

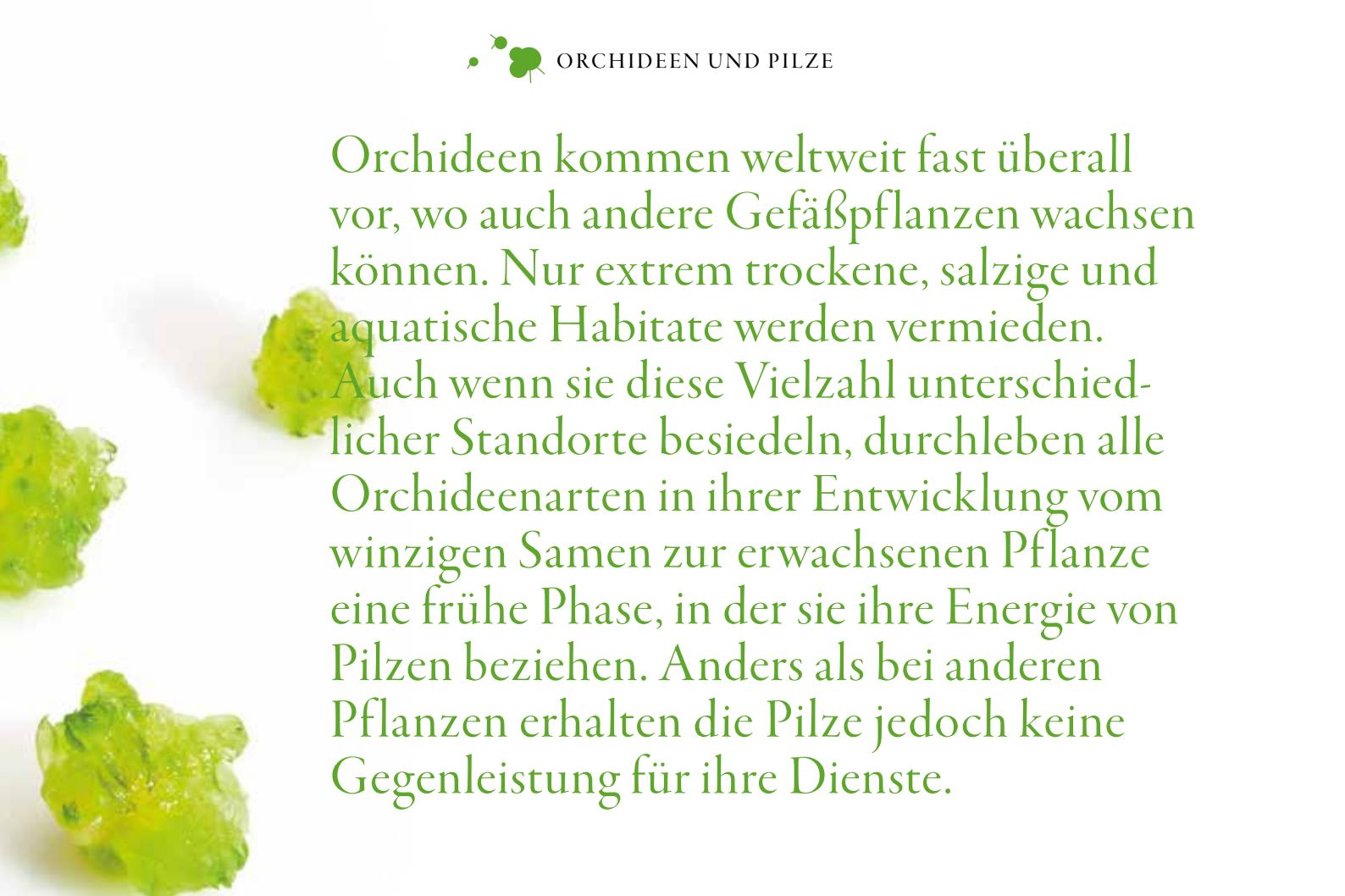


Die Entwicklung jeder Orchidee beginnt mit einem kleinen runden Gebilde. Dieses sogenannte Protokorm besitzt feine Härchen, über die Pilze eindringen können, die dem Sämling die notwendigen Nährstoffe liefern

Betrogene Partner der Orchideen: Pilze

Ralph Mangelsdorff

Orchideen kommen weltweit fast überall vor, wo auch andere Gefäßpflanzen wachsen können. Nur extrem trockene, salzige und aquatische Habitate werden vermieden. Auch wenn sie diese Vielzahl unterschiedlicher Standorte besiedeln, durchleben alle Orchideenarten in ihrer Entwicklung vom winzigen Samen zur erwachsenen Pflanze eine frühe Phase, in der sie ihre Energie von Pilzen beziehen. Anders als bei anderen Pflanzen erhalten die Pilze jedoch keine Gegenleistung für ihre Dienste.



Die große Vielfalt der Orchideen wird durch drei voneinander abhängige Faktoren bedingt: die Bindung an spezifische Bestäuber, die Besiedelung besonderer Standorte und die Abhängigkeit der Sämlinge von der Ernährung durch Pilze. Dass Orchideen an bestimmte Bestäuber angepasst sind, ermöglicht die Übertragung großer Pollenmengen. Dadurch können extreme Zahlen an staubfeinen Samen gebildet werden, die mit dem Wind auch an schwer erreichbare Standorte, etwa auf die Kronen tropischer Bäume, getragen werden. Da die Samen jedoch keine Nährstoffspeicher enthalten, sind die keimenden Sämlinge auf die Ernährung durch Pilze angewiesen. Es handelt sich hierbei, verglichen mit Mykorrhizaformen anderer Pflanzen (siehe Seite 24 und 25), um ein eher parasitisches Verhältnis, da nur die Orchidee profitiert. Der Pilz liefert Kohlenstoffverbindungen wie Zucker, statt sie, wie sonst, umgekehrt von den Pflanzen aufzunehmen. Hierbei wächst der Pilz mit seinen

Zellfäden, den sogenannten Hyphen, in die äußeren Zellen des Keimlings herein, wo er Hyphenknäule (Pelotons) bildet. Die Pilzstrukturen befinden sich zwischen der Zellwand und der Plasmamembran der Pflanzenzelle. Diese Pelotons werden im weiteren Verlauf von der Pflanzenzelle wiederholt abgetötet und verdaut. In den Wurzeln vieler erwachsener Orchideenarten finden sich gleiche Strukturen.

In den frühesten Phasen der Sämlingsentwicklung ist der Orchideenkeimling ein undifferenziertes kugeliges Gebilde, das sogenannte Protokorm, das auf seiner Oberfläche haarförmige Strukturen ausbildet. Diese dienen zur Befestigung auf dem Substrat, zur Aufnahme von Stoffen und als Eintritspforte für die Pilze. Etwas später bildet sich auf der Oberseite eine kleine Spitze, die sich zu einem Blatt weiterentwickelt. Erst nach einer deutlichen Massenzunahme und Erstarkung bildet sich auf der Oberseite des Protokorms oder an der Basis des Blattes eine

erste Wurzel. Bei vielen epiphytischen Orchideen ist der Keimling von den frühesten Phasen an fähig, zusätzlich zu seiner pilzlichen Ernährung zu ergrünen und Fotosynthese zu betreiben. Bei den meisten terrestrischen Orchideen hingegen bleiben die Keimlinge oft gelblich-farblos und fotosynthetisieren auch unter Lichteinwirkung nicht.

In der weiteren Entwicklung kann der Orchideenkeimling durch Wasser- und Nährstoffaufnahme sowie mittels Fotosynthese zur selbstständigen Ernährung übergehen und den Pilz ausschließen, also autotroph werden. Viele Orchideen bleiben jedoch mixotroph, gehen also eine mehr oder weniger enge Bindung zu Pilzen ein. Sie beziehen von diesen weiterhin Kohlenstoffverbindungen und andere Nährstoffe bei gleichzeitiger Fotosynthese. Die für die anderen Mykorrhizaformen so typische Lieferung von Kohlenstoffverbindungen von der Pflanze zum Pilz ließ sich bei Orchideen bisher nur ausnahmsweise belegen.



Einige Orchideenarten bleiben ihr Leben lang von Pilzen abhängig

Die Vogel-Nestwurz (*Neottia nidus-avis*) enthält zu wenig Chlorophyll, um ihre Energie durch Fotosynthese gewinnen zu können. Stattdessen wird sie von Pilzen mit Nährstoffen versorgt

PILZE SICHERN EINIGEN ORCHIDEEN EINE LEBENSLANGE NÄHR- STOFFZUFUHR

Etwa 300 Orchideenarten bleiben während ihres gesamten Lebens auf die Ernährung durch Pilze angewiesen und haben die Fähigkeit zur Fotosynthese vollkommen verloren. Von den etwa siebzig heimischen Orchideenarten sind zum Beispiel vier nicht oder kaum in der Lage zu fotosynthetisieren: die Korallenwurz (*Corallorrhiza trifida*), der Widerbart (*Epipogium aphyllum*), der Dingel (*Limodorum abortivum*) und die Vogel-Nestwurz (*Neottia nidus-avis*). Die ersten beiden bilden auch keine Wurzeln mehr aus. Sie alle leben bis zur Entwicklung der ersten Blüten vollständig unterirdisch. Auch weitere „normal“ grüne Arten wie manche Arten von Stendelwurz (*Epipactis spp.*) und Waldvöglein (*Cephalanthera spp.*) kommen gelegentlich als chlorophylllose Formen in heimischen Wäldern zur Blüte. Sie sind also ebenfalls in der Lage, ohne Fotosynthese ihren Energiebedarf vollständig durch Pilze zu decken. In

Australien gibt es mehrere Arten der Gattung *Rhizanthella*, die Zeit ihres Lebens unterirdisch wachsen und sogar unterirdisch blühen und fruchten.

Durch die hohe Artenvielfalt der Orchideen können an einem Standort unter gleichen Bedingungen viele verschiedene Orchideenarten vorkommen. Diese sind durch ihre spezifischen Bestäuber oder durch unterschiedliche Blütezeiten voneinander isoliert. Oft sorgt jedoch ein und dieselbe Pilzart für die Ernährung der Keimlinge und die eventuelle weitere Förderung. Hier ist aber noch viel unbekannt, denn teilweise ließ sich auch eine gewisse Pilzspezifität bestimmter Orchideenarten feststellen.

Viele Mykorrhizapilze der Orchideen lassen sich auf künstlichen Nährböden kultivieren und können dafür genutzt werden, Orchideen aus Samen heranzuziehen. Diese Pilze bilden auf den Nährböden in der Regel keine sexuellen Organe aus. Orchideen-mykorrhizapilze lassen sich mikroskopisch oft gut daran erkennen, dass Verzweigungen der Hyphen in einem

rechten Winkel zur Ausgangsachse stehen und dass sie kurze, etwas kugelige, aneinandergereihte Zellen ausbilden. Diese Pilze wurden früher unter dem Gattungsnamen *Rhizoctonia* zusammengefasst. Heute ist es über DNA-Sequenzvergleiche möglich, diese Arten verwandtschaftlich einzurunden. *Rhizoctonia*-Arten gehören zur Abteilung der Ständerpilze (Basidiomycota) aus den Verwandtschaften der Pfifferlingsartigen (Cantharellales) (mit den Gattungen *Tulasnella* und *Ceratobasidium*) sowie der Wachskrustenartigen (Sebacinales) (mit der Gattung *Sebacina*). *Tulasnella*- und *Sebacina*-Arten bilden auch Ektomykorrhizen, *Sebacina* zusätzlich auch Ericoide Mykorrhizen, während manche Arten von *Ceratobasidium* auch pflanzenparasitisch sein können. Eine Gemeinsamkeit der drei Gattungen ist, dass sie unscheinbare, wachsartige Überzüge auf Substraten wie Holz, Borke oder auch Grasbüscheln und Moosen ausbilden können, wo sexuelle Fortpflanzungszellen gebildet werden, die Sporen aktiv abschleudern. In manchen Fällen ist aber derzeit

die Gattungszugehörigkeit nicht genau bekannt, weshalb der Name *Rhizoctonia* immer noch verwendet wird.

Die meisten Orchideenarten in Kultur werden ohne Pilz steril auf künstlichen Nährböden herangezogen. Dabei dient Zucker als wichtigster Energie-lieferant. Bei vielen stärker pilzabhängigen Orchideenarten funktioniert diese Art der Vermehrung aber nur eingeschränkt oder gar nicht.

STICKSTOFFEINTRAG WIRD ZUM PROBLEM

Im Falle der Assoziation von Orchideen mit manchen pflanzenparasitischen Pilzen, wie zum Beispiel *Ceratobasidium*-Arten, befindet sich das Zusammenleben zum Nutzen der Orchidee in einem sensiblen Gleichgewicht. Nur wenn der Pilz einen Mangel an beispielsweise Stickstoff hat, wird er für die Orchidee nicht zur Gefahr. Besonders der zunehmende Stickstoffeintrag in unserer Landschaft hat dieses Gleichgewicht zugunsten

des Pilzes verschoben, der damit so gefördert wird, dass er für die Orchidee pathogen wird. Dies ist – neben der dadurch bedingten Verdrängung durch konkurrenzstärkere andere Pflanzenarten, die durch die Düngung gefördert werden, und Nutzungsänderungen der Landschaft – eine Ursache für das Verschwinden der Orchideen in der heimischen Flora.

Einige Orchideenarten sind mit Ektomyorrhizapilzen assoziiert. Diese Pilze lassen sich in der Regel nicht auf künstlichen Nährböden kultivieren, da sie zwingend auf die Lieferung von organischen Nährstoffen von ihren Baumsymbiosepartnern angewiesen sind. Solche Orchideen wachsen meist terrestrisch und sind in schattigen Wäldern zu finden, wo Fotosynthese erschwert sein kann. Die meisten der fast vollkommen chlorophylllosen, heterotrophen Orchideen, so in der heimischen Flora die Korallenwurz, der Widerbart, der Dingel und die Vogel-Nestwurz, gehören zu dieser Gruppe

und beziehen ihre Nährstoffe über den Pilz von den Bäumen. Natürlich lassen sich solche Orchideenarten kaum kultivieren.

Manche terrestrischen Orchideen, zum Beispiel die beiden einheimischen Drehwurzarten (*Spiranthes aestivalis* und *S. spiralis*), haben in Relation zur Oberfläche der Blätter und Blütenstände sehr wenige, kurze und dicke Wurzeln bzw. Wurzelknollen. Es erstaunt, wie damit überhaupt ausreichend Nährstoffe und Wasser aufgenommen werden können. Dies ist ein deutliches Indiz für die Versorgung durch Pilze.

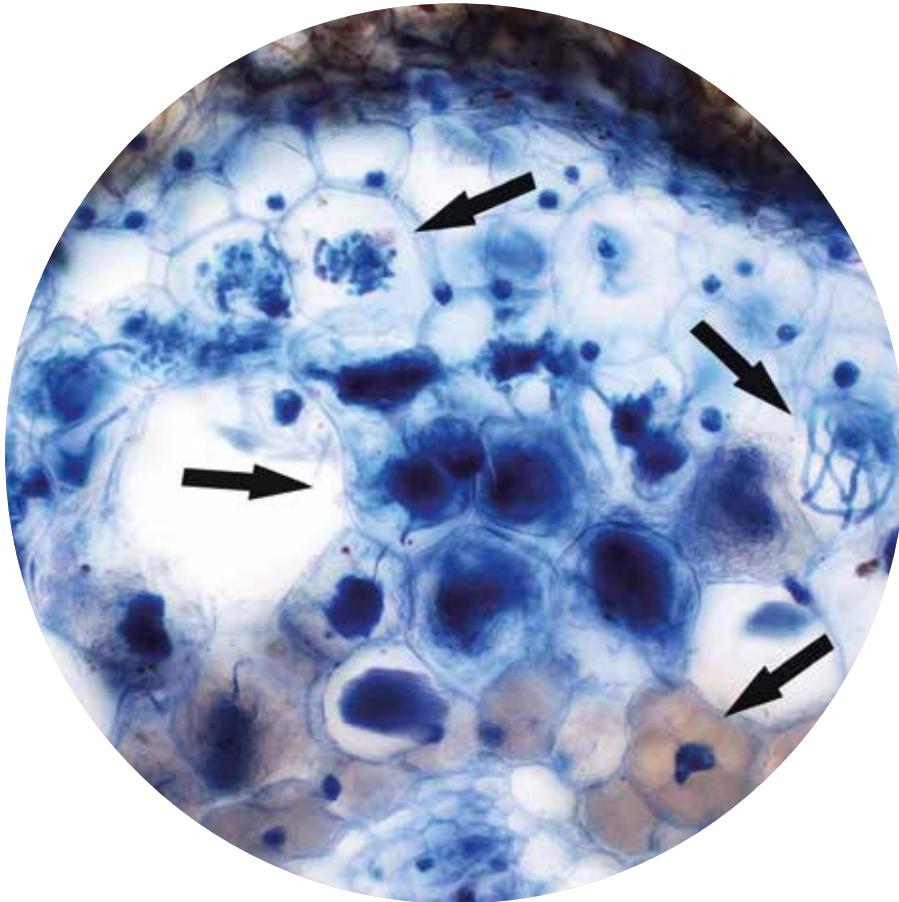
Zusammenfassend lässt sich feststellen: Obwohl manche Orchideen als erwachsene Pflanzen Pilze von ihrer Ernährung ausschließen, sind in der Jugendphase alle Arten auf die Unterstützung von Pilzen angewiesen. Ohne sie könnte kein Orchideenkeimling heranwachsen, liefern die Pilze doch erst die benötigten Nährstoffe. Viele Orchideenarten bleiben ihr Leben lang mit Pilzen verbunden.

Wenige und kurze Wurzeln als mögliches Indiz für Versorgung durch Pilze



Der Blattlose Widerbart (*Epipogium aphyllum*), die Vogel-Nestwurz (*Neottia nidus-avis*) und der Violette Dingel (*Limodorum abortivum*) zählen zu den vier bei uns vorkommenden Orchideenarten, die ganz von Pilzen abhängig sind

Mykorrhizen



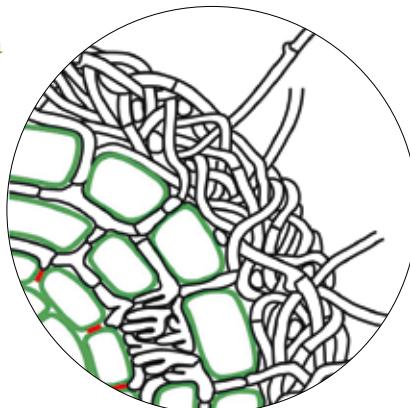
Auch in den Wurzeln vieler erwachsener Orchideen finden sich Pilzstrukturen.
Im Querschnitt einer *Nervilia*-Wurzel sind die zu Knäueln geformten Pilz-Zellfäden (Pelotons) zu erkennen (obere Pfeile), die in den Zellen verdaut werden (Pfeil links).
Der Pfeil unten rechts deutet auf in der Wurzel angehäufte Stärkereserven

Etwa neunzig Prozent aller Gefäßpflanzen bilden sogenannte Mykorrhizen (griech. *mýkes* = Pilz; *rhiza* = Wurzel). Darunter versteht man gemeinsame Strukturen aus Pflanzenwurzeln und den dünnen Zellfäden von Pilzen, den sogenannten Hyphen.

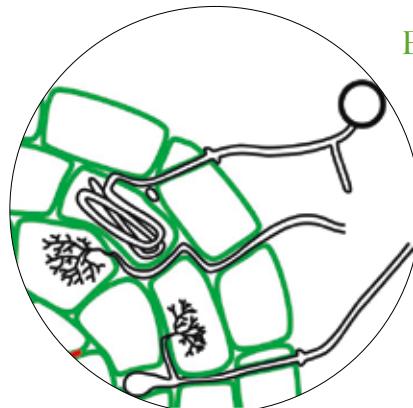
Mykorrhizen werden als eine Symbiose zwischen Gefäßpflanzen und Pilzen angesehen, bei der der Pilz der Pflanze Stickstoff, Phosphor und andere Nährstoffe, aber auch Wasser liefert, während der Pilz von der Pflanze mit Fotosyntheseprodukten wie Zucker versorgt wird. Anders als Pflanzen können Pilze nicht selbst energiereiche Nährstoffe wie Kohlenhydrate bilden, weshalb sie auf organisches Material angewiesen sind, das andere Organismen aufgebaut haben.

Durch ihre Langlebigkeit, Regenerationsfähigkeit und ihren dünneren Durchmesser bei gleichzeitig großer Länge (günstiges Oberflächen-Volumen-Verhältnis) sind Pilzhyphen in der Lage, ein Substrat viel effektiver zu erschließen, als es mit den kurzlebigen und viel dickeren und kürzeren Wurzelhaaren möglich ist, die das wichtigste Organ zur selbstständigen Wasser- und Nährstoffaufnahme der Gefäßpflanzen sind. Somit spielen Mykorrhizen für Landpflanzen eine wesentliche Rolle für ihre Ernährung und die Wasserversorgung. Mit Giften wie Phenolen oder Metallen belastete Standorte sowie sehr saure Böden können durch mykorrhisierte Pflanzen besiedelt werden, da die Pilzhyphen die Pflanzenwurzeln schützen.

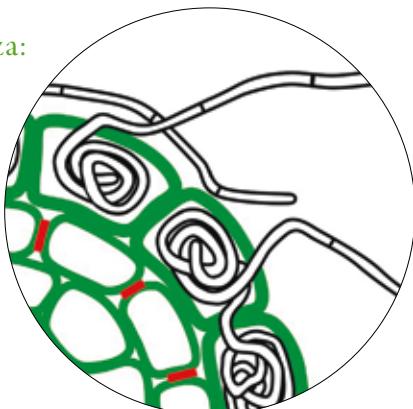
Ektomykorrhiza



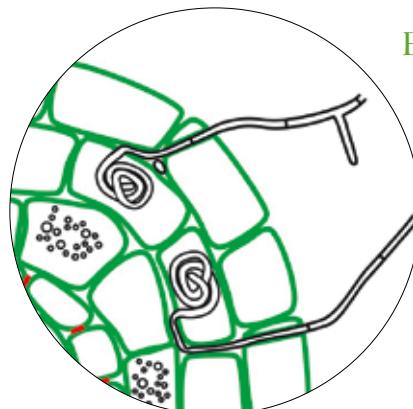
Endomykorrhiza: Arbuskuläre Mykorrhiza



Endomykorrhiza: Ericoide Mykorrhiza



Endomykorrhiza: Orchideen- mykorrhiza



Querschnitt
durch mykorrhizierte
Pflanzenwurzeln
(grün: Pflanzenzellen,
schwarz: Pilz-Zellfäden)

Bei der Endomykorrhiza lebt der Pilz im Inneren der Wurzelrindenzelle. Im Fall der Arbuskulären Mykorrhiza bildet der Pilz dort bäumchenförmige Strukturen aus, die durch ihre große Oberfläche eine intensive Austauschzone mit der Plasmamembran der Pflanze bilden. Diese Form der Mykorrhiza tritt bei rund siebzig Prozent aller Gefäßpflanzen auf und ist bei den Anfängen der Landbesiedlung von Pflanzen entstanden. Die Pilzpartner können ohne die Pflanze nicht selbstständig leben.

Heidekrautgewächse (zum Beispiel *Erica*, *Rhododendron*) bilden mit ihren Pilzen die sogenannte Ericoide Mykorrhiza, bei der der Pilz in den Zellen der haarfeinen Wurzeln lebt. Mithilfe ihrer Pilzpartner können die Pflanzen Extremstandorte mit sehr sauren oder sehr nährstoffarmen Böden besiedeln.

Auch die Orchideenmykorrhiza ist eine Endomykorrhiza. Bei der Ektomykorrhiza werden die Wurzelrindenzellen netzartig von Pilzhypfen umwachsen, die Hyphen dringen also nicht

in die Zellen ein. Nur etwas mehr als zwei Prozent aller Gefäßpflanzenarten bilden diese Form der Mykorrhiza aus, aber etwa ein Drittel bis die Hälfte der weltweiten Waldbedeckung ist von ektomykorrhizierten Bäumen dominiert. Manche dieser Pilzpartner sind darüber hinaus vom Menschen geschätzte Speisepilze, so der Steinpilz (*Boletus edulis* Bull.). Doch auch der giftige Fliegenpilz (*Amanita muscaria* (L.) Lam.) kann ohne die Pflanzen an seiner Seite nicht leben.

LITERATUR:

- Brundrett, M.C. 2017: Global diversity and importance of mycorrhizal and nonmycorrhizal plants. *Ecol. Stud.* 230: 533–556.
- Burgeff, H. 1932: Saprophytismus und Symbiose. *Studien an tropischen Orchideen*. Jena.
- Burgeff, H. 1936: Samenkeimung der Orchideen. Jena.
- Dearnaley, J.D.W., Martos, F. & Selosse, M.A. 2013: Orchid mycorrhizas: molecular ecology, physiology, evolution and conservation aspects. In: *The Mycota: fungal associations* (ed. B. Hock) pp. 207–30. Berlin.
- Favre-Godal, Q., Gourguillon, L., Lordel-Madeleine,

S., Gindro, K. & Choisy, P. 2020: Orchids and their mycorrhizal fungi: an insufficiently explored relationship. *Mycorrhiza* 30:5–22.

Piepenbring, M. 2022: *Mykologie. Diversität, Morphologie, Ökologie und Evolution der Pilze*. Berlin.

Rasmussen, H. N. 1995: *Terrestrial Orchids. From Seed to Mycotrophic Plant*. Cambridge, London.

Roberts, P. 1999: *Rhizoctonia-forming Fungi: a Taxonomic Guide*. Royal Botanic Gardens Kew, London.

Selosse, M.A., Faccio, A., Scappaticci, G. & Bonfante, P. 2004: Chlorophyllous and Achlorophyllous Specimens of *Epipactis microphylla* (Neottieae, Orchidaceae)

Are Associated with Ectomycorrhizal Septomycetes, including Truffles. Volume 47, 416–426d. New York, LLC 2004 DOI: 10.1007/s00248-003-2034-3 d.

Selosse, M. A., Weiss, M., Jany, J.L. & Tillier, A. 2002: Communities and populations of sebacinoid basidiomycetes associated with the achlorophyllous orchid *Neottia nidus-avis* (L.) LCM Rich. and neighbouring tree ectomycorrhizae. *Molecular Ecology* 11: 1831–1844.

van der Heijden, M.G.A., Martin, F.M., Selosse, M.A. & Sanders, I.R. 2015: Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phytologist* 205: 1406–1423.

Impressum

Herausgeberin: Stadt Frankfurt am Main

Verantwortlich für den redaktionellen Inhalt: Dr. Katja Heubach

Redaktion: Rebecca Hahn

Autor:innen: Kerstin Bissinger, Mark Clements, Jeannette Duda, Günter Gerlach, Marcel Hanselmann, Ralph Mangelsdorff, Rainer Michalski, Thomas Moos, Katharina Nargar, Sven Nürnberger, Kerstin Reifenrath, Katharina Sahm, Marco Schmidt, Hilke Steinecke, Beate Vaupel, Sarina Veldman, Anne-Sophie Vesic, Sigrid Volk, Heidi Zimmer

Korrektorat: Thomas Steinhoff

Gestaltung: Nicola Ammon, Ines Blume, Nora Seitz, gardeners.de

Illustrationen: Sebastian Erb (S. 14-17)

Druck: Hinckel-Druck GmbH, Wertheim am Main

Copyright: Palmengarten der Stadt Frankfurt am Main, 2023

Nachhaltigkeit: Inhaltspapier FSC

Recyclingpapier aus 100 % Altpapier, klimaneutral produziert, mit Blauem Engel ausgezeichnet, mineralölfreie Farben

Auflage: 2500

ISSN: 0176-8093 (Druckversion) | 2570-1290 (Onlineversion)

Bildnachweise: Adobe Stock: 22Imagesstudio (64); Alexandre (41), bioraven (95 M.), channarongssds (95 l.), Darryl (66), Vitalii Hulai (92 o.), iamtk (61), kamonrat (65 u.), Kletti (62), Nicole Lienemann (93 u.), M2 (95 r.), Bruno Mader (29 l.), mehmet (55 o.), Morphart (94 u.), Nakornthai (Titel), New Africa (96), ondrejprosicky (103), Samantha (29 r.), Studio Barcelona (2), unpict (60), valeriyabtsk (94 o.), zhane luk (20); Alamy Stock Fotos: Bookend (51); Johannes Braun (6, 81, 83 o.l., 92 u., 93 o.r., 99 r.); British Library's collections (57); Mark Clements (67 o., 67 M., 68-69, 72-74, 75 u., 76); Veit Martin Dörken (62 u.); Katharina Dubno (4); Leonhart Fuchs, Das Kräuterbuch, 1543 (52); Günter Gerlach (26, 35 u., 36-38, 39 o., 39 u.); Abdolbaseet Ghorbani (56); Barbara Gravendeel (58 r.); Marcel Hanselmann (80, 82, 83 o.r., 83 u.); Hauptzollamt, Stadt Frankfurt (45); iNaturalist, CC-BY-NC: Andreaudzungwa (58 M.), apipa (42 r.), bioexploradoresfarallones (42 l.), gabrielmicanquer (43 l.), jodyhsieh (70), rfoquet (58 l.); iStock.com: AlxPortilla (40), Lakeview_Images (71), Ondrej Prosicky (8), Samantha Haebich (27), wsfurlan (10); Seoljong Kim (54, 55 u., 55 u. r.); Tapio Linderhaus (67 u.); Ralph Mangelsdorff (22-24); Rainer Michalski (78-79); NASA, Expedition 29 Crew (44); Holger Nennmann (97-98, 99 l., 99 M.); Sven Nürnberger (88, 89 u.); Micha Pawlitzki und Edition Panorama Mannheim (100 l.); Meike Piepenbring, CC-BY-SA (25); Quelle Meyer (100 r.); Marco Schmidt (13 Punkt 4-6, 50, 53, 93 o. l.); Senckenberg Gesellschaft für Naturforschung, Herbarium Senckenbergianum Frankfurt (FR) (90-91); Hilke Steinecke (9, 11, 18-19, 28, 30-34, 35 o., 43 r., 46-47, 62 o., 84-85, 89 o. l., 89 o. r., 92 l.); Kevin Thiele (75 o.); Wikimedia Commons: Ekrem Canli CC-BY-SA 3.0 (65 o.), Michael Gäßler CC-BY-SA 3.0 (48), Strobilomyces CC-BY-SA 3.0 (59), sunoochi CC BY 2.0 (49), Naoki Takebayashi CC-BY-SA 4.0 (13 Punkt 7), TUBS CC-BY-SA 3.0 (39 r., Kartengrundlage)

Ausführliche Angaben unter: www.palmengarten.de/de/

mediathek/dossier/orchideen/bildquellen