

# Plant Science Discovery Workshops: Lerneinheit #7 Symbiose. Zurich-Basel Plant Science Center.

**Educational Material****Author(s):**

Faller, Patrick; [Paschke, Melanie](#) ; [Schläpfer-Miller, Juanita](#) ; Rapo, Carole; Schumacher, Ralph; [Dahinden, Manuela](#) 

**Publication date:**

2020

**Permanent link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000431660>

**Rights / license:**

[Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International](#)

**Originally published in:**

Lerneinheit



Universität  
Zürich <sup>UZH</sup>

**ETH** zürich



Universität  
Basel

# Lerneinheit #7

# Symbiose

MINT-Lernzentrum der ETH Zürich  
Zurich-Basel Plant Science Center



Plant Science  
DISCOVERY  
WORKSHOPS

- 1 Klimawandel
- 2 3D-Mikroskopie
- 3 Molekulare Pflanzenzucht
- 4 Stärkemetabolismus
- 5 Biokommunikation
- 6 Adaptive Evolution
- 7 **Symbiose**
- 8 Genome Editing

# Inhalt

<b>Aufbau der Lerneinheit Symbiose</b>	<b>3</b>
<b>Teil 1: Mykorrhiza</b>	<b>4</b>
Thema, Lernziele und Vorwissen	4
Verlaufsplanung Lektion 1	5
Einstiegsfolie Lektion 1 «Mykorrhiza»	6
Einstiegsaufgabe mit kontrastierenden Fälle mit und ohne Mykorrhiza	7
1.1 Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzen	8
1.2 Der Übergang zwischen Symbiose und Parasitismus ist fließend	10
1.3 Wie viele Pflanzenarten sind mykorrhiziert?	11
1.4 Ohne Pilze keine Pflanzen auf dem Festland?	12
1.5 Einteilung der Mykorrhizapilze	13
<b>Teil 2: Discovery Workshop</b>	<b>14</b>
<b>Teil 3: Biodünger der Zukunft</b>	<b>15</b>
Thema, Lernziele und Vorwissen	15
Verlaufsplanung Lektion 2	16
Einstiegsaufgabe Lektion 2 «Von Unruhen, Öl und Winden»	17
3.1 Mykorrhiza – der Weg aus der Hungerkatastrophe?	18
3.2 Forschungsprojekte mit Mykorrhiza	19
3.3 Welche Faktoren beeinflussen das Verhältnis zwischen Mykorrhizapilzen und Pflanzen?	22
3.4 Plane dein eigenes Mykorrhiza-Forschungsprojekt	23
Zusatzaufgabe	24
<b>Metakognitionsaufgaben</b>	<b>25</b>
<b>Diskussionsvorschlag für den kognitiven Unterrichtseinstieg</b>	<b>26</b>
<b>Informationen für die Lehrperson bezüglich Experiment</b>	<b>26</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>27</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>28</b>
<b>Weiterführende Links für Lehrpersonen</b>	<b>28</b>
<b>Vor- und Nachtest zum Thema</b>	<b>29</b>
<b>Lösungen</b>	<b>32</b>

# Aufbau der Lerneinheit

## Symbiose

Die Lerneinheit «Symbiose – Wie Mykorrhizapilze als Biodünger genutzt werden» besteht aus drei Teilen. Der erste und dritte Teil sind theoretische Lektionen, welche den zweiten praktischen Teil thematisch einbetten und die Relevanz des Themas verdeutlichen.

### Teil 1: Mykorrhiza

In der ersten Lektion werden Mykorrhizapilze als Form der Symbiose zwischen Pflanzen und Pilzen eingeführt. Die Vorteile einer Symbiose werden erläutert und die bedeutende Rolle von Mykorrhizapilzen in der evolutiven Besiedelung des Landes herausgearbeitet.

### Teil 2: Discovery Workshop

Der halbtägige Workshop wird vom Zurich-Basel Plant Science Center angeboten. Die Schülerinnen und Schüler untersuchen eine mykorrhizierte Pflanze. Sie präparieren die Wurzeln, färben die Mykorrhizapilze an und betrachten sie unter dem Mikroskop. Anhand der Straucherbse (*Cajanus cajan*) untersuchen die Schülerinnen und Schüler, wie sich eine Symbiose mit Mykorrhizapilzen auf das Pflanzenwachstum auswirkt. Die Experimente können in einem Schullabor durchgeführt werden. Der Workshop kann mit einem Laborbesuch bei Forschenden des Zurich-Basel Plant Science Center kombiniert werden. Die Forschenden präsentieren ihre Forschungsprojekte und diskutieren mit den Schülerinnen und Schülern über den Einsatz von Mykorrhizapilzen in der landwirtschaftlichen Produktion.

### Teil 3: Biodünger der Zukunft

Die zweite Lektion nimmt die Resultate des praktischen Teils auf und vertieft die Möglichkeiten der Herstellung und des Einsatz von Biodünger. Ebenfalls wird in diesem Teil die naturwissenschaftliche Arbeitsweise gefördert.

Eine begleitende Powerpoint-Präsentation steht den Lehrpersonen unter folgendem Link zur Verfügung:

[www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/discovery.html](http://www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/discovery.html)

# Teil 1:

# Mykorrhiza

## Thema

Mykorrhiza wird als eine mögliche Form von Symbiose vorgestellt. Die Vorteile für beide Partner werden präzise herausgearbeitet. Das Fehlkonzent, dass Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen und anderen Organismen (Pilzen, Bakterien, Tieren) entweder eine Symbiose oder einen Parasitismus darstellen, wird thematisiert und es wird versucht, dieses Fehlkonzent aufzuheben. Die Relevanz der Mykorrhizapilze für die Pflanzen wird aufgezeigt, einerseits historisch bei der Besiedelung des Landes, andererseits aktuell bei der Nutzung von Mykorrhizapilzen als Biodünger.

## Ziele

- Die Schülerinnen und Schüler können den Nutzen für die beiden Partner einer Mykorrhiza nennen.
- Die Schülerinnen und Schüler können mit Beispielen begründen, warum der Übergang von Symbiose zu Parasitismus fließend ist.
- Die Schülerinnen und Schüler können erläutern, warum Mykorrhizapilze für die Besiedelung des Landes durch Pflanzen wichtig waren.
- Die Schülerinnen und Schüler können in einer Skizze erkennen, um welchen Typ von Mykorrhiza es sich handelt.

## Vorwissen

- Bau und Funktion der Pflanzenwurzel
- Photosynthese (einfaches Niveau)
- Pilze (Unterscheidung von Hyphen und Fruchtkörpern)

## Verlaufsplanung Lektion 1

Arbeitsform, Zeit	Themen	Material
Kognitive Aktivierung: Aufgabe 1 4 Minuten	«Was ist der Unterschied zwischen diesen beiden Pflanzen?»	Folie Seite 6 Informationen für Lehrpersonen Seite 26
Aufgabe 2 mit kontrastierenden Fällen 5 Minuten		Seite 7
Evtl. Film zeigen, 4 Minuten	«Mykorrhiza»	Link auf Seite 27
und / oder		
Lehrervortrag, 4 Minuten		Präsentation
Lektüre Kapitel 1.1 und Lösen der Aufgaben 3 und 4 10 Minuten	1.1 Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzen	Seite 8–9
Besprechung der Aufgaben 3 und 4 5 Minuten	1.1 Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzen	Seite 8–9
Lektüre Kapitel 1.2 und Lösen der Aufgabe 5 5 Minuten	1.2 Der Übergang zwischen Symbiose und Parasitismus ist fließend	Seite 10
Besprechung der Aufgabe 5 3 Minuten	1.2 Der Übergang zwischen Symbiose und Parasitismus ist fließend	Seite 10
Lektüre Kapitel 1.3 und 1.4, Lösen der Aufgaben 6 bis 8 5 Minuten	1.3 Wie viele Pflanzenarten sind mykorrhiziert? 1.4 Ohne Pilze keine Pflanzen auf dem Festland?	Seite 11–12
Besprechung der Aufgaben 6 bis 8 5 Minuten	1.3 Wie viele Pflanzenarten sind mykorrhiziert? 1.4 Ohne Pilze keine Pflanzen auf dem Festland?	Seite 11–12
Hausaufgaben: Lektüre Kapitel 1.5	1.5 Einteilung der Mykorrhizapilze	Seite 13

## Aufgabe 1

Abb. 1 zeigt zwei Pflanzen, die zur gleichen Zeit gesetzt wurden und gleich viel Licht, Wasser und Dünger erhalten haben. Trotzdem unterscheiden sie sich beträchtlich. Erstelle eine Liste von Faktoren, die zusätzlich einen Einfluss auf Unterschiede im Wachstum von Pflanzen haben könnten.



Abb 1: Unterschiedlich behandelte Pflanzen der Straucherbse (*Cajanus cajan*).

## Aufgabe 2

Lies bitte die folgenden sechs Texte durch und teile sie in zwei Gruppen ein. Erläutere, nach welchen Gesichtspunkten du die Einteilung vorgenommen hast.

**1**

Der deutsche Biologe Albert Frank erhielt 1885 vom preussischen Minister für Landwirtschaft den Auftrag, Untersuchungen anzustellen, um die Zucht der Trüffel im Königreich zu fördern. Bei seinen Trüffel-Ausgrabungen fielen ihm regelmässig kurze Wurzeln auf, welche mit Pilzfäden umspinnen waren. Nach intensiven Analysen kam er zum Schluss, dass es sich dabei nicht um Wurzelschädlinge, sondern um Wurzelnützlige handeln muss.

**2**

Pflanzen benötigen auch das Element Phosphor, das sie normalerweise in Form von Phosphat aus dem Boden aufnehmen. Im Gegensatz zu bestimmten Stickstoffverbindungen sind Phosphate aber schlecht wasserlöslich und können daher von den Pflanzen mit dem Wasser über die Wurzeln nur in geringen Mengen aufgenommen werden. Oft düngt der Landwirt daher seine Felder mit Phosphatdünger.

**3**

Stickstoff ist einer der wichtigsten limitierenden Faktoren im Hinblick auf das Wachstum von Pflanzen. Gewisse Pilze sind fähig, stickstoffhaltige Nährstoffe schnell aufzunehmen, zu speichern und den Pflanzenpartnern zur Verfügung zu stellen.

**4**

Unter Laborbedingungen transportieren Pflanzen mit einem Pilzpartner bis zu 23% mehr photosynthetisch fixierten Kohlenstoff in die unterirdischen Organe. Von diesen Kohlenhydraten erhält der Pilzpartner ca. 7%.

**5**

Wildschweine stehen auf Trüffelpilze und fressen sie in rauen Mengen. Mit Folgen: Die Tiere weisen in bestimmten Regionen der Schweiz eine hohe Belastung an Cäsium auf, das vom Tschernobyl-Unglück 1986 stammt. Das Cäsium wird von Pilzen aufgenommen und gelangt so ins Wildschwein. Im Tessin wurde der Grenzwert gar um das Fünffache überschritten.

**6**

In den letzten Jahren sind in den Niederlanden die Funde des beliebten Eierschwampilzes dramatisch zurückgegangen. Man nimmt an, dass die Bodenversauerung durch den sauren Regen hauptsächlich dafür verantwortlich ist.

## 1.1 Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzen

Viele Pflanzen leben mit Pilzen zusammen in Symbiose. Die Fäden (= Hyphen) der Pilze wachsen an oder sogar in den Wurzeln der Pflanzen. Diese Symbiose zwischen Wurzel und Pilz wird Mykorrhiza genannt (*mykes*, gr. = Pilz, *rhiza*, gr. = Wurzel). Der Pilz liefert dabei der Pflanze Wasser und Nährstoffe wie Phosphor oder Stickstoff, dafür erhält er von der Pflanze Zucker oder andere Assimilate der Photosynthese.

Im Vergleich zu den Wurzelhaaren können die Pilzfäden den Boden um ein Vielfaches intensiver durchdringen. Der Durchmesser von Pilzhyphen ist mit 2–3 µm im Vergleich zu Wurzelhaaren mit 15–20 µm um ein Vielfaches kleiner. Dadurch können Pilzhyphen noch kleinere Bodenporen erschliessen. Zudem wird die Oberfläche, welche für die Aufnahme der Stoffe verantwortlich ist, bis zu 50 mal erhöht. So besitzt ein Zentimeter Wurzel ohne Mykorrhiza eine Oberfläche von 25 mm<sup>2</sup>, wohingegen eine Wurzel mit Mykorrhiza eine Oberfläche von 1250 mm<sup>2</sup> haben kann. Durch das hier angewandte Prinzip der Oberflächenvergrößerung, kann der Pilz der Pflanze die oben erwähnten Stoffe (Phosphor, Stickstoff, aber auch andere Mineralstoffe und Wasser) auf hervorragender Weise liefern.

Der Pilz bekommt dafür von der Pflanze Assimilaten der Photosynthese und kann so in kurzer Zeit einen Fruchtkörper\* ausbilden, der sehr viel Baumaterial und Energie benötigt. 10 bis 20% der Photosyntheseproduktion gehen jährlich von den Pflanzen auf die Pilze über, was der unvorstellbaren Zahl von bis zu  $2 \cdot 10^{10}$  Tonnen Assimilate entspricht.

Zudem schützt die Mykorrhizierung die Pflanzen vor gewissen Schädlingen (z. B. Blattläusen oder schädlichen Pilzen) und Schadstoffen (z. B. Schwermetallen oder radioaktiven Substanzen). Einige Mykorrhizapilze sind erstaunlich robust gegenüber erhöhten Schwermetallgehalten im Boden. Einige Schwermetalle, wie auch Aluminium, werden in der Pilzzelle gebunden. Mykorrhizierte Pflanzen haben eine Art Schutzmantel durch die Pilze, welcher die Schwermetalle nur in reduziertem Umfang in die Pflanze lässt. Diese Eigenschaft kommt einer Filterfunktion der Mykorrhiza gleich. Daneben erhalten die Pflanzen durch die Pilze oft eine erhöhte Toleranz gegenüber Frost oder Trockenheit.

Forschende versuchen mit Hilfe von Mykorrhizapilzen die Erträge von Pflanzenkulturen zu erhöhen. Mehr zu diesem aktuellen Thema erfährst du später.



Abb. 2: Wurzelspitzen mit Pilzfäden umwachsen.

\* Fruchtkörper sind die Fortpflanzungsorgane der Pilze, welche gemeinhin als «Pilz» bezeichnet werden und die z. B. als Champignon aus der Lebensmittelabteilung von den Menschen verzehrt werden.

Quellen: Egli, S. und Brunner, I. (2011) & Graf, F. (2003).

## Aufgabe 3

Zwei passionierte Pilzsammler streiten sich, ob eine Sturmfläche (Fläche im Wald, bei der der Sturm die Bäume umgeworfen hat) ein gutes Pilzsammelgebiet ist oder nicht. Lies die beiden unteren Voten durch und nimm zu diesen Stellung:

### Pilzsammler 1

«Eine dreijährige Sturmfläche ist ein ungeeignetes Gebiet, um viele Fruchtkörper von Pilzen zu sammeln, da die Bäume nicht mehr in der Lage sind, Photosynthese zu betreiben. Dadurch bleibt auch zu wenig für die Pilze übrig, so dass ich dort bis jetzt noch nie schöne Pilze gefunden habe.»

### Pilzsammler 2

«Eine dreijährige Sturmfläche ist ein gutes Gebiet, um viele Fruchtkörper von Pilzen zu sammeln, da in diesem Gebiet viele Mineralstoffe vorhanden sind und die Bäume den Pilzen das Licht nicht mehr wegnehmen können. Das merkt man auch, da auf solchen Flächen die Artenvielfalt immer sehr hoch ist. Zudem habe ich auf einer solchen Fläche meinen grössten Champignon gefunden.»

## Aufgabe 4

Bei mykorrhizierten Pflanzen werden die Schwermetalle bereits im Pilzmantel abgefangen und gelangen nur in einem reduzierten Mass in die Pflanzenwurzel. Welchen Nachteil hat dies für einen speisepilzliebenden Menschen?

## 1.2 Der Übergang zwischen Symbiose und Parasitismus ist fliegend

Das vorhergehende Kapitel spricht ausschliesslich von einer symbiotischen Beziehung zwischen den beiden Partnern, bei der beide Arten profitieren. Ob beide Arten gleich viel von der Partnerschaft profitieren, ist hingegen keinesfalls klar, wie du gleich sehen wirst. Es hat sich zum Beispiel gezeigt, dass wenn der Boden sehr viele Mineralstoffe enthält, die Pflanzen kaum auf Mykorrhizapilze angewiesen sind, da sie mit den Wurzelhaaren selber genug Mineralstoffe aufnehmen können. In einem solchen Fall profitiert der Pilz viel mehr von der Pflanze. Gibt schlussendlich der Pilz gar keine Nährstoffe an die Pflanze, dann ist aus einer symbiotischen Beziehung eine parasitäre Beziehung geworden, bei der nur noch der Pilz profitiert, während die Pflanze nur Kosten hat. Andererseits wurde auch festgestellt, dass wenn die Pflanze die Pilze nicht mehr benötigen oder diese zu wenig Nährstoffe liefern, die Pilze oder ein Teil davon einfach von der Pflanze verdaut werden. In anderen Fällen kann der Pilz die Pflanze so manipulieren, dass diese ihn nicht mehr los wird und für wenig Mineralstoffe viel teuren Zucker\* geben muss.

Wie du siehst, sind also die Übergänge zwischen Symbiose und Parasitismus bei Mykorrhiza fliegend. Trotzdem ist zu sagen, dass es es seit Hunderten von Millionen Jahren Mykorrhizapilze gibt und es sich um eine evolutiv sehr erfolgreiche Strategie handelt. Dies ist nur möglich, weil beide Partner von der Symbiose in ähnlichem Masse profitieren haben.

*\* Für die Pflanze ist der Zucker teuer, wenn die Photosynthese limitiert ist. Dies ist bei Licht- oder Wassermangel der Fall.*

### Aufgabe 5

**Es gibt Forschende die behaupten: «Je nach Mineralstoffversorgung ist bei bestimmten Mykorrhizapilzen der Übergang von Symbiose zu Parasitismus fliegend». Erläutere in drei Sätzen, was damit gemeint ist.**

## 1.3 Wie viele Pflanzenarten sind mykorrhiziert?

Von allen Landpflanzen sind etwa 90 % fähig, eine Wurzelsymbiose mit einem Pilz einzugehen. Waldbäume, Gräser und Heiden bilden eine auffällige Mykorrhiza. Etwa ein Drittel der in unseren Wäldern wachsenden Grosspilze sind Mykorrhizapilze. Unter diesen rund 2000 Arten befinden sich eine ganze Reihe von wertvollen Speisepilzen (z. B. Trüffel, Steinpilz, Maronenröhrling, Eierschwamm) aber auch viele Giftpilze (z. B. Fliegenpilz, Knollenblätterpilz, Satansröhrling). Viele Mykorrhizapilze sind auf eine bestimmte Baumart spezialisiert und werden nur an deren Wurzeln gefunden. Dies ist schon am Pilznamen erkennbar, der häufig auch die Baumart nennt, mit denen der Pilz mykorrhiziert ist. So gibt es etwa den Lärchenröhrling und den Fichtenreizker. Andere Pilzarten sind weniger spezialisiert und können verschiedene Baumarten gleichzeitig mykorrhizieren. Viele Pilze gehen gleichzeitig eine Symbiose mit verschiedenen Bäumen ein. Dadurch können Netzwerke entstehen, welche von mehreren Hunderten Bäumen und Pilzen betrieben werden. So konnten Forschende nachweisen, dass Nährstoffe von einem Baum über Mykorrhizapilze zu einem anderen Baum gelangten. Dabei werden nicht nur Stoffe ausgetauscht, sondern auch Informationen über Krankheitserreger. Einige Forschende gehen sogar davon aus, dass es unter der Erde eine Art Telefonnetz gibt, bei dem die Pilzfäden die Telefonleitungen darstellen.

Quelle: Kittl, B. (2020).

### Aufgabe 6

**Der Fichtenspargel ist eine Pflanze in unseren Wäldern, welcher selber keine Photosynthese betreibt. Wie könnte er zu seinem benötigten Zucker kommen? Handelt es sich dabei um eine symbiotische Beziehung?**

### Aufgabe 7

**In der baumlosen Heidelandschaft produziert das Heidekraut Verbindungen, welche Mykorrhizapilze hemmen, die mit Bäumen in Symbiose stehen. Welchen Vorteil zieht das Heidekraut daraus?**

## 1.4 Ohne Pilze keine Pflanzen auf dem Festland?

Viele Forschende sind der Ansicht, dass die Pflanzen während der evolutiven Besiedelung des Landes auf Pilze angewiesen waren. Heute wissen wir, dass ca. 50 000 Pilzarten mit ca. 250 000 Pflanzenarten eine mykorrhizische Symbiose eingehen. Eine solche unspezifische Symbiose kann sich nur schwer nachträglich entwickelt haben. Die fossilen Zeugnisse der ersten Landpflanzen vor über 400 Millionen Jahren deuten darauf hin, dass auch diese stark von Mykorrhizapilzen infiziert waren. Diesen Arten fehlten Wurzelhaare, mitunter sogar Wurzeln, und die Besiedlung des Festlandes war den Pflanzen vermutlich nur durch die Pilze möglich, die den notwendigen engen Kontakt zwischen Pflanze und Substrat herstellten.

Vor mehr als 300 Millionen Jahren erschienen die ersten grossen Bäume. Obwohl damals schon einige holzabbauende Pilze existierten, waren sie aufgrund der mangelnden Sauerstoffkonzentration in der Luft wenig effektiv. So blieben immer mehr Nährstoffe in gebundener Form im Holz und sie waren für die Pflanzen nicht mehr verfügbar. Damit sich überhaupt Wälder ausbilden konnten, waren die Bäume auf Mykorrhizapilze angewiesen, welche ihnen den limitierenden Stickstoff auch noch aus kleinsten Konzentrationen bereitstellen konnten.

Heute können wir davon ausgehen, dass bis zu 80 % des pflanzlichen Stickstoff und Phosphor von Mykorrhizapilzen zur Verfügung gestellt wird. Viele Pflanzenarten können ohne Mykorrhizapflanzen nicht überleben oder wachsen sehr schlecht.

Quelle: van der Heijden, M. G. A., *et al.* (2015).

### Aufgabe 8

**Du erzählst deinen Eltern, was Mykorrhiza ist und wie beide Partner voneinander profitieren. Dein Vater ist aber skeptisch und meint, dass es für die Pflanzen doch viel besser wäre, wenn sie einfach dünnere Wurzeln ausbilden würden.**

**Aus seiner Sicht müsste die Evolution die mykorrhizische Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzen längst wegselektioniert haben. Was würdest du deinem Vater antworten, um ihn zu überzeugen, dass die Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzen ein evolutives Erfolgsmodell ist?**

## 1.5 Einteilung der Mykorrhizapilze

Bei der Einteilung der Mykorrhizapilze gibt es die folgenden beiden Gruppen, die sich darin unterscheiden, ob die Pilzfäden innerhalb oder ausserhalb der Pflanzenzellen wachsen.

### Ektomykorrhiza

In unseren Wäldern ist dies die häufigste Wurzelsymbiose mit Bäumen. Die Pilzfäden bilden einen dichten Mantel um die Wurzelenden (*ekto*, griechisch = aussen). Die Pflanzen bilden als Reaktion darauf keine Wurzelhaare mehr aus, verdicken aber die Enden der Wurzelspitzen. Die Pilzfäden wachsen zwar in die Wurzelrinde ein, bleiben jedoch dort zwischen den Zellen (Abb. 3). Es bildet sich so ein Netz von Pilzfäden (Hartigches Netz) in der Wurzel, das für den Austausch der Nährstoffe verantwortlich ist. Das Hartigsche Netz vergrössert die Grenzfläche zwischen Pflanze und Pilz enorm.

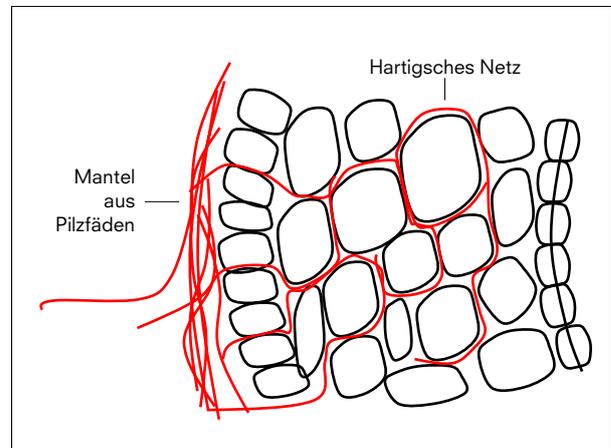


Abb. 3: Wurzelquerschnitt mit Ektomykorrhiza.

### Arbuskuläre Mykorrhiza

Bei der arbuskulären (kurz AM) oder früher auch vesikulär-arbuskuläre Mykorrhiza dringen die Pilzfäden in Pflanzenzellen ein. Die Pilzfäden verzweigen sich in den Zellen der Wurzelrinde typischerweise bäumchenartig (= Arbuskeln, von lat. *arbusculum* = Bäumchen) (Abb. 4). Diese Arbuskeln vergrössern die Austauschfläche zwischen dem Pilz und der Pflanze. Einige Pilzarten bilden auch in und zwischen den Pflanzenzellen bläschenartige (= Vesikel, von lat. *vesicula* = Bläschen) dickwandige Pilzzellen. Diese Vesikel sind die Vorratsspeicher der Pilze.

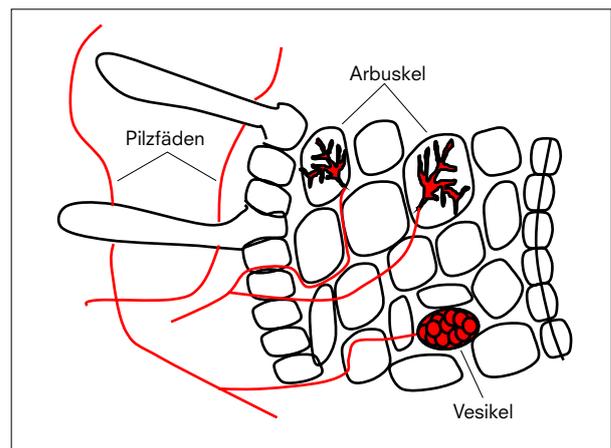


Abb. 4: Wurzelquerschnitt mit arbuskulärer Mykorrhiza.

## Aufgabe 9

Erstelle eine Tabelle mit strukturellen Gemeinsamkeiten und Unterschieden zwischen Ektomykorrhiza und arbuskulärer Mykorrhiza.

# Teil 2:

## Discovery Workshop

Der Workshop wird vom Zurich-Basel Plant Science Center am Life Science Learning Zentrum der ETH Zürich und Universität Zürich angeboten. Als Begleitmaterial wurde ein Forschungsheft entwickelt, welches die Schülerinnen und Schüler durch den Workshop begleitet.

Das Forschungsheft ist als PDF unter folgendem Link erhältlich:

[www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/discovery.html](http://www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/discovery.html)

### Workshopinhalt

In diesem halbtägigen Kurs bekommen die Schülerinnen und Schüler die Gelegenheit, Mykorrhizapilze zu isolieren, anzufärben und unter dem Mikroskop zu betrachten. Die Schülerinnen und Schüler identifizieren die für Endomykorrhiza typischen Strukturen der Pilzhypen. Im Anschluss an den praktischen Teil wird mit Forschenden diskutiert, wie Mykorrhizapilze in der Landwirtschaft als Biodüngemittel verwendet werden können. Versuche haben gezeigt, dass sich dadurch bis zu 50 % des Düngers einsparen lassen. Weitere relevante Überlegungen werden durch aktuelle Forschungsergebnisse vor allem mit Straucherbse und Fingerhirse anschaulich illustriert.

### Ziele

- Die Schülerinnen und Schüler präparieren Pflanzenwurzeln so, dass sie unter dem Mikroskop die typischen Merkmale von Mykorrhizapilzen erkennen können.
- Die Schülerinnen und Schüler können argumentieren, warum Mykorrhizapilze als Düngemittel verwendet werden können.
- Die Schülerinnen und Schüler können aktuelle Forschungsbeispiele nennen, welche im Zusammenhang mit der Symbiose von Pflanzen und Mykorrhizapilzen stehen.

### Vorwissen

- Wissen aus der 1. Lektion

# Teil 3:

## Biodünger der Zukunft

### Thema

Die meisten Pflanzen (ca. 80 % aller Pflanzenarten) bilden eine Symbiose mit arbuskulären Mykorrhizapilzen, so zum Beispiel viele Nutzpflanzen, bei denen sich die Symbiose positiv auf den Ertrag auswirken kann. Es wird aufgezeigt, dass der Boden eine der wichtigsten Ressourcen ist und daher geschützt werden muss. Mykorrhizapilze werden als möglicher biologischer Düngerersatz vorgestellt. Es werden verschiedene aktuelle Forschungsprojekte vorgestellt, bei welchen Mykorrhizapilze eine wichtige Bedeutung haben. Mit dem erarbeiteten Wissen sollen die Schülerinnen und Schüler selber eine Fragestellung ausarbeiten. Dies passiert in Einzel- oder Gruppenarbeit. Die Schülerinnen und Schüler erhalten dazu Erbsensamen und Mykorrhizapilze von der Lehrperson.

### Ziele

- Die Schülerinnen und Schüler können die gesellschaftliche Relevanz des Themas Mykorrhiza aufzeigen, indem sie zwei aktuelle Forschungsprojekte erläutern, bei denen Mykorrhizen eine zentrale Rolle einnehmen.
- Die Schülerinnen und Schüler können mit zwei Argumenten begründen, warum die Menschheit dem Boden Sorge tragen soll. Zudem können sie zwei Massnahmen aufzählen, welche dem Schutz des Bodens dienen.
- Die Schülerinnen und Schüler überlegen sich eine Fragestellung für ein Experiment zum Thema Mykorrhiza. Damit die Fragestellung geeignet ist, nutzen sie ihr Vorwissen im Bereich Mykorrhiza.

### Vorwissen

- Wissen aus der 1. Lektion
- Durchführung eines Experimentes

## Verlaufsplanung Lektion 2

Arbeitsform, Zeit	Themen	Material
Kognitive Aktivierung: Aufgabe 10 <i>5 Minuten</i>	Von Unruhen, Öl und Winden	Seite 17
Lektüre der Kapitel 3.1 bis 3.3 und Lösen der Aufgabe 11 und 12, Arbeiten in Einzel- oder Gruppenarbeit <i>20 Minuten</i>	3.1 Mykorrhiza – der Weg aus der Hungerkatastrophe? 3.2 Forschungsprojekte mit Mykorrhizen 3.3 Welche Faktoren beeinflussen das Verhältnis zwischen Mykorrhizapilzen und Pflanzen?	Seiten 18 bis 22
Besprechung der Aufgabe 11 und 12 <i>5 Minuten</i>	3.3 Welche Faktoren beeinflussen das Verhältnis zwischen Mykorrhizapilzen und Pflanzen?	Seiten 18 bis 22
Vortrag der Lehrperson: Informationen für das Experiment <i>5 Minuten</i>	3.4 Plane dein eigenes Mykorrhiza-Forschungsprojekt	Seite 23
Arbeiten am Experiment <i>10 Minuten</i>	3.4 Plane dein eigenes Mykorrhiza-Forschungsprojekt	Seite 23
Hausaufgaben, Experiment in Einzel- oder Gruppenarbeit durchführen		

## Aufgabe 10

### Von Unruhen, Öl und Winden

Lese bitte die drei Texte durch und versuche dann die untenstehenden Fragen zu beantworten.

#### **Unruhen in Haiti**

Die Gründe für die blutigen Unruhen in Haiti lagen nicht zuletzt im Boden, meint der Wirtschaftswissenschaftler Andy White von der Umweltschutzvereinigung Forest Trends in Washington: Kaum ein Land weltweit wurde so drastisch entwaldet wie Haiti, nur drei Prozent des früheren Regenwaldes sind noch erhalten, und etwa ein Drittel der einstigen Ackerbaufläche ist heute fast unfruchtbar. Daher zieht die hungernde Landbevölkerung in die Slums der Grossstädte, wo sich irgendwann die sozialen Spannungen entladen.

#### **«Boden vor Öl»**

Die Bodenerosion verursache allein in den USA Schäden von rund 44 Milliarden Dollar jährlich, errechnete schon 1995 der Ökologe David Pimentel von der Cornell University in Ithaca, New York. Und nach dem Motto «Soil before oil» hatte auch Lester Brown als Präsident des Worldwatch Institute gewarnt: Noch vor den Ölreserven könnte die mindestens ebenso wertvolle Ackerbaufläche zur Neige gehen.

#### **Vom Winde verweht**

In Chinas Norden wird Jahr für Jahr über anderthalb Milliarden Tonnen fruchtbarer Lössboden vom Winde verweht. Zurück bleibt Ödland und eine bettelarme Landbevölkerung. In Afrika wiederum fehlen dem Boden die Mineralstoffe, weil die Bauern zu arm zum Düngen sind. Das Millennium Project der Vereinten Nationen setzt daher auf Bodenpflege als Schlüssel zur Entwicklungshilfe: Als ein zentraler Punkt soll die nachhaltige Ackernutzung helfen, die Zahl unterernährter Menschen zu halbieren.

Was für Gemeinsamkeiten erkennst du zwischen den drei Texten und was haben die Texte mit dem Thema Mykorrhiza zu tun?

### 3.1 Mykorrhiza – der Weg aus der Hungerkatastrophe?

Die Weltbevölkerung wächst und wächst. Im Moment sind fast acht Milliarden, wobei mehr als eine Milliarde davon unterernährt ist. Besonders betroffen sind Menschen in den Entwicklungsländern in Afrika, Südasien und Südamerika. In diesen Gebieten ist der grösste Teil der Bevölkerung so arm, dass zu wenig Geld für den Kauf von genug Nahrungsmitteln vorhanden ist. Viele versuchen daher, selber Nahrungsmittel anzubauen. Oft sind die Böden aber arm an Mineralstoffen und das Wasser knapp. Düngemittel sind teuer und wurden in den letzten Jahren noch viel teurer, da die weltweite Nachfrage gestiegen ist. Wie lange zum Beispiel die Phosphatreserven für Düngemittel reichen, ist ungewiss. Einige Schätzungen gehen gerade mal von 50 Jahren aus. Viele arme Leute können sich unterdessen keinen Dünger leisten. Eine Verbesserung der Situation könnten Mykorrhizapilze als Biodünger bringen. Zurzeit gibt es viele Forschungsgruppen, die das landwirtschaftliche Potenzial von Mykorrhizapilzen untersuchen. Die Schweiz beteiligt sich seit vielen Jahren an Forschungsprojekten in Indien, die zum Ziel haben, mit Biodünger der Ertrag zu steigern (siehe 3.2.1).

Zu den Versuchspflanzen gehören die Straucherbse (*Cajanus cajan*) und die Fingerhirse (*Eleusine coracana*). Beide Pflanzen sind in Indien Grundnahrungsmittel und reich an wertvollen Eiweissen und Mineralien. Für weltweit mehr als eine Milliarde Menschen sind die beiden Pflanzen die Haupteiweissquelle.

Wissenschaftler\*innen möchten nun mit Hilfe einer Mischung von Mykorrhizapilzen und Bakterien versuchen, die Erträge zu erhöhen. Bisherige Resultate in Indien sind sehr vielversprechend. In Indien sind in vielen Gebieten Böden des Typs «Roterde» vorhanden, deren rote Farbe durch Anreicherung von Eisenoxiden und Eisenhydroxiden verursacht wird. Meist sind diese Böden ausgewaschen, daher arm an Nährstoffen. Zudem binden die im Boden vorhandenen Eisen- und Aluminiumionen die Phosphate so stark, dass sie für Pflanzen nicht mehr verfügbar sind. Vor allem auf solchen nährstoffarmen Böden führen Mykorrhizapilze zu einer beachtlichen Ertragssteigerung von bis zu 50 %. Zusätzlich werden häufig auch die Makro- und Mikronährstoffe in der Erbse bzw. der Hirse erhöht.

Noch mehr aktuelle Forschungsprojekte lernst du gleich im nächsten Kapitel kennen.



Abb. 5: Straucherbse (*Cajanus cajan*).



Abb. 6: Fingerhirse (*Eleusine coracana*).

## 3.2 Forschungsprojekte mit Mykorrhiza

### 3.2.1 Die Verwendung von Bakterien und Mykorrhiza als Biodünger in Indien

In diesem Projekt sollen arbuskuläre Mykorrhizapilze und Wurzelbakterien als Biodünger verwendet werden. Dies ist ein Indisch-Schweizerisches Gemeinschaftsprojekt vom ISCB (= Indo-Swiss Collaboration in Biotechnology). In Indien fehlt meist ein Bewässerungssystem, so dass ein grosser Teil der Felder allein auf Regenwasser angewiesen ist und dadurch eine Wasserknappheit auf den Feldern häufig ist. Von zentraler Bedeutung für den Ansatz ist ein gemischtes Anbausystem von Fingerhirse und Straucherbse (siehe Kapitel 3.1), welches in Indien traditionell so angepflanzt wird. Es hat sich gezeigt, dass diese Kombination viele Vorteile hat. Die Straucherbse hat Wurzeln, die bis vier Meter tief in die Erde reichen. In der Nacht nimmt die Straucherbse das Wasser auf und transportiert es nach oben, dadurch kommt es in den Wurzelbereich der Fingerhirse, welche davon profitieren kann. Im Projekt sollten Mykorrhizapilzarten oder Wurzelbakterien ausfindig gemacht werden, welche sich speziell gut für die Fingerhirse und die Straucherbse als Biodünger eignen. Neben der Bereitstellung von Nährstoffen sollen die Symbiosepartner auch die Aufnahme von Wasser aus dem trockenen Boden verbessern.

Am Schluss soll also den Landwirten in Indien ein Paket abgegeben werden, welches aus Samen von Fingerhirse und Straucherbsen sowie einer Mischung von ausgewählten Mykorrhizapilzen und Wurzelbakterien besteht. Wenn diese nun zusammen in Mischkultur angepflanzt werden, soll vor allem auf nährstoffarmen, trockenen Böden ein höherer Ertrag möglich sein.

Quellen:

Projekt von Lukas Schütz, ehemaliger Doktorand an der Universität Basel (2013–2017)  
[https://forschdb2.unibas.ch/inf2/rm\\_projects/object\\_view.php?r=2729522](https://forschdb2.unibas.ch/inf2/rm_projects/object_view.php?r=2729522)  
(Aufgerufen 07.12.2020)

Projekt von Santiago Perez Bernal, Doktorand an der Universität Basel (2019–2021)  
<https://ppe.duw.unibas.ch/en/syngentafellowship/>  
(Aufgerufen 07.12.2020)

## Aufgabe 11

**In Partnerarbeit wirst du nun ein Experiment mit Mykorrhizapilzen planen und wenn möglich, auch durchführen. Du sollst folgendermassen vorgehen: Mit deiner Partnerin oder deinem Partner zusammen erhältst du vier Texte (3.2.1 bis 3.2.4), welche aktuelle Forschungsansätze im Bereich Mykorrhiza aufzeigen. Jeder von euch liest zwei Texte durch und berichtet dann seiner Partnerin oder seinem Partner, was sie oder er gelesen hat. Daraufhin lest ihr das Kapitel 3.3 durch und beantwortet die Kontrollfrage. Mit dem Wissen aus dem Kapitel 3.3 seid ihr nun fähig euch ein Experiment zu überlegen, welches kein Anfängerexperiment mehr ist, sondern schon etliche Faktoren berücksichtigt und sogar für manche Forschende sehr spannend ist. Und wer weiss, vielleicht ist dieses Experiment der Startschuss zu eurer Maturitätsarbeit.**

**Präzisere Anweisungen zum Experiment findest du dann später im Kapitel 3.4.**

### 3.2.2 Anreicherung des Spurenelementes Zink in Weizen durch Anwendung organischer Substanzen

«Das Spurenelement Zink ist ein lebensnotwendiger Bestandteil von Pflanzen, Tieren und Menschen. Ungenügende Versorgung mit Zink ist eines der am weitesten verbreiteten Probleme der menschlichen Ernährung. Zinkmangel tritt besonders häufig in Bevölkerungsgruppen auf, die sich einseitig von Getreideprodukten ernähren und ungenügenden Zugang zu Fleisch oder anderen Nahrungsmitteln haben, die ausreichend Zink in leicht aufnehmbare Form enthalten. In vielen Gebieten ist Zinkmangel mit niedrigen Zink-Konzentrationen in Getreidekörnern verknüpft. Dies ist eine Folge davon, dass Pflanzen Zink nur schwer aus den Böden aufnehmen können. Das Problem ist meist nicht der Mangel an Zink an sich im Boden, sondern der Mangel an Zink in einer Form, in der es für die Pflanzenaufnahme gut zugänglich ist. Die Biofortifikation von Getreidekörnern mit Zink ist ein Ansatz, das Problem des Zinkmangels in der menschlichen Ernährung und in der Pflanzenernährung durch Steigerung der pflanzlichen Zinkaufnahme zugleich zu lösen. Daher soll nun untersucht werden, wie organische Substanzen optimal in der landwirtschaftlichen Bodenbewirtschaftung eingesetzt werden können, um die Qualität von Weizenkörnern als Nahrungsmittel hinsichtlich Zinkgehalt zu stärken und die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern. Dies ist besonders wichtig für Landwirtschaft, der überwiegend oder sogar ausschliesslich organische Substanzen wie Ernterückstände, grüne Biomasse oder Hofdünger für die Düngung zur Verfügung stehen. Die Idee ist nicht nur, diese Substanzen als Zinkquellen zu verwenden, welche mineralische Zinkdünger ersetzen, sondern auch, dass durch ihren Eintrag in Böden mit geringer Zinkverfügbarkeit schon im Boden vorhandenes Zink für die Pflanzenaufnahme mobilisiert wird. Weizen trägt leider auch sehr stark zur Belastung der menschlichen Ernährung mit Cadmium bei, und infolge früherer übermässiger Cadmium-Einträge sind viele landwirtschaftliche Böden auch heute noch mit erhöhten Gehalten an Cadmium belastet. Als Schwesterelemente haben Cadmium und Zink viele Ähnlichkeiten in ihrem chemischen Verhalten. Ein wichtiger Aspekt dieses Projekts ist deshalb auch, dass die Erhöhung der Zinkgehalte in den Weizenkörnern erreicht wird, ohne zugleich die Aufnahme an Cadmium zu steigern.»

Quelle:

Projekt von Paul Mäder, Forscher am Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL) in Frick (2013–2016)

<https://www.fibl.org/de/themen/projektdatenbank/projektitem/project/627.html>

(Aufgerufen 07.12.2020)

### 3.2.3 Neue Rolle für alten Signalstoff

«Die meisten Pflanzen gedeihen in der Natur nur dank einer Symbiose mit Bodenpilzen, der so genannten Mykorrhiza. In der Mykorrhiza erhält der Pilz von der Pflanze Zucker, welche sie mit Hilfe von Sonnenlicht in ihren grünen Blättern produziert.

Auf der Suche nach pflanzlichen Schlüsselgenen, welche für die erfolgreiche Symbiose nötig sind, entdeckte das Forscherteam von Prof. Marcel Bucher an der ETH Zürich bereits im Jahr 2001 das Pflanzen-Gen, welches für die Aufnahme des wichtigen Mineralstoffs Phosphat in der mykorrhizierten Wurzel verantwortlich ist.

#### Überraschendes Signal

Doch warum wird das Gen in den pilzbesiedelten Wurzeln aktiv? Das Team der ETH Zürich von Prof. Marcel Bucher (seit November 2006 an der Universität Köln auf dem gleichen Forschungsgebiet tätig) und jenes von Prof. Thomas Boller an der Universität Basel, sowie Dr. Peter Gehrig vom Functional Genomics Center Zurich der Universität Zürich kamen zu einer überraschenden Antwort, wie sie in einer Ausgabe des Fachmagazins Science berichten: Das auslösende Signal ist Lysophosphatidylcholin (LPC), ein Abbauprodukt eines Zellmembranstoffs. LPC war bisher nur in der medizinischen Forschung als Signalstoff bekannt, zum Beispiel bei der Entstehung entzündlicher Krankheiten. Die Forschung an pflanzlichen Zellen wie jene in der Mykorrhiza könnte weitere wichtige Erkenntnisse über die Funktion von LPC in lebenden Zellen unterschiedlicher Organismen zu Tage fördern.

#### Energieintensives Düngen reduzieren

Die neuesten Forschungsergebnisse leisten einen Beitrag dazu, das Zusammenleben zwischen Pflanzen und Pilzen in der Mykorrhiza noch besser zu verstehen. Wenn die molekularen Mechanismen, welche zu einer funktionierenden Mykorrhiza führen, bekannt sind, kann die Nährstoffeffizienz bei Kulturpflanzen verbessert werden. Ein Einsatz der Mykorrhiza in der modernen Landwirtschaft kann bei richtiger Anwendung den Einsatz von teuren und energieintensiven Düngern massiv reduzieren und leistet damit einen Beitrag zur Nachhaltigkeit und Umweltverträglichkeit.»

Quelle:

Medienmitteilung der Universität Basel, 11. Oktober 2007

<https://www.unibas.ch/de/Aktuell/News/Medienmitteilungen/Was-treibt-Wurzeln-zur-N-hrstoffaufnahme-an.html>

(Aufgerufen 07.12.2020)

Original Publikation:

David Drissner, Gernot Kunze, Nico Callewaert, Peter Gehrig, M'Barek Tamasloukht, Thomas Boller, Georg Felix, Nikolaus Amrhein, Marcel Bucher (2007). Lyso-Phosphatidylcholine Is a Signal in the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. *Science* Vol. 318, Issue 5848, 265–268.

<https://science.sciencemag.org/content/318/5848/265.abstract>

### 3.2.4 Invasive Pflanze reduziert das Wachstum der Buchen

«Gut gemeint ist nicht unbedingt gut gemacht: Reisende haben immer wieder Pflanzen und Tiere aus fernen Ländern zur Bereicherung der heimischen Flora und Fauna nach Europa mitgebracht. Was sie nicht wussten: In der neuen Heimat konnten sich diese «Mitbringsel» bisweilen invasionsartig ausbreiten und dabei beträchtliche wirtschaftliche Schäden anrichten. In vielen Fällen be- oder verdrängen sie sogar einheimische Arten.

#### Explosionsartige Verbreitung

Ähnlich verläuft die Geschichte des Drüsigen Springkrautes (*Impatiens glandulifera*). Ursprünglich im westlichen Himalaja beheimatet, gelangte diese Pflanze 1839 nach England. Als beliebte Zierpflanze wurde sie von dort aus in zahlreiche europäische Gärten gebracht. In den letzten Jahrzehnten hat sich die Art explosionsartig Bach- und Flussufern entlang und in Wäldern verbreitet. Bei Massenvorkommen verändert das Drüsige Springkraut die Zusammensetzung der einheimischen Kräuter. Es wird auch angenommen, dass sich diese invasive Pflanze negativ auf die Naturverjüngung der Wälder auswirkt. Genauere Untersuchungen liegen hierzu aber nicht vor.

#### Junge Buchen wachsen langsamer

Verschiedene Pilze leben im Boden in enger Symbiose mit Waldbäumen, deren Wurzeln mit einem feinen Geflecht von so genannten Mykorrhizen umgeben sind. Diese Wurzelpilze liefern den Bäumen Mineralstoffe und Wasser und erhalten als Gegenleistung Zucker.

Im Frühling 2008 haben Forscher der Universität Basel ein Feldexperiment mit drei Gruppen von Untersuchungsflächen in einem Laufentaler Wald eingerichtet: Die Gruppen bestanden aus Flächen bedeckt mit Springkraut, Flächen in welchen das Springkraut regelmässig entfernt wird und Flächen, die bisher noch nicht vom Springkraut besiedelt wurden. In einer Studie wurde der Fokus auf das Aufkommen von einjährigen Buchen gelegt. Diese wurden im Frühling 2009 in gleichen Dichten in den verschiedenen Untersuchungsflächen angepflanzt. Nach einem halben Jahr Wachstum lagen frappante Ergebnisse vor: Buchen, die von Springkraut umgeben waren, hatten 60 % weniger Wurzelpilze als die Bäumchen in Flächen ohne invasive Pflanzen. Das Springkraut reduzierte auch das Wachstum und die Überlebensrate der Jungbuchen. Individuen in Flächen mit Springkraut waren 15 % leichter und überlebten deutlich weniger häufig als diejenigen in den Kontrollflächen.



Abb. 7: Drüsiges Springkraut (*Impatiens glandulifera*).

Diese Studie zeigt eindrücklich, wie eine invasive Pflanze durch den negativen Einfluss auf Bodenpilze das Aufkommen und Wachstum der Buchen hindert. Die daraus entstehenden ökonomischen Verluste für die Forstbetriebe wurden bisher noch nicht berechnet, dürften aber beträchtlich sein.»

Quelle:

Medienmitteilung der Universität Basel, 26. Januar 2010

<https://conservation.unibas.ch/news/naturschutz10/index.php?lang=en>

(Aufgerufen 07.12.2020)

### 3.3 Welche Faktoren beeinflussen das Verhältnis zwischen Mykorrhizapilzen und Pflanzen?

Du hast bereits in Kapitel 1.2 erfahren, dass der Mineralstoffgehalt im Boden einen Einfluss auf die Beziehung zwischen dem Mykorrhizapilz und der Pflanze haben kann. In diesem Kapitel lernst du noch mehr Faktoren kennen, welche einen Einfluss darauf haben, ob die Mykorrhizapilze und Pflanzen eine engere Beziehung (mit mehr Austausch) oder eine lockere Beziehung (mit weniger Austausch) haben.

#### Licht

Bei wenig Licht ist die Photosyntheseleistung der Pflanze reduziert. Dies führt dazu, dass der Zucker zur Mangelware wird. Dadurch erhält auch der Mykorrhizapilz weniger Zucker, so dass dem Pilz auch weniger Energie für das Wachstum von Pilzfäden zur Verfügung steht. Durch weniger Licht nimmt also die Interaktion zwischen dem Pilz und der Pflanze ab.

#### Stark gedüngte Böden

Weltweit ist die Zusammensetzung der Böden sehr verschieden, was auch für den Mineralstoffgehalt gilt. Wenn ein Boden viele Mineralstoffe enthält, dann ist die Pflanze weniger auf den Pilz angewiesen und die Beziehung ist weniger eng.

Viele Ackerböden besitzen wenige Mineralstoffe, so dass der Mensch kräftig nachhilft. Weltweit werden jährlich vom Menschen etwa 150 Millionen Tonnen mineralischen Düngers (ergibt einen Güterzug einmal um die Erde, bei dem alle Güterwagen mit mineralischem Dünger gefüllt sind) ausgebracht. Viele Flächen werden sogar überdüngt. Der Dünger, der von den Pflanzen nicht aufgenommen wird, wird häufig ausgewaschen. Die ausgewaschenen Stoffe wie vor allem Nitrate und Phosphate können ins Grundwasser und damit weiter ins Trinkwasser gelangen. Nitrate werden von vielen Ärzten als ein Gesundheitsrisiko betrachtet. Im Boden wandeln aber auch Bakterien die Stickstoffverbindungen aus dem Dünger in Lachgas um, was aus dem Boden in die Luft übergeht und dort als Treibhausgas wirksam ist (Lachgas wirkt als Treibhausgas 300 mal stärker als Kohlendioxid!). Trotzdem sind auch in stark überdüngten Böden Mykorrhizapilze nachzuweisen, wenn auch in deutlich geringerer Anzahl und Vielfalt.

Zudem hält ein gut mykorrhizierter Boden die Überschüsse an Nährstoffen zu praktisch 100 % zurück, sofern der Mineralstoffgehalt moderat ist.

#### Mineralstoffarme Böden

Auch wenn es auf den ersten Blick nicht so scheint, die Böden der Tropen sind sehr arm an Mineralstoffen vor allem an Phosphaten. Die Humusschicht ist sehr dünn und die darunter folgende Gesteinsschicht dadurch stark verwittert und nicht mehr fähig, Mineralstoffe aus dem Gestein nachzuliefern. Aus diesem Grund müssen die lebenden Pflanzen die Mineralstoffe aus Resten des Regenwaldes beziehen. Mykorrhizapilze helfen das Phosphat aus absterbenden oder toten Lebewesen für die Pflanze sofort wieder bereit zu stellen.

#### Mechanisch stark beanspruchte Böden

Wenn ein Landwirt seinen Boden pflügt, möchte er dem Unkraut und möglichen Schädlingen Herr werden. Die Ernterückstände werden beseitigt und der Boden soll durchlüftet werden. Zudem soll die Mobilisierung von Mineralstoffen für die kommende Ernte gesteigert werden. Pflügen bringt aber auch eine grosse Menge an Nachteilen mit sich. So ist die umgepflügte Erde kaum geschützt vor Erosion. In vielen Gebieten verschwinden so jährlich mehrere Millimeter Boden. Zudem wird durch das Pflügen die Wasser- und Mineralstoffaufnahme für die Pflanzen verschlechtert. Und nicht zuletzt benötigt der Landwirt für das Pflügen Zeit und teure Geräte und Maschinen, welche zusätzlich Treibstoff benötigen.

Viele Agrarexperten sind der Meinung, dass Landwirte den Pflug nur dann einsetzen sollen, wenn die Vorteile überwiegen. So kann es durchaus sinnvoll sein, ein Feld zu pflügen, wenn es mit Krankheitserregern angereichert ist. Durch das Pflügen können die Krankheitserreger nämlich so stark reduziert werden, dass keine grossen Ernteeinbussen auftreten. Oft macht es jedoch mehr Sinn den Pflug stehen zu lassen und den Boden per Direktsaat (Saat ohne Bearbeitung des Bodens in den Boden bringen) zu bewirtschaften. So bleibt der Boden länger fruchtbar und Arbeits- wie Energiekosten werden

## Aufgabe 12

**Wie wirkt sich das Pflügen auf die Symbiose zwischen Mykorrhizapilz und die angebaute Pflanze aus?**



## Zusatzaufgabe

Vergleiche den Mineralstoffgehalt der drei Getreidesorten in Tabelle 1. Welche Getreidesorte würdest du laut dieser Tabelle unterernährten Personen empfehlen? Wenn du die Tabelle auf den zweiten Blick kritisch betrachtest, was fällt dir auf?

**Hinweis:** Die 75 % beim Weizenmehl beziehen sich auf den Ausmahlgrad (siehe Tabelle 2).

	Tagesbedarf	Menge Getreide, um den Tagesbedarf zu decken		
		Hirse	Weizenmehl 75 %	Reis poliert
Natrium	1–2 g	2,7–5,4 kg	40–80 kg	7,1–14,2 kg
Kalium	um 2 g	0,7 kg	1,05 kg	3,2 kg
Kalzium	0,8–2g	5,1 kg	3,47 kg	10 kg
Magnesium	um 0,3 g	170 g		1,3 kg
Phosphor	1,2 g	200 g	545 g	666 g
Eisen	12–15 mg	54–68 g	666–833 g	400–500 g

Tabelle 1: Mineralstoffgehalt von Getreidesorten.

Quelle: <https://www.hirsana.ch/de/hirse/rezepte-naehrwerte/> (07.04.2020)

Mehltyp	Ausmahlgrad	Mineralstoffgehalt
Weissmehl	ca. 65 %	ca. 0,63 %
Halbweissmehl	ca. 75 %	ca. 0,64 – 0,90 %
Ruchmehl	ca. 85 %	ca. 0,91 – 1,69 %
Vollkornmehl	ca. 98 %	ca. 1,70 %

Tab. 2: Mehltypen mit Ausmahlgrad und Mineralstoffgehalt.

Quelle: <http://www.gutekueche.ch/rezepte/warenkunde/backzutaten/mehl.378.htm> (17.8.2016)

## Metakognitionsaufgaben

- 1 **Hast du die Relevanz des Themas «Mykorrhiza» verstanden? Notiere bitte zwei Beispiele, welche die Relevanz des Themas aufzeigen. Konstruiere bitte ein zusätzliches fiktives Beispiel (welches nicht in den Unterlagen vorhanden ist), welches eine konkrete Fragestellung beinhaltet.**
- 2 **Gibt es einen Punkt, der dir noch nicht klar ist? Welche Möglichkeiten gibt es, die dir helfen könnten, diesen Punkt besser zu verstehen? Wie könntest du die nötigen Informationen beschaffen?**
- 3 **Welche Lehren hast du ganz persönlich aus diesem Thema gezogen? Was hat dich besonders am Thema interessiert?**
- 4 **Erstelle ein Mind-Map zu dieser Lerneinheit.**

## Informationen und Diskussionsvorschläge für die kognitiven Unterrichtseinstiege dieser Lerneinheit

### Aufgabe 1: Was ist der Unterschied zwischen diesen beiden Pflanzen?

Die Schülerinnen und Schüler müssen die Aufgabe lösen, indem sie Faktoren herauschälen, die einen Einfluss auf das Wachstum haben, wenn Mykorrhizha vorhanden (= Mit) oder nicht vorhanden (= Ohne) sind. Die Hinweise «Mit» und «Ohne» werden gegeben, damit die Frage einen geschlossenen Charakter hat.

Die Lehrperson kann Hilfestellung geben, indem sie klar formuliert, dass es «Mit» und «Ohne» heisst und nicht «Mehr» oder «Weniger».

Mögliche korrekte Schülerantworten auf die Frage könnten sein:

- Dünger
- Mykorrhizapilze oder allgemein Symbionten

Viele Antworten werden sich auf «Mehr» oder «Weniger» beziehen, wie Wassermenge, Temperatur, Alter, Lichtmenge, Kohlenstoffdioxidkonzentration,...

## Informationen für die Lehrperson bezüglich Experiment

### Durchführbarkeit

Ob das Experiment konkret durchgeführt wird oder ob es beim Gedankenexperiment bleibt, hängt von vielen Faktoren wie Zeit, Gruppengrösse, Infrastruktur ab und bleibt natürlich der Lehrperson überlassen.

### Bewertung

Das Experiment kann zu einer naturwissenschaftlichen Arbeit ausgebaut werden, wenn die Schülerinnen und Schüler verpflichtet werden, alle Punkte schriftlich festzuhalten. Ebenfalls kann dann das Produkt bewertet oder benotet werden. Ein mögliches Bewertungsschema ist als Exceldatei «Bewertungsformular Projekt Mykorrhiza» den Dokumenten beigelegt.

Eine für die Maturitätsschule passende Anleitung ist an den meisten Schulen bezüglich der Maturitätsarbeit vorhanden. Ein sinnvoller Leitfaden findet sich auch auf der Homepage von «Schweizer Jugend forscht» unter:

<https://sjf.ch/stiftung/downloads/>  
(Aufgerufen 04.10.2020)

### Lernziele

Falls das Experiment als naturwissenschaftliche Arbeit ausgeführt wird, ist folgendes Lernziel zentral:

Du kannst eine naturwissenschaftliche Arbeit in korrekter Form erstellen, wie sie später bei Maturaarbeiten bzw. Masterarbeiten oder Doktorarbeiten an der Universität in den Naturwissenschaften durchgeführt wird.

Viele weitere Lernziele sind denkbar.

## Abbildungsverzeichnis

**Abb. 1: Unterschiedlich behandelte Pflanzen der Straucherbse (*Cajanus cajan*).** Links: 3 Monaten mit Mykorrhizapilzen (*Glomus fasciculatus*) behandelt. Rechts: ohne Behandlung. Bild von Dr. Lukas Schütz, Universität Basel.

**Abb. 2: Wurzelspitzen mit Pilzfäden umwachsen.** Ellen Larsson/Wikimedia Commons, CC BY 2.5  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mycorrhizal\\_root\\_tips\\_\(amanita\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mycorrhizal_root_tips_(amanita).jpg) (Aufgerufen 28.9.2020)

**Abb. 3: Wurzelquerschnitt mit Ektomykorrhiza.** Grafik von Patrick Faller.

**Abb. 4: Wurzelquerschnitt mit arbuskulärer Mykorrhiza.** Grafik von Patrick Faller.

**Abb. 5: Straucherbse (*Cajanus cajan*).** Wibowo Djatmiko/Wikimedia Commons, CC BY-SA 3.0  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cajanus\\_caja\\_080716-1078\\_ayot.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cajanus_caja_080716-1078_ayot.jpg) (Aufgerufen 28.9.2020)

**Abb. 6: Fingerhirse (*Eleusine coracana*).** L. Shyamal/Wikimedia Commons, CC BY 3.0  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:EleusineCoracana2.jpg> (Aufgerufen 28.9.2020)

**Abb. 7: Drüsiges Springkraut (*Impatiens glandulifera*).** Foto von Jonas Küng.  
<https://conservation.unibas.ch/news/naturschutz10/index.php?lang=en> (Aufgerufen 28.9.2020)

## Literaturverzeichnis

Drissner, D. *et al.* (2007). Lyso-Phosphatidylcholine Is a Signal in the Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. *Science* Vol. 318, Issue 5848, 265–268. <https://science.sciencemag.org/content/318/5848/265.abstract>

Egli, S. und Brunner, I. (2011). Mykorrhiza – Eine faszinierende Lebensgemeinschaft im Wald. Merkblatt für die Praxis. WSL Birmensdorf. ISSN 1422–2876. <https://www.wsl.ch/de/publikationen/mykorrhiza-eine-faszinierende-lebensgemeinschaft-im-wald-1.html> (Aufgerufen 4.12.20)

Graf, F. (2002). Was wäre der Baum ohne Mykorrhiza. WSL. [http://www.ingenieurbiologie.ch/domains/ingenieurbiologie-rd\\_ch/data/free\\_docs/Baum%20ohne%20Mykorrhiza.pdf](http://www.ingenieurbiologie.ch/domains/ingenieurbiologie-rd_ch/data/free_docs/Baum%20ohne%20Mykorrhiza.pdf)

Kittl, B. (2020) WSL–Junior: Was ist das Internet des Waldes? <https://www.wsl-junior.ch/de/wald/so-funktionieren-baeume/was-ist-das-internet-des-waldes.html> (Aufgerufen 4.12.20)

Strasburger E., Neubearbeitung: Sitte P. u.a. (2002). Strasburger Lehrbuch der Botanik. 35. Auflage. Heidelberg; Berlin. Spektrum Akademischer Verlag. ISBN 3-8274-1010-X

van der Heijden, M. G. A., *et al.* (2015). Mycorrhizal ecology and evolution: the past, the present, and the future. *New Phycologist* 205: 1406–1423. <https://doi.org/10.1111/nph.13288>

## Links

Film «Die wunderbare Welt der Pilze»: <https://www.youtube.com/watch?v=TlkQDIJhLfM> insbesondere der Teil von 22:50 bis 26:00. Dieser Ausschnitt ist auch als separater Clip verfügbar: <https://www.youtube.com/watch?v=cK5wNANiD2M> (Dauer 2 Min 47 Sekunden)

Film zu «Arbuscular mycorrhizas in soil nutrient management» in Englisch <https://www.plantsciences.uzh.ch/en/publications/onlinelearning.html>

# Vor- und Nachtest zum Thema «Symbiose»

Name:

---

Datum:

---

Klasse / Schule:

---

weiblich

männlich

## Wichtige Hinweise

Lesen Sie die folgenden Aufgaben sorgfältig durch, ohne sich zu lange bei einer einzelnen Aufgabe aufzuhalten. Bei den folgenden Fragen können jeweils **mehrere** Antworten richtig sein. Kreuzen Sie die richtigen Antworten an. Versuchen Sie, alle Aufgaben zu lösen.

© MINT-Lernzentrum der ETH Zürich

**1. Mykorrhiza ist eine**

- Symbiose zwischen einer Alge und einem Pilz.
- Symbiose zwischen dem Spross einer Pflanze und einem Pilz.
- parasitäre Beziehung zwischen einer Pflanze und einem Pilz.
- parasitäre Beziehung zwischen zwei Pflanzen.
- Symbiose zwischen der Wurzel einer Pflanze und einem Pilz.

**2. Von den Pflanzenarten an Land sind**

- alle mykorrhiziert.
- über 90% mykorrhiziert.
- sind die meisten fähig, eine Wurzelsymbiose einzugehen.
- sind nur wenige bestimmte Arten fähig, eine Wurzelsymbiose einzugehen.

**3. Wie profitieren die beiden Symbiosepartner voneinander?**

- Die Pflanze bekommt Zucker und der Pilz erhält Wasser.
- Die Pflanze bekommt Wasser und der Pilz erhält Zucker.
- Die Pflanze bekommt Phosphat und der Pilz erhält Stickstoff.
- Die Pflanze bekommt Stickstoff und der Pilz erhält Zucker.
- Die Pflanze bekommt Zucker und der Pilz erhält Stickstoff.
- Die Pflanze bekommt Eiweisse und der Pilz erhält Fette.
- Die Pflanze bekommt Phosphat und der Pilz erhält Wasser.

**4. Arbuskuläre Mykorrhizapilze gehören (nach morphologischen Aspekten)**

- zu den Endomykorrhizapilzen.
- zu den Ektomykorrhizapilzen.
- zu den Endo- und Ektomykorrhizapilzen.
- entweder zu den Endo- oder den Ektomykorrhizapilzen.
- weder zu den Endo- noch zu den Ektomykorrhizapilzen.

**5. Welches sind die Indizien dafür, dass Pilze für die Besiedelung des Landes durch Pflanzen eine zentrale Rolle gespielt haben könnten:**

- Pilze besiedelten das Land schon viel länger als Pflanzen.
- Die ersten Landpflanzenarten hatten keine Wurzelhaare.
- Wenige Pilzarten können mit einer riesigen Zahl von Landpflanzenarten eine Symbiose bilden.

- Die meisten Landpflanzenarten sind mit Pilzen vergesellschaftet.
- Das Klima zu dieser erdgeschichtlichen Zeit war zu heiss, damit Pflanzen alleine genug Wasser aufnehmen konnten.

**6. Das Bild (Foto: Lukas Schütz) zeigt eine mykorrhizierte Pflanzenwurzel, bei welcher die bläulichen Pilzfäden typischerweise bäumchenartig (=arbuskulär) ausgebildet werden. Vier dieser Arbuskel sind mit einem roten Kreis markiert. Diese Arbuskel sind auf dem Bild jedoch eher als dunkle unscharfe Wolken und nicht als klare bäumchenartige Strukturen zu erkennen. Was folgerst du aus dem Bild?**

- Die Entfärbung der Pflanzenwurzel war zu kurz.
  - Die Arbuskeln sind nicht in den äussersten Zellen der Wurzelrinde, sondern eher in Zellen in der Nähe des Zentralzylinders.
  - Durch ein Zerdrücken der Wurzel (= Quetschpräparat) könnte die bäumchenartige Struktur besser erkennbar sein.
  - Wenn man vor der Färbung mit zwei Pinzetten den Zentralzylinder von der Wurzelrinde trennen könnte, würde die bäumchenartige Struktur besser erkennbar sein.
  - Die Dauer der Färbung war zu kurz.
  - Die Auflösung des Mikroskops könnte zu gering sein.
- 7. Für welche der folgenden Anwendungen in der Landwirtschaft können Mykorrhizapilze erfolgreich eingesetzt werden?**
- Zum Einsparen von Wasser für die Bewässerung der Kulturpflanzen.
  - Zur Stärkung der Landpflanzen gegen Schädlinge und Krankheiten.
  - Zur Ertragssteigerung von vielen Kulturpflanzen.
  - Zum Einsparen von Kunstdünger.
  - Zur Verhinderung der Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten.

- Zur Erhöhung der Aufnahme von Spurenelementen für viele Kulturpflanzen.
- Für die Reinigung eines schwermetallbelasteten Bodens, falls die Schwermetallionen an die Pflanze weitergegeben werden.

**8. Der Fichtenspargel ist eine Pflanze, welche selber keine Photosynthese betreibt, aber über Mykorrhizapilze mit anderen Pflanzenarten in Verbindung steht.**

- Dies ist kein Beispiel für eine Symbiose.
- Der Fichtenspargel wird kaum grosse Laubblätter haben.
- Der Fichtenspargel wird kaum grosse Blüten haben.
- Der Fichtenspargel bezieht die Kohlenstoffverbindungen letztendlich von Pflanzen.
- Der Fichtenspargel ist durch Umweltverschmutzung doppelt gefährdet.

**9. Ein alter und dicht bestockter Mischwald, der arm an Pilzen war, wurde stark durchforstet, so dass er weniger dicht wurde. In der Folge explodierte die Pilzflora förmlich. Viele Pilzfruchtkörper wurden neu auf der Fläche gefunden, vor allem Mykorrhizapilze. Was könnte eine mögliche Begründung dafür sein?**

- Die verbliebenen Bäume bekamen mehr Licht und dadurch bekamen die Pilze mehr Zucker und andere Kohlenhydrate.
- Die Mykorrhizapilze konnten dem liegengebliebenen Fällmaterial (kleine Äste, Sägemehl,...) neue und mehr Nahrung entziehen.
- Die Pilze erhalten mehr Licht und können dadurch besser die Fruchtkörper bilden.
- Der dichte alte Wald entzog den Pilzen zu viele Mineralstoffe, erst als einige Bäume gefällt wurden, hatte der Pilz wieder genug Energie um Fruchtkörper zu bilden.
- Durch die Durchforstung gab es wieder Pflanzenarten und damit auch mehr Tiere im Wald, welche für die Verbreitung der Pilze wichtig sind.

**10. Da deine Erbsen letztes Jahr schlecht gewachsen sind, hast du dieses Jahr ein Experiment durchgeführt. Du hast zehn Töpfe mit Gartenerde gefüllt und in fünf von diesen Töpfen, Mykorrhizasporen beigegeben. Danach hast du in jeden Topf 5 Erbsensamen gegeben und in den nächsten Monaten geschaut, dass alle zehn Töpfe immer gleich viel Licht, Dünger und Wasser erhielten. Zur Erntezeit konntest du keinen Unterschied zwischen den Erbsen mit und ohne Mykorrhiza feststellen. Was**

**kannst du aus diesem Ergebnis sicher schliessen?**

- Mykorrhizapilze haben keinen Einfluss auf das Wachstum von Erbsen.
- Mykorrhizapilze können einen Teil des Düngers ersetzen.
- Mykorrhizapilze waren nur in fünf Töpfen vorhanden.
- Mykorrhizapilze führen nicht bei allen Arten zu einer besseren Wasserversorgung.
- Mykorrhizapilze wirken sich bei Erbsen nur auf die Laubblätter und nicht auf die Wurzel aus.

**11. Die meisten Orchideenarten besitzen extrem kleine Samen ohne Nährgewebe um den Embryo und sind auf Mykorrhizapilze zur Keimung angewiesen.**

- Die Keimung von Orchideen ist ein Beispiel für eine parasitäre Beziehung.
- Damit eine Orchidee keimen kann, muss zuerst ein Pilzfaden in den Samen eindringen.
- Ausgewachsene Orchideen sind zum Überleben weniger auf Pilze angewiesen als die Keimlinge.
- In sterilisierter Erde können Orchideen nicht von alleine wachsen.
- Ein Vorteil dieser Fortpflanzungsstrategie könnte sein, dass Orchideen extrem viele Samen produzieren können.

**12. Offene Aufgabe**

Notiere in kurzen Sätzen ein neues (nicht in den Lektionen besprochenes!) Experiment, in welchem du nachweisen willst, dass Mykorrhizapilze für die hungernde Bevölkerung von Vorteil sind.

**13. Offene Aufgabe**

Nimm zur folgenden Aussage Stellung: «Keine Mykorrhiza, keine Menschen!»

# Lösungen

## Aufgabe 1

Bei den Kästchen 1., 3. und 4. wird die Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzen angesprochen. Diese Kästchen sind Beispiel für Mykorrhiza und zeigen den Vorteil auf, welche beide Partner (1. und 4.) oder einer der Partner (3.) bei der Symbiose haben.

Die anderen Kästchen (2., 5. und 6.) nehmen keinen Bezug auf eine Symbiose, sondern zeigen aktuelle Probleme bei Pilzen (5. und 6.) oder bei Pflanzen (2.) auf.

## Aufgabe 2

Der Pilzsammler 1 hat Recht, sofern es sich um Pilze handelt, die Bäume mykorrhizieren. Diese Pilze sind auf die Assimilate der Photosynthese angewiesen.

Der Pilzsammler 2 hat nicht Recht, da Pilze kein Licht benötigen. Die Artenvielfalt hat keinen direkten Zusammenhang mit der Menge an Fruchtkörpern von Pilzen. Dass er mal einen einzelnen Champignon gefunden hat, kann auch Zufall sein.

Hinweise: Champignons sind je nach Art saprophytische Pilze, welche keine Symbiose betreiben, dafür nur an Standorten mit genügend stickstoffhaltiger Erde (Gärten, Pärke, Grünanlagen,...) vorkommen.

Oft fruchten Pilze auch als sexuelle Fortpflanzungsstrategie bei limitierten Bedingungen. Durch starke Änderungen der Umweltbedingungen, wie bei einer neu entstandenen Sturmfläche, können also auch vermehrt Fruchtkörper ausgebildet werden.

## Aufgabe 3

Der Nachteil ist, dass diese Schwermetalle in den Pilzfruchtkörpern angereichert werden und dies kann zu gesundheitsgefährdenden Konzentrationen in Speisepilzen führen.

## Aufgabe 4

Bei geringem Mineralstoffgehalt im Boden fördert der Pilz das Wachstum der Pflanze, da er der Pflanze Mineralstoffe (z. B. P oder N) liefert. Ist der Mineralstoffgehalt im Boden jedoch sowieso hoch, kann die Pflanze selber durch die eigenen Wurzeln genug Mineralstoffe aufnehmen. Damit wird der Pilz zum Parasiten, der nur noch Zucker von der Pflanze nimmt, ohne etwas dafür geben zu müssen.

(Einige Pilzarten können aber sich besser gegen die Pflanze durchsetzen als andere Pilzarten. Dafür gibt es auch Pflanzenarten, die eine Symbiose gar nicht zulassen, wenn sie schon gut mit z. B. Phosphor versorgt sind.)

## Aufgabe 5

Fichtenspargel sind über Mykorrhizapilze mit anderen grünen Pflanzenarten verbunden. Der Zucker gelangt daher von der anderen grünen Pflanze über die Pilzfäden zum Fichtenspargel.

Nein, der Fichtenspargel ist ein Parasit, da er dem Pilz oder der anderen Pflanze liefert keine Photosyntheseprodukte liefern kann.

## Aufgabe 6

Auch in der Heidelandschaft benötigen Bäume Mykorrhizapilze, um zu wachsen. Durch die Abgabe der mykorrhizahemmenden Verbindungen können Bäume nicht in der Heide wachsen. Damit kann sich das Heidekraut vor der Konkurrenz durch die Bäume schützen. Erst wenn das Heidekraut entfernt wird, kann sich daher eine typische Waldvegetation entwickeln.

## Aufgabe 7

Pilzfäden sind viel dünner als die Wurzelhaare von Pflanzenzellen. Es ist fraglich, ob Pflanzen überhaupt fähig sind, ihre Wurzelhaarzellen noch weiter zu verkleinern.

Zudem sind Photosyntheseprodukte unter normalen Umständen für die Pflanzen relativ «billig», daher kann sie diese ohne grosse Verluste für sich selber an den Pilz weitergeben. Es ist fraglich, ob eine zusätzliche Investition in ein feineres und dichteres Wurzelwerk für die Pflanze nicht mehr Kosten verursachen würde.

Eventuell werden von den Schülerinnen und Schülern nicht passende Antworten im Bereich Besiedelung des Landes,... genannt.

## Aufgabe 8

Unterschiede: Ekto- (Zwischen den Zellen), Endo- (in den Zellen), Arbuskel, Vesikel.

Gemeinsamkeiten: Nährstoffaustausch, Pilzfäden, Oberflächenvergrößerung.

**Aufgabe 9**

Alle drei Texte zeigen auf, dass fruchtbarer Boden auf vielen Kontinenten immer knapper wird und dadurch die vielfältigsten Probleme entstehen. Vor allem die arme Bevölkerung trägt am Verlust dieser Ackerbaufläche sehr schwer.

Einerseits wird Ackerbaufläche zerstört (z. B. Minen, Häuser, Industrie) andererseits wird sie degradiert (z. B. Entwaldung). Durch die Degradierung kann es zu Nährstoffknappheit kommen. Mykorrhizen könnten in diesem Zusammenhang zur Entschärfung dieser Probleme beitragen, da mit ihnen auf günstige Weise die Fruchtbarkeit des Bodens erhöht werden kann. Je nach Degradierungsart, helfen auch keine Mykorrhizapilze mehr.

**Aufgabe 10**

Durch das Pflügen werden die Pilzfäden zerstückelt und geschwächt. Zudem sterben grosse Teile des Pilzgeflechtes ab, wenn diese ungeschützt der Sonne ausgesetzt sind.

Das Saatgut, das ausgebracht wird, muss nach der Keimung erst beginnen mit einem Pilz eine stabile Mykorrhiza einzugehen. Bei einem engen Netz von Pilzfäden ist die Wahrscheinlichkeit grösser für die Pflanzenwurzel auf einen Pilz zu treffen.

Offen bleibt hier, wie die Mykorrhizapilze nach der letztjährigen Ernte weiter mit Zucker versorgt werden, bzw. wie gross der Rückgang der Pilze durch den Wegfall der Versorgung durch die letztjährigen Kulturpflanzen ist.

Experimente haben gezeigt, dass die Wurzelkolonisation von Weizen mit Mykorrhizapilzen höher ist, wenn keine Bodenbearbeitung stattfindet.

**Zusatzaufgabe**

Laut dieser Tabelle hat Hirse bei allen aufgeführten Mineralstoffen (ausser beim Kalzium) den höchsten Wert, ist also für unterernährte Personen am besten geeignet. Im Gegensatz zu den ganzen Hirsekörnern (nicht explizit erwähnt) wird Halbweissmehl (nicht Vollkornmehl) bzw. polierter Reis (nicht «Vollkornreis») verglichen, welche beide deutlich mineralstoffärmer als Vollkornmehl oder Vollkornreis sind.

**1. Mykorrhiza ist eine**

- Symbiose zwischen einer Alge und einem Pilz.
- Symbiose zwischen dem Spross einer Pflanze und einem Pilz.
- parasitäre Beziehung zwischen einer Pflanze und einem Pilz.
- parasitäre Beziehung zwischen zwei Pflanzen.
- Symbiose zwischen der Wurzel einer Pflanze und einem Pilz.

**2. Von den Pflanzenarten an Land sind**

- alle mykorrhiziert.
- über 90% mykorrhiziert.
- sind die meisten fähig, eine Wurzelsymbiose einzugehen.
- sind nur wenige bestimmte Arten fähig, eine Wurzelsymbiose einzugehen.

**3. Wie profitieren die beiden Symbiosepartner voneinander?**

- Die Pflanze bekommt Zucker und der Pilz erhält Wasser.
- Die Pflanze bekommt Wasser und der Pilz erhält Zucker.
- Die Pflanze bekommt Phosphor und der Pilz erhält Stickstoff.
- Die Pflanze bekommt Stickstoff und der Pilz erhält Zucker.
- Die Pflanze bekommt Zucker und der Pilz erhält Stickstoff.
- Die Pflanze bekommt Eiweisse und der Pilz erhält Fette.
- Die Pflanze bekommt Phosphat und der Pilz erhält Wasser.

**4. Arbuskuläre Mykorrhizapilze gehören (nach morphologischen Aspekten)**

- zu den Endomykorrhizapilzen.
- zu den Ektomykorrhizapilzen.
- zu den Endo- und Ektomykorrhizapilzen.
- entweder zu den Endo- oder den Ektomykorrhizapilzen.
- weder zu den Endo- noch zu den Ektomykorrhizapilzen.

**5. Welches sind die Indizien dafür, dass Pilze für die Besiedelung des Landes durch Pflanzen eine zentrale Rolle gespielt haben könnten:**

- Pilze besiedelten das Land schon viel länger als Pflanzen.
- Die ersten Landpflanzenarten hatten keine Wurzelhaare.
- Wenige Pilzarten können mit einer riesigen Zahl von Landpflanzenarten eine Symbiose bilden.

- Die meisten Landpflanzenarten sind mit Pilzen vergesellschaftet.
- Das Klima zu dieser erdgeschichtlichen Zeit war zu heiss, damit Pflanzen alleine genug Wasser aufnehmen konnten.

- 6. Das Bild (Foto: Lukas Schütz) zeigt eine mykorrhizierte Pflanzenwurzel, bei welcher die bläulichen Pilzfäden typischerweise bäumchenartig (=arbuskulär) ausgebildet werden. Vier dieser Arbuskel sind mit einem roten Kreis markiert. Diese Arbuskel sind auf dem Bild jedoch eher als dunkle unscharfe Wolken und nicht als klare bäumchenartige Strukturen zu erkennen. Was folgerst du aus dem Bild?**



- Die Entfärbung der Pflanzenwurzel war zu kurz.
  - Die Arbuskeln sind nicht in den äussersten Zellen der Wurzelrinde, sondern eher in Zellen in der Nähe des Zentralzylinders.
  - Durch ein Zerdrücken der Wurzel (= Quetschpräparat) könnte die bäumchenartige Struktur besser erkennbar sein.
  - Wenn man vor der Färbung mit zwei Pinzetten den Zentralzylinder von der Wurzelrinde trennen könnte, würde die bäumchenartige Struktur besser erkennbar sein.
  - Die Dauer der Färbung war zu kurz.
  - Die Auflösung des Mikroskops könnte zu gering sein.
- 7. Für welche der folgenden Anwendungen in der Landwirtschaft können Mykorrhizapilze erfolgreich eingesetzt werden?**
- Zum Einsparen von Wasser für die Bewässerung der Kulturpflanzen.
  - Zur Stärkung der Landpflanzen gegen Schädlinge und Krankheiten.
  - Zur Ertragssteigerung von vielen Kulturpflanzen
  - Zum Einsparen von Kunstdünger.
  - Zur Verhinderung der Ausbreitung von Pflanzenkrankheiten.

- Zur Erhöhung der Aufnahme von Spurenelementen für viele Kulturpflanzen.
- Zur Zunahme der Aufnahme von Schwermetallen in Pflanzen für die Reinigung eines schwermetallbelasteten Bodens, falls die Schwermetallionen an die Pflanze weitergegeben werden.

**8. Der Fichtenspargel ist eine Pflanze, welche selber keine Photosynthese betreibt aber über Mykorrhizapilze mit anderen Pflanzenarten in Verbindung steht.**

- Dies ist kein Beispiel für eine Symbiose.
- Der Fichtenspargel wird kaum grosse Laubblätter haben.
- Der Fichtenspargel wird kaum grosse Blüten haben.
- Der Fichtenspargel bezieht die Kohlenstoffverbindungen letztendlich von Pflanzen.
- Der Fichtenspargel ist durch Umweltverschmutzung doppelt gefährdet.

**9. Ein alter und dicht bestockter Mischwald, der arm an Pilzen war, wurde stark durchforstet, so dass er weniger dicht wurde. In der Folge explodierte die Pilzflora förmlich. Viele Pilzfruchtkörper wurden neu auf der Fläche gefunden, vor allem Mykorrhizapilze. Was könnte eine mögliche Begründung dafür sein?**

- Die verbliebenen Bäume bekamen mehr Licht und dadurch bekamen die Pilze mehr Zucker und andere Kohlenhydrate.
- Die Mykorrhizapilze konnten dem liegengebliebenen Fällmaterial (kleine Äste, Sägemehl,...) neue und mehr Nahrung entziehen.
- Die Pilze erhalten mehr Licht und können dadurch besser die Fruchtkörper bilden.
- Der dichte alte Wald entzog den Pilzen zu viele Mineralstoffe, erst als einige Bäume gefällt wurden, hatte der Pilz wieder genug Energie um Fruchtkörper zu bilden.
- Durch die Durchforstung gab es wieder Pflanzenarten und damit auch mehr Tiere im Wald, welche für die Verbreitung der Pilze wichtig sind.

**10. Da deine Erbsen letztes Jahr schlecht gewachsen sind, hast du dieses Jahr ein Experiment durchgeführt. Du hast zehn Töpfe mit Gartenerde gefüllt und in fünf von diesen Töpfen, Mykorrhizasporien beigegeben. Danach hast du in jeden Topf 5 Erbsensamen gegeben und in den nächsten Monaten geschaut, dass alle zehn Töpfe immer gleich viel Licht, Dünger und Wasser erhielten. Zur Erntezeit konntest du keinen Unterschied zwischen den Erbsen**

**mit und ohne Mykorrhiza feststellen. Was kannst du aus diesem Ergebnis sicher schliessen?**

- Mykorrhizapilze haben keinen Einfluss auf das Wachstum von Erbsen.
- Mykorrhizapilze können einen Teil des Düngers ersetzen.
- Mykorrhizapilze waren nur in fünf Töpfen vorhanden.
- Mykorrhizapilze führen nicht bei allen Arten zu einer besseren Wasserversorgung.
- Mykorrhizapilze wirken sich bei Erbsen nur auf die Laubblätter und nicht auf die Wurzel aus.

**11. Die meisten Orchideenarten besitzen extrem kleine Samen ohne Nährgewebe um den Embryo und sind auf Mykorrhizapilze zur Keimung angewiesen.**

- Die Keimung von Orchideen ist ein Beispiel für eine parasitäre Beziehung.
- Damit eine Orchidee keimen kann, muss zuerst ein Pilzfaden in den Samen eindringen.
- Ausgewachsene Orchideen sind zum Überleben weniger auf Pilze angewiesen als die Keimlinge.
- In sterilisierter Erde können Orchideen nicht von alleine wachsen.
- Ein Vorteil dieser Fortpflanzungsstrategie könnte sein, dass Orchideen extrem viele Samen produzieren können.

**12. Offene Aufgabe**

Notiere in kurzen Sätzen ein neues (nicht in den Lektionen besprochenes!) Experiment, in welchem du nachweisen willst, dass Mykorrhizapilze für die hungernde Bevölkerung von Vorteil sind.

Beispiel: Mykorrhiza schützen vor Wassermangel, Krankheiten,...

**13. Offene Aufgabe**

Nimm zur folgenden Aussage Stellung: „Keine Mykorrhiza, keine Menschen!“

Beispiel: Mykorrhiza sind für die Landbesiedelung wichtig, ohne Mykorrhiza gäbe es keine Pflanzen auf der Erde. Die Evolution von Pflanzen und damit höchstwahrscheinlich auch der Tiere wäre dann anders verlaufen. Wahrscheinlichkeit, dass der Mensch genau so entstanden wäre, ist verschwindend klein.

Zusätzlich der Aspekt der Sauerstoffproduktion durch die Pflanzen, jedoch Sauerstoffproduktion der Bakterien, Algen,... würde für Sauerstoffanteil in der Luft ausreichen.

### MINT-Lernzentrum der ETH Zürich

Das MINT-Lernzentrum ist Teil des ETH-Kompetenzzentrums für Lehren und Lernen, EducETH. Das Ziel des MINT-Lernzentrums der ETH Zürich besteht darin, das schulische Lernangebot in den MINT-Bereichen nachhaltig zu optimieren. Dazu werden in Zusammenarbeit mit erfahrenen Lehrpersonen Unterrichtseinheiten und -materialien zu wichtigen und anspruchsvollen Themenbereichen entwickelt sowie an den Schulen implementiert.

Aktuelle Angebote finden Sie hier:

[www.educ.ethz.ch/lernzentren/mint-lernzentrum/ueber-das-mint-lernzentrum.html](http://www.educ.ethz.ch/lernzentren/mint-lernzentrum/ueber-das-mint-lernzentrum.html)

### Zurich-Basel Plant Science Center

Das Zurich-Basel Plant Science Center ist ein Kompetenzzentrum für Pflanzenwissenschaften an den drei Hochschulen ETH Zürich, Universität Zürich und Universität Basel. Es umfasst 45 Forschungsgruppen mit rund 600 Forschenden. Das Zentrum fördert sowohl Grundlagenforschung, wie auch angewandte Forschung in den vielseitigen Disziplinen der Pflanzenwissenschaften. Das Zurich-Basel Plant Science Center bietet ein breites Angebot an Workshops, Exkursionen und Freizeitaktivitäten für Lehrpersonen, Familien, Schulklassen und interessierte Personen an, mit der Möglichkeit, Pflanzenforschung zu erleben und mit Wissenschaftler\*innen vor Ort zu diskutieren.

Aktuelle Angebote finden Sie hier:

[plantsciences.uzh.ch/de/outreach](http://plantsciences.uzh.ch/de/outreach)



SCHWEIZERISCHER NATIONALFONDS  
ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTLICHEN FORSCHUNG

### Unterstützung

Die Plant Science Discovery Workshops wurden unterstützt vom Schweizerischen Nationalfonds.

Agora Grant Nr. 158542: PSC Discovery Programm für Jugendliche.

### Copyright

© Zurich-Basel Plant Science Center.  
Discovery Workshop: Symbiose, 2020

Die Inhalte der Lerneinheit sind unter CC BY-NC-SA 4.0 verfügbar.

### Zitiervorschlag

Faller, P., Paschke, M., Schläpfer, J., Rapo, C., Schumacher, R., Dahinden, M. (2020). Plant Science Discovery Workshops: Lerneinheit #7 Symbiose. Zurich-Basel Plant Science Center. <https://doi.org/10.3929/ethz-b-000431660>

### Herausgeber

Zurich-Basel Plant Science Center  
Geschäftstelle, ETH Zürich, TAN D 5.2  
Tannenstrasse 1  
8092 Zürich  
Schweiz  
+41 44 632 23 33  
info-plantscience@ethz.ch  
[www.plantsciences.ch](http://www.plantsciences.ch)

### Autorenschaft

Patrick Faller (Fachdidaktiker für Biologie am MINT-Lernzentrum an der ETH Zurich), Dr. Melanie Paschke (Zurich-Basel Plant Science Center)

### Beitragende

Dr. Manuela Dahinden (Zurich-Basel Plant Science Center), Dr. Carole Rapo (Zurich-Basel Plant Science Center), Dr. Juanita Schläpfer (Zurich-Basel Plant Science Center), Dr. Ralph Schumacher (ETH MINT-Lernzentrum)

### Weitere Lernmaterialien

[www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/atschool/discovery](http://www.plantsciences.uzh.ch/de/outreach/atschool/discovery)

