

# Faszination Regenwald

## Inhalt dieser Lehrerinfo

- Der tropische Regenwald
- Stockwerkbau
- Wasserspeicher
- Waldzerstörung in den Tropen
- Vernetzungen und Symbiose
- Keystone Species
- Mykorrhizen
- Mimikry und Mimese

## Der tropische Regenwald

Regenwälder gibt es in allen Klimazonen der Erde. Ein Wald wird ab einer Niederschlagsmenge von 2.000mm pro Jahr mit dem daraus resultierenden feuchten Klima zum Regenwald gezählt. Am Beispiel des Amazonas-Regenwaldes entspricht das über 14 Badewannen voll Wasser pro Quadratmeter im Jahr.<sup>1</sup>

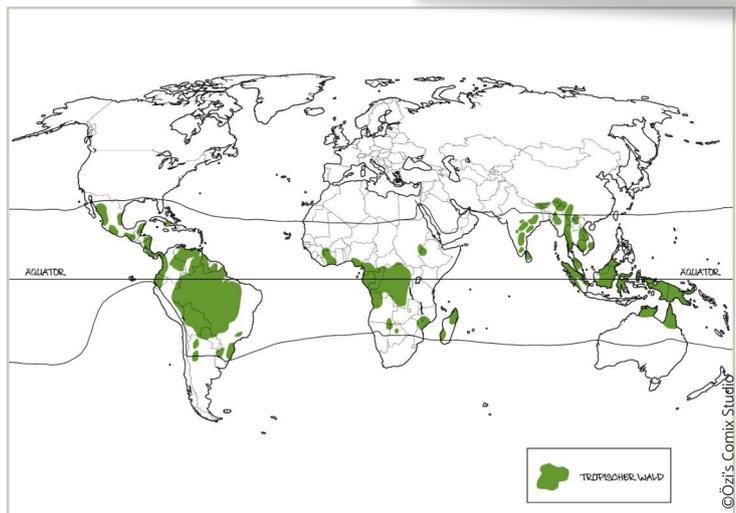
Tropische Wälder kommen ausschließlich in der tropischen Klimazone, wie in Südamerika, Zentralafrika und Südostasien beidseits des Äquators bis ungefähr zum 10. Breitengrad, also rund um den Äquator vor. Mit einer Durchschnittstemperatur zwischen 26 und 28 °C und einer Tageslichtdauer von 10,5 - 13,5 Stunden ist das Klima in den tropischen Regenwäldern das ganze Jahr über konstant. Schätzungen zufolge ist die gesamte Fläche an Tropenwald weltweit rund 1,77 Milliarden Hektar groß.<sup>2</sup> Das größte noch zusammenhängende Tropenwaldgebiet der Erde ist das Amazonasgebiet in Südamerika – es ist in etwa so groß wie die Fläche der Europäischen Union. Auf einem Hektar stehen im Amazonas-Regenwald bis zu 280 verschiedene Baumarten.<sup>3</sup> Von den aktuell mehr als 60 000 bekannten Baumarten, sind über 90 Prozent im tropischen und subtropischen Biomen zu finden.<sup>4</sup>

In Deutschland sieht der Wald dagegen ganz anders aus. Fast alle Wälder in Deutschland sind bewirtschaftet und vorrangig mit Buche, Fichte und Kiefer bepflanzt. Die Artenverteilung hat sich über die Zeit stark verändert. Heute entspricht der Laubbaumanteil in unseren Wäldern rund 40% und der Nadelbaumanteil 60%.<sup>5</sup>

Eine hohe Biodiversität wirkt sich auch auf das Weltklima aus. So können artenreiche subtropische Wälder doppelt so viel Kohlenstoff aufnehmen wie Monokulturen. Die Ergebnisse eines Waldexperiments in China zeigen, dass ein Wald mit 16 verschiedenen Baumarten nach acht Jahren durchschnittlich 32 Tonnen Kohlenstoff pro Hektar speichert, eine Monokultur dagegen nur zwölf Tonnen.<sup>6</sup>

Tropenwälder zählen nicht nur bei den Bäumen zu den artenreichsten Lebensräumen unserer Erde. Sie sind Lebensraum für insgesamt rund 2/3 aller bekannten Tier- und Pflanzenarten, obwohl diese Wälder nur etwa 12 % der Landfläche einnehmen, und täglich werden weitere Arten entdeckt. Auch leben noch unzählige indigene Völker mit und in den tropischen Regenwäldern – teilweise bis heute nicht von westlichen Zivilisationen kontaktiert. Von den marinen Lebensräumen beherbergen die tropischen Korallenriffe die größte Artenvielfalt.<sup>7</sup>

Die Anzahl der verschiedenen Tier- und Pflanzenarten nimmt vom Nord- und Südpol zum Äquator hinzu.<sup>8</sup> So gibt es in extremen Lebensräumen wie Wüsten oder Regionen mit viel Eis verhältnismäßig wenige(r) Arten. Ein Gebiet ist außerdem artenreicher, je unterschiedlicher strukturiert die Lebensräume sind und je mehr Wechselbe-



ziehungen zwischen Umweltfaktoren wie Nahrung, Feinden, Sonnenlicht, Temperatur und verschiedenen Arten entstehen. Aufgrund ganzjähriger hoher Temperaturen und starker Niederschläge sowie der großen Anzahl an Nischen, sind die Ökosysteme entlang des Äquators, wie die tropischen Regenwälder, besonders artenreich.

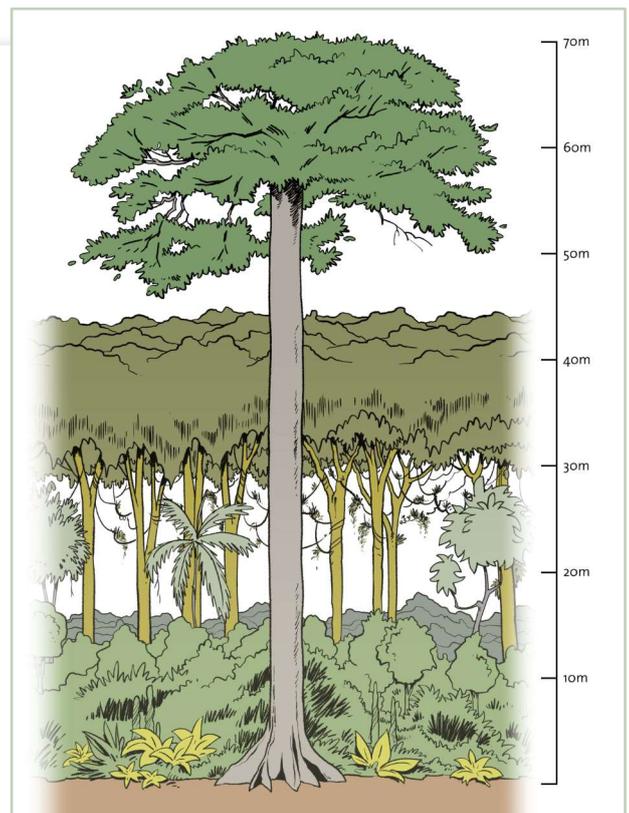
Solche sogenannten „Ökologischen Nischen“ gilt es dann zu besetzen. Je mehr dieser Nischen vorhanden sind, bzw. gebildet werden können, desto größer die mögliche Vielfalt. Ein tolles Beispiel für eine solche Nischenbesetzung sind Froscharten, die ihre Eier nur in den Trichtern bestimmter Bromelienarten ablegen. Ein kleiner Frosch zum Beispiel zieht seinen Nachwuchs in Bromelien groß, die hoch oben in den Urwaldriesen der Tropenwälder wachsen. Der Frosch wird daher auch Baumsteigerfrosch genannt. Der Froschnachwuchs ist in der Bromelie vor Fressfeinden sicher. Im Gegenzug erhält die Pflanze ihre Nährstoffe aus den Exkrementen der Tiere.

verbliebenen 11,5 Millionen Quadratkilometer Primärwälder (Urwälder) der Erde (ca. 8 Prozent der globalen Landoberfläche), die wahrscheinlich mehr als 50 Prozent aller Arten auf der Erde beherbergen und als „Allgemeingut der Menschheit“ Schlüsselfunktionen für die Stabilisierung des Weltklimas besitzen.<sup>9</sup>

## Stockwerkbau

Die Regenwälder sind in einem sogenannten „Stockwerkbau“ gewachsen. Jedes Stockwerk hat Einfluss auf die anderen und jede Tier- und Pflanzenart hat sich optimal an ihr Umfeld angepasst. Der Stockwerkbau gilt schon lange als eines der Charakteristika des Regenwaldes. Allerdings variiert die Anzahl der Stockwerke – je nachdem welche Einteilung man verwendet. Zudem lässt sich im Regenwald vor Ort mit bloßem Auge meist keine klare Unterteilung erkennen und alles geht fließend ineinander über. Das ändert jedoch nichts an der Tatsache, dass in den verschiedenen Höhen der Bäume und Sträucher ganz unterschiedliche Tiere leben.

Die Urwaldriesen, auch Überständler oder Emergenten genannt, haben es geschafft, in schwindelnde Höhen zu wachsen, und können bis zu knapp 90m hoch werden,<sup>10</sup> was ungefähr so hoch ist wie ein Haus mit 32 Stockwerken. Sie bilden meterhohe, dicke, weit auslaufende Brettwurzeln für eine stabile Standfestigkeit aus.



Die Stockwerke darunter liegt das Kronendach, gefolgt von der unteren Baumschicht und der Strauchschicht. Auf dem Boden- und Krautschicht, gibt es kleinere Pflanzen wie Farne und Sträucher, die mit wenig Licht auskommen. Hier kommen nur noch weniger als 1% der Sonnenstrahlen an. Um das wenige Licht besser auffangen zu können, haben viele Pflanzen im unteren Stockwerk riesige Blätter.<sup>11</sup>

## Wasserspeicher

Die tropischen Regenwälder sind auch für den Wasserkreislauf wichtig. Aufgrund von physikalischen Prinzipien, v.a. dem Einfluss der Schwerkraft, verliert das Land das meiste Wasser wieder Richtung Meer. Damit die Landmassen nicht austrocknen, müssen diese verlorenen Wassermassen wieder nachgeliefert werden. Zwar bilden sich über den Meeren Wolken, die über dem Land abregnen, doch die durchschnittliche Entfernung, über die die Luftströme über nicht bewaldeten Gebieten Feuchtigkeit transportieren können, sind nicht größer als einige 100 Kilometer. Erst große Wälder sorgen dafür, dass die Feuchtigkeit über riesige Entfernungen landeinwärts getragen wird und so die Erde feucht bleibt und ein biologisches Leben möglich ist.

Die Sonne steht am Äquator fast senkrecht über dem Regenwald und erwärmt Erde und Luft. Wasser aus Gewässern, den Böden und über die Pflanzen verdunstet und steigt als Wasserdampf in die Atmosphäre. Kühlt er dort ab, bilden sich Tröpfchen, die als Niederschlag wieder auf die Erde fallen – der Wasserkreislauf schließt sich. Gerade tropische Regenwälder mit ihrer besonders großen Menge an Blättern pro Quadratmeter Bodenoberfläche, haben eine sehr hohe Verdunstungsrate, so dass enorme Mengen Wasserdampf aufsteigen und sich Nebel und Wolken bilden. Winde vom Meer tragen diese Wolken ins Landesinnere, wo sie wieder abregnen.



## Waldzerstörung in den Tropen

Die Tropenwälder zählen zu den artenreichsten und faszinierendsten Lebensräumen unserer Erde. Sie sind Lebensraum für rund 2/3 aller bekannten Tier- und Pflanzenarten und täglich werden weitere Arten entdeckt. Die Tropenwälder sind zudem die Heimat von zahlreichen indigenen Völkern, die im ständigen Balanceakt zwischen Kultur und Tradition ihrer Vorfahren und der modernen Welt leben. Die weltweite Zerstörung der Regenwälder schreitet dennoch ständig voran. Das größte noch zusammenhängende Tropenwaldgebiet der Erde ist das Amazonasgebiet in Südamerika – es ist in etwa so groß wie die Fläche der Europäischen Union. Doch dieser einzigartige Lebensraum schwindet: Pro Jahr gehen brutto etwa neun Millionen Hektar Tropenwald weltweit verloren (im Zeitraum 2000-2012)<sup>12</sup> – das entspricht der Fläche Portugals. Und mit ihnen eine Vielzahl von Ökosystemdienstleistungen, wie die Speicherung und Reinigung von Wasser oder der Schutz vor Erdbeben und Erosion. Rechnet man diese Fläche um, verschwindet alle 2,5 Sekunden Tropenwald von der Größe eines Fußballfeldes! Und damit der Lebensraum unzähliger Tier- und Pflanzenarten. Viele indigene Völker mussten dem Raubbau an ihrem Land weichen oder sind davon bedroht.

Wälder sind die „grünen Lungen“ unseres Planeten. Tropenwälder nehmen große Mengen des weltweit erzeugten CO<sub>2</sub>s auf und speichern den darin enthaltenen Kohlenstoff in ihrer Biomasse. Sie sind damit ein wichtiger Faktor im Kampf gegen den Klimawandel. 46% des gesamten terrestrisch gebundenen Kohlenstoffes sind in Wäldern zu finden. Tropische Regenwälder speichern davon über 17% des in der Vegetation und dem Boden gebundenen Kohlenstoffes.<sup>13</sup> Im Gegensatz zu den Wäldern der gemäßigten Breiten ist in den Tropen der Großteil des Kohlenstoffes nicht im Waldboden (Wurzeln, organische Masse in den Böden), sondern in der oberirdischen Vegetation gebunden und wird bei Abholzung des Regenwaldes freigesetzt. Ausnahme hiervon sind Torfböden, die auch in tropischen Regionen (z.B. in Indonesien) vorkommen.

Diese speichern enorme Mengen an CO<sub>2</sub>, die durch Trockenlegung und Abtragung von Mooren und Torf wieder freigesetzt werden. Wissenschaftler schätzen, dass bis zu 11% der CO<sub>2</sub>-Emissionen die derzeit zum Klimawandel führen, aus der weltweiten Zerstörung von Wäldern und anderen Landnutzungsänderungen (wie z.B. Entwässerung von Torfböden) hervorgehen.<sup>14</sup>

Die Bedrohung des tropischen Regenwaldes und seiner Artenvielfalt hat viele verschiedene Gründe. Einen großen Anteil daran hat unser Konsum: Ob Palmöl, Papier, Soja, Fleisch oder Kakao, überall steckt ein Stückchen Regenwald drin. So sind 75% der weltweiten Entwaldung auf die Umwandlung von Tropenwald in landwirtschaftliche Nutzflächen zurück zu führen.<sup>15</sup> Waldflächen werden gerodet, um große Plantagen mit Nutzpflanzen anzulegen – meist in Monokulturen. Die begehrten Ölpalmen z.B. in Indonesien und Malaysia angebaut, wo hierfür intakter und besonders artenreicher Regenwald weichen muss.<sup>16</sup> Allein die Zellstoffplantagen für Papier in Brasilien nahmen 2015 etwa 2,7 Mio. ha ein, eine Fläche größer als Mecklenburg-Vorpommern!<sup>17</sup> Sojaanbau in Brasilien kann nicht ohne den Bezug zur Viehzucht betrachtet werden: Als direkter Treiber der Entwaldung in Brasilien ist die Viehzucht mit etwa 80% der Hauptakteur.<sup>18</sup> Nicht zuletzt fördert auch der Verkauf von Tropenholz die nicht nachhaltige Holzwirtschaft in den betroffenen Regionen, da sie dieses Geschäft als Einkommensquelle nutzen. Schätzungen gehen jedoch davon aus, dass rund 40 % des gesamten Handels mit tropischem Holz als illegal einzustufen ist.<sup>19</sup>

Unter manchen Regenwäldern befinden sich große Vorkommen an Bodenschätzen. Beispiele hierfür sind das Erz Coltan (u.a. für Handys), das Erz Bauxit (für Aluminiumprodukte) und Gold (bspw. für Schmuck). Aber auch die Erdölförderung ist einer der wichtigsten Treiber der Entwaldung ist. So werden durch den Bau der Infrastruktur (z.B. Straßen, Pipelines, Stromtrassen, Verladestationen, etc.) für Erschließung, Abbau und Transport der Bodenschätze jährlich riesige Waldflächen in den Tropen vernichtet. Für die Erweiterung der Infrastruktur zur Förderung der Rohstoffe wie z.B. Pipelines, die Öl oder Gas transportieren, muss Regenwald weichen.

Auch Urbanisierung und Infrastrukturprojekte sind massive Eingriffe in die Natur mit schwerwiegenden Folgen. Darunter fallen auch große Staudämme, die zur Energieerzeugung dienen, Da Wasserkraft als „umweltfreundliche“ Energie immer mehr gefragt ist, steigt die Anzahl von Staudämmen stetig an. Viele von diesen bereits erbauten oder auch geplanten Wasserkraftwerken liegen mitten im Regenwald. Außerdem fallen auch Ringstraßen in diese Kategorie der Infrastrukturprojekte, die häufig mit Regenwald-Zerstörung verbunden sind.

### Beispiel Vernetzungen

Ökosysteme wie Regenwälder und Korallenriffe reagieren besonders sensible auf bestimmte Umweltveränderungen, manchmal schon auf das Verschwinden einer einzigen Art. Manche Insekten, Vögel, Fledermäuse oder Affen bestäuben nur eine ganz bestimmte Art oder Gruppe von Pflanzen und Bäumen. Wird der Bestäuber ausgerottet, kann das zu einer fatalen Kettenreaktion führen. Mit dem Tod des Bestäubers kann zum Beispiel auch eine Baumart für immer verschwinden, die wiederum die Lebensgrundlage für andere Pflanzen, Pilze, Moose oder Tierarten ist. Häufig ist es nicht möglich vorherzusehen, ob das Verschwinden einer einzelnen Art große oder kleine Veränderungen bewirken würde. Daher ist ein umfassender Schutz der gesamten Vielfalt der Arten eine wichtige Vorsorge-maßnahme, um funktionierende Ökosysteme zu erhalten.<sup>20</sup> Eine hohe Vielfalt wiederum ist wichtig für die Widerstandsfähigkeit eines Ökosystems. Die Widerstandskraft und der Widerstand gegenüber Störungen dämpfen die Auswirkungen von Eingriffen des Menschen. Sind sie hoch, hat das Ökosystem eher die Chance wieder ins Gleichgewicht zu kommen. Ist der Eingriff des Menschen in das Ökosystem jedoch zu stark, die Zerstörung zu groß, kann auch ein sehr widerstandsfähiges Ökosystem sich nicht mehr erholen und wird für immer verloren gehen.

## Vernetzungen und Symbiosen

Symbiose bezeichnet erstmal nur das gemeinsame Zusammenleben<sup>21</sup> (aus dem Griechischen Syn-, "mit" und bios, "leben"). Vor allem im englischen Sprachgebrauch wird Symbiose deshalb auch für Parasitismus und Kommensalismus genutzt, also einem Zusammenleben, das einem der beteiligten Arten schadet oder bei dem keine strikte Abhängigkeit besteht. Symbiose im engeren Sinn wird im englischen als Mutualismus bezeichnet, (engl. Mutual, "gegenseitig"). Im Folgenden nutzen wir den im Deutschen geläufigen eng gefassten Symbiose-Begriff, der einen gegenseitigen Nutzen bezeichnet.

Bekannte und ökologisch wichtige Symbiosen sind zum Beispiel

- Korallen, die Symbiose aus einem Korallenpolypen und einer Alge
- Flechten, die Symbiose aus Algen oder Cyanobakterien mit Pilzen
- stickstofffixierende Bakterien in Wurzelknöllchen von zum Beispiel Hülsenfrüchten, wie Bohnen
- Mykorrhiza, die Symbiose zwischen Landpflanzen und Pilzen<sup>22</sup>

Neben diesen bekannten ökosystem-formenden Symbiosen gibt es auch ganz spezifische Abhängigkeiten, die sich in teilweise kuriosen evolutionären Prozessen gebildet haben:

**Faultiere** zum Beispiel sind im Zentrum einer dreifachen Symbiose. Und diese Symbiose ist auch der Grund warum Faultiere einmal in der Woche vom Baum steigen. Im Fell der Faultiere leben sowohl **Motten** als auch Algen. Die Motten düngen dabei die **Algen** und das Faultier frisst die Algen. Doch was hat die Motte davon? Das Faultier steigt jede Woche vom Baum, um die Toilette zu besuchen und der Faultierdung ist der Lebensraum der Mottenlarven. So sorgt das Faultier dafür, dass die Motte sich erfolgreich fortpflanzen kann.<sup>23</sup>

Ein weiteres Beispiel für Symbiosen im Regenwald sind **Blattschneideameisen**. Ihr namengebendes Verhalten hat sogar mit dieser Symbiose zu tun. Die **Blätter** werden nämlich nicht für die eigene Ernährung in den Bau getragen, sondern als Substrat und Dünger für einen Pilz. Dieser Pilz wird von den Ameisen im Bau gehegt und gepflegt und die Ameise ernährt sich dann von ihm. Andere Pilze, die keine Nahrung sind, aber dem Nahrungspilz überwuchern könnten, werden mit einem Antibiotikum bekämpft, das wiederum symbiotisch auf dem Panzer der Ameisen lebende Bakterien produzieren.<sup>24</sup>

Besonders ist auch die Beziehung zwischen der **Sternorchidee** aus Madagaskar und einem **Schmetterling**. Die Orchidee hat einen 40cm langen Fortsatz, in dem ganz unten der Honig versteckt ist. Schon Darwin sagte deshalb voraus, dass es einen Bestäuber geben müsste, der einen so langen Rüssel hat, dass er den Honig schlürfen kann und beim Fliegen von Blume zu Blume die Orchidee bestäubt. Dieser Bestäuber, der Schwärmer *Xanthopan morgani praedicta* wurde 40 Jahre später auf Madagaskar entdeckt.<sup>25</sup>

Auch die **Kakaopflanze** wird einzig und allein von einer **Mückenart** bestäubt, da die Blüten so klein sind, dass keine andere Art passt. Die Bartmücke ist also dafür verantwortlich, dass wir auch in Zukunft noch Schokolade essen können.<sup>26</sup>



©OroVerde/A.Hömberg

Der wahrscheinlich ungewöhnlichste und auch größte Bestäuber lebt auf Madagaskar und bestäubt dort den **Baum der Reisenden**, den Wappenbaum Madagaskars. Der Schwarzweißer **Vari** ist ein etwa 120-150 cm großer Lemur, der als eine der wenigen Affenarten als Bestäuber bekannt ist.<sup>27</sup>



Ein weiteres Beispiel ist die **Helikonienart** (*Heliconia tortuosa*) aus Mittelamerika, die fast ausschließlich von **zwei Kolibriarten** erfolgreich bestäubt wird. Obwohl bis zu 6 verschiedene Kolibriarten die Helikonie mit Pollen anfliegen, ist die Bestäubung in 80 Prozent der Fälle nur auf die beiden Kolibriarten (*Campylopterus hemileucurus*) und (*Phaethornis guy*) zurückzuführen.<sup>28</sup>

In einem besonders spannenden Beispiel spielen eine **Ameisenart**, eine **Baumart** und **Schildläuse** die Hauptrollen: Die Ameisen-Art (*Azteca pitteri*) hängt gleich von zwei weiteren Arten ab. Als Behausung dient ihr die in Mittel- und Südamerika beheimatete Baumart (*Cordia alliodora*), die Hohlräume in ihren Ästen bildet. Dort halten die Ameisen Schildläuse, deren Honigtau sie melken! Bei dieser interessanten Symbiose gibt es drei Gewinner: Die Schildläuse ernähren sich direkt vom Baum und der Honigtau der Läuse dient als Nahrung für die Ameisen. Im Gegenzug schützen diese den Baum vor Fressfeinden, wie Raupen oder Käfern.<sup>29</sup>

Vor allem bei den Insekten gibt es einige Spezialisten, die auf eine ganz bestimmte Pflanzen- oder Tierart oder einen bestimmten Lebensraum angewiesen sind. Die Glänzende Natternkopf-Mauerbiene (*Osmia adunca*) sammelt beispielsweise ausschließlich Pollen an Pflanzen der Gattung Natternkopf (*Echium*). Andere Arten sind eng an bestimmte Baumarten angepasst oder auf Totholz angewiesen.<sup>30</sup>

Insekten sind von der Meeresküste bis ins Hochgebirge zu finden. Einzig im offenen Meer sucht man sie vergeblich.<sup>31</sup>

## Keystone species und andere Arten mit besonderer Bedeutung

Auch wenn die einzelnen Knoten im **Netzwerke** eines **Ökosystems** wichtig sind und für das funktionierende **Gleichgewicht** benötigt werden, gibt es einzelne Arten denen aus verschiedenen Gründen eine größere Bedeutung zukommt:

- **Keystone species** (zu Deutsch Schlüsselart): Spielt eine besondere Rolle in der Struktur, der Funktion, der Produktivität eines Lebensraumes oder **Ökosystems**, zum Beispiel das Aguti oder der Tapir.<sup>32</sup>
- **Flagship species** (zu Deutsch Flaggschiffarten): Arten, die in der **Öffentlichkeit** als Sympathieträger wirken, mit denen Schutzmaßnahmen für Lebensräume und andere Arten erreicht werden können. z.B. Paradiesvögel, Jaguar, Tiger, Panda oder der Quetzal (Wappentier von Guatemala).
- **Umbrella species** (zu Deutsch Regenschirmart): Schützen wir diese Art, dann spannen wir auch über viele weitere Arten einen **Schutzschirm** auf. So durchstreifen Jaguar, Schneeleopard oder Tiger sehr große Gebiete, wollen wir sie schützen, dann schützen wir gleichzeitig alle anderen Arten in ihren großen Revieren.<sup>33</sup>

Manche Arten können alles drei sein, so ist zum Beispiel der **Jaguar** eine Flaggschiff-Art, wie alle Großkatzen, er ist eine Regenschirmart, deren Schutz vielen anderen Arten zugutekommt und als Spitze der Nahrungskette ist er auch eine Schlüsselart. Was eine Schlüsselart oder eine "Umbrella species" ausmacht, ist in jedem **Ökosystem** verschieden, und die Konzepte sind nicht von einem ins andere Ökosystem übertragbar. Manche Arten sind sogar in einem Ökosystem Schlüsselart und in einem anderen nicht.<sup>34</sup>

## Mykorrhizen

Mykorrhiza, also das Zusammenspiel zwischen Pilzen und Pflanzen im Wurzelbereich, sind eine der wichtigsten Entwicklungen in der Evolution von Landpflanzen. In dieser für beide Partner nützlichen Beziehung teilen die Pflanzen Kohlenhydrate mit den Pilzen. Pilze wiederum stellen der Pflanze Nährstoffe und Wasser zur Verfügung. Die Pilze schützen zudem die Pflanzen vor abiotische Stressfaktoren wie Trockenheit und Wassermangel, und vor biotische Stressfaktoren wie Parasiten, Krankheitserregern oder Nahrungskonkurrenten.<sup>35</sup>

Obwohl vor allem die Mykorrhizen von Bäumen bekannt sind (viele der bekannten Speisepilze bei uns sind zum Beispiel mit bestimmten Bäumen vergesellschaftet) gibt es diese Partnerschaft schon bei einfacheren Pflanzen wie Farnen und Moosen.<sup>36</sup> Weltweit sind bei etwa 340.000 Pflanzen und circa 50.000 Pilzen bekannt, dass sie Mykorrhiza ausbilden können.<sup>37</sup>



©Özi's Comix Studio

Grundlegend existieren zwei verschiedene Arten der Mykorrhiza:

- Entweder dringen die Pilzwurzeln ("Hyphen") in die Wurzelzellen der Wirtspflanze ein (Endo-Mykorrhiza), oder
- sie lagern sich nur außen an die Wurzeln an und bilden dort einen Hyphenmantel (Ekto-Mykorrhiza), oder
- sie dringen in die Zwischenräume zwischen den einzelnen Wurzelrindenzellen ein und bilden dort das sogenannte Hartingsches Netz.

Es existieren noch zwei Sonderformen: die Ektendo-Mykorrhiza, bei der die Pilzhyphe zwar in die Wurzelzellen eindringen, dann aber absterben und außen ein Hartingsches Netz bilden. Und die Arbutoide Mykorrhiza bei der die Pilzhyphe sowohl in die Pflanzenwurzelzellen eindringen, als auch ein Hartingsches Netz und einen Hyphenmantel bilden.<sup>38</sup>

Die häufigste Form der Endo-Mykorrhiza ist die Arbuskuläre Mykorrhiza. Diese wird bei mehr als 70% der Landpflanzen ausgebildet.<sup>39</sup> Hierbei dringen die Pilzhyphe in die Rindenzellen der Pflanzenwurzeln ein und bilden baumähnliche verzweigte Strukturen, die namensgebenden Arbuskeln.<sup>40</sup> Schon die ältesten Landpflanzen hatten vor 400 Millionen Jahren diese Art der Mykorrhiza.<sup>41</sup>

Zwei Formen der Mykorrhiza sind an bestimmte Pflanzengruppen gebunden. Zum einen die Ericoide Mykorrhiza die nur bei den Heidekrautartigen (Ericales) vorkommt. Und zum anderen die Mykorrhiza bei Orchideen. Die Heidekräuter wachsen vor allem auf kalkarmen sauren Böden und sind dort, wie zum Beispiel in deutschen Heidelandschaften, die dominante Art. Zu ihnen gehören unter anderem der Rhododendron, das Heidekraut und auch die Heidelbeere.<sup>42</sup> Die ericoide Mykorrhiza ermöglicht es den Pflanzen auch in nährstoffarmen Böden zu überleben, da der Pilz für sie sonst nicht erreichbare Nährstoffe wie Phosphor oder auch organische Nährstoffe aufschlüsselt und verfügbar macht.<sup>43</sup>

Eine ganz besondere Beziehung hat der Fichtenspargel. Diese Pflanze kann keine Photosynthese betreiben, hat also keine Möglichkeit Kohlenstoff aus der Luft zu binden. Die Verbindung zu einer Mykorrhiza ermöglicht es dem Fichtenspargel aber, benachbarte Pflanzen "anzuzapfen". Über die Pilzhyphe gelangen die Nährstoffe von einer nahen gelegenen Fichtenwurzel zum Fichtenspargel.<sup>44</sup> Bisher konnte nicht ermittelt werden, ob der beteiligte Pilz etwas von dieser Beziehung hat, oder ob der Fichtenspargel ein Parasit des Pilzes ist.<sup>45</sup> Mittlerweile wurden etwa 400 Pflanzen entdeckt die wie der Fichtenspargel keine Photosynthese betreiben und sich von einem Pilz ernähren. Neben diesen obligat Myco-heterothrophen<sup>46</sup> Pflanzen gibt es noch circa 20.000 weitere, das sind etwa 10% der bekannten Arten, die einen Pilzpartner in der Keimungsphase benötigen,<sup>47</sup> besonders bekannt sind hierbei die Orchideen.

Diese haben vor allem in ihrem Keimstadium einen Pilzpartner, der sie in der ersten Zeit unterstützt. Bei manchen Orchideenarten wird dieser jedoch von der Erwachsenen Orchidee absorbiert, da diese im Gegensatz zu den Keimlingen Fotosynthese betreiben können und den Symbionten nicht mehr benötigen.<sup>48</sup> Andere Orchideen wie zum Beispiel die Korallenwurz sind ihr Leben lang auf die Mykorrhiza angewiesen.

In den Fällen von Mykorrhiza, bei denen die Pflanze keine Fotosynthese betreibt und somit dem Pilz keinen Kohlenstoff bzw. Kohlenhydrate liefern kann, ist noch nicht abschließend geklärt, ob es sich hier wirklich um gegenseitig vorteilhafte Beziehungen handelt. Neue Forschungen zeigen, dass manche Vorteile erst Zeitversetzt eintreten, so dass kurzzeitige Experimente diese nicht erfassen können.<sup>49</sup>

## Mimikry & Mimese

Mimikry beschreibt eine Ähnlichkeit zwischen Lebewesen, die nicht auf Verwandtschaft, sondern auf einer täuschenden Nachahmung von Signalen (nonverbale Kommunikation) beruht.<sup>50</sup>

Das Phänomen wurde erstmals 1862 von dem englischen Zoologen Henry W. Bates beschrieben: Er fand zwei brasilianische Schmetterlingsarten aus zwei nichtverwandten Gruppen der Weißlinge (Heliconiiden und Pieriden), die sich verblüffend in Form, Farbe und Flugverhalten ähnelten. Dabei sind die Heliconius-Schmetterlinge für Feinde ungenießbar. Die genießbaren Weißlinge dagegen interpretierte er als "Nachahmer" zur Täuschung der Fressfeinde (Vögel) und schuf dafür den Begriff "Mimicry". Der von Bates beschriebene Fall enthält bereits drei Grundelemente der Signalkopien:

1. ein Vorbild (Heliconiide),
2. einen Nachahmer (Pieride) und
3. einen Signalempfänger (Vogel).

Vorteile in diesem System hat üblicherweise der Nachahmer.<sup>51</sup>

Innerhalb des Systems unterscheidet man zwischen folgenden Formen der Mimikry:

- Bei der Batesche Mimikry sendet eine potentielle Beute die gleichen Warnsignale, die eine vor dem Angreifer geschützte Art kennzeichnen.
- Optische Warnsignale zeigen bei Insekten z.B. sehr oft die Farbkombinationen Gelb-Schwarz und Rot-Schwarz oder Augenflecke die als Nachahmung von Wirbeltieraugen interpretiert werden können.
- Die Mertenssche Mimikry erklärt die täuschende Ähnlichkeit in Zeichnung und Größe zwischen stark giftigen und schwach giftigen Arten z. B. bei der echten und falschen Korallenschlange (Elapidae und Colubridae; Giftnattern, Nattern)<sup>52</sup>
- Bei der Müllerschen Mimikry sind es zwei oder mehr Signalsender, die alle gleichermaßen Schutz vor einem gemeinsamen Feind genießen und die gleichen Warnsignale senden. Der Feind wird also nicht getäuscht. Es wird lediglich eine gemeinsame Warnfarbe genutzt, damit die Signalempfänger/der Feind leichter und schneller lernen, diese zu vermeiden wie z.B. die gelb-schwarz gestreifte Tarnung bei Insekten. Bei der Müllerscher Mimikry handelt es sich nicht um Mimikry nach der allgemeinen Definition, sondern um Signalnormierung.<sup>53</sup>

Den bisher genannten Mimikry-Formen ist gemeinsam, dass eine abschreckende Wirkung auf den (Fress-)Feind erzielt werden soll.

Peckhamsche Mimikry oder Angriffsmimikry hingegen ist dadurch gekennzeichnet, dass Arten Signale nachahmen, die vom Opfer beantwortet werden. Armflosser zum Beispiel locken durch Hautauswüchse, die an einen Wurm erinnern, Beutefische an. Aber auch blütenähnliche Gottesanbeterinnen oder auf Blüten lauernde Krabbenspinnen passen sich der Blüte so an, dass sie von ihrer potentiellen Beute nicht gesehen werden.

Hier ist die Trennung von Peckhamscher Mimikry und Mimese (Hintergrund-Imitation zur Tarnung) fließend.<sup>54</sup>

Die Imitation eines Hintergrundes dagegen, ist eine Sonderform der Mimikry und wird als Mimese, Krypsis oder Camouflage bezeichnet: Der Nachahmer kopiert dabei detailgenau den Hintergrund, der den Signalempfänger nicht interessiert.<sup>56</sup>

Mimese bedeutet eine täuschende Nachahmung eines belebten oder unbelebten Objekts, das für den zu täuschenden Empfänger uninteressant ist (im Gegensatz zur Mimikry). Als Vorbilder kann der Untergrund, Steine, Blüten, Blätter, Äste, Kot und ähnliches dienen. Anders als im Falle der Tarnung kann der Nachahmer zwar leicht gesehen, aber nur schwer als das erkannt werden, was er in Wirklichkeit ist. Besonders in Fällen der Nachahmung des Untergrundes ist eine Abgrenzung zwischen Mimese und Tarnung schwierig. In der englischsprachigen Literatur wird hier nicht unterschieden, sondern beides mit „crypsis“ betitelt.

Vor der Küste der indonesischen Insel Sulawesi wurde 1998 ein bislang namenloser Oktopus entdeckt, der in der Lage ist – je nach Bedarf – das Aussehen verschiedener giftiger Meeresbewohner (Plattfisch, Rotfeuerfisch oder Seeschlange, möglicherweise auch noch weiterer) anzunehmen.<sup>55</sup>

Bei täuschender Nachahmung von Blüten lassen sich Mimese und Mimikry nicht immer klar trennen. Hier wird die zentrale Bedeutung des Empfängers klar: Während Tiere einer Art die für sie uninteressante „Blüte“ der Teufelsblume (*Idolum diabolicum*), einer Fangschrecke, nur als Landeplatz nutzen (Mimese), wird eine andere Art durch den vermeintlichen Futterplatz angelockt (Peckhamsche Mimikry). Beide werden gefressen.

Die Zunahme schwarzer Morphen des Birkenspanners (*Biston betularia*) in Industriegebieten (Industriemelanismus) zeigt, wie der Empfänger selbst durch Dezimierung der auffälligeren Form als Selektionsfaktor (Selektion) wirkt.<sup>57</sup>

Je nachdem, welches Vorbild der Nachahmung dient, unterscheidet man drei verschiedene Formen der Mimese:

1. Allomimese: Imitation von leblosen Objekten (z. B. Steine, Sand)
2. Phytomimese: Imitation von Pflanzenteilen (z. B. Blätter, Flechten, Ästchen)
3. Zoomimese: Imitation von Tieren

Bei der Zoomimese handelt sich meistens um Formen der Mimikry; etwa um die Imitation von Eigenschaften eines gefährlichen Tieres durch ein ungefährliches. Der Signalempfänger (Prädator) wird in diesem Fall durch ein gefälschtes Signal (meistens in Form einer Warntracht) getäuscht. Allerdings stehen diese Tarn- und Warntrachten nicht ausschließlich im Dienst der Täuschung von Prädatoren, sondern spielen oft auch eine bedeutsame Rolle beim Beutefang, bei Fortpflanzungsritualen und der Brutpflege. Warn- und Tarntrachten sind im Tierreich weit verbreitet. In unübertroffener Vielfalt an bizarrsten Gestalten begegnet sie uns unter den Insekten. Doch auch die Amphibien und Reptilien können Meister der Camouflage sein, wie z. B. Moosfröschen, Krötenfrösche, Geckos und Scharlachnatter.<sup>58</sup> Mimese – Mimikry Formen der passiven Abwehr sind energetisch am wenigsten kostspielig. In vielen Fällen spielt auch die Übereinstimmung mit der akustischen und olfaktorischen Umwelt eine Rolle.<sup>59</sup>



©L.Rohnstock

# Quellennachweis zu Lehrerinfo 3A

1. Eigene Berechnungen basierend auf Lorgnier, Antoine (1979): *Wälder der Welt*. München und Berlin.
2. Keenan, Rodney et al. (2015): Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. In: *Forest Ecology and Management* 352.
3. Oliveira, Alexandre De; Mori, Scott (1999): A central Amazonian terra firme forest. I. High tree species richness on poor soils. In: *Biodiversity & Conservation* 8.
4. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019): *The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture*. Rome. S. 114.
5. Naturschutzbund Deutschland (o.J.): Zahlen und Fakten - Zum Wald in Deutschland und weltweit. <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/waelder/lebensraum-wald/13284.html>, zuletzt geprüft: 02.11.2021.
6. Max-Planck-Gesellschaft (o.J.): Biodiversität - Vielfalt des Lebens. <https://www.mpg.de/biodiversitaet>, zuletzt geprüft: 27.10.2021.
7. Knauer, Roland (2010): Korallen - Die Wiege der Vielfalt. <http://www.tagesspiegel.de/wissen/korallen-die-wiege-der-vielfalt/1661272.html>, zuletzt geprüft: 09.11.2021.
8. Knauer, Roland (2015): Polarforschung am Kilimandscharo. <https://www.tagesspiegel.de/wissen/je-hoehere-oder-noerdlicher-umso-weniger-artenvielfalt-polarforschung-am-kilimandscharo/11413208.html>, zuletzt geprüft: 02.11.2021.
9. Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina (2020): Globale Biodiversität in der Krise - Was können Deutschland und die EU dagegen tun?. In: *Diskussion Nr. 24, Halle (Saale)*. S. 17.
10. Scinexx (2016): Höchster Baum der Tropen entdeckt?. <http://www.scinexx.de/wissen-aktuell-20259-2016-06-08.html>, zuletzt geprüft: 02.11.2021.
11. Jacobs, Marius (1988): *The Tropical Rain Forest*. S. 49.
12. Hansen, Matthew et al. (2013) High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science* 342. Tabelle S1 b.
13. The Intergovernmental Panel on Climate Change (2000): *Special Report on Land Use, Land Use Change and Forestry*.
14. The Intergovernmental Panel on Climate Change (2014): *5th Assessment Report, Working Group III, Summary for Policymakers*.
15. Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (2017): *Eine Welt braucht Wald*. S. 16.
16. U.S. Department of Agriculture (2021): *Oilseeds: World Markets and Trade - January 2016*. Tabelle 11, 19.
17. indústria brasileira de árvores (2016): *Relatório Annual 2016*, S. 46.
18. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2016): *State of the World's Forests Report 2016*. S. 21.
19. Boucer, Doug et al. (2011): The root of the Problem. What's driving tropical deforestation today?. S. 71.
20. Streit, Bruno (2008): Artenvielfalt: Bedeutung und Begriffsklärung. In: *Dossier Umwelt, Bundeszentrale für politische Bildung, Bonn*. <https://www.bpb.de/gesellschaft/umwelt/dossier-umwelt/61283/bedeutung>, zuletzt geprüft: 02.11.2021.
21. Merriam Webster Online (o.J.): Symbiosis. <https://www.merriam-webster.com/dictionary/symbiosis>, zuletzt geprüft: 09.11.2021.
22. Smith, Sally; Read, David (2008): *Mycorrhizal Symbiosis*.
23. Pauli, Jonathan et al. (2014): A syndrome of mutualism reinforces the lifestyle of a sloth. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 281.
24. Pathak, Ayush; Kett, Stephen; Marvasi, Massimiliano (2019): Resisting Antimicrobial Resistance: Lessons from Fungus Farming Ants. In: *Trends in Ecology & Evolution* 34-11.
25. Arditti, Joseph et al. (2012): 'Good Heavens what insect can suck it' - Charles Darwin, *Angraecum sesquipedale* and *Xanthopan morgani praedicta*. In: *Botanical Journal of the Linnean Society* 169-3.
26. Fischer, Frauke; Oberhansberg, Hilke (2020): Was hat die Mücke je für uns getan?. München. S. 150.
27. Kress, W. John et al. (1994): "Pollination of *Ravenala Madagascariensis* (Strelitziaceae) by Lemurs in Madagascar: Evidence for an Archaic Coevolutionary System?" In: *American Journal of Botany* 81-5.
28. Betts, Matthew; Hadley, Adam; Kress, W. John (2015): Pollinator recognition by a keystone tropical plant. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 112-11.
29. Vieweg, Martin (2013): *Kurioses Symbiose-Team*. [http://www.wissenschaft.de/leben-umwelt/biologie/-/journal\\_content/56/12054/2421608/Kurioses-Symbiose-Team/](http://www.wissenschaft.de/leben-umwelt/biologie/-/journal_content/56/12054/2421608/Kurioses-Symbiose-Team/), zuletzt geprüft: 09.11.2021.
30. Heinrich-Böll-Stiftung; Bund für Umwelt, Naturschutz Deutschland; Le Monde Diplomatique (2020): *Insektenatlas. Daten und Fakten über Nütz- und Schädlinge in der Landwirtschaft*. S. 10.
31. Ebd.
32. Begon, Michael; Townsend, Colin; Harper, John (2006): *Ecology - From Individuals to Ecosystems*. S. 584.  
Cottee-Jones, Henry; Whittaker, Robert (2012): The keystone species concept: a critical appraisal. In: *Frontiers of Biogeography* 4. S. 117.

# Quellennachweis zu Lehrerinfo 3A

33. Caro, Tim (2010): Conservation by proxy: indicator, umbrella, keystone, flagship, and other surrogate species. In: Conservation Biology 31-2.
34. Evers, Jeannie (2019): Role of Keystone Species in an Ecosystem. In: National Geographic. <https://www.nationalgeographic.org/article/role-keystone-species-ecosystem/>, zuletzt geprüft: 02.11.2021.
35. Soudzilovskaia, Nadejda et al. (2020): FungalRoot: Global online database of plant mycorrhizal associations. In: New Phytologist 227-3.
36. Smith, Sally; Read, David (2008): Mycorrhizal Symbiosis.
37. Genre, Andrea et al. (2020): Unique and common traits in mycorrhizal symbioses. In: Nature Reviews Microbiology 18.
38. Fester, T. et al. "Multimedia-Präsentation zum Thema Mykorrhiza" Institut für Pflanzenbiochemie Halle, <http://www1.biologie.uni-hamburg.de/b-online/myco/X1/index.html>, zuletzt geprüft: 09.11.2021.
39. Soudzilovskaia, Nadejda et al. (2020): FungalRoot: Global online database of plant mycorrhizal associations. In: New Phytologist 227-3.
40. Spektrum (o.J): Mykorrhiza. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/mykorrhiza/44673>, zuletzt geprüft: 27.10.2021.
41. Scinex (2011): Millionen Jahre alte Symbiose in Bernstein entdeckt. <https://www.scinexx.de/news/geowissen/52-millionen-jahre-alte-symbiose-in-bernstein-entdeckt/>, zuletzt geprüft: 02.11.2021.
42. Vohnik, Martin et al. (2012): Novel Root-Fungus Symbiosis in Ericaceae: Sheathed Ericoid Mycorrhiza Formed by a Hitherto Undescribed Basidiomycete with Affinities to Trechisporales. In: P-oS ONE 7-6.
43. Ebd.; & Fester, T. et al. "Multimedia-Präsentation zum Thema Mykorrhiza" Institut für Pflanzenbiochemie Halle, <http://www1.biologie.uni-hamburg.de/b-online/myco/X1/index.html>, zuletzt geprüft: 09.11.2021.
44. Björkman, Erik (1960): Monotropa Hypopitys L. - an Epiparasite on Tree Roots. In: Physiologia Plantarum 13-2.
45. Smith, Sally; Read, David (2008): Mycorrhizal Symbiosis.
46. Hynson, Nicole (2018): Partial mycoheterotrophs: The green plants that feed on fungi. <https://theconversation.com/partial-mycoheterotrophs-the-green-plants-that-feed-on-fungi-81643>, zuletzt geprüft: 02.11.2021.
47. Leake, Jonathan (2005): Plants parasitic on fungi: Unearthing the fungi in myco-heterotrophs and debunking the 'saprophytic' plant myth. In: Mycologist 19-3.
48. Spektrum (o.J): Mykorrhiza. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/mykorrhiza/44673>, zuletzt geprüft: 27.10.2021.
49. Smith, Sally; Read, David (2008): Mycorrhizal Symbiosis.
50. Spektrum (o.J): Mimikry. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/mimikry/43122>, zuletzt geprüft: 27.10.2021.
51. Barthlott, Wilhelm (1995): Mimikry - Nachahmung und Täuschung im Pflanzenreich. In: Biologie in unserer Zeit 25-2. S. 74.
52. Ebd.
53. Spektrum (o.J): Müllersche Mimikry. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/muellersche-mimikry/44264>, zuletzt geprüft: 27.10.2021.
54. Barthlott, Wilhelm (1995): Mimikry - Nachahmung und Täuschung im Pflanzenreich. In: Biologie in unserer Zeit 25-2. S. 74.
55. Spektrum (o.J): Mimikry. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/mimikry/43122>, zuletzt geprüft: 27.10.2021.
56. Barthlott, Wilhelm (1995): Mimikry - Nachahmung und Täuschung im Pflanzenreich. In: Biologie in unserer Zeit 25-2. S. 74.
57. Spektrum (o.J): Mimese. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/mimese/43116>, zuletzt geprüft: 27.10.2021.
58. Malkmus, Rudolf (2019): Wie sich Frösche in den Regenwäldern Borneos tarnen. In: amphibia 18-2. S. 4-5.
59. Ebd. S. 4.