

Seiler, Marius

Integration des Themas Pilze in den Grundschulunterricht. Herausforderungen & Chancen

2018, 65 S. - (Landau in der Pfalz, Universität Koblenz-Landau, Bachelor-Arbeit, 2018)



Quellenangabe/ Reference:

Seiler, Marius: Integration des Themas Pilze in den Grundschulunterricht. Herausforderungen & Chancen. 2018, 65 S. - (Landau in der Pfalz, Universität Koblenz-Landau, Bachelor-Arbeit, 2018) - URN: urn:nbn:de:0111-pedocs-176233 - DOI: 10.25656/01:17623

<https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0111-pedocs-176233>

<https://doi.org/10.25656/01:17623>

Nutzungsbedingungen

Gewährt wird ein nicht exklusives, nicht übertragbares, persönliches und beschränktes Recht auf Nutzung dieses Dokuments. Dieses Dokument ist ausschließlich für den persönlichen, nicht-kommerziellen Gebrauch bestimmt. Die Nutzung stellt keine Übertragung des Eigentumsrechts an diesem Dokument dar und gilt vorbehaltlich der folgenden Einschränkungen: Auf sämtlichen Kopien dieses Dokuments müssen alle Urheberrechtshinweise und sonstigen Hinweise auf gesetzlichen Schutz beibehalten werden. Sie dürfen dieses Dokument nicht in irgendeiner Weise abändern, noch dürfen Sie dieses Dokument für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, aufführen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Mit der Verwendung dieses Dokuments erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Terms of use

We grant a non-exclusive, non-transferable, individual and limited right to using this document.

This document is solely intended for your personal, non-commercial use. Use of this document does not include any transfer of property rights and it is conditional to the following limitations: All of the copies of this documents must retain all copyright information and other information regarding legal protection. You are not allowed to alter this document in any way, to copy it for public or commercial purposes, to exhibit the document in public, to perform, distribute or otherwise use the document in public.

By using this particular document, you accept the above-stated conditions of use.

Kontakt / Contact:

peDOCS
DIPF | Leibniz-Institut für Bildungsforschung und Bildungsinformation
Informationszentrum (IZ) Bildung
E-Mail: pedocs@dipf.de
Internet: www.pedocs.de

Mitglied der


Leibniz-Gemeinschaft

Universität Koblenz-Landau, Campus Landau

Fachbereich 7: Natur- und Umweltwissenschaften

Bachelor of Education Biologie

Abschlussarbeit

Sommersemester 2018

Erstgutachter: Dr. Kai Riess

Zweitgutachterin: Dr. Dagmar Lange

Integration des Themas Pilze in den Grundschulunterricht – Herausforderungen & Chancen

Marius Seiler (215100128)

Burrweilererstraße 3

76833 Böchingen

seil8627@uni-landau.de

„Hiermit bestätige ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbständig verfasst wurde und ich keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel – insbesondere keine im Quellenverzeichnis nicht benannten Internet-Quellen – benutzt habe und die Arbeit von mir vorher nicht in einem anderen Prüfungsverfahren eingereicht wurde. Die eingereichte schriftliche Fassung entspricht der auf dem elektronischen Speichermedium (CD-ROM).“

Ort, Datum, Unterschrift

Integration des Themas Pilze in
den Grundschulunterricht –
Herausforderungen & Chancen

von Marius Seiler

Ich möchte diese Arbeit meiner Großmutter Magda Schorr widmen, die es verstand, einen Siebenjährigen für Pilze zu begeistern. Ich möchte auch meinem Großvater Herbert Schorr danken. Die Naturbegeisterung der beiden hat mich geprägt. Heute liegt es in meiner Verantwortung, ihr Vermächtnis weiterzugeben.

Zusammenfassung

Die Arbeit gliedert sich in einen fachwissenschaftlichen und einen fachdidaktischen Teil. Im fachwissenschaftlichen Teil erlangt die Leserin bzw. der Leser einen grundlegenden Überblick über die Evolution der Pilze in die Gruppen Chytridiomycota, Glomeromycota, Basidiomycota und Ascomycota, und die Morphologie der Pilze, wobei hier besonders in Hut, Stiel und Fruchtschicht gegliederte Fruchtkörper berücksichtigt werden. Dann folgt sowohl eine Vorstellung der wichtigsten Hyphentypen, als auch eine Darstellung der geschlechtlichen Fortpflanzung eines Pilzes mittels Sporen. Es wird eine Einführung in die Ernährung der Pilze gegeben, wobei besonders die Ektomykorrhiza, die Arbuskuläre Mykorrhiza, die saprobiontische und die parasitäre Ernährungsweise betrachtet werden. Im Anschluss werden einige Meilensteine der historischen Bedeutung der Pilze für den Menschen von der Steinzeit bis in die Gegenwart vorgestellt. Es werden Grundlagen für den Umgang mit essbaren, giftigen und ungenießbaren Pilzen gelegt und einige Giftwirkungen vorgestellt. Den fachwissenschaftlichen Teil schließt eine Vorstellung von sieben Arten ab, die leicht erkennbar sind und sich für naturwissenschaftlichen Grundschulunterricht eignen. Der darauf folgende fachdidaktische Teil ordnet Pilze zunächst in die Curricula von Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg ein. Im Gegensatz zu Pflanzen und Tieren werden Pilze in den Lehrplänen nie explizit erwähnt. Den Kern des fachdidaktischen Teils stellt eine siebenstündige Unterrichtsreihe, in der Grundschülerinnen und -schülern verschiedene mykologische Phänomene mit Hilfe von Exkursionen, Kurzvorträgen, Spielen und Versuchen erklärt und erfahrbar gemacht werden. Inhaltlich baut sich die vorgeschlagene Unterrichtsreihe aus einer Pilzexkursion einer damit einhergehenden Orientierung im Thema, einer Unterrichtsstunde über Aufbau und Fortpflanzung der Pilze, einer Stunde zur Ökologie und einer zu Speise- und Giftpilzen auf. Weiterhin wird durch die Konzipierung eines individuellen Pilzbuches die Artenkenntnis ausgebaut und zuletzt eine Unterrichtsstunde über das Färben von Wolle oder Seide mittels Pilzen vorgestellt. Den Ausblick stellt eine engere Vernetzung zwischen Pilzexpertinnen und -experten mit Grundschullehrerinnen und Grundschullehrern und skizziert weiteren Forschungsbedarf zu mykologischer Fachdidaktik.

Abstract

The paper is divided into a mycological and a didactical part about fungi in elementary school. The mycological scientific part introduces the reader into the fungal evolution specially the groups Chytridiomycota, Glomeromycota, Basidiomycota and Ascomycota, followed the morphology of fruit bodys, structured in stipe, cap and sporophore. Afterwards an introduction into types of hyphae

and the sexual reproduction of fungi via spores is given. Another topic of the paper is the fungal nutrition through ectomycorrhizal, arbuscular mycorrhizal, saprotrophic, parasitic way as well. The historical importance of fungi for humans from Stone Age until nowadays and basics about the dealings with eatable and poisonous mushrooms as well as information about effects of some fungal poisons will be presented. The mycological part will be closed with the presentation of seven fungal species, which are easy to determine and mean a valuable impulse for scientific elementary school classes. The didactical part will be opened with an insight the subject of fungi in the curriculum of Rhineland-Palatinate and Baden-Wuerttemberg. Although animals and plants are a crucial part of the curriculum, mushrooms are never explicit mentioned. The crux of the didactical part is an exemplary teaching unit, which will introduce pupils into fungi via excursions, short-lectures made by the pupils themselves, games and experiments. After the excursion and the overview about fungi in the first lesson, the second one gives information about the structure and reproduction of fungi, then follows a lesson about ecology, and one about eatable and poisonous mushrooms. In the next lesson, the pupils create their own individual fungal book, to increase their knowledge of species. The teaching unit will be closed with the dyeing of silk scarfs with fungi. In the prospect the paper demands a closer exchange between fungi experts and elementary school teachers and additional research in mycological didactics.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	7
2 Fachwissenschaftlicher Teil.....	9
2.1 Evolution der Echten Pilze.....	9
2.2 Morphologie & Anatomie der Fungi.....	11
2.2.1 Morphologie.....	11
2.2.1.1 Morphologie der Basidiocarpe.....	11
2.3 Anatomie der Basidiomyceten.....	15
2.4 Fortpflanzung der Basidiomyceten.....	17
2.5 Ökologie der Pilze.....	18
2.5.1 Symbiosen mit Pflanzen.....	19
2.5.2 Pilze als Saprobionten.....	22
2.5.3 Pilze als Parasiten.....	23
2.6 Meilensteine der historischen Bedeutung von Pilzen für den Menschen.....	25

2.6.1 Steinzeit und Antike.....	25
2.6.2 Mittelalter und Neuzeit.....	25
2.6.3 Neuere Entwicklungen.....	26
2.7 Speisepilze, ungenießbare Pilze, Pilzgifte und Hinweise für den Umgang mit Pilzen.....	26
2.8 Ausgewählte Arten für die Grundschule.....	28
3 Fachdidaktischer Teil.....	32
3.1 Einordnung in die Sachunterrichts-Lehrpläne der Bundesländer.....	33
3.1.1 Rheinland-Pfalz.....	33
3.1.2 Baden-Württemberg.....	35
3.2 Unterrichtliche Materialien und Methoden.....	37
3.2.1 Eine beispielhafte Unterrichtsreihe zum Thema Pilze.....	38
3.2.1.1 Ratschläge für Pilz-Exkursionen.....	39
3.2.1.2 Unterrichtsstunde Aufbau und Fortpflanzung der Pilze.....	43
3.2.1.3 Unterrichtsstunde Ökologie.....	47
3.2.1.4 Unterrichtsstunde Speise- & Giftpilzen.....	48
3.2.1.5 Artenkenntnis ausbauen mit Hilfe eines Klassenpilzbuches.....	50
3.2.1.6 Färben mit Pilzen.....	51
3.2.2 Weitere Möglichkeiten um Pilze im Grundschulunterricht zu thematisieren.....	54
4 Fazit und Ausblick.....	54
5 Danksagung.....	56
6 Literatur- und Abbildungsverzeichnis.....	56

1 Einleitung

Pilze sind Lebewesen, die das Leben auf der Erde maßgeblich beeinflusst haben und beeinflussen. Man geht davon aus, dass sie für die Landbesiedelung der Pflanzen von fundamentaler Bedeutung waren (Schirkonyer & Rothe 2010; Smith & Read 2008; Schüßler 2004; Brundrett 2002). Schüßler (2004) vermutet, dass Pilze bereits mit Cyanobakterien vergesellschaftet waren, den ersten Lebewesen, die oxygene Photosynthese an Land betrieben haben. Auch heute ist diese Pflanzen Pilz-Interaktion von sehr hoher Bedeutung. Pilze sind jedoch nicht nur für Pflanzen sondern auch für den Menschen und alle anderen Lebewesen unentbehrlich: Als heterotrophe Organismen zersetzen sie totes organisches Material, gehen eine Symbiose mit einer großen Zahl an Pflanzenarten ein und erhöhen dadurch ihre Produktivität, parasitieren aber auch auf Pflanzen,

Tieren und anderen Pilzen (Murati & Rexhepi 2018; Lüder 2015; Schwantes 1996). Vor allem im Ackerbau stellen sie den Menschen dadurch auch vor Herausforderungen (Müller & Löffler 1992). Menschen kennen und nutzen Pilze seit den Anfängen der Menschheit: Schwantes (1996) und Murati & Rexhepi (2018) betonen, dass das Sammeln von Speisepilzen bereits zur Zeit, als der moderne Mensch (*Homo sapiens*) noch als Jäger und Sammler lebte, eine wichtige Nahrung für die frühen Menschen war. Aber auch auf andere Art und Weise nutzten unsere Vorfahren Pilze. Ötzi, die bekannte 1991 entdeckte Leiche aus der Jungsteinzeit (Kutschera et. al. 2000), kann als Beispiel angeführt werden: Er trug zwei Pilze bei sich, die zusammen mit seinem Leichnam im Gletscher konserviert wurden. Den Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*) und den Birken-Porling (*Piptoporus betulinus*) (Peintner & Pöder 2000). Da das Hutfleisch des Zunderschwamms nur langsam verglüht, ist es sehr praktisch um Glut zu transportieren und im unwirtlichen Gebirge schnell wieder ein Feuer zu entfachen. Beim Birken-Porling wird vermutet, dass Ötzi dessen antibiotische Eigenschaften kannte (Lüder 2015; Peintner & Pöder 2000).

Die Echten Pilze oder Chitinpilze (Fungi) gehören zu den Eukaryoten, den Organismen mit echtem Zellkern (Adl et al. 2012). Innerhalb der Eukaryoten ordnet man sie den Opisthokonta zu: Das gemeinsame Merkmal dieser Gruppe ist, dass zumindest basale Vertreter in einem Teil ihres Lebenszyklus eine Schubgeißel besitzen. Dieses Merkmal gilt sowohl für die Chitinpilze, als auch für die vielzelligen Tiere (Metazoa) einschließlich des Menschen (Adl et al. 2012). Pilze sind also am nächsten mit den Tieren verwandt und nicht mit Kryptogamen (z. B. Algen und Moosen), wie lange vermutet wurde.

Die Zellen, die den Aufbau und die Lebensweise mehrzelliger Pilze ausmachen, heißen Hyphen. Das sind längliche Zellen, die durch Querwände (Septen), abgetrennt werden (Schwantes 1996). Die Gesamtheit der Hyphen eines Pilzes wird Myzel genannt (Lüder 2015, Schwantes 1996). Das Myzel durchdringt das Substrat und ermöglicht eine besonders effektive Nährstoffaufnahme (Abb. 1). Einige Arten wachsen jedoch auch als einzellige Hefezellen, zumindest in Teilen ihres Zyklus, z. B. Bäckerhefe oder Brandpilze.



Abb. 1: Ein Pilzmyzel durchzieht ein Holzbrett

Umgangssprachlich nennt man die Gebilde aus Hut und Stiel oft Pilze, mykologisch korrekt werden sie als Fruchtkörper bezeichnet, da sie das geschlechtliche Vermehrungsstadium eines Pilzes darstellen (Carris et al. 2012). Die geschlechtliche Vermehrung geschieht bei Pilzen durch Sporen, die in der Fruchtschicht

(Hymenium) des Fruchtkörpers gebildet werden (Lüder 2015). Bei Basidiomyceten, die oftmals in Hut und Stiel gegliedert sind, liegt die Fruchtschicht auf der Hutunterseite. Dort wird eine sehr große Anzahl an Sporen produziert. Bei Champignons (*Agaricus*) bis zu 40 Millionen pro Stunde (Lüder 2015). Sporen können wie Pflanzensamen oder -pollen über viele verschiedene Vektoren verbreitet werden. Die wichtigsten sind auch hier Wind, Tiere und Wasser (Halbwachs 2015; Lüder 2015). Dieser Vielfalt entsprechend ist die Oberflächenstruktur von Pilzsporen vielfältig gestaltet und an den jeweiligen Vektor angepasst (Halbwachs 2015). Die vorliegende Arbeit widmet sich ausschließlich Makromyceten, also Pilzen, die mit bloßem Auge sichtbar sind.

Den Kern bildet ein fachwissenschaftlicher und ein fachdidaktischer Teil. Ziel des fachwissenschaftlichen Teils ist es auf die Expertenrolle der Lehrerin und des Lehrers vorzubereiten und das Ziel des fachdidaktischen Teils ist es auf die Rolle des Wissensvermittlers speziell im Umgang mit Kindern im Grundschulalter vorzubereiten. Auch soll diese Arbeit ein Vermittler und eine Hilfestellung sowohl für Grundschullehrerinnen und Grundschullehrer als auch für Pilzexpertinnen und -experten sein, um den Hintergrund des anderen jeweils besser kennen und verstehen zu lernen. Die Herausforderungen und Chancen für die Einbringung des Themas Pilze in den Grundschulunterricht werden immer wieder im Verlauf der Arbeit thematisiert.

2 Fachwissenschaftlicher Teil

2.1 Evolution der Echten Pilze

Der Begriff Pilz entspricht keiner natürlichen Abstammungsgemeinschaft (Monophylum), sondern ist als Organisationsform zu verstehen, die sich mehrfach unabhängig voneinander im Laufe der Evolution entwickelt hat (Adl et al. 2012; Oberwinkler 2012), vergleichbar mit der Flugfähigkeit bei Insekten und Vögeln. In dieser Arbeit soll nur auf die Echten Pilze (Fungi) eingegangen werden, da Kindern im Grundschulalter ausschließlich Fungi bekannt sind. Hawksworth & Lücking (2017) schätzen die Diversität der Fungi zwischen 2,2 und 3,8 Millionen Arten.

2007 ordneten 67 mykologische Taxonomen das Reich Fungi neu (Hibbett et al. 2007). Zur besseren Übersichtigkeit sollen nur die wichtigsten taxonomischen Gruppen vorgestellt werden, detaillierte Informationen finden sich zum Beispiel in Tedersoo et al. (2018).

Die erste Abteilung sind die **Chytridiomycota** (Tröpfchenpilze). Nach Adl et al. (2012) besitzen die Zellen Chytridiomycota noch Geißeln, das spricht dafür, dass die Gruppe an der Basis der Fungi einzuordnen ist. Sie leben als Saprobionten im Wasser und in Böden, aber auch als Parasiten auf

Tieren, Pflanzen, Algen und anderen Pilzen. Chytridiomycota pflanzen sich asexuell fort (Adl et al. 2012).

Die zweite Abteilung sind die **Glomeromycota** (Adl et al 2012; Schüßler 2004), alle Vertreter besitzen keine Geißeln mehr. Als Ursache für den Verlust der Geißeln vermutet man die Landbesiedelung der Pilze, da die Geißeln außerhalb des Wassers nicht mehr notwendig waren. (Oberwinkler 2012). Adl et al. (2012) gehen davon aus, dass die Sporenbildung der Glomeromycota asexuell stattfindet. Kennzeichnend für Glomeromycota ist die Arbuskuläre Mykorrhiza (siehe Kap. 2.5.1), die evolutionär älteste Pflanzen-Pilz Symbiose, die mindestens 80 % der Landpflanzen eingehen (Smith & Read 2008; Schüßler 2004)

Die dritte phylogenetische Linie sind die **Basidiomycota** (Ständerpilze). Namensgebend für diese Abteilung sind die Basidien (Ständerzellen), in denen die Meiosporen der Pilze gebildet werden (siehe Kap 2.4). Die Basidiomycota besitzen solche Fruchtkörper, die man als Hutpilze mit Stiel aus unseren Wäldern und Wiesen kennt. Allerdings gehören noch weitaus mehr Baupläne in diese Gruppe: Zum Beispiel Hefen, Rost- und Brandpilze, vorwiegend auf Pflanzen parasitieren, (Lüder 2015; Adl et al. 2012; Oberwinkler 2012).

Die letzte wichtige Klasse sind die **Ascomycota**, die einen gemeinsamen Vorfahren mit den Basidiomycota haben, und deshalb mit ihnen die monophyletische Gruppe der Dikarya bilden (Hibbett et al. 2007). Bei den Ascomyceten (Schlauchpilze) sind ebenfalls die Zellen, die die sexuellen Sporen produzieren, namensgebend: die Asci (Einzahl Ascus), übersetzt Schläuche. Ascomyceten sind die artenreichste Abteilung innerhalb der Echten Pilze (Carris et al. 2012). Ascomyceten ernähren sich saprobiontisch, parasitieren auf Pflanzen, leben endophytisch in Wurzeln, oder gehen eine Mykorrhiza mit Bäumen, wie zum Beispiel die bekannten Trüffeln (*Tuber* sp.) ein (Adl et al. 2012; Carris et al. 2012).

2.2 Morphologie & Anatomie der Fungi

2.2.1 Morphologie

Sehr wichtig für den Grundschulunterricht ist die Morphologie, also der äußere Aufbau von Pilzen und ihren Fruchtkörpern, deshalb soll auf diesen genauer eingegangen werden. Die vorliegende Arbeit befasst sich ausschließlich mit Makromyceten, also Großpilzen, die ohne technische Hilfsmittel, wie z. B. einem Mikroskop, sichtbar sind (Dörfeld & Jeschke 2001).

Fachwissenschaftlich nennt man die Fruchtkörper der Basidiomyceten Basidiocarp, die Fruchtkörper der Ascomyceten Ascocarp (Halbwachs et al. 2016; Dörfelt & Jeschke 2001).

Laut der Meinung des Autors sind die Basidiomyceten für Grundschulunterricht am wichtigsten, da sie im Freiland auffällige Fruchtkörper bilden. Zudem weisen die Basidiomycota eine erhebliche Diversität an makroskopischen Fruchtkörpern (siehe Kap. 2.4) auf und bilden zu ähnlichen Zeiten Fruchtkörper. Es sind die prototypischen Pilze, zu denen junge Menschen bereits Vorwissen haben, aber diese prototypischen Vorstellungen werden auch durch die Vielfalt der Fruchtkörper durchbrochen.

2.2.1.1 Morphologie der Basidiocarpe

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, nimmt der Mensch nur zwei Erscheinungsformen von Pilzen wahr. Das unterirdische Myzel und die oberirdischen Fruchtkörper. Fruchtkörper sind allerdings auch aus Myzel aufgebaut. Hier sind die Pilzzellen nur eng zu einem Scheingewebe (Plectenchym) verbunden (Lüder 2015). Mit den Fruchtkörpern kann sich das Myzel geschlechtlich fortpflanzen (Carris et al. 2012). Bei Basidiomyceten gibt es eine ganze Reihe von verschiedenen Bauplänen: Die typischen in Hut und Stiel gegliederten Fruchtkörper, einzellige Hefen, Rost- und Brandpilze an Pflanzen, konsolenförmig wachsende Porlinge mit und ohne Stiel, Korallenpilze, Bauchpilze und viele mehr (Carris et al. 2012). Oben (Kap. 2.2.1) wurde die Bedeutsamkeit der Basidiomycota für den Grundschulunterricht dargestellt. Innerhalb dieser Gruppe sind Hutpilze die bekanntesten Vertreter. Ihre Strukturen und die Funktion derselben soll im Folgenden beschrieben werden:

Abbildung 2 stellt die Struktur eines Basidiomyceten-Fruchtkörpers und die Funktionen der einzelnen Teile des Fruchtkörpers dar. Dieser ist in **Stiel**, **Hut** und **Fruchtschicht** gegliedert. Laut Hibbett et al. (1995) existiert diese Anordnung seit 100 Millionen Jahren. An der heutigen Variabilität dieser Fruchtkörper ist der evolutionäre Erfolg erkennbar (Halbwachs et al. 2016). Nach Kirk et al. (2011) besitzen 8000 Arten eine solche Strukturierung. Im Folgenden soll auf die Struktur und Funktion der Basidiocarpe eingegangen werden:

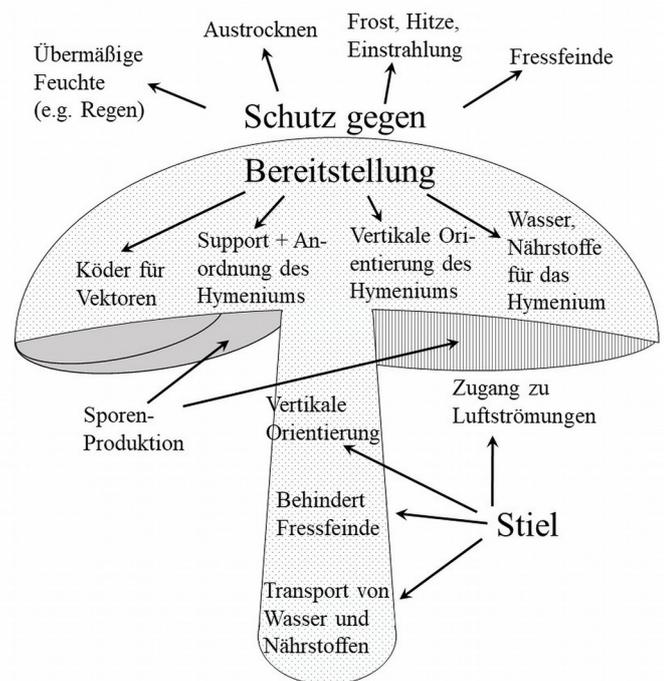


Abb. 2: Struktur und Funktion von Basidiomyceten Fruchtkörpern. Nach Halbwachs & Bässler 2012

Die **Stiele** von Fruchtkörpern sind vielfältig und wichtig für die Bestimmung von Pilzen. Bei Fruchtkörpern mit geringem Durchmesser sind die Stiele im Verhältnis zum Hut lang, dünn und oft hohl. Bei Fruchtkörpern mit großem Durchmesser, wie zum Beispiel dem Fichten-Steinpilz (*Boletus edulis*), sind die Stiele im Verhältnis zum Hut relativ kurz und gedrunken (Halbwachs et al. 2016). Der Vorteil der langen und dünnen Stiele ist, dass diese bei Wind mitschwingen und nicht abknicken, und gleichzeitig eine geringere Biomasse benötigen. Allerdings leben solche Fruchtkörper kürzer (Halbwachs et al. 2016). Pilze mit massigen Stielen leben länger und durch die kurzen Stiele bleibt Feuchtigkeit besser in der Fruchtschicht enthalten (Halbwachs et al. 2016). Die meisten Stiele sind zylindrisch. Auch hier ist die Struktur durch die Funktion des Stiels bedingt. Er hilft dabei die Fruchtschicht aus dem Substrat herauszuheben, sie gleichzeitig stabil zu halten, er versorgt die Fruchtschicht mit Wasser und Nährstoffen und hebt die nährstoffreiche Fruchtschicht auf Distanz von Räufern (Halbwachs et al. 2016). An der Stielbasis finden sich oft Strukturen, deren Funktion es ist, wirbellose Räuber von der nährstoffreichen Fruchtschicht (s. u.) fernzuhalten. Diese können zum Beispiel an flockigen oder genatterten Stielen schlechter hochklettern. Oft befindet sich am Stielgrund eine Knolle, diese ermöglicht eine noch effizientere Verankerung des Stiels im Substrat (Halbwachs et al. 2016). Um die junge, noch nicht ausgereifte Fruchtschicht bei jungen Fruchtkörpern zu schützen haben sich verschiedene Art und Weisen entwickelt. Für den Grundschullehrer sind hemiangiocarpe und gymnocarpe Fruchtkörper relevant: Bei hemiangiocarpen Fruchtkörpern ist die junge Fruchtschicht von einer Schutzhaut, dem Velum, bedeckt. Es gibt verschiedene Formen des Velums, das Velum universale (Gesamthülle) und das Velum partiale (Teilhülle) (Abb. 3) (Halbwachs et al. 2016; Lüder 2015).

Das Velum universale bedeckt den jungen unreifen Fruchtkörper komplett, um ihn vor äußeren Einflüssen zu schützen (A). Es ist ein gemeinsames Merkmal der Wulstlinge (*Amanita* sp.). Zu dieser Gattung gehören z. B. der Fliegenpilz (*A. muscaria*) und der grüne Knollenblätterpilz (*A. phalloides*). Mit zunehmendem Alter und der Vergrößerung des Hutes reißt das Velum universale auf und hinterlässt z. B. beim Fliegenpilz die bekannten weißen Pusteln auf der Huthaut (C). Beim Grünen Knollenblätterpilz hinterlässt das Velum

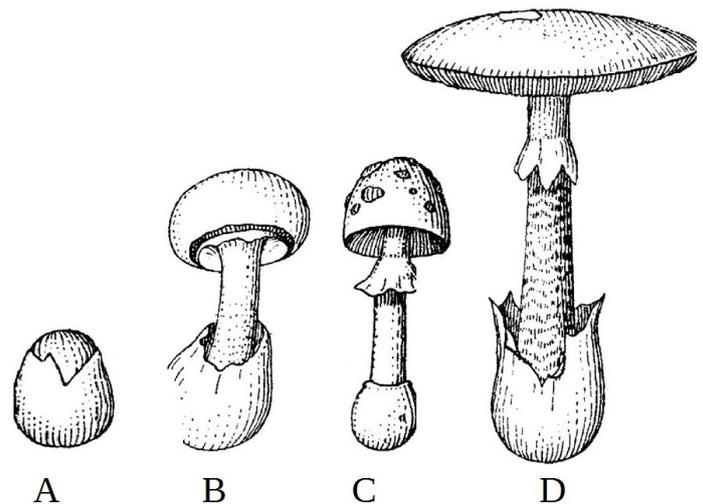


Abb. 3: Teil und Gesamthülle bei Basidiocarpen, nach Lindau & Ulbrich (1928) verändert

universale keine Flocken auf der Hutoberseite, sondern eine Scheide an der Stielbasis (D). Diese wächst vollständig um die Stielknolle und ist damit ein essentielles Merkmal, um diesen tödlich giftigen Pilz zu erkennen (Lüder 2015). Das Velum parziale bedeckt im Jugendstadium nicht den kompletten Fruchtkörper, sondern nur die Fruchtschicht desselben (B). Es dient dem Schutz der unreifen Sporen. Mit zunehmendem Wachstum des Hutes reißt auch das Velum parziale auf und bleibt am Stiel in Form eines Ringes (C & D) oder Schleiers zurück. Es ist ebenfalls ein wichtiges Merkmal beim Bestimmen von Fruchtkörpern. Viele Wulstlinge (*Amanita* sp.), Champignons (*Agaricus* sp.), aber auch einige Schmierröhrlinge (*Suillus* sp.) besitzen ein Velum parziale (Halbwachs et al 2016; Lüder 2015). Der Schleier ist hingegen namensgebend für die Gattung Schleierlinge (*Cortinarius*).

Der **Hut** ist wohl das bekannteste und markanteste Merkmal, das Pilzen zugewiesen wird. Durchmesser, Farbe, Oberfläche, Wuchsform und viele weitere Merkmale des Hutes sind wichtige Elemente bei der Bestimmung eines Pilzes (Lüder 2015). Die wichtigste Aufgabe des Hutes ist der Schutz der Fruchtschicht, die auf der Unterseite liegt. Der Hut schützt diese vor biotischen und abiotischen Stressfaktoren (Halbwachs et al. 2016). Zum Beispiel kann man im Freiland oft Pilze finden, deren Huthaut von Schnecken oder Mäusen angefressen wurde, bei denen die Fruchtschicht aber unversehrt geblieben ist. Außerdem bietet der Hut Schutz vor der Sonne, UV-Strahlen und Trockenheit (Halbwachs et al. 2016). Oft finden sich auf der Huthaut weitere Strukturen wie Stacheln, Härchen, oder eine filzige oder klebrige Huthaut, die den Schutz noch verbessern. Die Farbpigmente von Fruchtkörpern sind sehr vielseitig. Halbwachs et al. (2016) nennen violett, rot, gelb, blau, grün, braun und schwarz. Zur biologische Funktion der Farben besteht noch Forschungsbedarf. Es wird vermutet, dass die Pigmente z. T. vor Giftigkeit warnen, wie zum Beispiel die rote Hutfarbe bei Täublingen (Lüder 2015) oder sie können Tiere als Vektoren für die Sporenverbreitung anlocken (Halbwachs et al. 2016).

Die **Fruchtschicht** der Ständerpilze ist ebenfalls sehr variabel. Es gibt Lamellen, Röhren, Poren, Stacheln, Korallen, Bauchpilze und viele mehr (Halbwachs et al. 2016; Lüder 2015). Lamellen vergrößern die Oberfläche der Fruchtschicht am effizientesten (Halbwachs et al. 2016). Röhren schützen die Sporen besser vor Räubern und halten die Feuchtigkeit effizienter in der Fruchtschicht. Stacheln sind vorteilhaft bei der Windverbreitung (Halbwachs et al. 2016). Lamellen sind immer kreisförmig angeordnet und können an Stiel angewachsen, herablaufend oder frei sein. Lamellen können eng oder weit entfernt angeordnet sein. Oft trägt die junge Fruchtschicht mit unreifen Sporen eine andere Farbe als eine alte Fruchtschicht mit reifen Sporen (siehe. Kap. 2.4). Alle diese Merkmale sind wichtig für die Bestimmung von Fruchtkörpern.

Die Fruchtkörper der Basidiomyceten variieren extrem in der **Größe**, vor allem interspezifisch, aber auch intraspezifisch (Halbwachs et al. 2016). Die Fruchtkörper des Nadel-Stinkschwindlings werden z. B. 0,5-1 cm groß (Gerhardt 2014), die Hüte von *Termitomyces titanicus* erreichen einen Durchmesser von 1m (Pegler & Pearce, 1980). Die Fruchtkörper des Fichten-Steinpilzes (*Boletus edulis*) können laut Gerhardt (2014) zwischen 5 und 25 cm groß sein, ein Unterschied um den Faktor fünf. Die Ursachen innerartlicher Unterschiede beruhen vor allem auf Temperaturschwankungen (Austwick 1968) sowie Nährstoff- und Wasserknappheit (Moore 1998). Je günstiger die Bedingungen sind, desto größer sind die Fruchtkörper (Halbwachs et al. 2016). Bässler et al. (2014) fanden heraus, dass Ektomykorrhiza-Pilze, also Pilze, die mit Bäumen eine Symbiose eingehen, größere Fruchtkörper bilden als saprobiontische Pilze (siehe Kap 2.5.2). Als Ursache wird vermutet, dass die Ektomykorrhiza-Pilze durch die Ernährung der Wirtsbäume weniger abhängig von der Umgebung sind als die Saprobionten. Weitere Vorteile von großen Fruchtkörpern sind eine längere Überlebensdauer, womit eine größere Sporenproduktion einhergeht (Moore et al. 2008; Dörfelt & Görner 1989). Durch ein dickeres Hutfleisch beschützen dicke Hüte auch die Fruchtschicht effizienter als dünne Hüte. Dafür erregen große Fruchtkörper eher die Aufmerksamkeit von Prädatoren als kleine (Halbwachs et al. 2016). Fruchtkörper können wenige Stunden bis 30 Tage überleben, es wurden auch schon Fruchtkörper des Zunderschwamms (*Fomes fomentarius*) gefunden, die 30 Jahre alt waren (Halbwachs et al. 2016).

In der Fruchtschicht werden die Meiosporen der Pilze produziert. Auch Sporen sind in ihrer Morphologie extrem vielfältig, an dieser Stelle soll auf die wichtigsten morphologischen Merkmale und kurz auf ihren ökologischen Einfluss verwiesen werden (Halbwachs & Bässler 2015): Basidiosporen variieren in der **Größe**: Laut (Knudsen & Vesterhold 2012) sind die kleinsten 2,3-3 µm lang, sehr große Sporen sind 16 µm lang und 16 µm breit. Große Sporen sind langlebiger und können mehr Nährvorräte speichern (Deacon 2006; Carlile & Gooday 2001). Kleine Sporen sind leichter, fliegen weiter und können leichter Hindernisse passieren (Norros et al. 2014; Toulloss 2005).

Die **Form** der Sporen unterschieden sich mitunter stark: Sie können elliptisch, rundlich, glatt, feinwarzig, ovale, nieren-, wüstringförmig und eine ganze Reihe weiterer Formen besitzen (Lüder 2015; Dörfelt & Jeschke 2001). Die Form wirkt sich ebenfalls auf den Verbreitungsvorgang aus: Kugelige Sporen haben eine geringere Oberfläche als längliche Sporen (Carlile & Gooday 2001), und bieten Parasiten und Fressfeinden kleinere Angriffsflächen (Halbwachs & Bässler 2015). Längliche Sporen können durch den Wind weiter verteilt werden (Ingold 1965).

Die **Wanddicke** wirkt sich auf die Widerstands- und Keimfähigkeit von Sporen zurück. Dickwandige Sporen sind besser gegen äußere Einflüsse geschützt und überleben die Verdauungsorgane von Tieren als Verbreitungsvektoren eher als dünnwandige Sporen. Dünnwandige Sporen keimen allerdings schneller als Dickwandige (Tulloss 2005).

Manche Sporen besitzen einen **Keimporus**, dieser ermöglicht eine leichtere Keimung der Spore, nachdem diese von einem Tier ausgeschieden wurde. Vor allem solche Sporen, die ihr Substrat schnell besiedeln müssen haben oft einen Keimporus (Halbwachs & Bässler 2015)

Sporen können **ornamentiert** sein, das bedeutet, dass Strukturen auf die Sporen aufgelagert sind (Dörfeld & Jeschke 2001).

Abbildung 4 zeigt Beispiele für Sporenornamente. Durch die Ornamentierung haften die Sporen besser an Substraten und Vektoren (Jennings & Lysek

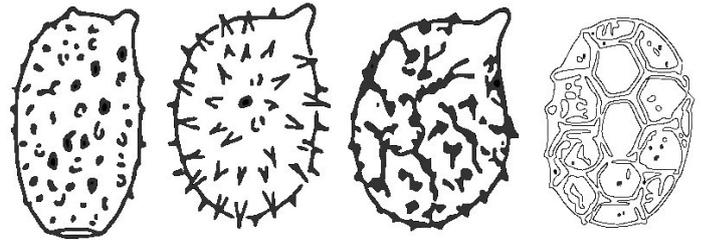


Abb. 4: verschiedene Ornamentierungen bei Pilzsporen, Dörfeld & Jeschke 2001.

1999). Beispiele für diese Vektoren sind zum Beispiel Nebeltröpfchen (Gregory 1973) und wirbellose Tiere (Wösten & Wessels 1997).

Schon in dieser kurzen und vereinfachten Darstellung wird deutlich, dass Pilzsporen auf vielerlei Art und Weise verbreitet werden können. Zur Ökologie von Basidiosporen liegt derzeit wenig Literatur vor, die Sporeneigenschaften scheinen jedoch von ökologischer Bedeutung für Pilze zu sein (Halbwachs & Bässler 2015).

Sporen können verschiedene **Farben** besitzen. Häufig verfärben sich die Sporen während ihres Reifungsprozesses, zum Beispiel beim Grünblättrigen Schwefelkopf (*Hypholoma fasciculare*) oder beim Riesenbovist (*Calvatia gigantea*) (Kap. 2.8). Beispielfarben bei reifen Sporen sind oliv, cremefarben, weiß oder braun. Zum Teil lässt sich anhand der Sporenfarbe die systematische Gruppe erkennen (Braunsporer, Rosasporer).

2.3 Anatomie der Basidiomyceten

Die Anatomie der Basidiomyceten ist von untergeordneter Bedeutung für Grundschullehrerinnen und -lehrer, da die Zellstrukturen mit Lichtmikroskopen bei hohen Vergrößerungen sichtbar gemacht werden müssen. Da Hyphen verhältnismäßig dünn sind (1-5 µm Durchmesser) ist ihre Mikroskopie dadurch anspruchsvoller als die von Pflanzen- oder Tierzellen. Das folgende Kapitel möchte daher nur einen kurzen Einblick in die Anatomie der Basidiomyceten geben, der interessierte Leser wird in Clemençon (1999) umfangreicher informiert.

Wie schon in der Einleitung erwähnt, sind die Echten Pilze aus Hyphen aufgebaut. Clemençon (1999) gibt an, dass sich die vegetativen Hyphen des Myzels kaum von den generativen Hyphen der Fruchtkörper unterscheiden. Eine vegetative Hyphe besteht aus folgenden Organellen (Clemençon 1999): Einer dünnen Wand, von außen nach innen bestehend aus einer Schleimschicht, einer Außenschicht und einer Innenschicht. Die Schleimschicht ist sehr wichtig für die Lebensweise der Pilze. Durch sie können die Hyphen besser in die Bodenporen eindringen und die Bodenpartikel verkleben, wodurch der Boden besser Wasser speichert. Vor allem bei Mykorrhizapilzen, die eine enge Verbindung mit Pflanzenwurzeln eingehen, (Kap. 2.5.1) ist das von wichtiger Bedeutung (Schüßler 2009). Echte Pilze besitzen als Eukaryoten Zellkerne, mit einer Kernhülle und Kernkörperchen (Nucleolus). Dort befindet sich das Erbgut der Pilze, die DNA. Hyphen besitzen wie Pflanzen und Tiere Mitochondrien, die durch Zellatmung Energie gewinnen (Campbell & Reece 2011). Besonders viele Mitochondrien finden sich in der Spitze der Hyphe, weil Hyphen fast ausschließlich dort wachsen und am Ort des Wachstums die meiste Energie benötigt wird (Clemençon 1999). Hyphen enthalten zudem Ribosomen, die Organellen der Proteinsynthese. Dort werden auch die Enzyme produziert, die für den pilzlichen Stoffwechsel, zum Beispiel beim Holzabbau, von zentraler Bedeutung sind. 80-90 % der pilzlichen Proteine sind Enzyme, manche von ihnen werden auch wirtschaftlich genutzt (Dörfelt & Jeschke 2001). Außerdem finden sich Vesikel, Chitosomen, Mikrotubuli, Endoplasmatische Reticula und Vacuolen in Pilzzellen (Clemençon 1999)

Je nach Funktion der Hyphen lassen sich verschiedene Typen differenzieren:

1. Bei **Sklerohyphen** ist die Hyphenwand verdickt, die Fruchtkörper bekommen eine holzartige Konsistenz. Sie finden sich bei vielen holzzersetzenden Porlingen wie dem Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*) oder dem Rotrandigen Baumschwamm (*Fomitopsis pinicola*). Sie bilden das Stützgeflecht dieser Fruchtkörper (Clemençon 1999).
2. In **Speicherhyphen** werden Kohlenhydrate in wasserunlöslicher Form als Energieträger zum Überwintern (Sklerotien) mancher Pilze, wie zum Beispiel des Mutterkorns (*Claviceps purpurea*). Nach dem Ende des Winters bildet das Sklerotium Fruchtkörper, die benötigte Energie liefern die Speicherhyphen (Clemençon 1999).
3. Das Kennzeichen von **Physalohyphen** ist die Vergrößerung des Zellinnendrucks (Turgor). Dies geschieht durch eine erhöhte Wasseraufnahme der Hyphen. Wegen der Begrenzung der Hyphenwand vergrößert sich der Innendruck. Diese Zellen finden sich im Stützgeflecht von fleischigen Arten, die bei Trockenheit schrumpfen, z. B. Röhrlinge und viele Lamellenpilze (Clemençon 1999).

4. **Gelifere Hyphen** sind Hyphen, bei denen die äußere Hyphenwand verquollen ist. Es wirkt wie eine gallertige Masse, die eine ähnliche Konsistenz wie Knorpel aufweist. Die so verklebten Hyphen bilden dadurch ein mechanisch belastbares Scheingewebe (Clemençon 1999).
5. Der letzte besondere Hyphentypus ist die **Sekrethyph**, von denen es verschiedene Formen gibt, je nachdem, welches Sekret sie produziert (Clemençon 1999). Ein bekanntes Beispiel für Sekrethyphen sind Laticifieren, die milchsaftführenden Hyphen der Milchlinge (*Lactarius*) (Kränzling 2005). Zu den Milchlingen gehört auch der in Kap. 2.8 vorgestellte Edel-Reizker.

2.4 Fortpflanzung der Basidiomyceten

Um sich geschlechtlich fortpflanzen zu können, bilden Basidiomyceten wie Ascomyceten eine Fruchtschicht (Hymenium) (Lüder 2015). Gleichzeitig ist diese Fruchtschicht ein zentrales Merkmal bei der Bestimmung (Lüder 2015, Gerhart 2014). Um eine große Anzahl an Sporen zu produzieren, haben sich im Laufe der Evolution verschiedenste Typen der Oberflächenvergrößerung gebildet (Abb 5,6,7 und 8)) (Halbwachs et al. 2016; Lüder 2015).

Die Ontogenese eines Basidiomyceten ist in Abb. 9 dargestellt. Zunächst wirft der Fruchtkörper Sporen aus und sie werden von Vektoren verbreitet (E). Die Sporen keimen, wenn die Bedingungen günstig sind und bei Basidiomyceten entsteht aus der gekeimten Spore ein Primärmyzel, das haploid ist (F) (Halbwachs & Bässler 2015, Lüder 2015). Erst wenn dieses Primärmyzel auf ein anderes Primärmyzel trifft, das ein anderes Geschlecht



Abb. 5: Lamellen des Gemeinen Weiß-Täublings (*Russula delica*)



Abb. 6: Röhren des Wurzelnden Bitter-Röhrlings (*Caboboletus radicans*)



Abb. 7: Oberflächenvergrößerung durch Stacheln beim Igel-Stachelbart (*Hericium erinaceus*)

Verschiedene Formen der Oberflächenvergrößerung des Hymeniums bei Basidiomyceten: Lamellen (5), Röhren (6) und Stacheln (7)

aufweist, können diese verschmelzen (Plasmogamie) und ein dikaryotisches Pilzmyzel entsteht (G), das Fruchtkörper bilden kann (H) (Kothe 2016; Halbwachs & Bässler 2015; Lüder 2015). Bei Basidiomyceten ist diese Verschmelzung besonders, weil zunächst nur das Zellplasma der Primärmyzele verschmilzt, nicht aber die Zellkerne (Lüder 2015). Die Zellkerne verschmelzen erst im Hymenium eines neuen Fruchtkörpers (A), aus diesem diploiden Zellkern entstehen durch Meiose vier haploide Kerne (B). Die Basidien und Sporen werden gebildet (C) und können wiederum verbreitet werden (Halbwachs & Bässler, 2015, Lüder 2015). Die Sporen der Basidiomyceten nennt man Basidiosporen (Halbwachs & Bässler 2015).

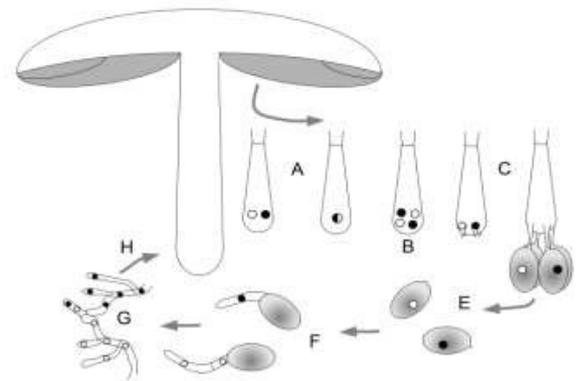


Abb. 8: Ontogenese eines Basidiomyceten, Halbwachs & Bässler 2015.

2.5 Ökologie der Pilze

Echte Pilze werden abhängig von ihrer Ernährungsweise in drei ökologische Gruppen eingeteilt: Symbionten, Saprobionten und Parasiten. Allerdings können die Übergänge zwischen diesen Ernährungsweisen fließend sein (Schwantes 1996). Pilze ernähren sich nicht autotroph, wie Pflanzen es über die Photosynthese tun, sondern heterotroph, d. h. sie sind wie Tiere auf organische Substanz anderer Lebewesen angewiesen (Lüder 2015). Abbildung 10 fasst die ökologische Bedeutung der Pilze im Ökosystem Wald zusammen. Die ökologische Funktion der Pilze ist wichtig für Grundschulunterricht über Pilze und soll daher genau betrachtet werden:

2.5.1 Symbiosen mit Pflanzen

Pilze bilden mit einer ganzen Reihe von Pflanzenarten eine Symbiose. Die bekannteste Form der pilzlichen Symbiose nennt man Mykorrhiza, zu deutsch Pilzwurzel. Dabei tauschen die Pflanze und der Pilz im Wurzelbereich Stoffe aus. Laut Kothe (2016) gehen aller 95 % Landpflanzen Mykorrhizen ein.

Der Durchmesser von Hyphen ist bis zu 60 mal dünner als der von Wurzeln (Sharma 2017). In 2,5 m² Boden sind Hyphen von 40000 km Länge vorhanden (Schüßler 2009). Durch die vergrößerte Oberfläche können Pilze Wasser und Nährstoffe, wie zum Beispiel Stickstoff, Phosphor, Magnesium und Aminosäuren (Kothe 2016) sehr viel effizienter aus dem Boden aufnehmen. Aufgrund ihres geringeren Durchmessers können Hyphen im Gegensatz zu Wurzeln und

Wurzelhaaren in die kleinsten Bodenporen eindringen. Durch den Stoffaustausch sind die Wirtspflanzen resistenter gegenüber Stress, wie zum Beispiel Nährstoffknappheit oder Trockenheit (Powell & Rillig 2018; Kamel et al. 2016). Die Mykorrhizapilze erhalten von ihrer Wirtspflanze Zucker oder Fette, die die Pflanze über die Photosynthese erzeugt (Powell et al. 2018; Kothe, 2016). Laut Jennings (1999) und Schüßler (2004) verbrauchen Mykorrhizapilze im Rotbuchenwald (*Fagus sylvatica*) immerhin ein Drittel des produzierten Zuckers. Mykorrhizapilze übernehmen noch weitere Aufgaben: Sie vernetzen sich mit anderen Mykorrhiza-Pilzen sowohl desselben Wirtsbaumes, als auch mit denen anderer Bäume (Lüder 2018; Klein et al. 2016; Simard et al. 2015). Dabei werden nicht nur zwei Individuen derselben Art, sondern auch artenübergreifend Bäume vernetzt (Klein et al. 2016; Gorzelak et al. 2015; Simard et al. 2015). Dadurch können die Pflanzen Wasser, Zucker, Stickstoff (Gorzelak et al. 2015; Simard et al. 2015), Phosphor (Eason and Newman 1990; Eissenstat 1990), Pflanzenhormone (Song et al. 2010) und sogar genetisches Material (Giovannetti et al. 2006), aber auch Signale, wie zum Beispiel bei einem Schädlingsbefall, untereinander austauschen (Babikova et al. 2013). Durch die große Ähnlichkeit mit dem *world wide web* nennt man dieses Zusammenspiel *wood wide web*. Dieses kann sehr effizient und flexibel auf Umwelteinflüsse reagieren (Halbwachs 2017).

Man unterscheidet **verschiedene Formen** der Mykorrhiza:

Bei der **Ektomykorrhiza** umschließen die Hyphen des Pilzes die Wurzelzellen, dringen aber nicht in die Wurzelzellen ein, so stehen sich Pflanze und Pilz in engem Kontakt. Man nennt diese Struktur aus Wurzelzellen und Pilzzellen Hartigsches Netz (Weiß et al. 2016; Kothe 2016; Schirkonyer & Rothe 2010). Durch dieses Netz können die Wirtspflanze und der Ektomykorrhizapilz wie oben beschrieben Wasser, Nährstoffe und vieles mehr austauschen (Kothe 2016). In Deutschland, vor allem gekennzeichnet durch die sommergrünen Laubwäldern der gemäßigten Zone, ist die Ektomykorrhiza weit verbreitet. Aber auch für Nadelbäume ist die Ektomykorrhiza sehr wichtig (Halbwachs 2017). Wegen der hohen Bedeutung für die heimischen Ökosysteme soll auf die Ektomykorrhiza etwas genauer eingegangen werden: Bei ihr stehen relativ wenige Arten von Wirtsgehölzen einer sehr großen Anzahl an Mykorrhizapilzen gegenüber (Halbwachs 2017). Im Bialowieża-Nationalpark, zwischen Polen und Weißrussland, kommen auf 1100 km² 27 Baumarten vor, von denen 90 % eine Ektomykorrhiza-Symbiose eingehen (Faliński & Falińska 1986). Vergleicht man dies mit tropischen Zonen, so zählten Valencia et al. (1994) im Amazonasgebiet zwischen 150 und 470 Baumarten. Hier dominiert ein anderer Mykorrhiza-Typ, die Arbuskuläre Mykorrhiza (Janos 1980) (s.u.).

Ektomykorrhizapilze verfolgen zwei unterschiedliche Strategien: Entweder sie spezialisieren sich auf einen bestimmten Wirt oder sie können eine Mykorrhiza mit verschiedenen Wirten eingehen (Simard et al. 2015, Halbwachs 2017). Ein Beispiel für einen Spezialisten ist die Weißstielige Rotkappe (*Leccinum aurantiacum*), sie geht nur mit Zitter-Pappeln (*Populus tremula*) eine Symbiose ein (Gerhardt 2014). Ein Beispiel für einen Generalisten ist der Flockenstielige Hexenröhrling (*Boletus erythropus*), er kann mit der Rotbuche (*Fagus sylvatica*), mit der Stiel-Eiche (*Quercus robur*), mit der Trauben-Eiche (*Qu. petraea*) und mit der Gewöhnlichen Fichte (*Picea abies*) eine Mykorrhiza eingehen (Gerhardt 2014). Knudsen & Vesterholt (2012) bestätigen, dass es weniger Spezialisten als Generalisten gibt. Beide Strategien haben Vor- und Nachteile: Spezialisten „kosten“ den Baum mehr Zucker (Bruns et al. 2002), da die Pilze eine besonders spezifische ökologische Nische haben, zum Beispiel bei Rotbuchen auf Kalkboden. Dadurch helfen sie ihren Wirtspflanzen auch in solchen Gebieten durchsetzungsfähig zu sein. Generalisten sind in solchen Habitaten eher im Nachteil (Nentwig et al. 2009). Generalisten bekommen von ihren Wirtspflanzen weniger Zucker als Spezialisten und sind dadurch von mehreren Nahrungsquellen (=Wirtsbäumen) abhängig, sind allerdings auch nicht einem bestimmten Wirtsbaum ausgeliefert und dadurch resistenter gegenüber Ökosystem-Störungen, wie zum Beispiel Tannensterben durch sauren Regen.

Um zu verhindern, dass Ektomykorrhizapilz und Pflanze sich gegenseitig ausnutzen, haben beide Mechanismen entwickelt, um die Abhängigkeit zum jeweils anderen zu erhalten (Halbwachs 2017). Kjølner et al. (2012) beschreiben, dass Wirtsbäume nach Düngungen des Bodens die Zuckerabgaben an Ektomykorrhizapilze vermindern. Corrêa et al. (2011) bestätigen, dass die Wirtsbäume bei geringer Stickstoffaufnahme der Ektomykorrhizapilze ebenfalls die Zuckerabgaben reduzieren. Auf der anderen Seite investieren Ektomykorrhiza-Pilze in ihre eigene stickstoffbindende Biomasse, um die Abhängigkeit der Wirtsbäume zu vergrößern (Kuyper & Kiers 2014).

Ein Baum geht nicht nur mit einer bestimmten Pilzart, sondern mit einer ganzen Bandbreite an Pilzen eine Ektomykorrhiza ein (Halbwachs 2017). So kann zum Beispiel die Hänge-Birke (*Betula pendula*) eine Lebensgemeinschaft mit über 100 Pilzarten eingehen (Lüder 2015; Roy-Bolduc et al. 2015). Darunter sind bekannte Pilze wie der Fliegenpilz (*Amanita muscaria*), der Birkenpilz (*Leccinum scabrum*) und die Birken-Rotkappe (*Leccinum versipelle*) (Gerhardt 2014). Weitere bekannte in Deutschland heimische Ektomykorrhiza-Pilze sind zum Beispiel der Fichten-Steinpilz (*Boletus edulis*), der Echte Pfifferling (*Cantharellus cibarius*) und der tödlich giftige Grüne Knollenblätterpilz (*Amanita phalloides*) (Lüder 2015).

Eine besondere Herausforderung für Ektomykorrhizapilze ist es, ihre Sporen gezielt in die Nähe ihrer Baumwirte zu bringen, da sie ohne Wirt nicht lebensfähig sind (Lindahl & Tunild 2015). Die Sporen der Ektomykorrhizapilze bleiben oft in Haaren von Verte- und Invertebraten hängen oder passieren den Verdauungstrakt der Tiere unbeschadet (Halbwachs & Bässler 2015). Durch bestimmte Wurzelsignale kann dann eine Sporenkeimung ausgelöst werden (Hassan & Mathesius 2012), aber auch Ektomykorrhizapilze können Signalstoffe in die Umgebung abgeben, die das Wurzelwachstum in Richtung des Ursprungsmyzels anregt (Ditengou et al. 2015). Von Klein- und Großsäugern können die Sporen über weite Strecken, von Wirbellosen über kürzere Strecken verbreitet werden (Halbwachs & Bässler 2015).

Für die Europäische Forstwirtschaft ist die Ektomykorrhiza von herausragender Bedeutung: Eichen (*Quercus* sp.), Rot-Buche (*Fagus sylvatica*), Gewöhnliche Fichte (*Picea abies*), Wald-Kiefer (*Pinus sylvestris*), Lärche (*Larix decidua*), Weiß-Tanne (*Abies alba*), Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) und auch Hänge-Birke (*Betula pendula*) gehen eine Ektomykorrhiza mit Pilzen ein (Halbwachs 2017; Lüder 2015; Schüßler 2009). Laut der letzten Bundeswaldinventur (2013) des Bundesministeriums für Ernährung und Landwirtschaft machen die oben erwähnten Ektomykorrhiza-Wirte 82 % der bewaldeten Fläche Deutschlands aus. Der Anteil an Nadelbäumen liegt gerundet bei 54 %, der von Laubbäumen bei 44 % (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft 2013).

Ein weiterer wichtiger Mykorrhiza-Typ ist **Arbuskuläre Mykorrhiza**. Bei diesem Typ leben die Pilze in der Wurzelrinde und dringen bäumchenförmig in die Zellen ihrer Wirtspflanze ein (Naadem et al. 2017; Schüßler 2009). Man nennt diese Strukturen Arbuskeln. Die Hyphen sind hier sehr fein verzweigt, was einen effizienten Stoffaustausch ermöglicht (Schüßler 2009). Wie bei der Ektomykorrhiza stellt der Pilz der Pflanze Nährstoffe wie Phosphor und Stickstoff zur Verfügung und bekommt dafür Zucker oder auch Lipide von der Wirtspflanze (Powell & Rillig 2018; Naadem et al. 2017; Schüßler 2009). Den größten Anteil der Nährstoffe, den Arbuskuläre Mykorrhizapilze ihren Pflanzenwirten zukommen lassen, stellt Phosphor (Raid & Greene 2012). Arbuskuläre Mykorrhizapilze verkleben die Bodenpartikel, indem sie Glycoproteine ausscheiden (Schüßler 2009). Dadurch speichert der Boden besser Wasser, was auch einen Vorteil für die Wirtspflanzen darstellt. Die arbuskuläre Mykorrhiza ist die häufigste und älteste Mykorrhiza-Form der Erde: 80% der Kormophyten-Arten bilden eine Arbuskuläre Mykorrhiza (Schüßler 2009; Smith & Read 2008). In unseren gemäßigten Breiten finden wir sie vor allem bei krautigen Pflanzen, zum Beispiel bei Süßgräsern (Poaceae). Die Pflanzengruppen, die keine Arbuskuläre Mykorrhiza bilden, sind die

Heidekrautartigen, die Orchideen, die Kreuzblütler und die meisten Baum- und Straucharten der kalten und gemäßigten Zonen (Schüßler 2009).

Dadurch ist die Arbuskuläre Mykorrhiza besonders bedeutsam für die menschliche Ernährung: Die zehn in der Landwirtschaft meistgenutzten Pflanzenarten gehen eine Arbuskuläre Mykorrhiza ein, u. a. Mais (*Zea mays*), Reis (*Oryza sativa*), Weizen (*Triticum aestivum*), und Kartoffel (*Solanum tuberosum*) (Schüßler 2009). Um eine zukunftsorientierte Ernährung zu gewährleisten, sollten wir unser Wissen über deren arbuskuläre Mykorrhizen ausbauen (Schüßler 2009), zumal die Phosphorvorräte für Kunstdünger bei anhaltendem Konsum in 50-100 Jahren erschöpft sein werden (Greuling 2011).

Die weiteren Symbiosen-Typen mit Pflanzen sollen hier nur der Vollständigkeit genannt werden, da sie für die Grundschule nicht relevant sind. Die **Orchideen-Mykorrhiza**, Mykorrhizapilze als Symbionten von **mykoheterotrophe Pflanzen**, endotrophe Mykorrhiza und Endophyten, die auch eine Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzen darstellen (Sharma 2017; Weiß et al. 2016).

2.5.2 Pilze als Saprobionten

Saprobiontische Pilze spielen eine zentrale Rolle im Stoffkreislauf um Holz, Blätter, Pilze, Dung und viele weitere organische Stoffe in Humus umzuwandeln. Man kann sie auch als Recycler der Natur bezeichnen (Griffith & Roderick 2008). Dörfelt & Jeschke (2001) definieren Saprophyten als Organismen, die sich von toter organischer Substanz ernähren. Die Nährstoffe werden dabei unmittelbar über Osmose aus dem Substrat aufgenommen und mithilfe von Enzymen aufgeschlossen (Dörfelt & Jeschke 2001, Schwantes 1996). Der Begriff organisches Material ist grob, daher soll er noch konkretisiert werden: Man unterscheidet boden-, holz-, blatt-, moos-, pilz-, dung- und brandstellenbewohnende Saprobionten (Griffith & Roderick 2008, Schwantes 1996). Die für Grundschullehrer wichtigsten Typen sollen kurz vorgestellt werden: **Bodenbewohnende Saprobionten:** Für die meisten Menschen ist der Boden das typische Substrat von Pilzen (Schwantes 1996). Wenn man den Waldboden aufgräbt, findet man stets Myzel. Das Myzel befindet sich v. a. in der Pflanzenstreu und in der Humusschicht unterhalb der Streu (Griffith & Roderick 2008; Schwantes 1996). Ein Beispiel eines im Boden wohnenden Saprobionten ist der Wiesen-Champignon (*Agaricus campestris*).

Holzbesiedelnde (lignicole) Pilze sind von hoher Bedeutung für alle Wald-Ökosysteme, da fast ausschließlich Pilze dazu in der Lage sind Holz abzubauen. Erst durch die Zersetzung des Holzes können die im Holz gespeicherten Stoffe wieder für andere Organismen zugänglich werden (Lüder 2015). Holz besteht vorwiegend aus Zellulose und Lignin. Holzzersetzende Pilze haben sich im Laufe der Evolution auf diese beiden Stoffe spezialisiert. Pilze, die nur Zellulose abbauen können erzeugen eine Braunfäule. Nach dem Abbauprozess bleibt nur das Lignin als braune, würfelförmige Struktur zurück (Abb.11). Bei Pilzen, die nur Lignin abbauen können bleibt die Zellulose als weißliche, beim Abtrennen oft längstfaserige Struktur zurück (Abb. 12). Man bezeichnet diesen Vorgang als Weißfäule (Lüder 2015). Für Grundschul Kinder ist es besonders anschaulich, den Unterschied zwischen frischem, hartem und morschem, weichen Holz und das Werk der Pilze dahinter zu erkennen.

Pilzzersetzende Pilze spielen für Grundschullehrer eine geringe Rolle. Es kann allerdings vorkommen, dass im Wald vom Goldschimmel (*Sepedonium chrysospermum*) befallene Rotfuß-Röhrlinge (*Xerocomellus chrysenteron*) oder andere Arten gefunden werden (Schwantes 1996).

Dungzersetzende Pilze wandeln Kot in Humus um. Anhand dieser Gruppe, können die Kinder begreifen, was Pilze alles „fressen“ können. Ein schönes Beispiel für einen solchen Pilz ist der Wildscheinkot-Zärtling (*Psathyrella berulinensis*), der nur auf Wildschweinkot wächst (Lüder 2015; Schwantes 1996).

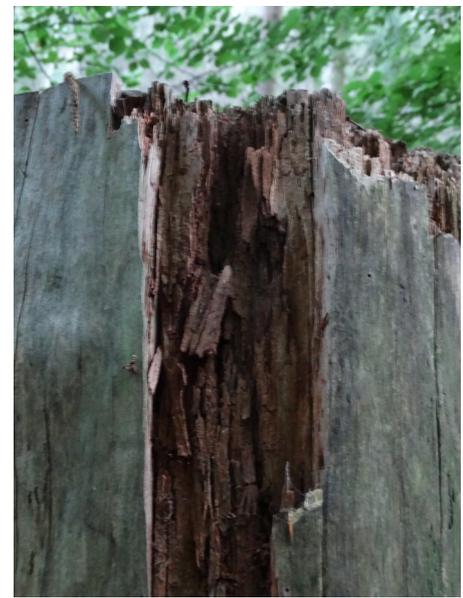


Abb. 9: Ein Braunfäuleerreger zersetzt einen Baumstamm



Abb. 10: von Weißfäuleerreger zersetztes Holz

2.5.3 Pilze als Parasiten

Dörfelt & Jeschke (2001) definieren Parasitismus als Zusammenleben zweier Organismen mit einseitig vorteilhaften Stoffaustausch. Ein Parasit entzieht einem lebenden Wirt also Nährstoffe und nutzt sie für sich. Wo liegt die Grenze zwischen Parasiten und Saprobionten? Der Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*) befällt zu Beginn seines Lebens lebende Rot-Buchen (*Fagus sylvatica*), parasitiert auf dem Baum und bringt ihn zum Absterben. Nach dem Tod des Baumes lebt er im Holz

als Saprobiont weiter (Lüder 2015). Meistens werden solche Bäume befallen, die alt oder verletzt sind, oder an einem Standort wachsen, der nicht ihrem natürlichen entspricht (Lüder 2015).

Land- und Forstwirtschaft, vor allem in Form von Monokulturen sind besonders anfällig für parasitische Pilze, vor allem Rost-, Brand- und Mehltaupilze. 70 % der bekannten Pflanzenkrankheiten werden von Pilzen verursacht (Carris et al. 2012). Die Sporen werden durch Vektoren verbreitet und besitzen oft Strukturen, mit denen sich die Sporen an Oberflächen festhalten können (Doehlmann et al. 2018). Bei günstigen Bedingungen keimen die Sporen aus und Hyphen wachsen dem Wirt entgegen (Doehlmann et al. 2018). Durch spezielle Haftungsorgane (Haustorien), die einen hohen osmotischen Druck auf die Wirtszelle ausüben, kann der Pilz in die Wirtszellen eindringen.

Der Einfluss von pilzlichen Parasiten auf die Landwirtschaft ist immens, sowohl in der Vergangenheit, als auch in der Gegenwart: Laut Müller & Löffler (1992) belaufen sich die jährlichen Schäden von Krankheiten auf Kulturpflanzen im Milliardenbereich. 10-20% der Ernte geht durch solche Krankheiten verloren. Aber auch Tiere und Menschen können von parasitischen Pilzen befallen werden. Ein bekanntes Beispiel ist der Chitridpilz (*Batrachochytrium dendrobatidis*), der lebende Amphibien befällt und häufig zum Tod der Tiere führt und damit das weltweite Amphibiensterben verstärkt (Bourke et al. 2010). Laut Müller & Löffler (1992) leiden 20% der Bevölkerung unter Fußmykosen. Pilze spielen als Krankheitserreger bei Tieren aber eine geringere Rolle als bei Pflanzen. Schwantes (1996) gibt als Grund den eher sauren pH-Wert in Pflanzen, im Gegensatz zum eher basischen Milieu bei Tieren. Bei Tieren spielen Bakterien als Krankheitserreger die größere Rolle (Schwantes 1996). Pilze können auch andere Pilze parasitieren: Zum Beispiel parasitiert der Pilz *Ampelomyces quisqualis* auf dem Eichen-Mehltau (*Microsphaera alphitoides*), der selbst auf Eichen (*Quercus*) parasitiert (Schwantes 1996).

2.6 Meilensteine der historischen Bedeutung von Pilzen für den Menschen

In diesem Kapitel sollen Schlüsselereignisse vorgestellt werden, wie Pilze das Leben und die Entwicklung des modernen Menschen beeinflusst haben. Dieses Kapitel gibt nur einen kleinen Überblick. Umfangreiche Informationen finden sich in Dörfelt & Heklau (1998).

2.6.1 Steinzeit und Antike

In der Alt- und Mittelsteinzeit lebten der moderne Mensch und seine phylogenetischen Vorläufer ausschließlich als Jäger und Sammler (Burda et al. 2014). Vor allem das Sammeln von Früchten, Beeren, Wurzeln, kleinen Insekten aber auch von Pilzen spielte die zentrale Rolle für die menschliche Ernährung. Sowohl *Homo sapiens* als auch *Homo neanderthalensis* ernährten sich regional und saisonal. Im Sommer und Herbst war der Anteil der pilz- und pflanzlichen Nahrung wahrscheinlich relativ hoch (Senckenberger Forschungsinstitut, 2011). Der Mensch machte sich nach und nach auch andere Eigenschaften von Pilzen, wie beispielsweise Heilwirkungen oder den Transport von Glut, zunutze (Peintner & Pöder 2000) (siehe Ötzi in Kap 1). Eine bedeutsame Rolle nimmt die alkoholische Gärung der Hefepilze ein. Schon die Sumerer und Babylonier nutzen sie vor 8000 Jahren, um ein bierähnliches Getränk herzustellen (Schwantes 1996). Wein wird durch von Hefen vergorenem Traubensaft hergestellt und weist ebenfalls eine 8000 Jahre alte Tradition auf (Mc Govern et al. 2017). Auch beim Backen von Brot oder Kuchen, spielt die Bäckerhefe (*Sacheromyces cerevisiae*) eine wichtige Rolle in Vergangenheit und Gegenwart (Montag 2018, Schwantes 1996). Pilzkrankheiten, zum Beispiel verursacht durch den Getreideschwarzrost (*Puccinia graminis*), konnten dagegen größere Ernteschäden hervorrufen (Carris et al. 2012).

2.6.2 Mittelalter und Neuzeit

Im Mittelalter traten Pilze hauptsächlich negativ in Erscheinung. Pilzvergiftungen, verursacht durch das Mutterkorn (*Claviceps purpurea*) kostete die Leben zehntausender Menschen (Raff 2018, Doehlmann et al. 2018). Dieser Schlauchpilz parasitiert auf Süßgräsern, einschließlich der Nutzpflanze Roggen (*Secale cereale*). Durch den Verzehr von verunreinigtem Roggenmehl werden die peripheren Blutgefäße geschädigt, was sich in absterbenden Körperteilen, zum Beispiel Fingern, Zehen und Ohren äußert.

In der Neuzeit nahm das Wissen über die Pilze immer mehr zu, auch aufgrund der Erfindung des Mikroskops (Schwantes 1996). Als Wegbereiter der Mykologie sollte man Pier Antonio Micheli (1679-1737), Jakob Christian Schaeffer (1718-1790), Elias Magnus Fries (1794-1878) und Louis Pasteur (1822-1895) nennen.

2.6.3 Neuere Entwicklungen

Einen medizinischen Nutzen hat der Mensch von Antibiotika, einem Stoffwechselprodukt eines Pilzes: Das erste Antibiotikum, 1929 entdeckt von Alexander Flemming bedeutete eine Revolution in der Medizin. Zum ersten Mal konnte man einen Stoff, mit dem Bakterien abgetötet werden

konnte. Fleming benannte das Antibiotikum nach dem Pinselschimmel (*Penicillium*), aus dem er es isoliert hatte: Penizillin (Bresinsky & Bresinsky 2018, Schwantes 1996). Heute kennen und nutzen die Menschen eine ganze Reihe von weiteren Antibiotika (Bresinsky & Bresinsky 2018).

Wang et al. (2018) betonen die Bedeutung der Pilze für den Ausbau von zellbiologischem, evolutionärem und entwicklungsbiologischen Wissens in der Vergangenheit und bezeichnen Pilze als zukünftige Zugpferde für den Ausbau von genetischem Wissen. Pilze eignen sich für diese Forschungen, weil sie schnell wachsen, Tochtergenerationen zügig entstehen und eukaryotische Organismen sind (siehe Kap. 2.1). Einige Arten, wie z. B. *Neurospora crassa*, lassen sich unter Laborbedingungen gut kultivieren. Die Bedeutsamkeit der Art ist daran erkennbar, dass ihr Genom seit 2003 entschlüsselt ist (Galagan et al. 2003). Eine bedeutende Aufgabe kommt Pilzen bei der Fermentation von Lebensmitteln zu. Viele Käsesorten, Z. B. Camembert, Brie, Gorgonzola und Limburger, aber auch bei Salami und Kefir sind ein Zwischen- bzw. Endprodukt bestimmter Pilze (Schwantes 1996). Auch andere Industriezweige entdecken Pilze für sich: So stellt z. B. das amerikanische Unternehmen Ecovative Myzelschaumstoff als Alternative zum gewöhnlichen Schaumstoff aus Plastik her (2018). Dieser Myzelschaumstoff kann für biologisch abbaubare Verpackungen, Füllungen von Möbelstücken und vieles mehr benutzt werden.

2.7 Speisepilze, ungenießbare Pilze, Pilzgifte und Hinweise für den Umgang mit Pilzen

Dörfelt & Jeschke (2001) definieren Speisepilze als Basidio- und Ascomyceten, die für die menschliche Ernährung geeignet sind. Für Anfänger sind Pilze mit Röhren die beste Wahl, da es unter diesen keine tödlich giftige Arten gibt und giftige Vertreter relativ selten sind (Lüder 2015). Viele Bestimmungsbücher wie z. B. Gerhart (2014) oder Lüder (2015) geben einen Überblick über Speisepilze. Von diesen abgegrenzt werden ungenießbare Pilze, die sich nicht für die menschliche Ernährung eignen (Lüder 2015). Darunter fallen Eigenschaften wie die harte Konsistenz eines Porlings oder der scharfe Geschmack eines Milchlings (*Lactarius* sp.). Als Giftpilze gelten solche Pilze, deren Verzehr gesundheitliche Schäden beim Menschen hervorrufen kann. Um Pilzvergiftungen, gerade auch bei Kindern, zu vermeiden, ist es fundamental, ein **allumfassendes Verbot für den Verzehr von Pilzen** auszusprechen. **Alle Pilzgifte wirken jedoch erst, wenn sie sich im Inneren des Körpers befinden.** Es gibt in Deutschland keine Pilze, die auf Hautkontakt Gifte abgeben. Dennoch können zubereitete Pilze, nur in Anwesenheit erfahrener Pilzsammlerinnen

und -sammler oder Pilzsachverständiger, zum Verzehr freigegeben werden. Es gibt kein gemeinsames Merkmal der tödlich giftigen Pilze. Nur durch das **Erkennen der Art** kann ein Giftpilz als solcher erkannt werden (Lüder 2015). Laut der Meinung des Autors können und sollten auch Giftpilze mit in den Unterricht gebracht werden. So lernen die Schülerinnen und Schüler verantwortungsbewusst mit gefährlicheren Stoffen umzugehen. Die Pilze wachsen sowieso frei zugänglich in heimischen Wäldern. Zudem übernehmen sie Kinder Verantwortung für ihr eigenes Handeln und bauen Vertrauen in eigenes Wissen auf, lernen gleichzeitig aber auch ihre Grenzen kennen. Dennoch muss das absolute Verzehrverbot an oberster Stelle stehen. Die wichtigsten Giftwirkungen von Pilzen sollen nur kurz erwähnt werden, genauere Krankheitsverläufe schildert Lüder (2015).

Das Phalloides-Syndrom äußert sich in einer Giftwirkung auf die Leber. Es ist die Pilzvergiftung, die die meisten tödlich Vergiftungen verursachen. Der Grüne Knollenblätterpilz (*Amanita phalloides*) ist die häufigste Art dieser Gruppe, der die Giftstoffe in sehr hoher Konzentration enthält. Laut Lüder (2015) lassen sich 90% aller tödlichen Pilzvergiftungen auf diesen Pilz zurückführen. Weitere Arten, die diese Giftstoffe enthalten sind *A. virosa* und *A. verna*, die oft als weiße Knollenblätterpilze zusammengefasst werden, der Gift-Häubling (*Galerina marginata*) und der Zimtfarbene Weichporling (*Hapalopilus rutilans*) (Lüder 2015).

Beim Orellanus-Syndrom wirken die Giftstoffe auf die Nieren. Der Spitzgebuckelte Raukopf (*Cortinarius rubellus*) ist der häufigste Vertreter dieser Gattung. Nach dem Verzehr von 50-100g Frischpilz ist eine tödliche Dosis erreicht. Unbehandelt endet diese Krankheit immer tödlich, denn die Nieren werden chronisch geschädigt. Durch die Behandlung mit Dialyse und Spendernieren ist die Todesrate gesunken, dennoch sind Geschädigte im Alltag sehr eingeschränkt (Lüder 2015).

Das Pantherina- und das Muskarin-Syndrom wirken sowohl auf das Nervensystem, als auch auf die Verdauungsorgane. Das Pantherina-Syndrom wird z. B. durch den Fliegenpilz (*Amanita muscaria*) und den Pantherpilz (*A. pantherina*) hervorgerufen und äußert sich durch Bauchschmerzen, Erbrechen und Durchfall aber auch Schwindel, Gehstörungen und Speichelfluss. Da beide Pilze auch bewusstseinsweiternde Stoffe enthalten, weisen Betroffene entweder eine erhöhte Fröhlichkeit oder eine erhöhte Niedergeschlagenheit z. T. mit Wutausbrüchen auf. Das Muskarin-Syndrom kennzeichnet sich durch stark erhöhte Schweißausbrüche, Kopfschmerzen, erniedrigten Blutdruck und langsameren Herzschlag in Kombination mit Magen-Darm Beschwerden. Häufig ist der Verzehr des Ziegelroten Risspilzes (*Inocybe erubescens*) Ursache (Lüder 2015).

Viele Pilze sind Magen-Darm giftig, ihre Wirkung wird unter dem Gastrointestinales-Syndrom zusammengefasst. Oft treten hier Durchfälle und Erbrechen kurz nach dem Verzehr der Pilze auf,

die aber ohne Folgeschäden meist nach 1-2 Tagen wieder zurückgehen. Verursacht wird es z. B. durch Satans-Röhrling (*Boletus satanans*), Karbol-Champignon (*Agaricus xanthoderma*) und Dünnschaligen Kartoffelbovist (*Scleroderma verrucosum*) (Lüder 2015).

Die meisten Pilzvergiftungen werden jedoch durch eigentlich essbare Arten verursacht. Entweder werden die Pilze nicht lange genug erhitzt, verderben durch zu lange Lagerung, werden zu fettig zubereitet oder der Körper reagiert mit physischen Beschwerden wie Erbrechen auf eine psychische Angst, eine eingebildete Pilzvergiftung.

2.8 Ausgewählte Arten für die Grundschule

Um in der überwältigten Vielfalt von Arten mit anschaulichen Fruchtkörpern eine Hilfestellung zu bieten, sollen im Folgenden sieben Pilz-Arten vorgestellt werden, zu denen Kinder leicht Zugang finden können. Es wurden genau diese Arten ausgewählt, weil sie einfach zu erkennen und relativ häufig sind. Morphologische Merkmale von Pilzen, wie Fruchtschicht, Hut, Stiel und Größe (siehe Kap. 2.2) aber auch die Fortpflanzung (siehe Kap. 2.4) und die Genusseigenschaften wie Speisepilz, Giftpilz, ungenießbar (siehe Kap. 2.7) können an den folgenden Pilzen konkret nachempfunden werden. Jede Art besitzt zudem Eigenschaften, die sie interessant für naturwissenschaftlich orientierten Grundschulunterricht macht. Viele Arten werden die Kinder ins Staunen bringen, beste Voraussetzungen für eine gelungene Lernumgebung. Der **Flockenstielige Hexenröhrling** (*Boletus erythropus*) gehört zu den Röhrlingen (Boletales). An ihm kann der Unterschied zwischen Röhren und Lamellen nachvollzogen werden. Der Pilz weist viele wichtige Details auf, die Kindern bewusst gemacht werden können: Sowohl der Stiel als auch der Hut sind bei diesem Pilz relativ massig, dieses Merkmal gilt es von anderen Pilzen abzugrenzen. Bei jungen Fruchtkörpern ist die Farbe der Röhren dunkelrot, nach der Reifung der Sporen olivfarben. Auch der Stiel ist bei dieser Art kennzeichnend: er ist mit roten Flecken überlaufen (Abb. 13). Die Hüte werden als wildlederartig beschrieben. Auch die Kinder werden diese Eigenschaft erspüren aber natürlich anders verbalisieren. Hier wird der ganzheitliche Aspekt deutlich, mit dem man Kinder gut an Pilze heranführen kann. Besonders befremdlich mag das intensive und schnelle



Abb. 11: Habitus eines Flockenstielligen Hexenröhrlings

Blauen beim Berühren des Fruchtkörpers wirken, es grenzt diese Art jedoch von anderen ab und wirkt auf Kinder sehr faszinierend. Insgesamt trägt dieser Pilz viele Farben in sich: rot, braun, gelb und blau. Die Art besitzt verschiedene Merkmale, auf die es zu achten gilt. Das macht ihn interessant für den Grundschulunterricht. Er ist ein Ektomykorrhizapilz (Kap. 2.5.1) der Rotbuche (*Fagus sylvatica*), der Eichen (*Quercus sp.*) und der Gewöhnlichen Fichte (*Picea abies*). Die Fruchtkörper bildet das Myzel von Sommer bis Herbst. Obwohl sein Äußeres uns etwas anderes vermuten lässt, ist die Art essbar (Lüder 2015, Gerhardt 2014).

Edel-Reizker (*Lactarius deliciosus*): Der Edel-Reizker hat Lamellen auf der Hutunterseite. Er gehört zur Ordnung der Sprödblätter (Russulales), deren Fruchtkörper wie Hartkäse, also komplett ohne Fasern brechen und innerhalb dieser Gruppe zur Gattung *Lactarius*, die alle Milchsaft besitzen. Der Milchsaft der Reizker ist immer orange. Der Edel-Reizker besitzt Grübchen am Stiel und eine konzentrische Zonierung auf der Hutoberseite zusammen mit einer Vertiefung in der Mitte (Abb. 14). Die Art fruchtet im Herbst als Mykorrhizapilz bei Kiefern und ist ebenfalls essbar (Gerhardt 2014). An dieser Art können ebenfalls



Abb. 12: Der Habitus des Edel-Reizkers, Foto: Mykologisches Informationszentrum Wismar

viele Merkmale von Fruchtkörpern bewusst gemacht werden: Die oben genannten Hutmerkmale sind auffällig: trichterförmige Form, Zonierung, Farbe, ebenso wie die Grübchen am Stiel. Auch die Fruchtschicht weist einige Merkmale auf: Die großen Lamellen werden von kleineren Zwischenlamellen untermischt, außerdem ist die Lamellenschneide gekerbt (Lüder 2015). Um diese Merkmale zu erkennen, ist genaues Beobachten erforderlich, eine Grundvoraussetzung des naturwissenschaftlichen Arbeitens.

Grünblättriger Schwefelkopf (*Hypoholoma fasciculare*): Der Grünblättrige Schwefelkopf ist ein häufiger Saprobiont an Totholz. Seine Fruchtkörper wachsen von Sommer bis Herbst büschelig in großer Zahl aus dem Substrat heraus. Die Fruchtkörper sind relativ klein (2-6 cm). Die Hutfarbe ist variabel, von schwach gelblich über schwefelgelb bis grüngelblich (Abb. 15). Die Lamellen besitzen jung einen grüngelben Schimmer, bei fortschreitender Sporenreife werden sie olivbraun. Die Farbe des Stiels ist gelblich. Ein besonders markantes Merkmal dieser Art ist der bitterere Geschmack (Gerhard 2014). Der



Abb. 13: Habitus des grünblättrigen Schwefelkopfes, Foto: Pilzverein Region Baden

Pilz ist Magen-Darm-giftig, deshalb kann anhand dieses Pilzes auch der verantwortungsvolle Umgang mit Giftpilzen thematisiert werden. Er ist interessant für die Grundschule, weil er als Färbepilz genutzt werden kann, sehr häufig und relativ leicht erkennbar ist. Er färbt Wolle oder Seide hellgelb (siehe Kapitel 3.2.1.5).

Gemeiner Riesenschirmling (*Macrolepiota procera*): Der Gemeine Riesenschirmling ist ein häufiger Saprobiont, der sowohl in Wäldern als auch auf Wiesen zu finden ist. Er bildet sehr große Fruchtkörper aus, die zwischen 10 und 30 cm breit werden können. Junge Fruchtkörper sehen wie ein Paukenschlegel, ausgewachsene Fruchtkörper wie ein Sonnenschirm aus (Abb. 16). Daher nennt man ihn auch Parasolpilz. Die braunen Hutschuppen entstehen durch das Aufreißen der Huthaut. In der Hutmitte bilden sie oft einen braunen Kreis. Die Lamellen sind frei, erreichen den Stiel also nicht, und sind von weißer Farbe. Die Gattung Riesenschirmlinge ist leicht an ihrem verschiebbarem Ring erkennbar. Ein gutes Erkennungsmerkmal des Parasolpilzes ist der braun genatterte Stiel (Gerhard 2014). Am Grund des Stiels



Abb. 14: verschiedene Gemeine Riesenschirmlinge in verschiedenen Entwicklungsstadien.

ist eine Knolle. Der Pilz wird vorgestellt, weil er ein sehr häufiger, leicht zu bestimmender und ein sehr ergiebiger Speisepilz ist. Vermeintliche Parasolpilze, die auf sehr nährstoffreichen Substraten wie Kompost wachsen, dürfen nicht gesammelt werden. Der Garten-Riesenschirmling (*Macrolepiota bohemica*) steht im Verdacht giftig zu sein, ist allerdings auf nährstoffreiches Substrat wie Kompost beschränkt und deswegen relativ selten. Die Fruchtkörper des Gemeinen Riesenschirmlings sind eine beeindruckende Erscheinung und weisen viele interessante Merkmale auf. Der Ursprung und der Nutzen eines Ringes kann beim Gemeinen Riesenschirmling behandelt werden. Außerdem sollte auch Aufmerksamkeit auf den Geruch des Fruchtkörpers gelenkt werden. Die Kinder können versuchen zu beschreiben, wie der Geruch auf sie wirkt und darüber diskutieren. Bestimmungsbücher bezeichnen seinen Geruch als nussartig (Gerhard 2014).

Fliegenpilz (*Amanita muscaria*): Der Fliegenpilz ist der bekannteste Wildpilz Deutschlands. An seinen weißen Flecken und dem roten Hut ist er leicht zu erkennen (Abb. 17). Außerdem besitzt er freie weiße Lamellen und unterhalb des Hutes einen Ring mit einer Knolle am Stielgrund. Der Hutdurchmesser



Abb. 15: verschiedene Altersstadien des Fliegenpilzes

liegt zwischen 5-15 cm . Der Fliegenpilz geht eine Mykorrhiza mit Birken (*Betula* sp.) und Gemeiner Fichte (*Picea abies*) ein und ist unter diesen im Spätsommer und Herbst leicht zu finden (Gerhard 2014). Der Fliegenpilz wird den allermeisten Kindern bekannt sein, ebenso seine Giftigkeit. Durch seine Bekanntheit und sein Äußeres sprechen diese Fruchtkörper besonders Kinder an. Dadurch fällt es ihnen leichter, sich dem Thema Pilze zuzuwenden. Außerdem kann man anhand der Art genauer auf das Thema Giftpilze und ihre Wirkung eingehen: z. B. wirkt der Pilz auf Menschen toxisch, nicht aber auf Hasen (*Leporidae*) und den Rotfuchs (*Vulpes vulpes*). Auch die Fantasie der Kinder kann durch diesen Pilz beflügelt werden, indem sie sich vorstellen, woher der Pilz seinen Namen hat, wie sich die Giftwirkung des Pilzes äußert, woher die weißen Pusteln kommen oder was ihn zu einem Glückspilz macht.

Riesenbovist (*Langermannia gigantea*): Der Riesenbovist besitzt Merkmale, die hier bisher noch keine Beachtung gefunden haben: Boviste haben das gemeinsame Merkmal, dass die Sporenmasse im Innern des Fruchtkörpers gebildet werden. Mit zunehmendem Alter reifen die Sporen, und die Außenhaut des Fruchtkörpers reißt auf. Durch Außendruck, wie zum Beispiel einen herabfallenden Regentropfen oder einen Fußabdruck werden große Sporenmengen frei. Der Riesenbovist ist durch seine beeindruckende Größe gekennzeichnet: er erinnert an einen weißen Ball und ist meistens 15-30 cm breit (Abb. 18). Wenn seine Sporen unreif sind, ist er reinweiß, bei zunehmender Reife verfärbt er sich bräunlich. Ein Fruchtkörper kann 5-6 Billionen Sporen bilden (Lüder 2015). Die Festfleischigkeit des Fruchtkörpers geht bei zunehmendem Alter immer mehr zurück. Riesenboviste wiegen oft zwischen 4-7 Kilogramm, das Maximalgewicht sind 20 kg. (Gerhard 2014, Lüder 2015). Der Pilz ist relevant für die Grundschule, da er zum einen eine für Kinder besondere Erscheinung hat und auf die Kinder Eindruck machen wird. Außerdem ist er wegen seiner Größe unverwechselbar. Man sollte ihn allerdings nur essen, wenn er noch weiß und fest ist. Die Art wächst auf nährstoffreichen Böden. Oft auf Wiesen aber auch in Wäldern, er ist ein Saprobiont.



Abb. 16: Ein Riesenbovist Fruchtkörper mit 2€ Stück als Größenvergleich, Foto: Ernst Wagner

Der **Kiefern-Braunporling** (*Phaeolus schweinitzii*) ist ein Parasit an Nadelbäumen, vor allem an Kiefern (*Pinus* sp.) und Gewöhnlichen Fichten (*P. abies*). Er bildet von Juli bis Oktober Fruchtkörper, die alten Fruchtkörper verbleiben aber oft bis November am Holz. Meistens wächst er am Stammgrund und im Wurzelbereich des Wirtes. Die Hutfarbe ist bei jungen Pilzen löwengelb (Abb. 19), im Alter verfärbt er sich mehr rostbraun. Die Farbe der Poren ist olivgelblich bis grünlich. Der Kiefern-Braunporling ist oft gestielt, manchmal aber auch ungestielt. Markant ist ebenfalls, dass der Fruchtkörper für seine Größe überraschend leicht ist (Gerhard 2014). An diesem Pilz können gut Merkmale von Porlingen behandelt und von anderen Pilzen abgegrenzt werden. Die Art ist ungenießbar. Interessant für Grundschullehrerinnen und Grundschullehrer ist ebenfalls, dass man mit diesem Pilz einen sehr schönen Goldton auf Wolle oder Seide färben kann (siehe Kap.3.2.1.6). Außerdem kann anhand dieses Pilzes die parasitische Ernährung der Pilze und der fließende Übergang zwischen Parasiten und Saprobionten thematisiert werden (siehe Kap.2.5).



Abb. 17: Fruchtkörper des Kiefern-Braunporlings, Foto: Dohduhdah

3 Fachdidaktischer Teil

Nach einem Blick auf fachwissenschaftliche Informationen zu Pilzen soll der folgende Teil der Leserin oder dem Leser eine Hilfestellung sein, um jungen Menschen Pilze bewusst zu machen, ihr Wissen auszubauen und sie, im besten Fall, für Pilze zu begeistern.

3.1 Einordnung in die Sachunterrichts-Lehrpläne der Bundesländer

Die Mykologie als Teilgebiet der Biologie ist eine Naturwissenschaft. Deshalb geht diese Arbeit auf das naturwissenschaftliche Unterrichtsfach in deutschen Grundschulen, den Sachunterricht, ein. Allgemein lässt sich sagen, dass Pilze in deutschen Sachunterrichts-Lehrplänen aktuell eine geringe Rolle spielen. Nur im Sachunterrichtslehrplan Sachsens werden Pilze explizit erwähnt. Also liegt es in der Verantwortung der Lehrkraft, Pilze in den Grundschulunterricht mit einzubeziehen. Dazu

möchte diese Arbeit ermutigen. Im folgenden wird ein Überblick über das Thema Pilze im Grundschulunterricht für die Bundesländer Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg gegeben: Dem Autor ist es wichtig zu betonen, dass die Ideen nach dem Maximalprinzip ausgewählt wurden, das bedeutet, dass bei jeder Stelle der Lehrpläne die Möglichkeit zur Einbringung von Pilzen aufgezeigt wurde. Es ist keinesfalls so zu verstehen, dass Pilze die anderen Aspekte aus den Lehrplänen (z. B. Pflanzen und Tiere) verdrängen sollen, sondern dass sie eine vernetzte Einheit bilden, in der die Pilze nicht unter den Tisch fallen.

Kursiv geschrieben sind Ideen des Autors, um die Kompetenz über das Thema Pilze zu erreichen. Detaillierter ausformuliert sind diese Ideen im Kapitel 3.2.

3.1.1 Rheinland-Pfalz

Der Teilrahmenplan Sachunterricht im Rahmenplan Grundschule stammt aus dem Jahr 2006. Das Leistungsprofil Sachunterricht gibt viele Lernleistungen vor, die rheinland-pfälzische Grundschülerinnen und -schüler zum Ende ihrer vierjährigen Grundschulzeit aufweisen müssen:

- Die Kinder wenden sich Fragen und Problemen aus ihren natürlichen, sozialen und technischen [...] Erfahrungsbereichen mit Neugier und Selbstvertrauen zu.
Beispielfragen aus dem Bereich Natur, die in der vorgestellten Unterrichtsreihe (siehe Kap. 3.2.1) beantwortet werden, sind, woher bekommt der Fliegenpilz seine Pusteln? Was sind Gemeinsamkeiten von Pilzen? Worin unterscheiden sie sich? Was fressen Pilze? Wie erkenne ich Giftpilze? Fragen aus dem sozialen Bereich sind wie verhalte ich mich auf einer Waldexkursion? Wie gebe ich meinen Mitschülern Feedback? Technische Fragen, die in der Unterrichtsreihe aufgegriffen werden, sind z. B. wie nutze ich ein Messer bei einer Pilzexkursion? Wie kann ich Sporen mit dem Mikroskop sichtbar machen? Oder wie nutze ich eine Lupe?
- Sie haben zu diesen Erfahrungsbereichen angemessene sprachliche Darstellungsformen erworben ([...] grundlegende Arbeitsbegriffe, [...] Sprachformen des Darstellens und Referierens, Auswerten von Sachtexten).
Grundlegende Arbeitsbegriffe sind Hut, Stiel, Fruchtschicht, Sporen... (siehe Kap. 2.2.1.1). Es bietet sich an, dass die Schülerinnen und Schüler die theoretischen Inhalte zu Pilzen in Kurzvorträgen vorstellen. Sachtexte müssen hierzu ausgewertet werden, zum Beispiel Pilzporträts in Bestimmungsbüchern oder anderes Informationsmaterial, das von der Lehrperson bereitgestellt wird.
- Sie sind in der Lage, Einzelerfahrungen in übergeordnete Sach- und Sinnzusammenhänge

einzuordnen und zu bewerten.

Die Schülerinnen und Schüler machen z. B. die Erfahrung, dass morsches Holz von Pilzen zersetzt und dadurch viel leichter und zerbrechlicher wird. In der Unterrichtsstunde Ökologie (siehe Kap. 3.2.1.3) lernen sie, dass bestimmte Pilze diese Ernährungsweise verfolgen, die man Zersetzer (Saprobionten siehe Kap. 2.5.2) nennt.

- Sie verfügen über Kompetenzen zum Auffinden, Erklären, Darstellen und Begründen von Strategien zur Lösung von Sachfragen (Bilden von Hypothesen, Überprüfen von Annahmen, Experimentieren, Schlüsse ziehen, Übertragen von Ergebnissen auf analoge Sachverhalte). *In der Unterrichtsstunde Aufbau und Fortpflanzung der Pilze (Kap. 3.2.1.2) werden verschiedene Versuche zu Sporen vorgeschlagen. Anhand dieser Versuche, aber auch beim Beobachten und Vergleichen von Fruchtkörpern kann auch naturwissenschaftliches Arbeiten, wie oben beschrieben, durchgeführt werden.*
- Sie kennen und beachten die Erfordernisse von Naturschutz und Nachhaltigkeit. *Vor allem Pilze in Mooren und im Offenland gehen durch die Zerstörung der Lebensräume immer weiter zurück. Der Pilz des Jahres 2018 ist der Wiesen-Champignon, dessen Bestand vor allem durch Überdüngung immer weiter zurück geht. Eine nachhaltige Forstwirtschaft mit mehr alten Bäumen, Berücksichtigung und Schonung besonders seltener Pilzarten kann ebenso thematisiert werden, wie auch die Wirkung des Klimawandels auf die heimischen Arten (z. B. Rückgang der Fichte, dadurch u. a. Rückgang der Mykorrhizapartner der Fichte).*
- Sie können ausgewählte Naturphänomene fachlich gesichert beschreiben und erklären. *Z. B. Aufbau und Funktion von Fruchtkörpern, Fortpflanzung der Pilze, Ernährung der Pilze.*

Im Orientierungsrahmen werden die zu erreichenden Kompetenzen aufgezählt und Möglichkeiten zur Umsetzung genannt.

- Naturphänomene sachorientiert wahrnehmen, beobachten, benennen und beschreiben: *Unsichtbare Kräfte erfahren, z. B. Mykorrhiza oder die Holz- und Blattzersetzung in Humus. Bei Unterrichtsgängen die Natur erforschen und Sammlungen für den Unterricht anlegen. Diese Kompetenz lässt sich gut mit Pilzen umsetzen und wird in der folgenden Unterrichtsreihe auch vorgeschlagen.*
In Medien Sachinformationen recherchieren und präsentieren: Auch diese Kompetenz wird in der Unterrichtsreihe geschult.

- Belebte und unbelebte Natur unterscheiden: *Laut den Erfahrungen des Autors sind Kinder zunächst unsicher, Pilze wirklich als Lebewesen zuzuweisen. Nachdem die Ernährung der Pilze erkannt wird, lassen sich auch sehr gut auf andere Eigenschaften lebendiger Organismen (und damit auch der Pilze) eingehen.*
- Einen respektvollen Umgang mit der Natur anstreben: *Nachdem die Leistungen und die Vielfalt der Pilze erkannt wurde, werden die Schüler Pilze besser begreifen, mehr achten und schätzen.*
- Mit Lebewesen achtsam umgehen:
Die unterschiedlichen Bedürfnisse von Menschen, Pflanzen und Tieren kennen und beachten (Schutz, Nahrung, Pflege, Lebensraum, Standort, Zuwendung ...). Beispiele wären hier *geeignetes Substrat und Wirte, Feuchtigkeit, Wind oder andere Vektoren, naturnahe Ökosysteme und vieles mehr.*
Nahrungsketten recherchieren
Hier lässt sich bereits erworbenes biologisches Wissen über Tiere und Pflanzen sehr gut mit dem neu erworbenen Wissen über Pilze verbinden. Pilze gehören untrennbar in jede Nahrungskette.

3.1.2 Baden-Württemberg

Der „Bildungsplan Sachunterricht der Grundschule“ stammt aus dem Jahr 2016.

Klasse 1 und 2:

- Die Schülerinnen und Schüler können einen Lebensraum in der näheren Schulumgebung erkunden (zum Beispiel Park, Teich, Hecke).
An einem außerschulischen Lernort werden sie mit den Kindern nicht nur auf Pflanzen und Tiere stoßen, sondern auch auf Pilz-Fruchtkörper. Diese eignen sich sehr gut dafür, sie am außerschulischen Lernort zu sammeln und dann mit in den Klassenraum zum genaueren Untersuchen mitzunehmen.
- mindestens ein Tier und eine Pflanze als typischen Vertreter dieses Lebensraums beobachten, betrachten und beschreiben.
Hier bieten sich Pilze genau so an.
- erkennen, dass die Tiere und Pflanzen eines Lebensraums in Abhängigkeit zueinander stehen.
Gilt für Pilze genau so und ist leicht zu beobachten. Fraßspuren an Pilzen sind auffällig, Holzzersetzende Pilze wie Porlinge ebenfalls. Mykorrhiza ist unauffälliger, um sie zu

bemerken müssen Baumwurzeln angegraben werden. Besonders aufmerksame Kinder werden bemerken, dass bestimmte Pilze immer an bestimmten Bäumen zu finden sind.

- den Aufbau von Pflanzen an mindestens einem Vertreter betrachten, untersuchen, zeichnen und beschreiben.

Der Aufbau von Pilzen ist ebenso spannend für die Schülerinnen und Schüler und auch nicht kompliziert.

Klassen 3 & 4:

- Tiere und Pflanzen eines Lebensraums exemplarisch beschreiben, benennen und unterscheiden

Bei Pilz-Fruchtkörpern ist das sehr anschaulich und gut möglich. Zum Beispiel Lamellen- und Röhrenpilze, Baumpilze (Porlinge), Bauchpilze (Boviste), Pilze bei Birken und vieles mehr.

- die Bedeutung von Naturgrundlagen für Mensch, Tier und Pflanze erkennen und Überlegungen zum Umgang mit Naturgrundlagen sowie zur Umweltverschmutzung und deren Auswirkung anstellen.

Saprobionten als Müllabfuhr des Waldes, Mykorrhiza als Helfer der Bäume, Schwächeparasiten als Regulierer von Ökosystemen. Einfluss von Überdüngung, Wasserverschmutzung oder Bodenverdichtung auf Pilze.

- Herkunft und Anbau von Nutzpflanzen an mindestens einem Vertreter beschreiben sowie dessen Verarbeitung exemplarisch nachvollziehen.

Der Anbau von Pilzen ist einfach (Kap. 3.2.1.3) und kann in jedem Klassenzimmer durchgeführt werden. Bei Konsultierung eines Pilzsachverständigen können auch Wildpilze gesammelt und zubereitet werden.

- Welche aktuellen Naturereignisse aus dem Lebensumfeld der Kinder oder der Berichterstattung werden aufgegriffen?

Thematisierung von eventuellen Pilzvergiftungen, besonderen Funden und Ähnlichem aus der Gegend.

- Als verpflichtendes Experiment gilt: Die Schülerinnen und Schüler kennen Experimente zu den Grundbedingungen für die Entstehung eines Feuers [...].

Hier bietet sich das Auffangen von Funken über den Zunder des Zunderschwamms an (Kap 3.2.2).

Bildungsplan der Grundschule-Sachunterricht (2016). Ministerium für Kultus Jugend und Sport Baden-Württemberg (Hg.)

3.2 Unterrichtsliche Materialien und Methoden

Bei einem Blick in Biologie-Didaktikzeitschriften ist erkennbar, dass Pilze im naturwissenschaftlichen Unterricht nicht glänzlich vernachlässigt werden. Immer wieder gab es verschiedene Artikelreihen zum Thema Pilze. Allerdings beschäftigen sich die meisten davon mit Pilzen in der Sekundarstufe. Explizite Unterrichtsvorschläge zu Pilzen in der Primarstufe fand der Autor nur einmal, nämlich bei Vogt (1993) in der Zeitschrift Unterricht Biologie.

Für die Sekundarstufe I haben Biologielehrerinnen und -lehrer eine größere Wahl. Probst (1993) konzipierte Unterricht zum Thema Dungpilze, Dircksen & Müller (1992) widmen sich einer Pilzexkursion, Müller (1992a) der Rolle der Pilze im Haushalt der Natur. Müller & Dircksen (1992) entwarfen eine Unterrichtsreihe über Pilze an Baumstümpfen und anderen Totholz, Müller (1992b) eine Reihe über Pilze in der Stadt. Die Unterrichtsreihe von Dircksen (1992) konzentrierte sich auf Speise- Gift und haluzinogene Pilze. Zwei aktuellere Artikel, allerdings ohne konkrete Altersangabe, sind Probst & Lüder (2015) und Huber & Hahn (2015). Aber dort finden sich auch Ideen, die in der Grundschule genutzt werden können. Zusammenfassend fällt auf, dass Pilze als Unterrichtsthema vermehrt Aufmerksamkeit in der Sekundarstufe fanden. Es ist erkennbar, dass in den frühen Neunziger Jahren einige Unterrichtsvorschläge entstanden, die sich vor allem der Sekundarstufe widmen. In den letzten Jahren erschienen auch Artikel, die Ideen für Pilze in der Grundschule aufzeigen. Beim genaueren Betrachten der Lehrpläne (Kap. 3.1) ist aufgefallen, dass Pilze nicht direkt genannt werden, aber potentiell dennoch oft in den Unterricht integrierbar sind. Einzig im Grundschullehrplan Sachsens werden Pilze als mögliches Unterrichtsthema genannt.

In der Sekundarstufe ändert sich das etwas, dennoch bleiben Pilze oft auch in Lehrplänen für weiterführende Schulen unerwähnt. Oft können sie im Biologieunterricht unter dem Thema Ökologie behandelt werden. Im weiterführenden Lehrplan Sachsens wird sogar eine Unterrichtsreihe zu Pilzen vorgeschlagen.

Aber auch junge Kinder lassen sich für das Thema Pilze begeistern: Das Kita-Projekt „Im Reich der Pilze“ der Kath. Kita Christi Himmelfahrt aus Trier gewann zusammen mit vier anderen Einrichtungen den Bundeswettbewerb Forschergeist (Haus der kleinen Forscher 2018). In der Korrespondenz mit dem Autor erzählte die Projektleiterin, dass Pilze am Ende des dreimonatigen Projektes nicht mehr aus dem Kita-Alltag wegzudenken waren.

Der Autor hat selbst in einer vierten Klasse eine 7-stündige Unterrichtsreihe zu Pilzen durchgeführt. Während der ersten Stunde, einer Pilzexkursion, sagte ein Mädchen: „Ich wusste gar nicht, dass Pilze so spannend sein können.“ Gegen Ende der Unterrichtsreihe bedankten sich zwei Schülerinnen beim Autor (Abb. 20),

auch das insgesamt Feedback der Klasse fiel sehr positiv aus. Pilze können also auch für Kinder im Grundschul- und Elementarbereich sehr wohl interessant und spannend sein. Im Folgenden soll vorgestellt werden, welche unterschiedlichen Teilaspekte der Mykologie

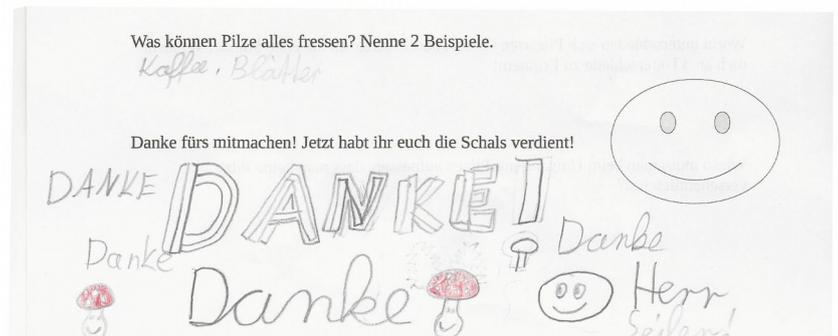


Abb. 18: Eine Schülerin bedankt sich beim Autor für Pilz-Unterricht

berücksichtigt und auf welche Art und Weise Pilze in den Grundschulunterricht eingebaut werden können. Sicherlich ist die folgende Unterrichtsreihe nicht auf jede Klasse übertragbar, aber sie kann eine Orientierung, eine Stütze oder eine Hilfestellung im Alltag einer Grundschullehrerin oder eines Grundschullehrers sein. Am Ende jeder der folgenden Unterrichtsstunden werden Kompetenzen aus dem Sachunterrichts-Lehrplan von Rheinland-Pfalz genannt, die in der jeweiligen Stunde erreicht oder vertieft werden können.

3.2.1 Eine beispielhafte Unterrichtsreihe zum Thema Pilze

Zu Beginn der Unterrichtsreihe bietet es sich an, dass die Lehrperson Fruchtkörper in den Unterricht mitbringt und die Schülerinnen und Schüler aktiviert und ihr Vorwissen kennen lernt. Daraufhin kann man sehr gut mit einer **Pilzexkursion** aufbauen. Müller (1992) und der Autor bestätigen, dass diese motivierend auf die Schülerinnen und Schüler wirken können. Als Gründe dafür nennt Müller:

- Abwechslung im Schulalltag
- Festigung des Schüler-Schüler und Schüler-Lehrer-Verhältnisses
- bessere Aktivierung als durch theoretischen Unterricht
- unmittelbarer Kontakt zur Natur und das Spüren mit allen Sinnen derselben

Auch für die Lehrkraft hat eine Exkursion Vorteile: Die Kinder erkennen Pilze in ihrer natürlichen Umgebung, außerdem kann Fruchtkörpermaterial für den weiteren Unterricht gesammelt werden. Andernfalls muss die Lehrerin oder der Lehrer das Material alleine sammeln. Also bietet es sich gemeinsame Sammeln auch aus zeitökonomischen Gründen an. Außerdem haben die Schülerinnen

und Schüler große Freude daran Fruchtkörper zu sammeln. Starosta (1991) untersuchte den Einfluss eines außerschulischen Lernortes auf das Wissen von den Schülerinnen und Schülern und stellte fest, dass die Klassen, welche außerschulische Lernorte im Biologieunterricht besuchten, deutlich mehr Wissenszuwachs haben, als diejenigen, die theoretischen Unterricht erhielten. Auch bei schwachen Schülerinnen und Schülern gab es einen deutlichen Zuwachs.

3.2.1.1 Ratschläge für Pilz-Exkursionen

Zunächst sollte die Lehrkraft entscheiden, ob sie die Exkursion zu Beginn, im Verlauf oder zum Ende der Unterrichtsreihe stattfinden lassen möchte. Die Vorteile zur Durchführung zu Beginn einer Reihe besteht darin, dass alle Schülerinnen und Schüler, unabhängig von ihren individuellen Vorerfahrungen, Pilze in ihrem natürlichen Umfeld kennen lernen. Zusätzlich ist der Einstieg mit einer Exkursion ein Ganzheitlicher, kombiniert mit einer Naturerfahrung. Für eine Exkursion in der Mitte der Unterrichtsreihe spricht zum einen, dass die Kinder dann im besten Fall schon Wissen z. B. über Bau und Struktur von Fruchtkörpern oder über bestimmte Arten oder Ernährungsweisen mitbringen. Außerdem kann eine Exkursion, die im Vorhinein angekündigt wird, als Belohnung genutzt werden. Eine Exkursion kann auch zum Schluss der Unterrichtsreihe stattfinden, um dem Lehrer Rückmeldung zu geben, welche Kompetenzen die Schülerinnen und Schüler über Pilze erreicht haben und um das theoretische Wissen der Kinder praktisch anhand von Pilzen zu vertiefen. Es zeigt sich, dass es viele Möglichkeiten gibt, Exkursionen in eine Pilz-Unterrichtsreihe einzubauen. Natürlich können auch mehrere Exkursionen eingebaut werden. Der Autor empfiehlt zwei Exkursionen, eine zu Beginn und eine in der Mitte der Unterrichtsreihe. Das bedeutet zwar nach Einschätzung des Autors einen höheren Aufwand, um aber die Qualität des Unterrichtes zu erhalten müsste die einzelne Exkursion zeitlich so gestreckt werden, dass die Aufmerksamkeit der Kinder abfallen wird und sie mit Wissen überladen werden. Außerdem ist es für beide Seiten einfacher, zwei kürzere Exkursionen als eine sehr lange nachzubereiten.

Wenn man eine Exkursion durchführen möchte, sind folgende Punkte zu beachten:

Es muss ein passendes Exkursionsgebiet gefunden werden. Im Idealfall sind es verschiedene Lebensräume, die nahe beieinander liegen (z. B. Laubwald, Mischwald, Weide oder Uferstrand eines Gewässers). Das vielseitigste und prototypische Exkursionsgebiet für Pilze ist der Wald. Dort lassen sich ganzjährig eine Vielzahl an unterschiedlichsten Fruchtkörpern finden. Um sich mit den Lokalitäten und dem Pilzaufkommen vertraut zu machen, ist eine Vorexkursion essentiell. Zudem muss ein Zeitpunkt für die Exkursion gefunden werden. Die meisten Pilzarten bilden nach ergiebigem Regen Fruchtkörper. Dies geschieht oft im Spätsommer oder im frühen Herbst. Juli,

August und September sind die besten Monate um vor allem im Laubwald Fruchtkörper zu finden. Im Oktober und November finden sich auch noch einige, vor allem im Nadelwald. Aber generell finden sich das ganze Jahr über Pilz-Fruchtkörper, nur die größte Menge im Spätsommer und Herbst (Lüder 2015). Es bietet sich also an, eine Unterrichtsreihe zu Pilzen entweder vor den Sommerferien oder danach durchzuführen.

Eventuell kann eine Expertin oder ein Experte zur Exkursion eingeladen werden: Die Deutsche Gesellschaft für Mykologie hat zwei Ausbildungen ins Leben gerufen, deren Absolventen als Kontaktexperten für Grundschullehrerinnen und -lehrer interessant sind. Die Ausbildung des **Pilzcoach** gibt es seit dem Jahr 2015. Das Aufgabenspektrum der Pilzcoachs liegt in der Nachwuchsarbeit, vor allem für Kinder und Jugendliche. Bei **Pilzsachverständigen** liegt es vor allem in der Artenkenntnis und dem Erkennen von Giftpilzen. Pilzsammler, die sich beim Sammeln von Speisepilzen unsicher sind, können sich von Pilzsachverständigen beraten lassen (Deutsche Gesellschaft für Mykologie, 2018). Rein von der Aufgabenbeschreibung ausgehend sollten Pilzcoachs also eine hohe Affinität zu Pilzen im Grundschulunterricht haben. Pilzsachverständige besitzen rein durch ihre Ausbildung keinerlei pädagogisch-didaktischen Kenntnisse. Aber an dieser Stelle dürfen keine allgemeingültigen Aussagen getroffen werden. Wie viel Zeit und Mühe die Personen bei der Ausübung ihrer Ämter aufwenden, ist individuell sehr unterschiedlich. Die Lehrkraft kann nur versuchen, die jeweilige Person zu kontaktieren und muss dann selbst entscheiden, ob sie mit diesen zusammenarbeiten möchte, oder nicht. Bei der ersten Exkursion mit der Schulklasse empfiehlt der Autor, keinen Experten von außerhalb einzuladen, um extrem beherrschende Situationen zu vermeiden. Die Kinder sollten sich lieber selbstständig auf Pilze einlassen und nicht von einem Pilzexperten belehren lassen. Dadurch werden die Pilze sicher auch an Reiz verlieren. Pilzcoaches und Pilzsachverständige können über die Webseite der Deutschen Gesellschaft für Mykologie ausfindig gemacht werden.

Die Exkursion muss für die Kinder vorher angekündigt werden. An Material sollten die Kinder genügend Körbe zum Pilzsammeln, geeignetes Schuhwerk, Kleidung und eventuell Taschenmesser mitnehmen. Es ist außerdem sinnvoll, einige Klemmbretter mitzunehmen, damit die Schülerinnen und Schüler während der Exkursion besser Notizen machen zu können.

Je nachdem wie weit die räumliche Entfernung des Exkursionsortes von der Schule ist müssen noch Hin- und Rückweg geplant werden (zu Fuß, per Rad, per Auto, per Bus...) Die Lehrkraft sollte zudem eine Zeckenzange mit sich führen.

Beim Zeitmanagement der Exkursion sollte etwas Flexibilität mitgebracht werden. Wenn sich kein Exkursionsgebiet in der näheren Umgebung der Schule findet wird der Aufwand automatisch

größer. In diesem Fall sollte die Exkursion von längerer Dauer sein, damit sich der hohe Aufwand auch lohnt. Müller (1992) empfiehlt eine Exkursionsdauer von 3 Stunden. Mit Pausen zum Austoben im Wald kann diese Zeitvorgabe sicher ungefähr übernommen werden. Liegen jedoch passende Exkursionsgebiete in der unmittelbaren Umgebung zur Schule, bietet sich bei der ersten Exkursion eine Dauer von 90-120 Minuten an.

Aufgrund der Erfahrungen des Autors, bietet sich kooperatives Lernen bei Pilzexkursionen besonders an: Die Schülerinnen und Schüler werden in kleine Gruppen (3-4 Personen) eingeteilt und die Lehrkraft erklärt, am besten anhand eines echten Fruchtkörpers, wie man einen Pilz schonend aus dem Substrat entfernt. Es geht sehr gut, indem man den Fruchtkörper mit einem Messer aus dem Substrat heraushebelt und das freie Myzel wieder mit Erde bedeckt. Die Lehrerin oder der Lehrer sollte ausdrücklich Wert darauf legen, dass die Schüler nicht möglichst viele Fruchtkörper absammeln, sondern sie gewissenhaft zu entfernen. Stehen mehrere Fruchtkörper an einer Stelle sollten höchstens zwei Stück entnommen werden. Danach suchen die Kinder zunächst selbstständig nach Pilzen. Es sollte individuell anhand der Klasse festgelegt werden, ob die Kinder das Sichtfeld der Aufsichtsperson verlassen dürfen oder nicht. Hat die Gruppe einen Pilz gefunden, so soll sie den Standort, an dem der Pilz wächst möglichst genau dokumentieren: Also z. B. Waldboden in der Nähe einer Kiefer, am Stamm einer lebenden Birke, auf einem Fichtenzapfen, auf Nadelholz u. v. m. Am besten demonstriert die Lehrerin oder der Lehrer auch das Protokollieren des Standortes. Die Schülerinnen und Schüler sollten mindestens 20 bis 35 Minuten nach Pilzen suchen. Danach kommt die Klasse an einem Ort wieder zusammen und jede Gruppe breitet ihre Pilze bei sich aus. Dann fordert die Lehrerin oder der Lehrer die Kinder dazu auf, die Pilze nach verschiedene Kriterien zu ordnen. Mögliche Kriterien wären z. B.: **Hutfarbe, Größe des Fruchtkörpers, Hutunterseite, gegliedert in Hut und Stiel**, Konsistenz des Fleisches, Geruch, Farbe der Hutunterseite, mit oder ohne Ring am Stiel, Anzahl der Farben, mit oder ohne Knolle u. v. m. Eine fachwissenschaftliche Beschreibung dieser Merkmale findet sich in Kapitel 2.2 und Beispiele konkreter Arten in Kapitel 2.8. Zentrale Merkmale zu denen Kinder einen einfachen Zugang haben wurden fett markiert. Um nicht zu überfordern, sollten höchstens vier Merkmale vorgegeben werden. Nach den vier Durchgängen, sollten die Gruppen noch 5-7 Minuten nach eigenen Merkmalen sortieren.

Danach sollte der Fokus auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede bei den gesammelten Fruchtkörpern gelegt werden. Um allen Schülerinnen und Schülern wertvolle Sprechgelegenheiten zu geben, sollten sie sich dazu zunächst in ihren Gruppen austauschen und ihre Antworten dann im Plenum darstellen.

Danach sollte unbedingt eine Pause für die Kinder zum Austoben folgen.

Zum Schluss der Exkursion bietet sich das Spiel das sportliche Pilzmemory (Huber 2014) an. Bei diesem Spiel müssen sich die Kinder Arten merken und das genaue Beobachten der Fruchtkörper ist wichtig. Dazu lässt sich die Lehrerin oder der Lehrer die gesammelten Pilze geben und verfasst sich während der Pause einen Überblick über die Arten. Huber (2014) empfiehlt 10-18 Arten, von denen jeweils 2 Fruchtkörper benötigt werden. Die Lehrkraft muss die Arten nicht benennen, aber gleiche Artenpaare erkennen. Die Fruchtkörper werden auf Wandertischen, Bänken o. Ä. so verteilt, dass auf dem einen Tisch die eine Hälfte der Arten wie auf dem anderen Tisch die zweite liegt. Die Tische sollten 20 m Abstand voneinander haben. Die Fruchtkörper bekommen auf dem einen Tisch einen Buchstaben, auf dem anderen Tisch eine Zahl zugeordnet. Die Kinder bekommen ein Klemmbrett mit einem Blatt und müssen immer von einem Tisch zum anderen laufen, sich eine Pilzart einprägen und diese auf dem anderen Tisch finden. Das Spiel soll ein Wettkampf um Zeit und Punkte sein. Wenn 5 Kinder alle Pilze zugeordnet haben, bekommt die oder der Erste 5 Extrapunkte, der zweite 4 Extrapunkte usw. Jedes richtig zugeordnete Pilzpaar gibt einen Punkt. Nach einem ersten Durchgang kann das Spiel mit vertauschten Zahlen und Buchstaben wiederholt werden. Huber (2014) gibt als Zeitorientierung 30 min an.

Nach dem Spiel kann die Exkursion beendet werden und die Klasse geht zurück in die Schule. Die gesammelten Pilze sollten unbedingt mitgenommen und kühl, am besten im Kühlschrank aufbewahrt werden, damit in den folgenden Unterrichtsstunden auf sie zurückgegriffen werden kann.

Folgende Kompetenzen aus dem Sachunterrichts-Lehrplan von Rheinland Pfalz können mit der Stunde erreicht werden:

- Die Kinder wenden sich Fragen und Problemen aus ihren natürlichen, sozialen und technischen [...] Erfahrungsbereichen mit Neugier und Selbstvertrauen zu.
- Sie können ausgewählte Naturphänomene fachlich gesichert beschreiben und erklären.
Z. B. Aufbau und Funktion von Fruchtkörpern, Fortpflanzung der Pilze, Ernährung von Pilzen...
- Bei Unterrichtsgängen die Natur erforschen und Sammlungen für den Unterricht anlegen.
- Einen respektvollen Umgang mit der Natur anstreben
- Mit Lebewesen achtsam umgehen

Pilze bieten Kindern viele verschiedene Sinneserfahrungen und lassen sich im Gegensatz zu Tieren auch unkompliziert genau untersuchen. Der außerschulische Lernort Wald bedeutet eine Abwechslung vom Schulalltag, die Kinder können ihrem Bewegungsdrang nachgehen und

gleichzeitig in der Gruppe zusammenarbeiten und zusammenwachsen. Das Suchen nach Pilzen macht den Kindern großen Spaß und anhand von Fruchtkörpern können naturwissenschaftliche Arbeitsmethoden (Beobachten, Vergleichen und Ordnen, Protokollieren...) anschaulich durchgeführt werden.

3.2.1.2 Unterrichtsstunde Aufbau und Fortpflanzung der Pilze

Der **Einstieg** in die Stunde kann mittels eines Pilz-Kinderbuchs, z. B. die kleine Spore Frieda (Mithöfer 2016) erfolgen. In dieser Geschichte wird unter anderem das Myzel, die Fortpflanzung, der Einfluss der Bäume auf Pilze und verschiedene Generationen von Pilzen angesprochen. Eine Rezension zu dem Werk findet sich auf der Webseite der Deutschen Gesellschaft für Mykologie. Nun wird auf die Nachbereitung der Exkursion übergeleitet, bei der vor allem das zuvor erworbene Wissen schriftlich fixiert wird.

Um den Schülerinnen und Schülern wieder wertvolle Sprechgelegenheiten zu geben, bietet es sich an, dass sie selbst die Vorstellung des theoretischen Wissens über Pilze übernehmen. Wichtige Begriffe für die Grundschule sind hier: Spore, Fruchtschicht (Lamellen, Röhren) Stiel, Hut und Fadengeflecht (Myzel). Eine Möglichkeit wäre zum Beispiel, dass eine Schülerin oder ein Schüler einen Fachbegriff mit einer Skizze an der Tafel vorstellt und die Mitschüler sich die wichtigsten Inhalte aufschreiben. Die Kinder müssen dafür sensibilisiert werden, welche Informationen wichtiger und welche weniger wichtig sind. Haben die Kinder einen Kurzvortrag gehalten, geben einige Klassenkameraden und -kameradinnen Feedback zum Inhalt und zur Vorstellung. Um die Reflexion in eine gewünschte Richtung zu lenken können die Satzanfänge vorgegeben werden: *Mir hat besonders gefallen, dass... Mir ist aufgefallen, dass... Folgenden Tipp kann ich dir geben... .* Die Kinder, die bis hierhin noch kein Fruchtkörpermerkmal vorgestellt haben, können in den folgenden Stunden eine Pilzart oder eine Ernährungsweise vorstellen. Es liegt in der Verantwortung der Lehrerin oder des Lehrers, die vortragenden Schüler im Vorhinein mit Informationsmaterial, z. B. einem Pilzbuch oder vereinfachten Auszügen aus dieser Arbeit, zu versorgen. Im folgenden sollen verschiedene methodische und fachliche Aspekte vorgestellt werden, die den vortragenden Kindern eine Hilfe sein können. Alle der folgenden mykologischen Begriffe werden in Kap. 2.2 erklärt.

Der bedeutendste fachwissenschaftliche Inhalt zu **Sporen** ist die Fortpflanzung der Pilze über diese. Die Sporen der Basidiomyceten sind so klein, dass sie für das menschliche Auge nicht sichtbar sind. Sie können allerdings durch naturwissenschaftliche Methoden auch für Grundschul Kinder leicht sichtbar gemacht werden, eine Möglichkeit ist der **Sporenabdruck** eines Fruchtkörpers. Hierzu

wird zunächst der Stiel eines reifen Fruchtkörpers abgeschnitten. Reife Fruchtkörper erkennt man daran, dass die Röhren nicht mehr geschlossen sondern weit offen sind, oder die Lamellen sind gut sichtbar, ohne von einer Teilhülle verdeckt zu werden. Bei einer weißen Fruchtschicht sollte farbiges Papier, bei andersfarbigen Fruchtschichten sollte weißes Papier als Unterlage dienen. Die Fruchtschicht wird so auf das Papier gelegt, dass die Sporen von der Fruchtschicht aufs Papier ausgeworfen werden können. Um einen Einfluss des Windes auszuschließen muss der Versuch mit einem Glas zugedeckt werden. Man sollte das Experiment an einem warmen Ort durchführen. Am nächsten Tag hat der Pilz eine große Zahl der Sporen auf dem Papier ausgeworfen. Oft zeigt sich auch das Muster der Lamellen oder Röhren auf dem Papier. Das Experiment bietet sich besonders gut im Unterricht an, da es unkompliziert ist, wenig Material benötigt und sehr anschaulich ist.

Eine weitere Möglichkeit um Sporen sichtbar zu machen, ist der Sporenstaub Versuch (Lüder & Probst 2015). Dazu benötigt wird ein Pilzhut mit reifen Sporen, ein größeres Glas (0,5 l) eine starke Taschenlampe und ein abgedunkelter Raum. Der Pilzhut wird so auf den Rand des Glases gelegt, dass der Hut die obere Deckfläche eines Zylinders ist. Die Sporen, die von der Fruchtschicht abgegeben werden fallen dadurch ins Glas. Nun muss die Umgebung abgedunkelt werden. Leuchtet man dann seitlich in das Glas reflektieren die Sporen das Licht und das menschliche Auge kann sie wahrnehmen (Lüder & Probst 2015). Das Experiment kann sicher auch spannend und aufregend für Kinder sein. Der Nachteil ist allerdings, dass es schwieriger ist, dieses Experiment zeitsparend vor der ganzen Klasse darzustellen. Wenn der Klassenraum ausreichend abgedunkelt werden kann ist der Versuch schnell und für alle Kinder darstellbar und kann anschaulicher sein, als der Sporenabdruck.

Die dritte und exakteste Möglichkeit zur Visualisierung der Pilzsporen ist die Mikroskopie. Dirksen & Müller (1992) geben in ihrem Artikel Hinweise zur Pilz-Mikroskopie. In der Grundschule reicht zum Mikroskopieren von Sporen eine 400-fache Vergrößerung aus. Am besten sichtbar sind z.B. olivfarbene Sporen von Röhrlingen oder die braunen Sporen wilder Champignons. Auf den Objektträger muss zunächst ein Wassertropfen angebracht werden. Danach kann man mit einem Spatel oder einer Nadel in die Fruchtschicht des Pilzes eindringen und die Spitze in den Tropfen abgeben. Hier sollte nun eine ausreichende Zahl an Sporen vorliegen. Dann muss ein Deckglas auf den Tropfen gelegt werden. Besonders anschaulich ist es, wenn als Größenvergleich ein menschliches Haar mit zu den Sporen dazugelegt wird. Das Haar ist bedeutend größer als die Sporen. Der Nachteil des Mikroskopierens ist, dass es etwas aufwändiger ist als die oben genannten Möglichkeiten. Zudem kann immer nur ein Kind auf einmal ein Mikroskop nutzen. Da Mikroskope meistens für Erwachsene konzipiert sind, haben Schülerinnen und Schüler zum Teil

Probleme diese zu nutzen. Ein Vorteil des Mikroskopierens ist der genaue Blick auf die Sporen sowie die frühe Heranführung an das Mikroskop. Der Einsatz des Mikroskops ist in vielen Lehrplänen an weiterführenden Schulen Pflicht. So können die Schülerinnen und Schüler hier frühzeitig Erfahrungen sammeln. Anhand der Versuche ist erkennbar, dass ein Fruchtkörper eine große Anzahl Sporen bildet. Dies sollte den Schülerinnen und Schülern nach der Besprechung der Versuche bewusst sein.

Beim Kurzvortrag zur **Fruchtschicht** (siehe Kap. 2.2.1.1 und 2.4) lässt sich sehr gut auf den Sporenabdruck-Versuch verweisen. Dieser sollte sowohl mit Lamellen, als auch mit Röhren durchgeführt werden. Einige Fruchtkörper mit Lamellen, Röhren und eventuell mit Stacheln sollten als Veranschaulichung der Fruchtschicht unter den Kindern durchgereicht werden. Wichtige fachliche Inhalte sind hier zum einen die Bildung der Sporen als Aufgabe der Fruchtschicht. Der Begriff der Fruchtschicht sollte als Überbegriff für Röhren, Lamellen und Stacheln erkannt werden. Wichtige pilzkundliche Inhalte bei **Hüten** ist ihre Vielfalt. Z. B. in Größe, Farbe, Hutdicke und Oberflächenstruktur. Ihre Schutzfunktion vor Regen, Sonnenschein, Frost und Räubern sollte unbedingt erwähnt werden. Als passendes Material zur Analogiebildung bietet sich ein Regenschirm an. Auch bei Hüten bietet es sich an, auf der Exkursion gesammelte Pilze als Veranschaulichung verschiedener Hüte und Hutformen zu verwenden.

Beim Thema **Stiele** ist es wichtig zu betonen, dass die Stiele der Pilze sehr vielfältig sein können. Der Ursprung und die Funktion der Teilhülle sollte ebenfalls Erwähnung finden. Interessant ist sicher auch die Tatsache, dass Strukturen an der Stielbasis, zum Beispiel beim Flockenstieligen Hexenröhrling oder beim Parasolpilz (siehe Kap.2.8) dazu dienen, Räubern wie Käfern den Weg zu den Sporen zu erschweren. Anhand solcher Informationen kann ein ökologisch vernetztes Kreislaufdenken bei den Schülerinnen und Schülern grundgelegt werden. Als Funktion des Stiels sollte weiter das Herausheben von Fruchtschicht und Hut aus dem Substrat genannt werden, damit die Sporen durch Vektoren wie Wind, Tiere oder Wasser effizienter verteilt werden können.

Beim **Fadengeflecht** (Myzel) (Kap. 1) ist es wichtig zu wissen, dass das Myzel sich das ganze Jahr über im Substrat befindet. Der Begriff Substrat ist wichtig für Pilze, deshalb sollte er hier erwähnt und erklärt werden. Es muss erklärt werden, dass das Fadengeflecht die Fruchtkörper nur bildet, um Sporen zu produzieren und sich fortzupflanzen. Das Fadengeflecht ist für die Ernährung des Pilzes verantwortlich. Hier bietet sich ein Verweis auf die nächste Stunde an. Um die Struktur des Myzels zu veranschaulichen, bietet es sich an, ein langes Seil auf einem Tisch in Schlingen zu legen. Echtes Myzel, das sich in Holz befindet, kann die Lehrerin oder der Lehrer auch relativ einfach mit in den Unterricht mitbringen.

Zum **Abschluss** der Stunde kann ein Pilzspiel beziehungsweise ein Pilz-Wettbewerb eingebaut werden, bei dem die Kinder ihre Fähigkeit zum naturwissenschaftlichen Beobachten und das Verbalisieren derselben üben können: In Zweier- oder Dreier-Teams spielen die Kinder gegen die anderen Teams. Alle Teams bekommen einen möglichst gleichen Fruchtkörper derselben Art und sie müssen innerhalb einer vorgegebenen Zeit möglichst viele Eigenschaften dieser Art beobachten und passend bezeichnen. Mit einem Pilzbuch kann die Lehrperson die Eigenschaften gut überprüfen. Ein Beispiel für eine naturwissenschaftliche Beschreibung eines Fruchtkörpers des Flockenstieligen Hexenröhrlings könnte so lauten: Es ist ein großer Fruchtkörper, er besitzt einen dicken Stiel in den Farben rot und gelb, der unten am Stielgrund mit roten Flocken übersät ist. Die Poren der Röhren sind jung rot, später olivfarben. Die Hutoberseite ist braun und hat eine wildlederartige Konsistenz. Der Fruchtkörper blaut sehr schnell und intensiv bei Berührung. Schüler außerhalb der Gruppe schreiben auf, wie viele Merkmale die Gruppe erkannt hat. Die Kinder müssen nicht alle Fachbegriffe nennen, sie sollten das Merkmal nur erfassen und treffend beschreiben. Wenn das Spiel den Kindern Freude bereitet, kann es wiederholt eingesetzt werden. So kann das eben erworbene theoretische Wissen gleich in der Praxis eingesetzt werden. In dieser Stunde können folgende Kompetenzen erworben bzw. vertieft werden:

- Die Kinder wenden sich Fragen und Problemen aus ihren natürlichen, sozialen [...] Erfahrungsbereichen mit Neugier und Selbstvertrauen zu.
- Sie haben zu diesen Erfahrungsbereichen angemessene sprachliche Darstellungsformen erworben ([...] grundlegende Arbeitsbegriffe, [...] Sprachformen des Darstellens und Referierens, Auswerten von Sachtexten).
- Sie sind in der Lage, Einzelerfahrungen in übergeordnete Sach- und Sinnzusammenhänge einzuordnen und zu bewerten.
- Sie verfügen über Kompetenzen zum Auffinden, Erklären, Darstellen und Begründen von Strategien zur Lösung von Sachfragen (Bilden von Hypothesen, Überprüfen von Annahmen, Experimentieren, Schlüsse ziehen, Übertragen von Ergebnissen auf analoge Sachverhalte).
- Sie können ausgewählte Naturphänomene fachlich gesichert beschreiben und erklären.

Der Bau und die Funktion der Fruchtkörper ist nicht kompliziert und für Kinder vielleicht sogar etwas verständlicher und greifbarer, als der der von Pflanzen und ihrer Blüten. Auch für Lehrkräfte hält sich der Aufwand, sich dieses basale Wissen anzueignen, in Grenzen. Die Versuche sind relativ anschaulich und ermöglichen den Kindern die Überwindung naiver hin zum Aufbau annähernd wissenschaftlicher Vorstellungen.

3.2.1.3 Unterrichtsstunde Ökologie

Als **Einstieg** in diese Stunde bietet sich das Anlegen einer Pilzkultur, z. B. von Austernseitlingen auf Kaffeesatz an. Dazu muss die Lehrkraft Pilzmyzel im Internet erwerben. Zuvor muss in ausreichenden Mengen Kaffeesatz, z. B. im Lehrerzimmer oder bei Cafés gesammelt werden. Der Topf mit dem Kaffeesatz kann zum Beispiel im Schulgarten aber auch im Klassenzimmer aufgestellt werden. Bei den Bestellungen ist normalerweise alles benötigte Material dabei. Ein Nachteil der Kaffeesatz Kulturen ist, dass sie etwas länger (2-3 Wochen) benötigen, bis sie Fruchtkörper bilden. Eine Alternative sind Pilzboxen, bei denen nur Pilzmyzel und Substrat vermischt werden muss. Es erleichtert etwas den Aufwand und die Pilze bilden schneller Fruchtkörper. Vor dem Kauf einer solchen Pilzbox, sollte drauf geachtet werden, dass ersichtlich ist, welches Material der Zuchtpilz zersetzt. Anhand des gekauften Pilzmyzels wiederholen die Kinder die Gliederung des Pilzes in ein Myzel und einen Fruchtkörper, der als Ernteziel dargestellt wird. Gleichzeitig lernen die Kinder, dass der Kulturpilz etwas fressen muss, nämlich den Kaffeesatz oder anderes Substrat. Alle bekannten Kulturpilze sind Saprobionten (siehe Kap. 2.5.2).

In der Erarbeitungsphase der Stunde stellen Schülerinnen und Schüler die drei Ernährungsweisen von Pilzen, Zersetzer, Symbionten und Parasiten vor. Zu jedem Vortrag bietet sich eine Tafelskizze an. Auch hier sollen die Vortragenden Feedback zu ihrem Kurzvortrag bekommen. Wieder ist es Aufgabe des Lehrers, die Kinder mit Informationsmaterial und beispielhaften Vertretern der Ernährungsgruppen zu versorgen.

Zum Schluss dieser Unterrichtsstunde bietet sich das Spiel Pilz - Wie wirst du satt? (Huber 2014) an. Dafür werden Hüte für alle Pilze, Traubenzucker, Wasserflaschen für die Mykorrhizapilze und frische Zweige für die Bäume benötigt. In einer im Vorhinein stattgefundenen Unterrichtsstunde sollten die Kinder erfahren haben, dass Pflanzen über das Sonnenlicht ihre Energie, den Traubenzucker bekommen. Die Kinder übernehmen 4 verschiedene Rollen: Bäume, Räuberpilze (Parasiten), Partnerpilze (Mykorrhiza) und Zersetzerpilze (Saprobionten). Die Lehrerin oder der Lehrer übernimmt die Rolle der Sonne und teilt an die Bäume Zucker aus. Die Räuberpilze versuchen (nicht zu grob) dem Baum Zucker zu stehlen, wogegen sich die Bäume wehren. Die Partnerpilze geben den Bäumen einen Schluck aus der Wasserflasche und bekommen dafür Zucker, die Zersetzerpilze stürzen sich im angekündigten Herbst auf Zucker, den die Bäume dann fallen lassen. Das Spiel sollte reflektiert werden und die Namen und die Bedeutung der Ernährungsform, eventuell von den Schülerexperten vorgestellt werden. In dieser Stunde können diese Kompetenzen erreicht werden:

- Die Kinder wenden sich Fragen und Problemen aus ihren natürlichen, sozialen [...] Erfahrungsbereichen mit Neugier und Selbstvertrauen zu.
- Sie haben zu diesen Erfahrungsbereichen angemessene sprachliche Darstellungsformen erworben ([...] grundlegende Arbeitsbegriffe, [...] Sprachformen des Darstellens und Referierens, Auswerten von Sachtexten).
- Sie sind in der Lage, Einzelerfahrungen in übergeordnete Sach- und Sinnzusammenhänge einzuordnen und zu bewerten.
- Sie verfügen über Kompetenzen zum Auffinden, Erklären, Darstellen und Begründen von Strategien zur Lösung von Sachfragen (Bilden von Hypothesen, Überprüfen von Annahmen, Experimentieren, Schlüsse ziehen, Übertragen von Ergebnissen auf analoge Sachverhalte).
- Sie können ausgewählte Naturphänomene fachlich gesichert beschreiben und erklären.
- Die unterschiedlichen Bedürfnisse von Menschen, Pflanzen und Tieren kennen und beachten (Schutz, Nahrung, Pflege, Lebensraum, Standort, Zuwendung ...).
- Nahrungsketten recherchieren

Durch Pilze haben die Schülerinnen und Schüler die Chance auf den Beginn eines umfassenden biologischen Kreislaufdenkens, zu dem die Produzenten (Pflanzen), Konsumenten (Tiere) und Destruenten (Pilze und Bakterien) gehören. Das Wissen um die ökologischen Zusammenhänge kann Voraussetzungen für ein nachhaltiges Denken und Handeln schaffen und weist auf die Verantwortung des Menschen für andere Organismen hin.

3.2.1.4 Unterrichtsstunde Speise- & Giftpilzen

Als **Einstieg** in diese Stunde bietet es sich an, verschiedene essbare, giftige und ungenießbare Pilze mitzubringen. Die Schülerinnen und Schüler werden wieder in Gruppen eingeteilt und sollen entscheiden, ob die Pilze, die sie bekommen haben, essbar, ungenießbar oder giftig sind. Die Kinder werden das wohl nur bei einem kleinen Teil der Arten richtig einschätzen können und den Rest raten müssen. Die Ergebnisse der Schüler bleiben zunächst unkommentiert, da die folgenden Kurzvorträge viele Fragen der Kinder beantworten werden können.

In der **Arbeitsphase** bietet es sich an, dass einige Schüler wieder einen Kurzvortrag über das Grundwissen über Speisepilze halten (siehe Kap. 2.7). Die wichtigsten Informationen sind folgende: Pilze sind nie auf Kontakt giftig, sie dürfen niemals roh gegessen werden und es gibt, wie die Kinder im Einstieg erkannt haben, kein gemeinsames Merkmal bei Speisepilzen. Nur durch die Kenntnis der Arten kann ein Pilz als essbar erkannt werden. Die Röhrlinge Deutschlands sind nie tödlich giftig (Lüder 2015). Die wenigen giftigen Arten sind relativ selten. Trotzdem muss die

Regel, nur Speisepilze zu essen, die man sicher erkannt hat, als oberste Priorität beim Pilzsammeln genannt werden!

Beim Thema Giftpilze bietet es sich an, auf ein in der Grundschule beliebtes Kinderbuch zurückzugreifen: Neues vom Räuber Hotzenplotz (Preußler 1969). Humorvoll und anschaulich erzählt Ottfried Preußler wie dem Räuber Hotzenplotz eine eingebildete Pilzvergiftung (siehe Kap. 2.7) zum Verhängnis wird und ihn ins Gefängnis bringt. Nachzulesen im Kapitel *Ein Dutzend Rotkappen* ab Seite 99. Sobald Hotzenplotz an den Stuhl gefesselt ist (S.112) kann das Lesen unterbrochen werden. Im Anschluss sollte der verantwortungsvolle Umgang mit Pilzen, sowie die Gefahr einer Vergiftung thematisiert werden. Wichtige Inhalte sind hier die Wiederholung des Verbotes, Pilze in den Mund zu nehmen und zu schlucken. Unterschiedliche Giftdosen und der Einfluss des eigenen Körpers und die verschiedenen Wirkungen der Gifte auf Menschen und andere Tiere kann vorgestellt werden.

Auch ungenießbare Pilze sollten angesprochen werden. Beispielgruppen, zum Beispiel die Porlinge, sollten erwähnt werden. Abschließend sollte betont werden, dass die Einteilung in die drei Gruppen aus Sicht des Menschen geschieht. Auch hier schreiben die Mitschüler die wichtigsten Informationen bei jedem Vortrag mit und geben danach Feedback.

Im Anschluss bietet es sich an, das erworbene theoretische Wissen in der Praxis umzusetzen, sprich eine Exkursion zu machen, bei der Speisepilze nach den zuvor genannten Kriterien gesammelt werden. Um Vergiftungen zu vermeiden, bieten sich Röhrlinge besonders an. Huber (2014) gibt dazu ausführliche Informationen. Wenn sich die Lehrperson die Kontrolle der Speisepilze nicht zutraut, kann ein Pilzsachverständiger eingeladen werden. Eine Alternative zum Sammeln von Speisepilzen stellt ein Spiel dar, welches das Wissen aus den vorangegangenen Stunden zusammenfasst: das Spiel Vom Winde verweht in Huber (2014). Hier schlüpfen die Kinder in die Rolle von Pilzsporen und müssen sich entsprechend ihrer Ernährungsweise (Symbiont, Parasit, Saprobiont) am passenden Substrat niederlassen. Das Spiel ist nur im Gelände durchführbar.

Durch diese Stunde können die Schülerinnen und Schüler folgende Kompetenzen erreichen:

- Die Kinder wenden sich Fragen und Problemen aus ihren natürlichen, sozialen und technischen [...] Erfahrungsbereichen mit Neugier und Selbstvertrauen zu.
- Sie haben zu diesen Erfahrungsbereichen angemessene sprachliche Darstellungsformen erworben ([...] grundlegende Arbeitsbegriffe, [...] Sprachformen des Darstellens und Referierens, Auswerten von Sachtexten).
- Sie sind in der Lage, Einzelerfahrungen in übergeordnete Sach- und Sinnzusammenhänge einzuordnen und zu bewerten.

- Sie verfügen über Kompetenzen zum Auffinden, Erklären, Darstellen und Begründen von Strategien zur Lösung von Sachfragen (Bilden von Hypothesen, Überprüfen von Annahmen, Experimentieren, Schlüsse ziehen, Übertragen von Ergebnissen auf analoge Sachverhalte).
- Sie können ausgewählte Naturphänomene fachlich gesichert beschreiben und erklären.
- einen respektvollen Umgang mit der Natur anstreben
- mit Lebewesen achtsam umgehen
- Die unterschiedlichen Bedürfnisse von Menschen, Pflanzen und Tieren kennen und beachten (Schutz, Nahrung, Pflege, Lebensraum, Standort, Zuwendung ...).

Wahrscheinlich eine der größten Herausforderungen, die sich Pilzen im Grundschulunterricht entgegenstellt, ist die Unwissenheit, die Unsicherheit und die Hilflosigkeit im Bezug auf die Giftigkeit von Pilzen. Heimische Pilze sind im Gegensatz zu Pflanzen nie auf Kontakt giftig oder reizend. Lehrerinnen und Lehrer müssen ihren Schülerinnen und Schülern Verantwortung zutrauen, an der diese wachsen und Vertrauen in die eigenen Fähigkeiten und Grenzen bekommen. Die Lehrpersonen müssen bedacht vorgehen, damit sich die Kinder nicht leichtsinnig werden. Das Verzehrsverbot ist von hoher Bedeutsamkeit dafür.

3.2.1.5 Artenkenntnis ausbauen mit Hilfe eines Klassenpilzbuches

Einstieg: Während ihrer Vorexkursion sollte die Lehrperson Fotos gemacht haben. Mit Hilfe dieser bietet es sich an die Kinder wieder an die eigenen Exkursionen zu erinnern. Nun sollte die Frage wie heißt der Pilz und woran ist er erkennbar, im Vordergrund stehen.

Arbeitsphase: Die Kinder bekommen den Auftrag ihr eigenes Pilzbuch zu gestalten. Hierzu sollen sie 4-7 Arten in das Buch aufnehmen, die ihnen besonders gefallen haben. Hierzu gehört eine Zeichnung mit Beschriftung der dazugehörigen Merkmalen des Fruchtkörpers. Die Kinder können auch ihren eigenen Text zur Art schreiben oder einen haltbar gemachten Sporenabdruck oder ein Foto beifügen. Je nach dem, wie viele Arten man vorgibt, dauert es länger oder kürzer. Ist ein Kind fertig, kann es z. B. Pilze mit verbundenen Augen ertasten, dran riechen und beschreiben.

Es empfiehlt sich, das Format der Seiten des Pilzbuches vorzugeben. Als Informationsmaterial sollten verschiedene Pilzbücher dienen. Die Kinder erfahren außerdem Strategien, wie sie ihre Art am schnellsten finden. So üben sich die Schülerinnen und Schüler auch im Umgang mit Bestimmungsbüchern. Nach der Beendigung der Bücher sollten bestimmte Arten von Schülerinnen und Schülern, die noch keinen Vortrag gehalten haben, vorgestellt werden. Durch diese Unterrichtsstunde erreichen sie diese Kompetenzen:

- Die Kinder wenden sich Fragen und Problemen aus ihren natürlichen, sozialen und technischen [...] Erfahrungsbereichen mit Neugier und Selbstvertrauen zu.

- Sie haben zu diesen Erfahrungsbereichen angemessene sprachliche Darstellungsformen erworben ([...] grundlegende Arbeitsbegriffe, [...] Sprachformen des Darstellens und Referierens, Auswerten von Sachtexten).

Eine Unterrichtsstunde zum Thema Artenkenntnis erfordert einiges an Vorbereitung für die Lehrperson, da die Informationen zu einer bestimmten Auswahl von Pilzen zusammengetragen werden müssen. Die Vorgaben des Pilzbuches müssen vorgegeben werden und gleichzeitig sollte die Lehrperson einen groben Überblick über wichtige heimische Pilzarten haben. Aber die gängigsten Speise- und Giftpilze lassen sich auch mit wenig Erfahrung relativ leicht bestimmen. Dafür können die Schüler über die Auswahl ihrer Pilze einen individuellen Zugriff zu Pilzarten gewinnen und beginnen verschiedene Arten und Gattungen bewusster voneinander zu unterscheiden. Gleichzeitig werden verschiedene Schreib- und Zeichenkompetenzen gefördert.

3.2.1.6 Färben mit Pilzen

Das Färben mit Pilzen ist ein handwerklicher Aspekt bei Pilzen, der sich auch in den Kunstunterricht einbauen lässt. In Kap. 2.8 wurden der Grünblättrige Schwefelkopf und der Kiefern-Braunporling vorgestellt. Die Farben des Grünblättrigen Schwefelkopfes lassen sich als hellgelb oder olivgrün nach Vorbehandlung, die des Kiefern-Braunporlings als goldgelb beschreiben. Pilze enthalten eine ganze Reihe von Farbstoffen, es können beim Färben grüne, olivfarbene, braune, orangene, gelbe, rote, violette und petrolblaue Farbstoffe erzielt werden. Deutschlands Expertin für das Färben mit Pilzen ist Karin Tegeler, Pilzcoach und Pilzsachverständige aus dem Harz. Wenn die Leserin oder der Leser sich noch genauer informieren möchte, sei ihr Leitfaden zum Färben mit Pilzen (Tegeler 2016) empfohlen.

Das Färben mit Pilzen in der Grundschule bedeutet einen relativ hohen Aufwand, dennoch ist es eine spannende Erfahrung für Grundschüler, selbst ein Kleidungsstück, wie zum Beispiel ein Halstuch, zu färben. Der Autor hat durchweg positive Erfahrungen mit dieser Aktivität gemacht.

Einige Grundsatzbemerkungen zum Färben mit Pilzen: Pilzfarbstoffe haften besonders gut auf tierischen Fasern, wie Schafwolle oder Seide. Baumwolle nimmt die Farbstoffe laut Tegeler (2016) schlechter auf. Der Autor hat jedoch keine eigenen Erfahrungen mit dem Färben auf pflanzlichen Fasern. Bevor die Farbstoffe auf den Tierfasern haften bleiben, müssen diese gebeizt werden. Die umweltfreundlichste Beize ist laut Tegeler (2016) Aluminium-Kaltbeize. Der Feststoff der Beize wird in warmem Wasser aufgelöst, danach wird kaltes Wasser hinzugegeben. Diese Beize ist nicht giftig und kann normal im Abwasser entsorgt werden. Bei jeder Beizlieferung ist eine

Anwendungsbeschreibung dabei. Da Beize reizend auf die Haut wirken kann, sollten beim Berühren der Beize Handschuhe getragen werden.

Der Autor empfiehlt Seidenschals zu färben, da sie praktikabel zu tragen sind und nicht zu viel Masse und damit Beize benötigen. Kleidungsstücke aus Schafwolle zu färben wäre jedoch auch möglich.

Für das Färben im Unterricht werden folgende Gegenstände benötigt (Tegler 2016):

- 2 Wassereimer
- Sieb
- Färbepilze
- Färbegut, also Seide oder Wolle
- elektrische Heizplatte oder Küchenherd
- Gefäß zum Abmessen von Volumina
- Aluminium-Kaltbeize
- Wasseranschluss
- kleinerer Topf: zwei bis fünf Liter Fassungsvermögen
- evtl. Schnur und Netz zum Einbinden der Pilze
- evtl. 25 % iges Essigessenz und Indikatorpapier

Die einzelnen Schritte im Färbeprozess (Tegler 2016):

1. Der erste Schritt ist das Herstellen der Beize, laut der Anleitung auf dem bei der Lieferung beiliegenden Zettel. Die Beize wird erst milchig trüb, klärt später aber wieder auf. Direkt nach dem Herstellen wird das ungefärbte Material, also Seide oder Wolle, in die Beize gelegt. Mindestens 12h aber länger ist auch möglich.
2. Ebenfalls am Vortag müssen die Färbepilze kleingeschnitten und eingeweicht werden. Das gilt sowohl für getrocknete Fruchtkörper, als auch für frische.
3. Am nächsten Tag werden die eingeweichten Pilze eine bis zwei Stunden ausgekocht. Daraus entsteht häufig ein Sud, der schon eine bestimmte Farbe aufweist. Die Färbepilze können über ein Sieb herausgenommen werden. Damit Pilzstücke nicht am Färbgut hängen bleiben, kann es sinnvoll sein, die Pilzstücke in ein Netz oder einen ähnlichen Stoffetzen zu binden. Es ist aber nicht unbedingt notwendig. Beim Grünblättrigen Schwefelkopf muss Essigessenz hinzugefügt werden, da sein Farbstoff erst im sauren Milieu, bei einem pH-Wert von drei zur Geltung kommt. Beim Kiefern-Braunporling muss nichts weiteres hinzugefügt werden. Weist der Sud der ausgekochten Pilze schon eine deutliche Farbe auf, kann das

Färbgut beigefügt werden. Ist die Farbe noch nicht so deutlich, kann das Pilznetz weiter im Sud bleiben.

4. Das Färbgut muss nach dem Beizen mit Wasser abgewaschen werden, damit nur die Beize, die sich mit der Wolle oder Seide verbunden hat auch zurückbleibt und die Farbe aufnehmen kann.
5. Ist sie gewaschen wird sie dem Sud beigefügt. Dieser wird auf 90 °C erhitzt und verbleibt eine Stunde lang auf dieser Temperatur.
6. Danach sollte das Färbgut aus dem Topf entfernt werden und von selbst an der Luft abkühlen. Ist dies geschehen, kann es mit Wasser abgespült werden.

Anmerkung: Damit die Schals das eigene Werk der Schülerinnen und Schüler sind, sollten die Schüler selbstständig arbeiten, geleitet durch die Impulse der Anleitung. Die Lehrerin oder der Lehrer sollte in den Hintergrund treten.

Während die Pilze ausgekocht werden und die Seide oder die Wolle gefärbt wird, gibt es nichts zu tun. In dieser Zeit kann anderer Pilzunterricht stattfinden. Z. B. Pilze mit verbundenen Augen kennen lernen und beschreiben oder zusammen an der Tafel kann die ökologische Bedeutung der Pilze, in reduzierter Form mit Hilfe einer Abbildung wiederholt werden.

Die Unterrichtsstunde zum Färben mit Pilzen ist laut der Meinung des Autors ein gelungener Abschluss der Unterrichtsreihe. Hier sollte am Ende eine Reflexion und positive wie negative Erlebnisse thematisiert werden. So kann die nächste Pilz-Unterrichtsreihe bei der nächsten Durchführung noch reibungsloser funktionieren. Kompetenzen, die in dieser Unterrichtsstunde vertieft werden können sind:

- Die Kinder wenden sich Fragen und Problemen aus ihren natürlichen, sozialen und technischen [...] Erfahrungsbereichen mit Neugier und Selbstvertrauen zu.
- Naturphänomene sachorientiert wahrnehmen, beobachten, benennen und beschreiben

In dieser Unterrichtsstunde lernen die Schülerinnen und Schüler Pilze auf eine ganz andere Art und Weise kennen als bisher. Auch diese handwerklich orientierte Unterrichtsstunde ist am Kind orientiert, da es die Färbung seines eigenen Schals durchführt.

3.2.2 Weitere Möglichkeiten um Pilze im Grundschulunterricht zu thematisieren

Im Rahmen einer **Projektwoche** kann in der Schule eine Pilzausstellung stattfinden, in der die Schülerinnen und Schüler verschiedene Inhalte aus dem Pilzunterricht anderen Kindern zeigen (z. B. Speise- und Giftpilze, Färben, Fortpflanzung). Probst (1993) gibt einige Hinweise zu diesem Thema. Es gibt die Möglichkeit ein **Theaterstück** über Pilze zu entwerfen und einzuüben. Dies ist eine Möglichkeit für fächerübergreifenden Unterricht aus Musik, Kunst, Deutsch und Sachunterricht Hinweise dazu finden sich in Huber (2014). Aus Porlingen, z. B. dem Birkenporling, kann **Pilzpapier** hergestellt werden (Lüder & Probst 2015). Die Sporen der Tintlinge zerfließen bei zunehmender Reife. Aus diesen kann eine **Tinte** hergestellt werden, mit der man schreiben kann (Lüder & Probst 2015). Bei beiden Aufgaben werden die Leitideen des rheinland-pfälzischen Lehrplans Natur und Technik verknüpft. Huber (2014) hat noch eine ganze Reihe weiterer **waldpädagogischer Spiele** zu Pilzen aufgelistet, die für Kinder im Grundschulalter entworfen wurden. In vielen Sachunterrichts-Lehrplänen für die Grundschule ist die Bedeutung und Entstehung des Feuers erwähnt, in Baden-Württemberg ist es sogar Pflicht. Um dieses Thema praktisch aufzugreifen, kann das **Feuermachen mit dem Zunder** des Zunderschwamms durchgeführt werden (Lüder & Probst 2015). Eine ganze Reihe weiterer Möglichkeiten finden sich auf der Webseite der Deutschen Gesellschaft für Mykologie.

4 Fazit und Ausblick

Die Arbeit konnte einen tieferen fachwissenschaftlichen Blick auf das Reich der Pilze werfen, damit sich Grundschullehrerinnen und Grundschullehrer informieren und diese Informationen in vereinfachter Form an ihre Schülerinnen und Schüler weitergeben können. Der Schwerpunkt der Inhalte lag bei der Abteilung der Basidiomycota und dem Aufbau ihrer Fruchtkörper aus Hut und Stiel. Durch diesen Aufbau haben sich Pilze an ihre Lebensräume angepasst, um eine effiziente sexuelle Vermehrung durchzuführen. Die ökologische Bedeutsamkeit der Pilze liegt zum einen in der Mykorrhiza, mit der sie zur Konkurrenzfähigkeit von Pflanzen beitragen, in der Zersetzung von totem organischem Material, der letzten Phase des Stoffkreislaufes und zum anderen als Parasiten, die kranke, alte und geschwächte Organismen abtöten und anderen Organismen dadurch neuen Lebensraum schaffen. Die Bedeutung der Pilze für den Menschen wurde mit einer Chronologie ebenfalls kurz beleuchtet, sowie Hinweise zum verantwortungsvollen Umgang mit Pilzen gegeben. Die Vorstellung von sieben Kernarten ist ein erster Zugang zu im Unterricht einsetzbaren Pilzarten.

Durch den fachwissenschaftlichen Teil konnten die wichtigsten Wissensgrundlagen für die Rezeption der Pilze im Grundschulunterricht gelegt werden. Aus der Analyse der Lehrpläne zweier Bundesländer wurde ersichtlich, dass durch Pilze eine Reihe vorgegebener Kompetenzen erreicht werden können, aber auch, dass Pilze selten explizit in Lehrplänen erwähnt werden. Einige Möglichkeiten zur Integration des Themas Pilze in den Grundschulunterricht wurden in einer beispielhaften Unterrichtsreihe vorgestellt. Aus zeitlichen Gründen konnte der fachdidaktische Teil hauptsächlich theoretisch beleuchtet und nur zum Teil praktisch ausprobiert werden. Zukünftige Arbeiten könnten sich besonders auf unterrichtspraktische Aspekte zum Thema Pilze konzentrieren. Sicherlich konnten sowohl Pilzexperten Tipps und Hinweise zum Thema Pilze im Grundschulunterricht erhalten, als auch Unterrichtsexperten ihr fachwissenschaftliches Pilzwissen ausbauen und auch einige didaktische Möglichkeiten und Ideen kennen lernen. Eine Herausforderung, die sich Lehrerinnen und Lehrern bei Pilzen entgegenstellt, ist die weitgehende Vernachlässigung der Pilze in vielen Lehrplänen. Auch hier sind Pilzexperten und interessierte Lehrerinnen und Lehrer gefragt, dieses Thema in die Schulen zu bringen. Auch junge Kinder interessieren sich bereits für Pilze. Ihr Staunen und ihre Neugierde sollte befriedigt werden. Auch schon eine kleine Unterrichtsreihe kann das ein Stück weit leisten.

Der Autor hat seine Lehramtsausbildung für die Grundschule zu diesem Zeitpunkt noch nicht abgeschlossen, daher können die fachdidaktischen Ideen sicher nur als Ansporn oder Hilfestellung angesehen werden. Grundschullehrerinnen und Grundschullehrer kennen weitaus mehr Methoden, um Kindern Wissen zu vermitteln und seien ausdrücklich aufgefordert, ihre Expertise in diesem Bereich auch bei Pilzen einzusetzen. Diese Arbeit kann sicher nicht die langjährige berufliche Erfahrung von Lehrerinnen und Lehrern ersetzen, sondern sie kann sie ergänzen.

In Zukunft sollte ein besserer Austausch zwischen Pilzexperten, wie Pilzcoaches und Pilzsachverständigen und Grundschullehrerinnen und Grundschullehrern stattfinden. Die Pilzexperten müssen auf die Schulen zugehen und Informationsmaterial zu Pilzen im Unterricht anbieten. Ein motivierter Pilzcoach oder Pilzsachverständiger sollte zum Ende der Sommerferien jede Schule und jeden Kindergarten in seiner näheren Umgebung auf Pilze und die didaktischen Möglichkeiten hinweisen oder sich sogar selbst bereiterklären zu kommen. Gleichzeitig sollten die Lehrerinnen und Lehrer und sowie die Schulleiterinnen und -leiter stets versuchen, ihr Unterrichtsrepertoire und Schulprofil zu erweitern und dabei auch auf Pilzexperten zugehen. Aber auch Pilzvereine und die Deutsche Gesellschaft für Mykologie ist gefragt, noch weiter auf Pilze aufmerksam zu machen, sowohl im Unterricht, als auch außerhalb. Alle diese Seiten werden gebraucht, um Pilze weiter in der Bildungslandschaft Deutschlands und im Denken und Handeln

der Menschen fest zu verankern. Damit einhergehend sollte das Thema an die Bildungsmacher und -politiker herangetragen werden. Denn Lehrerinnen und Lehrer sind sich in diesem Thema wahrscheinlich unsicher, weil Pilze im bisherigen Bildungswesen selten auftauchen. Sowohl Lehrerinnen und Lehrer als auch Pilzexpertinnen und -experten haben es in der Hand, dies zu ändern! Um Lehrerinnen und Lehrer im Bezug auf Pilze nicht alleine zu lassen, sollten auch Lehrerfortbildungen zu Pilzen konzipiert und durchgeführt werden. Hier könnte die Deutsche Gesellschaft für Mykologie Verantwortung übernehmen, um auch die eigene Nachwuchsförderung zu stärken.

5 Danksagung

Mein größter Dank gilt Dr. Kai Riess, der es mir ermöglicht hat, diese Arbeit genau nach meinen Interessen zu schreiben und mir viele nützliche Tipps gegeben hat. Ich danke auch Dr. Dagmar Lange für die Übernahme der Zweitkorrektur. Und meiner Freundin Merle Herold, die schon viel „Pilzgeschwafel“ über sich ergehen lassen musste und trotzdem noch nicht weggelaufen ist, mich immer wieder zum Weiterschreiben ermutigt hat und mich beim Pilzesammeln oft mit Begeisterung begleitet. Ich danke meinen Eltern, die mich darin bestärkt haben mich Pilzen zuzuwenden und immer für mich da waren und sind. Und meiner Oma, mit der ich als kleiner Junge schon nach Pilzen suchte. Ich danke Sandra Scherer herzlich, die es mir ermöglicht hat, Pilze ihrer Klasse näherzubringen. Ich danke auch der Klasse 4 der Grundschule Tholey im Schuljahr 2017/2018, für die engagierte Mitarbeit und die nette Erfahrung. Ich danke Hans Halbwachs, dessen spannende Pilzforschung diese Arbeit bereicherte und der mir bereitwillig Feedback zu meiner Arbeit gab. Ich danke meinem Pilzverein, den Hochwälder Kahlköpfen und der deutschen Gesellschaft für Mykologie. Ich danke meinem Bruder, der mich bei historischen Recherchen unterstützte und meiner Schwester, die immer wieder mit mir Pilze suchen geht. Ich danke unseren Katzen Mauzi und Kitty, die mich schon so viele Jahre meines Lebens begleitet haben und schon viele Pilzvektoren verspeist haben und damit selbst zu Pilzvektorinnen wurden. Ich danke Markus Müller, mit dessen Hilfe ich die Schreibpausen immer sehr genießen konnte und der meinem PC nach einem Fehler wieder auf die Beine half. Ich danke außerdem den Fantastischen Vier, deren großartige Musik mich über weite Teile der Arbeit begleitet hat.

6 Literatur- und Abbildungsverzeichnis

- Adl, S. M., Simpson, A. G. B., Lane, C. E., Lukeš, J., Bass, D., Bowser, S. S., . . . Spiegel, F. W. (2012). The revised classification of eukaryotes. *The Journal of Eukaryotic Microbiology*, 59(5), 429–493.
- Ainsworth, G. C., Sussman, A. S. (Hg.). (1968). *The fungi: An advanced treatise*. New York: Academic Press.
- AUSTWICK, P. K.C. (1968). Effects of Adjustment to the Environment on Fungal Form. In G. C. Ainsworth A. Sussman (Hg.), *The fungi: An advanced treatise* (pp. 419–445). New York: Academic Press.
- Babikova, Z., Gilbert, L., Bruce, T. J. A., Birkett, M., Caulfield, J. C., Woodcock, C., . . . Johnson, D. Underground signals carried through common mycelial networks warn neighbouring plants of aphid attack. *Ecology Letters*, 16(7), 835–843.
- Bässler, C., Heilmann-Clausen, J., Karasch, P., Brandl, R., Halbwachs, H. (2015). Ectomycorrhizal fungi have larger fruit bodies than saprotrophic fungi. *Fungal Ecology*, 17, 205–212.
- Bier, U. (2017). Abb. 15: verschiedene Altersstadien des Fliegenpilzes
- Boddy, L. (Ed.). (2008). *British Mycological Society symposia series. Ecology of saprotrophic basidiomycetes* : Elsevier.
- Boddy, L., Frankland, J. C., van West, P. (Hg.). (2008). *British Mycological Society Symposia Series : Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes*: Academic Press.
- Bortenschlager, S., Oeggl, K. (Hg.). (2000). *The Iceman and his Natural Environment*. Vienna: Springer Vienna.
- Bourke, J., Mutschmann, F., Ohst, T., Ulmer, P., Gutsche, A., Busse, K., . . . Boehme, W. (2010). Batrachochytrium dendrobatidis in Darwin's frog *Rhinoderma* spp. in Chile. *Diseases of Aquatic Organisms*, 92(2-3), 217–221.
- Breitenbach, J. (Ed.). (2005). *Pilze der Schweiz: Beitrag zur Kenntnis der Pilzflora der Schweiz*. Luzern: Verl. Mykologia.
- Bresinsky, A. (Ed.). (2009). *Rundgespräche der Kommission für Ökologie: Vol. 37. Ökologische Rolle von Pilzen: Rundgespräch am 23. März 2009 in München*. München: Pfeil.
- Bresinsky, A., Bresinsky M. (2018). Penicillin: Entdeckung eines antibiotisch wirksamen Heilmittels aus einem Pilz vor 90 Jahren. *Der Tintling*, 23(3), 7–10.

- Brundrett, M. C. (2002). Coevolution of roots and mycorrhizas of land plants. *New Phytologist*, 154(2), 275–304.
- Bundesamt für Naturschutz (Ed.). (2010). *Biodiversität und Klima - Vernetzung der Akteure in Deutschland XII*.
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. (2013). Fläche der Baumartengruppen. URL: bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/bilder/diagramme/Flaeche_der_Baumartengruppe.jpg (12.7.2018)
- Burda, H., Bayer, P., Zrzavý, J. (2014). *Humanbiologie. Basics: Vol. 4130*. Stuttgart: Ulmer.
- Campbell, N. A., Reece, J. B., Kratochwil, A. (2011). *Biologie* (8., aktualisierte Aufl.). Pearson Studium - Biologie. München: Pearson Studium.
- Carlile, M.J., Watkinson, S. C., Gooday, G. W. (2001). *The fungi* (2nd ed.). San Diego [etc.]: Academic Press.
- Carris, L. , Little, C., Stiles, C. (2012). Introduction to Fungi. *The Plant Health Instructor*.
- Clémenton, H. (1997). *Anatomie der Hymenomyceten: Eine Einführung in die Cytologie und Plectologie der Krustenzpilze, Porlinge, Keulenzpilze, Leistlinge, Blätterpilze und Röhrlinge = Anatomy of the Hymenomycetes*. Teufen AR: Komm. F. Flück-Wirth.
- Deacon, J. W. (2006). *Fungal Biology* (4th ed.). Malden: Blackwell Publishers.
- Deigele, C. (Ed.). (2016). *Rundgespräche Forum Ökologie: Band 45. Die Sprache der Moleküle: Chemische Kommunikation in der Natur : Rundgespräch am 6. April 2016 in München*. München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil.
- Ditengou, F. A., Müller, A., Rosenkranz, M., Felten, J., Lasok, H., van Doorn, M. M., . . . Polle, A. (2015). Volatile signalling by sesquiterpenes from ectomycorrhizal fungi reprogrammes root architecture. *Nature Communications*, 6.
- Doehlemann, G., Ökmen, B., Zhu, W., Sharon, A. (2018). Plant Pathogenic Fungi. *Microbiology Spectrum*, 5(1).
- Dörfelt, H., Görner, H. (1989). *Die Welt der Pilze*. Frankfurt am Main, Thun: Verlag Harri Deutsch.
- Dörfelt, H., Heklau, H. (1998). *Die Geschichte der Mykologie*. Schwäbisch-Gmünd: Einhorn-Verl. Dietenberger.
- Dörfelt, H.; Jeschke, H. (2001). Abb. 4 verschiedene Ornamentierungen von Pilzsporen.
- Dörfelt, H., Jetschke, G. (2001). *Wörterbuch der Mycologie* (2. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akad. Verl.

- Eason, W. R., Newman, E. I. (1990). Rapid loss of phosphorus from dying ryegrass roots: the chemical components involved. *Oecologia*, 84(3), 359–361.
- Ecovative. (2018). Home | Ecovative. URL: ecovativedesign.com/ (18.7.2018)
- Eissenstat, D. M. (1990). A comparison of phosphorus and nitrogen transfer between plants of different phosphorus status. *Oecologia*, 82(3), 342–347.
- Galagan, J., Calvo, S., Borkovich, K., Selker, E., Read, N., Jaffe, D., . . . Birren, B. (2003). The genome sequence of the filamentous fungus *Neurospora crassa*. *Nature*, 422(6934), 859.
- Gerhardt, E. (2014). *Der große BLV-Pilzführer für unterwegs: 1200 Arten* (Neuausg., 6., durchges. Aufl.). München: BLV.
- Gerhardt-Dircksen, A. (1992). Von Speise-, Gift- und halluzinogenen Pilzen. *Praxis Der Naturwissenschaften Biologie*, 41(7), 29–32.
- Gerhardt-Dircksen, A., Müller, S. (1992). Eine Pilzexkursion. *Praxis Der Naturwissenschaften Biologie*, 41(7), 3–10.
- Giovannetti, M., Avio, L., Fortuna, P., Pellegrino, E., Sbrana, C., Strani, P. (2006). At the Root of the Wood Wide Web. *Plant Signaling & Behavior*, 1(1), 1–5.
- Gorzalak, M. A., Asay, A. K., Pickles, B. J., Simard, S. W. (2015). Inter-plant communication through mycorrhizal networks mediates complex adaptive behaviour in plant communities. *AoB PLANTS*, 7.
- Gregory, P. H. (1973). *The microbiology of the atmosphere* (2nd ed.). London: L. Hill.
- Greuling, H. (2011). Rohstoffe: Am Phosphor hängt das Schicksal der Menschheit - WELT. URL: welt.de/dieweltbewegen/article13585089/Am-Phosphor-haengt-das-Schicksal-der-Menschheit.html (26.7.2018)
- Griffith, G., Roderick, K. (2008). Chapter 15 Saprotrophic basidiomycetes in grasslands: Distribution and function. In L. Boddy, J. C. Frankland, P. van West (Hg.), *British Mycological Society Symposia Series : Ecology of Saprotrophic Basidiomycetes* (pp. 277–299). Academic Press.
- Halbwachs, H. (2017). Wirtsbeziehungen - Ektomykorrhizapilze und ihre Symbiosepartner. *Zeitschrift Für Mykologie*, 83(2), 349–356.
- Halbwachs, H., Bässler, C. Abb. 2 Struktur und Funktion von Basidiomyceten-Fruchtkörpern: Hängt der Wachstumsverlauf der Ektomykorrhizapilze vom Wirtsverhalten ab? Messmethoden und erste Ergebnisse.

- Halbwachs, H., Bässler, C. (2012). Hängt der Wachstumsverlauf der Ektomykorrhizapilze vom Wirtsverhalten ab? Messmethoden und erste Ergebnisse. *Zeitschrift Für Mykologie*, 78(211-223).
- Halbwachs, H., Bässler, C. (2015). Abb. 8 Ontogenese eines Basidiomyceten: Gone with the wind – a review on basidiospores of malellate agarics.
- Halbwachs, H., Bässler, C. (2015). Gone with the wind – a review on basidiospores of lamellate agarics. *Mycosphere*, 6(1), 78–112.
- Halbwachs, H., Simmel, J., Bässler, C. (2016). Tales and mysteries of fungal fruiting: How morphological and physiological traits affect a pileate lifestyle. *Fungal Biology Reviews*, 30(2), 36–61.
- Hassan, S., Mathesius, U. (2012). The role of flavonoids in root-rhizosphere signalling: opportunities and challenges for improving plant-microbe interactions. *Journal of Experimental Botany*, 63(9), 3429–3444.
- Hawksworth, D. L., Lücking, R. (2017). Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species. *Microbiology Spectrum*, 5(4).
- Hibbett, D. S., Binder, M., Bischoff, J. F., Blackwell, M., Cannon, P. F., Eriksson, O. E., . . . Zhang, N. (2007). A higher-level phylogenetic classification of the Fungi. *Mycological Research*, 111(Pt 5), 509–547.
- Hibbett, D. S., Grimaldi, D., Donoghue, M. J. (1995). Cretaceous mushrooms in amber. *Nature*, 377(6549), 487.
- Horton, T. R. (Ed.). (2015). *Ecological Studies. Mycorrhizal Networks*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Huber, A. (2014). *Pilze in der Waldpädagogik. Forstliche Bildungsarbeit Aktuell*.
- Huber, A., Hahn, C. (2015). Pilze.: Sie dürfen nicht fehlen - weder im Wald noch im Biologieunterricht. *Praxis Der Naturwissenschaften - Biologie in Der Schule*, 64(4), 26–34.
- Ingold, C. T. (1965). *Spore liberation*,. Oxford: Clarendon Press.
- Jennings, D. H. (1999). *Fungal biology : understanding the fungal lifestyle* (2nd ed.). Oxford UK, New York NY: BIOS Springer.
- Kamel, L., Keller-Pearson, M., Roux, C., Ané, J. (2016). Biology and evolution of arbuscular mycorrhizal symbiosis in the light of genomics. *The New Phytologist*, 213(2), 531–536.
- Kirk, P. M., Cannon, P. F., Minter, D. W., Stalpers, J. A. (2011). *Ainsworth & Bisby's Dictionary of the Fungi*, (10th edition): Cabi Publishing.

- Klein, T., Siegwolf, R. T. W., Körner, C. (2016). Belowground carbon trade among trees in a temperate forest. *Science*, 352(6283), 342–344.
- Knudsen, H., Vesterholt, J. (2012). *Funga nordica: Agaricoid, boletoid, clavarioid, cyphelloid genera and gastroid genera*. (2. ed.). Copenhagen: Nordsvamp.
- Kothe, E. (2016). Signalmoleküle in der Mykorrhizasymbiose. In C. Deigele (Ed.), *Rundgespräche Forum Ökologie: Band 45. Die Sprache der Moleküle: Chemische Kommunikation in der Natur : Rundgespräch am 6. April 2016 in München* (Vol. 45, pp. 93–103). München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil.
- Kränzlin, F. (2005). Russulaceae: Milchlinge, Täublinge. In J. Breitenbach (Ed.), *Pilze der Schweiz: Beitrag zur Kenntnis der Pilzflora der Schweiz*. Luzern: Verl. Mykologia.
- Kutschera, W., Golser, R., Priller, A., Rom, W., Steier, P., Wild, E., . . . Oeggel, K. (2000). Dario-carbon dating of equipment from the Iceman. In S. Bortenschlager K. Oeggel (Hg.), *The Iceman and his Natural Environment* (pp. 1–10). Vienna: Springer Vienna.
- Kuyper, T., & Kiers, E. (2014). The danger of mycorrhizal traps? *The New Phytologist*, 203(2), 352–354.
- Lindahl, B. D., Tunlid, A. (2015). Ectomycorrhizal fungi – potential organic matter decomposers, yet not saprotrophs. *New Phytologist*, 205(4), 1443–1447.
- Lindau, G., Ulbrich, E. (1928). Abb. 3: Teil und Gesamthülle bei Basidiocarpn.
- Lindau, G., Ulbrich, E. (1928). *Die höheren Pilze, Basidiomycetes, mit Ausschluss der Brand- und Rostpilze* (Vol. 1). Berlin: Verlag von Julius Springer.
- Lüder, R. (2015). *Grundkurs Pilzbestimmung: Eine Praxisanleitung für Anfänger und Fortgeschrittene* (4., korrigierte und aktualisierte Auflage). *Quelle-&-Meyer-Bestimmungsbücher*. Wiebelsheim: Quelle & Meyer Verlag.
- Lüder, R. (2018). Wood wide web - Gemeinsam geht es besser. *Der Tintling*, 23(2), 4–8.
- Lüder, R., Probst, W. (2015). Ab in die Pilze! *Unterricht Biologie*, 39(406), 2–40.
- McGovern, P., Jalabadze, M., Batiuk, S., Callahan, M., Smith, K., Hall, G. R., . . . Lordkipanidze, D. (2017). Early Neolithic wine of Georgia in the South Caucasus. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 114(48), E10309-E10318.
- Ministerium für Bildung, Frauen und Jugend Rheinland-Pfalz. (2006). *RAHMENPLAN GRUNDSCHULE Teilrahmenplan Sachunterricht*. Mainz.

- Ministerium Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg. (2016). *Bildungsplan der Grundschule Sachunterricht*. Villingen-Schwenningen: Neckar Verlag.
- Mithöfer, C. (2016). *Die kleine Spore Frieda: Waldolix*.
- Montag, K. (2018). Heilpilz Bäckerhefe (*Saccharomyces cerevisiae*). *Der Tintling*, 23(3), 89.
- Moore, D. (1998). *Fungal morphogenesis. Developmental and cell biology series: Vol. 35*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Moore, D., Gange, A. C., Gange, E. G., Boddy, L. (2008). Chapter 5 Fruit bodies: Their production and development in relation to environment. In L. Boddy (Ed.), *British Mycological Society symposia series. Ecology of saprotrophic basidiomycetes (9780123741851)* (Vol. 28, pp. 79–103). Elsevier.
- Moore, D., Trinci, A. P. J., Robson, G. D. (2013). *21st century guidebook to fungi* (Repr). Cambridge: Cambridge University Press.
- Müller, E., Löffler, W. (1992). *Mykologie: Grundriß für Naturwissenschaftler und Mediziner ; 31 Tabellen* (5., durchges. Aufl.). *Flexibles Taschenbuch BIO*. Stuttgart: Thieme.
- Müller, S., a. (1992). Pilze in der Stadt. *Praxis Der Naturwissenschaften Biologie*, 41(7), 26–28.
- Müller, S., b. (1992). Zur Rolle der Pilze im Haushalt der Natur. *Praxis Der Naturwissenschaften Biologie*, 41(7), 11–14.
- Müller, S., Gerhardt-Dircksen, A. (1992). Pilze an Baumstümpfen und anderem Totholz. *Praxis Der Naturwissenschaften Biologie*, 41(7), 15–19.
- Murati, E., Rexhepi, B. (2018). EDIBLE AND POISONOUS MUSHROOMS. *ECOTEC - Journal of Science, Enviroment and Technology*, 1(1), 42–44.
- Mykologisches Informationszentrum Wismar. Abb. 12 Der Habitus des Edel-Reizkers. URL: steinpilz-wismar.de/cms/wp-content/uploads/2009/08/k-p1000843.jpg (26.7.2018).
- Naadem, S. M., Khan M. Y., Waqas, M. R., Binyamin, R., Akhtar, S., Zahir, Z. A. (2017). Arbuscular Mycorrhizas: An Overview. In Q. WU (Ed.), *ARBUSCULAR MYCORRHIZAS AND STRESS TOLERANCE OF PLANTS* (1st ed.). [S.l.]: SPRINGER VERLAG, SINGAPOR.
- Nentwig, W., Bacher, S., Brandl, R. (2017). *Ökologie kompakt* (4., korrigierte Auflage). *Lehrbuch*. Berlin: Springer Spektrum.
- Norros, V., Rannik, Ü., Hussein, T., Petäjä, T., Vesala, T., Ovaskainen, O. (2014). Do small spores disperse further than large spores? *Ecology* 95 (6), 1612-1621.
- Oberwinkler, F. (2012). Evolutionary trends in Basidiomycota. *STAPFIA*, 96, 45–104.

- Pegler, D. N., Pearce, G. D. (1980). The Edible Mushrooms of Zambia. *Kew Bulletin*, 35(3), 475.
- Peintner, U., Pöder, R. (2000). Ethnomycological remarks on the Iceman's fungi. In S. Bortenschlager, K. Oeggl (Hg.), *The Iceman and his Natural Environment* (pp. 143–150). Vienna: Springer Vienna.
- Pilzverein Region Baden. Abb. 13 Habitus des grünblättrigen Schwefelkopfes. URL: pilz-baden.ch/galerie/wissenschaftlich/hypholoma-61/hypholoma_fasciculare-170 (26.7.2018).
- Powell, J. R., Rillig, M. C. (2018). Biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi and ecosystem function. *The New Phytologist*.
- Preußler, O. (1969). *Neues vom Räuber Hotzenplotz* (3rd ed.). Stuttgart: K. Thienemanns Verlag.
- Probst, W. (1993). Dungpilze. *Unterricht Biologie*, 17(183), 40–44.
- Reid, A., Greene, S. E. (2012). *How Microbes Can Help Feed the World*.
- Roy-Bolduc, A., Laliberté, E., Hijri, M. High richness of ectomycorrhizal fungi and low host specificity in a coastal sand dune ecosystem revealed by network analysis. *Ecology and Evolution*, 6(1), 349–362.
- Schirkonyer U., Rothe G. (2010). Anpassung symbiotischer Pilze an Waldbäume - Stoffwechsel und Klima. In Bundesamt für Naturschutz (Ed.), *Biodiversität und Klima - Vernetzung der Akteure in Deutschland XII* (pp. 91–92).
- Schüßler, A. (2004). Das fünfte Pilz-Phylum: Die Glomeromycota. *BIOspektrum*, 10(6), 741–742.
- Schüßler, A. (2009). Struktur, Funktion und Ökologie der arbuskulären Mykorrhiza. In A. Bresinsky (Ed.), *Rundgespräche der Kommission für Ökologie: Vol. 37. Ökologische Rolle von Pilzen: Rundgespräch am 23. März 2009 in München* (Vol. 37). München: Pfeil.
- Schwantes, H. O. (1996). *Biologie der Pilze: Eine Einführung in die angewandte Mykologie ; 29 Tabellen. Uni-Taschenbücher: Vol. 1871*. Stuttgart: Ulmer.
- Seiler, M. (2017). Abb. 18: Eine Schülerin bedankt sich beim Autor für Pilz-Unterricht.
- Seiler, M. (2018). Abb. 1: Ein Pilzmyzel durchzieht ein Holzbrett
- Seiler, M. (2018). Abb. 5: Lamellen des Gemeinen Weiß-Täublings (*Russula delica*)
- Seiler, M. (2018). Abb. 6: Röhren des Wurzelnden Bitter-Röhrlings (*Caboboletus radicans*)
- Seiler, M. (2018). Abb. 9: Ein Braunfäuleerreger zersetzt einen Baumstamm.
- Seiler, M. (2018). Abb. 10: von Weißfäuleerregern zersetztes Holz.
- Seiler, M. (2019). Abb. 7: Oberflächenvergrößerung durch Stacheln beim Igel-Stachelbart (*Hericium erinaceus*)

- Senckenberger Forschungsinstitut. Neandertaler-Ernährung: Regionale Vielfalt statt immer nur Fleisch. URL: spektrum.de/news/regionale-vielfalt-statt-immer-nur-fleisch/1072015 (26.07.2018)
- Sharma, R. (2017). Ectomycorrhizal Mushrooms: Their Diversity, Ecology and Practical Applications. In A. Varma, R. Prasad, N. Tuteja (Hg.), *Mycorrhiza - Function, Diversity, State of the Art* (pp. 99–131). Cham: Springer International Publishing.
- Simard, S., Asay, A., Beiler, K., Bingham, M., Deslippe, J., He, X., . . . Teste, F. (2015). Resource Transfer Between Plants Through Ectomycorrhizal Fungal Networks. In T. R. Horton (Ed.), *Ecological Studies. Mycorrhizal Networks* (Vol. 224, pp. 133–176). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Smith, S. E., Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Amsterdam: Academic Press.
- Song, Y. Y., Zeng, R. S., Xu, J. F., Li, J., Shen, X., Yihdego, W. G. (2010). Interplant Communication of Tomato Plants through Underground Common Mycorrhizal Networks. *PLOS ONE*, 5(10).
- Starosta, B. (1991). Empirische Untersuchung zur Methodik des gelenkten entdeckenden Lernens in der freien Natur und über den Einfluß der Unterrichtsform auf kognitiven Lernerfolg und Interesse für biologische Sachverhalte. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht (MNU)*, 44 (7), 422-431.
- Stiftung Haus der kleinen Forscher. (2018). Landessieger Rheinland-Pfalz Im Reich der Pilze. URL: forschergeist-wettbewerb.de/preistraeger/preistraeger-2018/landessieger-2018/landessieger2018-rheinland-pfalz/ (26.7.2018)
- Tedersoo, L., Sánchez-Ramírez, S., Kõljalg, U., Bahram, M., Döring, M., Schigel, D., . . . Abarenkov, K. (2018). High-level classification of the Fungi and a tool for evolutionary ecological analyses. *Fungal Diversity*, 90(1), 135–159.
- Tegeler, K. (2016). *Leitfaden zum Färben mit Pilzen*.
- Touloss, R. E. (2005). Amanita—distribution in the Americas with comparison to eastern and southern Asia and notes on spore character variation with latitude and ecology. *MYCOTAXON*, 93, 189–231.
- Varma, A., Prasad, R., Tuteja, N. (Hg.). (2017). *Mycorrhiza - Function, Diversity, State of the Art*. Cham: Springer International Publishing.
- Vogt, H. (1993). Ein Männlein steht im Walde. *Unterricht Biologie*, 17(183), 14–17.

Wagner, E.. Abb. 16: Ein Riesenbovist-Fruchtkörper mit 2€ Stück als Größenvergleich. URL: 123pilze.de/DreamHC/Download/Riesenbovist.htm (26.7.2018).

Wang, Z., Gudibanda, A., Ugwuowo, U., Trail, F., Townsend, J. (2018). Using evolutionary genomics, transcriptomics, and systems biology to reveal gene networks underlying fungal development. *Fungal Biology Reviews*. Advance online publication.

Weiß, M., Waller, F., Zuccaro, A., Selosse, M. (2016). Sebacinales - one thousand and one interactions with land plants. *The New Phytologist*, 211(1), 20–40.

Wösten, H. A.B., Wessels, J. G.H. (1997). Hydrophobins, from molecular structure to multiple functions in fungal development. *Mycoscience*, 38(3), 363–374.

WU, Q. (Ed.). (2017). *ARBUSCULAR MYCORRHIZAS AND STRESS TOLERANCE OF PLANTS* (1ST ED. 2017). [S.l.]: SPRINGER VERLAG, SINGAPOR.

Über den Autor:

Marius Seiler ist Jahrgang 1995, studiert Grundschulpädagogik mit den Fächer Deutsch, Biologie und katholische Theologie an der Universität Landau. Er ist Hobbymykologe mit besonderen Interessenschwerpunkten auf Nachwuchsarbeit, Ektomykorrhiza und der Ordnung Boletales, besonders die Gattungen *Leccinum* und *Boletus*.

