkunde und Naturschutz\)](#)

Jahr/Year: 2017

Band/Volume: [2017_2](#)

Autor(en)/Author(s): Türk Roman

Artikel/Article: [Symbiosen mit Pilzen. Ein unzertrennliches Paar: Baum und Pilz 13-24](#)