

Pilze als nützliche und schädliche Organismen für Mensch, Tier und Pflanze



Gliederung

Vorwort	11
Einleitung	13
Neueste Erkenntnisse zur Phylogenie der Pilze	14
Das System der Pilze	14
Übersicht über die Fortpflanzungsformen der Pilze und ihre Benennung	20
Unperfekte Pilze ohne Hauptfruchtform	22
Die ernährungsphysiologischen Gruppen der Pilze	22
Lebensansprüche der Pilze	25
Pilze verbreiten sich durch Sporen	26
Die Zellwände der Pilze bestehen aus Chitin	26
Worin unterscheiden sich Pflanzen und Pilze stoffwechselphysiologisch?	27
Pilze als Nützlingle des Menschen	29
Hefen als Gär-Organismen	29
Würzige Käse, gereift mittels Pilzen	32
Bestimmte Fleischwaren lassen sich durch einen Schimmelüberzug haltbar machen	35
Penicillin - seine Entdeckungsgeschichte	35
Antibiotika - gebildet von Actinomyceten	36
Suche nach weiteren Antibiotika	38
Wirkungsweise von Antibiotika	41
Selbstverständlicher, natürlicher Hautpilzbesatz	42
Organtransplantationen erfordern Immundepressiva	42
Sanierung von belasteten Böden mittels Pilzen	42
Bioleaching von Metallen mittels Pilzen	43
Die Kompostierung organischer Abfälle mittels Pilzen	43

Selbst Duft- und Aromastoffe für die Lebensmittelindustrie	46
Vergärung von pflanzlichen Abfällen zu Industrie-Alkohol	46
Biologische Erzeugung von Chemieprodukten durch Fermentation mittels Pilzen	46
Gewinnung von Citronensäure mittels Schimmelpilzen	46
Der Ascomycet <i>Aspergillus</i> , heute eine manipulierte „Chemiefabrik“	49
Enzym-Herstellung mittels Pilzen	49
Mit von Pilzen erzeugte weitere Pharmazeutika	49
Das Spektrum antibiotisch wirkender Pilz-Sekundärstoffe	50
Kultivierte Pilze sind Saprophyten	50
Die Speisepilze und ihr ernährungsphysiologischer Wert	51
Zuchtpilze sind fast ganzjährig im Angebot	52
Pilze als Schädlinge des Menschen	61
Pilzkrankungen bei Menschen	61
Auch bei gesteigerter Hygiene kann der Mensch von Mykosen betroffen sein	64
Fußpilze sind durchaus weitverbreitet	65
Pilzbelastungen am Arbeitsplatz	67
Anti-Pilz-Diät	68
Pilzkrankungen bei Mensch und Tier durch Hefen	69
Selbst auf dem Kopf gedeihen Hefe-Pilze	69
Vor Schimmelpilzen ist nichts sicher	69
Schimmelbefall in Wohnungen	71
Wie kann man sich dem Schimmelpilz-Befall auf und in Nahrungsgütern erwehren?	71
Schimmelpilz-Befall auf Nahrungsmitteln	73
Vermeidung von Pilzbefall von Nahrungsgütern	74
Mycotoxin-Gifte, gebildet von Schimmelpilzen	76
Blumenerde von Zimmerpflanzen kann Pilz-Infektionsquelle sein	79
Der Mutterkornpilz kann tödlich, aber auch segensreich wirken	79
Der Giftcocktail im Pilzreich und seine Wirkungen	82
Pilzvergiftungen sollten ernst genommen werden	83
Allergien, ausgelöst durch Pilzsporen	86

Pilze als Nützlinge der Tiere	87
Pilzzuchtgärten bei Blattschneider-Ameisen und Termiten	87
Auch Tiere ergötzen sich an Pilzen	88
Hornpilze erschließen sich keratinhaltige Reste	89
Pilzmücken machen Pilze madig	89
Pilzmücken lassen sich von Pilz-Imitationen täuschen	90
Pilzkäfer jagen in Pilzen Larven anderer Insekten	91
Tierausscheidungen enthalten für Pilze noch verwertbare Nährsubstrate	92
Ambrosia-Pilzmyzelien bei Borkenkäfern, Holzwespen und Gallmücken	93
Tierfutterherstellung mittels Pilzen	94
Pilze als Schädlinge der Tiere	95
Pilzkrankungen bei Tieren	95
Pilze, die sich im Wasser ausbreiten und Fische befallen	96
Hautpilze bei Tieren und deren Übertragungsrisiko	97
Pilze fangen aktiv Nematoden	99
Ameisen werden zur Ausbreitung eines Hefepilzes manipuliert	100
Biologische Schädlingsbekämpfung mittels Pilzen	100
Pilze als Nützlinge der Pflanzen	103
Flechten - ein Dreierbund aus Pilzen und Algen	103
Mykorrhiza - eine Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzen	110
Symbiose von Pilzen mit Orchideen	114
Bleiche, chlorophyllose Pflanzen „parasitieren“ Pilze	115
Pilze als Organismenbestand im Ökosystem Wald	115
Das Primat der Pilze im Abbau von Holzbestandteilen	116
Holzersetzung durch Pilze	117
Die Pilzsukzession im Verlauf der Zersetzung von separiertem Laub und von abgestorbenem Holz im Wald	119
Die Aufarbeitung von verbleibendem Holz im Wald durch Pilze	121
Die Zersetzungskonkurrenz von Baumpilzen auf Stubben	122
Holzverfärbung von eingeschlagenem Holz durch Pilze	123
Schutz vor holzzersetzenden Pilzen	124

Leicht ausformbares Mykoholz	124
Herbstlaub wird auch mittels Pilzen in den Stoffkreislauf rücküberführt	125
Pilze als Schädlinge der Pflanzen	129
Durch Pilze verursachte Pflanzenkrankheiten	129
Pilze als Parasiten auf Pflanzen	131
Die Infizierung von Wirtspflanzen durch Pilze	131
Befallsabläufe von Schadpilzen an Pflanzen	132
Die Zersetzungsbandbreite saprophytischer Pilze	133
Die Rolle von Pflanzenwuchsstoffen beim Infektionsvorgang von Pilzen	133
Brandpilzbefall führt zu erheblichen Ernteverlusten	135
Rostpilze sind weltweit verbreitete Schadpilze	136
Getreiderost mit Wirtswechsel	136
Morphologische Umgestaltung durch Pilzbefall	138
Mehltau als Pilzkrankungen an oberirdischen Pflanzenteilen	138
Der Eichen-Mehltaupilz überzieht ganze Blattoberflächen	142
Der Grauschimmel ist kein wirtsspezifischer Pilz	143
Die Umfallkrankheit vernichtet aufgehende Saat	144
Die Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel hat vormals Hungersnöte ausgelöst	144
Der Pilz <i>Ophiostoma</i> rafft ganze Ulmenpopulationen dahin	145
Wichtige parasitische Pilze an Bäumen	146
Die Birke ist Wirt für viele Pilze	149
Der Hallimasch nimmt Bäume in die „Mangel“, aber seine Pilze sind verzehrfähig	151
Wirtswechsel zwischen Johannisbeere und Weymouth-Kiefer	152
Pilze als Zersetzer, Schmarotzer oder Parasiten auf anderen Pilzen	153
Algen werden von Unterwasser-Pilzen parasitiert	154
Mykoviren befallen auch Pilze	154
Pilzerscheinungs-Phänomene	157
Frische Trüffel – ein kulinarischer Hochgenuss	157
Lorcheln sind keine Morcheln	159
Verwechslungen zur hochgiftigen Frühjahrs-Lorchel	160
Der Knollenblätterpilz ist tödlich giftig	160
Der Fliegenpilz, einer der farbigsten Schirmpilze	162

Der Panther-Pilz ist ein verbreiteter Mykorrhiza-Pilz, aber hoch giftig	163
Die Stinkmorchel lockt unwiderstehlich Aasfliegen an	164
Auch andere Pilze verströmen auffällige Düfte	165
Ein exotischer Einwanderer aus Australien	165
Im Wald können einem Erdsterne begegnen	165
Der Hallimasch, ein Pilz-Phänomen	166
Spitzhorn-Blätter mit schwarzen „Teerflecken“	166
Aktive Ausbreitung der Sporangien beim Pillenwerfer	166
Auch Pilze nehmen Erdschwerkraft wahr	167
Pilzliche Hexenringe – selbst auf kleinsten Rasenflächen	168
Pilze im eigenen Garten	168
Das ganze Innere von Hartbovisten geht in Sporen auf	168
Der Hausschwamm kann Holzgebäude ruinieren	169
Rußtaupilze ernähren sich von Blattlaus-Ausscheidungen	169
Pilz-Sammel-Verhalten	171
Eine Anmerkung für den Pilz-Laien vorweg	171
Unbedingt zu beachtende Regeln beim Pilzsammeln	171
Zum Pilzsammeln gehören Grundkenntnisse	171
Die Charakterisierung der Hutpilze beruht auf der Ausformung von Hut, Stiel, Pilzgewebe und Sporen	172
Struktur der Fruchtkörper der Basidiomyceten	173
Ausformungen der auffälligsten Pilzfruchtkörper der Basidio- und Ascomyceten	174
Verbreitung von Pilzsporen	175
Wann ist Pilzzeit?	175
Kann das Pilzsammeln dem Pilzbestand schaden?	177
Häufigkeit von Giftpilzen	178
Lebensdauer von Pilzfruchtkörper	179
Radioaktive Belastung von in der Natur gesammelten Pilzen	180
Pilze als Anreicherungsspezialisten für Schwermetalle	180
Genutzte Literatur	181
Der Autor	182

Einleitung

Pilze gehörten in der Evolution zu den ersten Organismen auf der Erde und sie sind heute mit ihrer Vielgestaltigkeit und ihrer scheinbar relativen Anspruchslosigkeit in allen ökologischen Nischen der Erde anzutreffen. Sie begegnen uns ständig im täglichen Leben als Symbionten, Saprophyten, Parasiten oder Kommensalen und beeinflussen unser Handeln in vielerlei Facetten.

Die Pilze – und auch die Bakterien – sind unverzichtbare Organismen im Stoffkreislaufgeschehen auf unserer Erde. Ohne sie – obwohl nur bedingt sichtbar – würden wir in organischen Abfällen ersticken, würde das Leben auf der Erde sehr schnell zum Erliegen kommen. Sie sind es, die letztendlich das Laub der Bäume im Wald und Tierleichen in ihre Ausgangssubstanzen aufarbeiten und für andere Organismen wieder verfügbar machen. Sicher, unter ihnen gibt es auch Vertreter, die geschwächte oder sogar noch aktiv lebende Organismen angreifen, mit „Giften“ beeinträchtigen,

daraus Nutzen ziehen und für weitere Schwächeparasiten angreifbar, nutzbar machen.

Pilze sind und waren Teil unserer Ernährung als gesammelte oder gezüchtete Pilze, sowie in der Erstellung von Brot, Käse, Wein und Bier. In der biotechnologischen Produktion in industriellem Maßstab werden heute mit Pilzvertretern viele Substanzen erzeugt wie Antibiotika, Steroide, Enzyme, organische Säuren, Vitamine und Alkohole.

Natürlich werden auch ihre Schäden, die sie anrichten, Krankheiten, die sie auslösen, skizziert, damit man rechtzeitig gegensteuern kann. Kurz, es geht um

Pilze als Nützlinge und Schädlinge für Mensch, Tier und Pflanze.

Pilze sind keine Pflanzen, obwohl oft mit ihnen vergesellschaftet. Sie bilden ein eigenes Organismenreich, das zuvor vorgestellt werden soll.

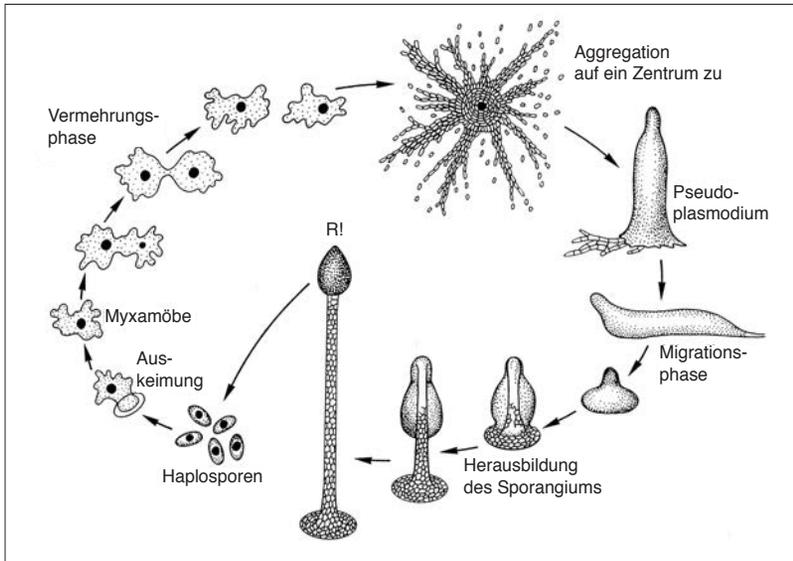


Abb. 1: Lebenszyklus von *Dictyostelium*, dessen Herausbildung des Sporangiums annähernd pilzähnlich aussieht.



Abb. 2: Die Kohlhernie (*Plasmodiophora brassicae*) löst an den Wurzeln von Kohlpflanzen erhebliche Schwellungen aus, in deren Wurzelrinde Sporen gebildet werden.

zellularräumen der Blätter, wie z. B. die Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel oder der Falsche Mehltau auf der Weinrebe. Der Echte Mehltau gehört zu den Ascomyceten (vgl. spätere detaillierte Beschreibung).

Diese pilzähnlichen Protisten zeichnen sich – sofern sie

überhaupt schon Hyphen aufweisen – durch ein in der Regel querwandloses, unseptiertes Myzel aus (Abb. 3), welches höchstens sekundär septiert, aber porenlos ist. Das Myzel der Echten Pilze ist dagegen immer septiert und weist unterschiedliche Durchbrüche auf (Abb. 3).

Die eigentlichen **Echten Pilze** besitzen immer spinnwebfeine Hyphen, die das zu nutzende Substrat durchziehen und oberflächlich nur durch ihre Fruchtkörper zu sehen sind. Sie sind zwar auch noch auf feuchtes Milieu angewiesen, können aber ihre Sporenträger in den wechselfeuchten Luftraum hineinwachsen lassen.

Das Charakteristikum der **Jochpilze** ist die isogame Gametangiogamie (vgl. noch einmal anschließende Übersicht), wobei zwei Kopulationshyphen aufeinander zuwachsen, dabei vielkernige Hypnozygoten abschnüren, die in einer Zygote miteinander verschmelzen. Dabei gehen aus der Vereinigung von Paarkernen nach einer Meiose plus- und minus-Sporen hervor, aus denen ein getrennt wachsendes Myzel hervorgeht. Das Aufeinanderzuwachsen des plus- und minus-Myzels mit der Bildung einer Brücke (Abb. 4), eines Jochs, hat zur Namensgebung geführt. Diese generative Vermehrungsform ist allerdings selten zu beobachten.

Auffälliger bei diesen Jochpilzen ist die ungeschlechtli-

Pilze als Nützlige des Menschen

Hefen als Gär-Organismen

Brot, Bier, Wein sind Produkte, an deren Erzeugung Hefen beteiligt sind. Hefen sind keine taxonomische Gruppe, sondern eine Wuchsform einzelliger, einfacher Pilze, die sich durch Knospung vermehren, nicht durch Geschlechtsvorgänge (=Fungi imperfekti). Die meisten Hefen sind den Ascomyceten zugehörig, bilden aber normalerweise keine Fruchtkörper. Durch fortlaufende Sprossung können sie sich unheimlich schnell vermehren (Abb. 14). Bei der Sprossung stülpt sich die Zellwand nach außen, in die ein abgeteilter Kern einwandert. Danach löst sich die Tochterzelle von der Mutterzelle. Der Chitinanteil in den Zellwänden der Hefen ist klein bis fehlend. Die Zellwände sind vielmehr aus β -Glucan aufgebaut. Optimale Bedingungen vorausgesetzt,

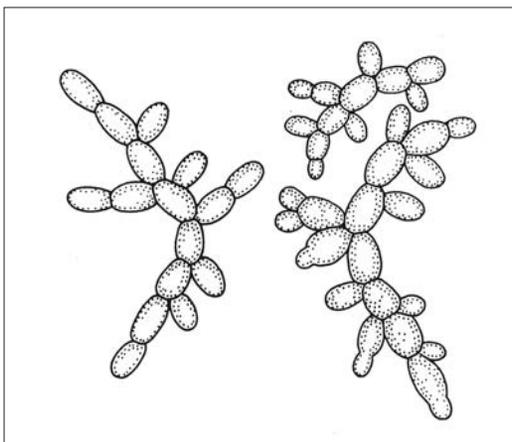
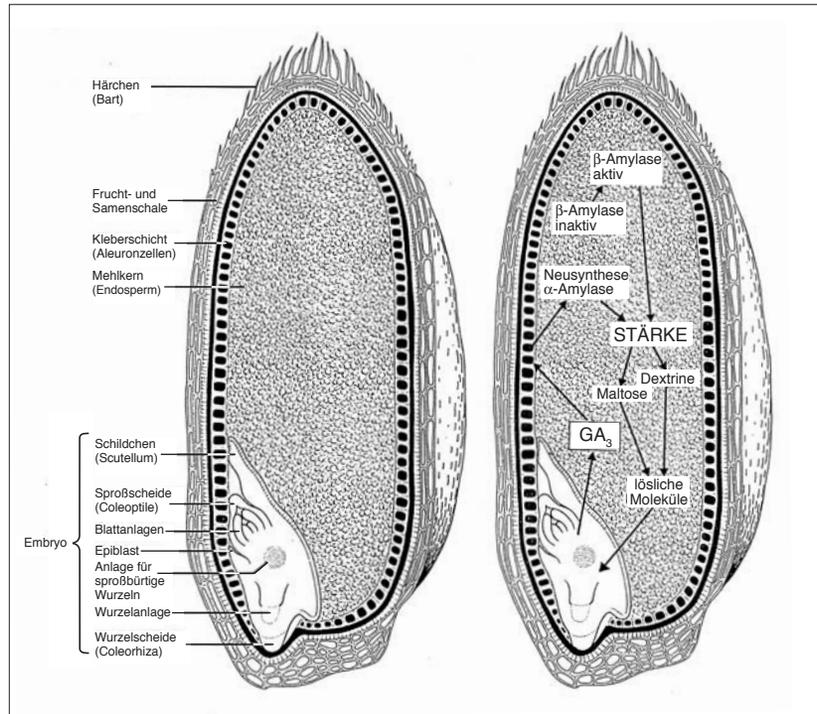


Abb. 14: Schema zum Knospungsbild von Hefen, die sich dadurch vegetativ vermehren.

können nach 6 Stunden aus einer Hefezelle schon 16 Hefezellen entstanden sein, nach einem Tag bereits 70.000 und nach 2 Tagen schon unglaubliche 5 Milliarden. Nur Bakterien können sich noch schneller vermehren. Die Bäckerhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) war ursprünglich das erste Objekt, deren Genom aufgeklärt werden konnte.

Zur Herstellung von Backwaren wie **Brot** und verschiedenen **Kuchen** werden dem Mehl-Wasser-Gemisch bestimmte Hefen zugefügt. Bei Sauerteigbrot sind im Teigansatz neben den Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*) noch Milchsäurebakterien (*Lactobacillus plantarum*) aktiv, welche ihnen durch den Vergärungsvorgang den typischen Geschmack verleihen. Was passiert dabei? Durch Vermahlung der Getreidekörner wird die im Mehlkörper gespeicherte Stärke zugänglich. Sie wird durch die vom mitvermahlene Keimling und der Aleuronschicht (Abb.17) freigesetzte Amylase im angesetzten Teig „verzuckert“, d. h. die langkettige Stärke in kurzkettige Glukose zerlegt. Die Glukose wird dann von den Bakterien in Milchsäure und CO_2 und von den Hefen in Ethanol und CO_2 umgewandelt. Bei Hefeteigen von Weißbrot und Kuchen sind nur die Hefe-Organismen aktiv; sie schmecken weniger säuerlich, weil für den Start der Vergärung auch Zucker zugefügt wird. Das im Vergärungsprozess freigesetzte CO_2 lässt den Teig aufgehen, d. h. die Struktur wird aufgelockert und beim Ausbacken im Ofen gefestigt. Brot und Kuchen wird dadurch im Verzehr leichter verdaulich. Im Backprozess verdampft das CO_2 und auch der Alkohol bis auf winzigste geschmackbildende Spuren. Das vorherige Aufgehen kann auch mit Backpulver erreicht werden, eingesetzt vor allem in flach bleibenden Kuchen.

Abb. 15: Querschnitt eines Weizenkorns (links) und der in ihm ablaufenden Mobilisierungsvorgänge beim Keimen (rechts) angestoßen durch vom Embryo abgegebenem Gibberellin (GA).



Die Backhefe, die sich wohlgermerkt durch Sprossung vermehrt (Abb. 14), wird in belüfteten Tanks unter Zugabe von Melasse als Nährsubstrat angezogen. Nach Separation, Waschung und Zentrifugieren wird sie bei niedrigen Temperaturen zu handelsüblichen Portionen verpresst. Beim Ansetzen von Hefeteigen kommen die Hefezellen wieder auf Touren, teilen sich und veratmen dabei Zucker und/oder Stärke. Bei Backtemperaturen über 60 °C sterben sie ab, wobei auch der gebildete Alkohol verdampft.

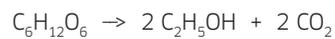
Die Hefezellen können sowohl an der Luft als auch anaerob unter Luftabschluss Stoffwechsel betreiben und sich vermehren.

Bei Anwesenheit von Luft, wie beim Brotbacken, produzieren sie aus Kohlenhydraten mittels Sauerstoff Kohlendioxid und Wasser:



Das freigesetzte CO₂ lockert wohlgermerkt den Brotteig. Steht Sauerstoff in der Luft nicht zur Verfügung, so

betreiben sie eine anaerobe Lebensweise, wobei der Abbau des Zuckers nur bis zum noch energiereichen Alkohol als Ethanol abläuft:



Das ist im Vergärungsprozess hin zum Bier und Wein das Ziel. Bei ihnen soll der Alkohol erhalten bleiben und den Genießer „beleben“.

Bier läßt sich aus allen stärkehaltigen Getreide gewinnen, auch aus Mais, Weizen und Reis. In Deutschland verwendet man dafür aufgrund des Reinheitsgebotes ausschließlich Gerste. Diese enthält gegenüber anderem Getreide wenig Zucker, aber viel Stärke und viel Amylase, welche die Stärke im Prozess des Mälzens fast vollständig verzuckert. Durch das Einquellen in Wasser am Beginn des Mälzens bei 10–15 °C beginnt die Gerste zu keimen, wobei aus der Aleuronschicht (Abb. 15) das Enzym Amylase freigesetzt wird, welche die Stärke fast restlos „verzuckert“, d. h. für Hefen zugänglich macht. Nach 7–9 Tagen wird dieser Prozess durch Erhitzen

Pilze als Nützlinge der Tiere

Pilzzuchtgärten bei Blattschneider-Ameisen und Termiten

Die in den Tropen von Mittel- bis Südamerika beheimateten **Blattschneider-Ameisen** tragen Stück für Stück „zerschnittene“ Blätter aufrecht zwischen ihren Mandibeln (Abb. 33) über Ameisen-Strassen in ihre Baue ein, wobei sie unterwegs von im Vergleich riesigen Soldaten geschützt werden. Gelegentlich reiten auf den Blattschneidern auch kleinere Ameisen mit, die die an sich wehrlosen Blattschneider-Ameisen gegen Angriffe von Buckelfliegen abwehren, die ansonsten ihre Eier in diesen plazieren würden. Die eingetragenen Blattstücke

werden in den Bauen von Arbeiterinnen geringerer Größe zunächst von Mikroorganismen gereinigt, weiter in kleinere Stücke zerschnitten und zu einem Brei zerkaus, die Grundlage für die Zucht von Pilzen, deren knollig anschwellende, nährstoffreiche Hyphenenden (Abb. 34) den Ameisen als einzige Nahrung dienen. Es sind Hyphen von Ständerpilzen der Gattung *Rozites* und *Hypomyces*, wobei je Bau nur eine Pilzart kultiviert wird, die in den Höhlungen des Ameisenbaues jedoch nicht zur Fruktifikation kommen, weil ihre Hyphenenden regelmäßig abgegrast werden. In Nestern der Ameisengattung *Atta* konnten über 1000 Nachzuchtkam-



Abb. 33: Eine Blattschneider-Ameise transportiert ein ausgeschnittenes Blattstück zum Bau.

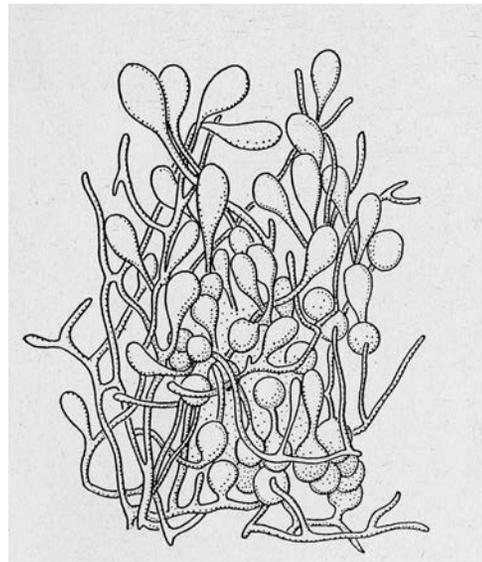


Abb. 34: Schema eines Pilzmycelrasens mit kolbenartigen Anschwellungen, die der Blattschneiderameise *Atta texana* als Nahrung dienen (nach Wheeler).



Triplax russica ist mit 5–6,5 mm der größte Baumschwammkäfer. Ihr Halsschild und die Beine sind immer rot bis gelb gefärbt. Er lebt mit seiner Larve und selbst in Baumschwämmen, bevorzugt oft im Zunderschwamm auf Buchen.



Dacne bipustulata ist ähnlich gefärbt, aber mit 2,5–3,3 mm kleiner und schmaler. Er lebt in Baumschwämmen von Laubbäumen, auch wenn diese ganz trocken sind.



Tritoma bipustulata ist 3,5–4 mm lang und kurz-oval gebaut, schwärzlich-rötlich gefärbt. Er lebt ganzjährig in Baumschwämmen. Die Fühler sind keulig verkürzt.



Diaperis boleti hat ein mehr hochgewölbten, kurz-eiförmigen Korpus mit einer dunkelbraunen Farbe und zwei hellbraunen, ausrandenden Querbändern. Er findet sich häufig verbreitet in verschiedenen Baumschwämmen.



Eledona agricola hat einen schmalen, schlanken, braunen Körper mit gepunkteten Kopf und Thorax, während die Flügeldecken längs gestreift sind. Er findet sich oft in großer Anzahl in Fruchtkörper des Schwefelporlings, bevorzugt auf Weiden.

Abb. 38: Vertreter einiger Baumschwammkäfer, die selbst oder mit ihren Larven in Pilzfruchtkörper leben.

abgestorbenen, stehenden oder umgefallenen toten Bäumen weiterwachsen. Sie müssen aber alle den für Pilze charakteristischen Wandbaustein Chitin für sich erschließen können, in der Regel mit in ihren Magen-darmtrakt lebenden, symbiontischen Hefen (vgl. Ambrosia-Pilzmyzelien). Die meisten Käfer finden sich an Pilzen erst im Stadium der Zersetzung ein, während junge Pilze noch käferfrei sind. Sie leben in den Pilzen in der Regel von Fliegen- und Mückenlarven

Es gibt aber auch Käfer, die Pilzmyzelien auf verrottendem Laub oder Holzresten abäsen. Sie werden daher als Schimmelkäfer bezeichnet. Die Larven von Marienkäfer fressen nicht nur Blattläuse und Schildläuse, sondern auch „Rasen“ von Mehltaupilzen.

Der rotbraun-gestreifte Pilzkurzflügler (*Oxyporus rufus*) kann sich auf im Freien aufgestellte Anzucht-kulturen des Austernpilzes und der Braunkappe einfinden und diese befallen, wogegen nur ein frühzeitiges Beernten der Fruchtkörper und ein Abdecken der Strohballen mit Folie helfen kann.

Tierausscheidungen enthalten für Pilze noch verwertbare Nährsubstrate

Die von Tieren, dem Menschen eingeschlossen, aufgenommene Nahrung kann nicht restlos verwertet werden, d.h. die Ausscheidungen enthalten noch Substanzen, die Bakterien und Pilze verwerten können. Die Ausscheidungen von ausschließlichen Fleischfressern werden vorwiegend von Bakterien, die von Pflanzenfressern dagegen bevorzugt von aeroben Pilzen weiter rezykliert, denn deren Ausscheidungen enthalten noch viel Zellulose und Lignin, zu deren Verwertung fast ausschließlich nur die Pilze befähigt sind.

In dem Dung herbivorer Tiere wie Pferde, Kühe, Schafe, Rehe, Hirsche, Hasen und Kaninchen sind die Reste von abgeweideten Gräsern und Kräutern enthalten, an denen schon oft Pilzsporen anhaften, die normalerweise nicht von den Verdauungssäften dieser Tiere angegriffen werden. Sie werden von ihnen vielmehr soweit aufgeschlossen, dass sie sofort nach dem Aus-

Pilze als Nützlinge der Pflanzen

Flechten – ein Dreierbund aus Pilzen und Algen

Flechten sind Dreifachorganismen, gebildet aus Hyphen von Pilzen, meistens von Ascomyceten, seltener von Basidiomyceten, sowie einem weiteren hefeartig sich vermehrenden Basidiomyceten und von einzelligen oder fädigen Vertretern von Grünalgen, seltener von prokaryotischen, aber fotoautotrophen Cyanobakterien (fälschlich als Blaualgen bezeichnet), ganz selten von Braunalgen (*Phaeophyceae*) aus der Gattung *Verucaria*. Alle drei Organismen sind in der Erscheinungsform der Flechten zu einer morphologischen wie auch funktionellen Einheit mit erstaunlichen ökologischen Leistungen verschmolzen. Sie haben sich in dieser symbiontischen Vereinigung Lebensräume erschlossen, die von höheren Pflanzen kaum, höchstens nachfolgend besiedelt werden. Sie wachsen konkurrenzlos auf Felsen, Rinden von Bäumen, dem Erdboden von Tundren, auf totem Holz, in den Tropen auch auf Blättern und im Spritzbereich der Meeresküsten und submers im Süßwasser und im Meer. Schließlich können sich Flechten sogar im Thallus anderer Flechten einnisten.

Dass Flechten in einer Symbiose aus drei Partnern bestehen, konnte erst 2016 mit der Möglichkeit der molekularen Aufklärung des Genoms erkannt werden, nämlich eines bis dahin völlig unauffällig beteiligten hefeartigen Pilzes, der sich einzellig abschnürt, allerdings kein Ascomycet wie die Hefen ist, sondern ein Basidiomycet namens *Cypho basidium* aus der Gruppe der Rostpilz-Verwandten. Er ist aber kein Parasit, sondern ein nützlicher Symbiosepartner in der Abwehr anderer unerwünschter Mikroben. **Flechten sind also eine Lebensgemeinschaft aus 1 Schlauchpilz + 1 sich hefeartig teilenden Ständerpilz (=Cypho basidium) + 1**

photosynthetisch aktive Alge und manchmal einem Cyanobakterium als Stickstoffbinder.

Es gibt etwa 20.000 verschiedene Flechtenarten, deren morphologisches Erscheinungsbild fast ausschließlich vom Pilz (dem **Mycobionten**) bestimmt wird, seltener vom Algenpartner, dem **Phycobionten**.

Diese Ausnahme findet sich beispielsweise bei den **Galertflechten**, die fast ausschließlich auf periodisch- oder immerfeuchten Standorten vorkommen. Die formlose gallertartige Masse wird von den Schleimhüllen der Cyanophyceen-Kolonien gebildet, durch welche die Pilzhypen hindurch wachsen. Beim Austrocknen schrumpfen diese Flechten zu einem papierdünnen Überzug.

Bei **Faden-** oder **Haarflechten** werden die fädigen Vertreter der Cyanobakterien oder Algen von den Pilzhypen umspinnen. Es sind mikroskopisch kleine Formen, deren Thallus ungeschichtet ist.

Bei den nachfolgend beschriebenen Formen (Abb. 43) liegt dagegen ein geschichteter Thallus vor, deren Struktur und Gestalt vom Pilz, dem **Mycobionten** bestimmt wird. Diese aufgeführten Gestalttypen bilden nicht unbedingt systematisch-verwandtschaftliche Gliederungskriterien.

Die **Krustenflechten** überziehen mit einem wenig differenzierten Thallus krustig die Oberfläche von Gestein oder Baumrinden. Sie sind mit der Unterlage fest verbunden und können von dieser kaum getrennt werden. Als Beispiel heimischer Flechten seien *Lecanora muralis* (Abb. 48) und *Rhizocarpon geographicum* genannt.

Die **Blatt- oder Laubflechten** besitzen einen flächig entwickelten, gelappten Thallus, welcher der Unterlage locker aufliegt und mit dieser nur über einzelne Hyphenstränge (Rhizinen) verbunden ist. Eine heimi-



Abb. 52: Strauchflechten mit *Evernia prunasti* (L.) Ach., dem Eichenmoos, inmitten von *Parnotrema*-Arten auf sauren Rinden von freistehenden Laubbäumen auf luftfeuchten Standorten.



Abb. 53: *Usnea hirta* (L.) F.H. Wigg. auf saurer Borke von Ästen und Stämmen luftfeuchter Habitats ist empfindlich gegen Luftverschmutzungen.

Felsen und Gesteine besiedelnde Flechten dringen über Spalten in diese ein, manchmal sogar in eine Tiefe bis 2 cm. Sie vermögen Kalkstein, aber nicht Quarz-Unterlagen zu lösen und für Folgebesiedler aufzubereiten. Sie können dabei mineralische Nährelemente aufnehmen. In der Regel beziehen sie diese aber zum größten Teil aus den in Niederschlägen gelösten Nährsalz-Ionen. Das Absterben der Flechten und deren Zerfall kann erste Humusreste hinterlassen und dann als Initialstandort höherer Pflanzen dienen.

Die Flechten sind besonders empfindlich gegen zuviel Schwefeldioxid in der Atmosphäre. In der Nähe von Abgas-Emittenten sowie Ballungsräumen waren Flechten in der Vergangenheit völlig verschwunden; es waren Flechtenwüsten entstanden. Mit der Abgasentschwefelung kehren die Flechten allmählich zurück.

Flechten werden auch genutzt. Die Flechten der Tundren dienen Rentieren und Karibus als wichtigste und im Winter als ausschließliche Futterquelle. Zu diesen Flechten gehören *Cladonia stellaris*, *Cladonia ran-*



Abb. 54: Bartflechte an Ästen luftfeuchter Standorte.



Abb. 51: Die gelb gefärbte *Xanthoria parietina* mit auffälligen roten Apothecien findet sich heute häufiger, bevorzugt auf durch Staubablagerungen nährelementreich gewordenen Borken (oben), Ästen (unten) und Mauern.

Flechten sind oft Pionierpflanzen und Erstbesiedler. Dort, wo höhere Pflanzen noch nicht existieren können, finden Flechten schon ihr Auskommen. Sie vermögen in den Kältewüsten der Hochgebirge, der Arktis und Antarktis zu überleben und noch bei -25°C fotosynthetisch aktiv zu sein, aber auch in den Trockenwüsten auf sonnenaufgeheizten Felsen einer Erwärmung bis 70°C

monatelang bei völliger Austrocknung zu überstehen. Sie stellen dann ihre Fotosynthese ein, können aber kurze Zeit nach erneuter Befeuchtung wieder fotosynthetisch aktiv werden.

Eine Flechte, die im trockenen Zustand spröde und zerbrechlich ist, wird nach Befeuchtung weich und biegsam. Sie saugt das Wasser so schnell wie Löschpapier auf. Es wird ohne Widerstand in die Kapillarräume zwischen den Hyphen hineingezogen und dann von den Pilzzellen aufgenommen. Eine Strauchflechte, wie die Rentierflechte *Cetraria islandica*, die vereinzelt schon in Norddeutschland in nährstoffarmen Kiefernwäldern und auf Heideflächen und großflächig in den Tundren anzutreffen ist und bei uns häufig in Grabgestecke eingearbeitet wird, kann Wasser bis zum 35-fachen ihres Eigengewichtes aufnehmen.

Ein Austrocknen der Flechten auf Feuchtegehalte von 2 bis 10% ihres Trockengewichtes vermag der Flechte wenig anzuhaben. Sie können dann sogar glühende Sonne, große Hitze oder auch Kälte ertragen. Sie stellen dann nur die Fotosynthese ein. Ihre größte Vitalität erreichen sie, wenn sie mit Wasser voll getränkt sind, aber schon wieder beginnen, auszutrocknen. Ihre Photosyntheserate erreicht das Maximum, wenn der Wassergehalt 65–90% des überhaupt Möglichen beträgt. Aber an vielen von ihnen besiedelten Standorten schwankt ihr Wassergehalt im Verlaufe eines Tages. Die Fotosynthese erfolgt dann hauptsächlich in den Morgenstunden, wo der Thallus noch von Tau oder Nebel feucht ist.

Ihre optimale Fotosyntheserate erreichen Flechten bei einem Wassergehalt zwischen 65 bis 90%. Flechten der nebelfeuchten Bergwälder, der niederschlagreichen Küsten und Tropen und den arktischen Tundren, wo sie auf ständig durchfeuchteten Permafrostböden die beherrschende Vegetationsformation bilden, gedeihen am üppigsten. Hier erreichen ihre Thalli einen jährlichen Zuwachs von 10 bis 20 mm. Auf den extremen Standorten liegt der Zuwachs nur bei 0,1 bis 0,5 mm pro Jahr. Felsbewohnende Krustenflechten der arktisch-alpinen Region können mit diesem gedämpften Wachstum einige Jahrhunderte alt werden.

Pilze als Schädlinge der Pflanzen

Durch Pilze verursachte Pflanzenkrankheiten

Die in Mitteleuropa genutzten Pflanzen können von über 160 Infektionskrankheiten befallen werden, davon entfallen 83% auf Pilzauslöser. Weltweit werden über 5000 Pflanzen von Krankheiten befallen, darunter auch viele Kulturpflanzen, die das Bemühen der Anbauer mindern. Man schätzt, dass trotz eingesetzter Pflanzenschutzmittel, insbesondere in der Landwirtschaft 10 bis 20% der möglichen Erträge durch deren Befall verloren gehen. Bei Mensch und Tier sind dagegen Bakterien, weniger Pilze, Auslöser von Erkrankungen.

Dabei gibt es Pilze, die sich auf Kosten der lebenden Pflanzenzellen ernähren und mit dem Wirt eine enge Verbindung eingehen, ohne ihn letztlich abzutöten. Sie leben nur parasitisch auf dem Wirt und verursachen durch Ausscheidung von Toxinen in das Wirtsgewebe bei den Pflanzen Krankheitserscheinungen, die zur Wachstumshemmung oder umgekehrt zu einer Förderung der Streckung (Vergeilung) oder zur Bildung von Wucherungen (z. B. Krebs auf Bäumen) führen. Diese biotrophen Pilze können nur zusammen mit ihrer Wirtspflanze existieren und führen nicht in jedem Fall zum Tod der befallenen Zelle und Pflanze.

Daneben gibt es auch Pilze, die Pflanzen aggressiver

angreifen, sie zum Absterben bringen, um sich von dem absterbenden bis toten Gewebe zu ernähren und Vorteile für ihre Verbreitung durch Sporen zu ziehen. Darunter sind Pilze, die sehr wirtsspezifisch sind und ihren Befall auf nur wenige oder nur eine Pflanzenart beschränken. Beispiel hierfür ist die Ulmenerkrankung oder die Rost- und Brandpilze an Getreide. Sie können durch diese Wirtsbindung aber nur auf diesen Pflanzen „überleben“. Bei Nutzpflanzen bedingt dies immer Ernteverluste und ist nicht erwünscht.

Botrytis cinerea, die Graufäule verursacht, ist ein solcher Pilz. Er produziert Toxine, die die Pflanze zum Absterben bringt, aber auch Enzyme, die die Zellwände auflösen. Dazu gehört auch die Umfallkrankheit, durch die auskeimende Jungpflanzen gerade einmal die Erdoberfläche erreichen, dann aber am Hypocotyl, unterhalb der Keimblätter abknicken, ausgelöst durch pektinabbauende Enzyme des Pilzes. Davon können viele Pflanzen betroffen werden.

Meistens überdauern die infektiösen Pilze im Boden, von wo aus sie die auf ihm stockenden Pflanzen befallen. Ihre Zahl ist riesig und sie gehören den verschiedenen Pilzgruppen an, von den Schleimpilzen bis zu den Basidiomyceten.

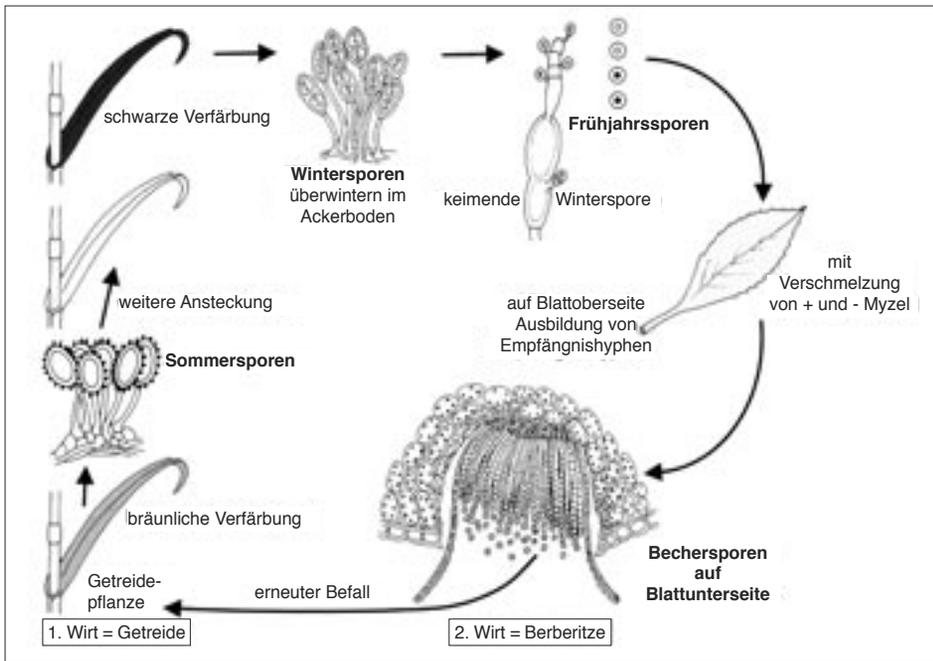


Abb. 67: Zyklus der Vermehrung des Roggen-Schwarzrost mit Wirtswechsel.

gen Sporen aber per Wind über viele tausend Kilometer verfrachtet werden können, gelangen sie unter Umständen in mildere Regionen, wo die Basidiosporen ohne Umweg über den Zwischenwirt das Getreide direkt befallen können.

Der **Braunrost** des Weizens (*P. tritica*) benutzt die Wiesenraute (*Thalictrum*) als Zwischenwirt. Der Zwischenwirt des Braunrost des Roggens (*P. dispersa*) ist die Ochsenzunge (*Anchusa*).

Der **Haferkronenrost** (*P. coronata*) überwintert auf dem Kreuzdorn (*Rhamnus carthartica*).

Der **Maisrost** (*P. sorghi*) hat sein Haplontenstadium auf dem Sauerklee (*Oxalis*).

Alle diese Rostpilze (*Puccinia*) bedingen bei Getreide Ertragsausfälle von 5-(-30)-50%, weil die befallenen Blattoorgane nicht ihre volle fotosynthetische Leistung erbringen können. Spritzungen können lindern. Besser ist eine Resistenzzüchtung, die allerdings immer wieder

durch Mutationen und Neukombinationen der Parasiten abgeschwächt oder sogar hinfällig werden.

Rostpilze anderer Wirtspflanzen bilden einen verkürzten Generationswechsel ohne Wirtswechsel, d.h. einen reduzierten Lebenszyklus. Der **Malvenrost** (*Puccinia malvacearum*) bildet nur noch 2 Generationen, ebenso der **Kaffeerost** (*Hemileia vastatrix*), der in Sri Lanka 1886 den Kaffee-Anbau unmöglich machte und wo man ersatzweise Teeplantagen anlegte. Auch auf Java mußte man auf Kautschuk-Plantagen umsteigen. In Südamerika führte der Rostbefall zu beträchtlichen Ertragseinbußen. Auch mit chemischen Mitteln ist Rostpilzen nur schwer bezukommen, eher noch mit weniger anfälligen Rassen, deren Anfälligkeit aber oft schon nach kurzer Zeit wieder gebrochen wird.



Abb. 82: Üppig wachsender Schwefelporling an einer Weide (oben) Geotrop ausgerichtetes Wachstum der Pilzfruchtkörper des Schwefelporlings am liegenden Stamm einer Eiche (unten).

Foto: Eckert

nen, mit weißem Zuwachsrand versehenen Fruchtkörper entfalten und ihre Sporen austreten. Der Pilz wächst im Kernholz oft mehrere Meter stammaufwärts, wobei das Kambium nicht beeinträchtigt wird, der Baum also noch eine gewisse Zeit fortleben kann. Der überstehende Teil bleibt am Leben, kann noch genutzt werden. Als Abwehr kann es jedoch zu einem Harzaus-

fluss kommen. Da der Pilz sich im Stamm-Inneren ausbreitet, ist eine Bekämpfung bis jetzt aussichtslos und bildet für die Forstwirtschaft ein Problem. Man kann die zurückbleibenden Stubben nicht ausgraben, nur bemüht sein, gesunde Stämme nicht zu verletzen und damit oberirdische Eintrittspforten zu vermeiden. Der Pilz ernährt sich vom Lignin, allerdings verfärbt sich der verbleibende Zelluloseanteil (daher eigentlich ein Weißfäulepilz) bräunlich, weshalb er bei Forstleuten die Bezeichnung „Fichtenrotfäule“ erhielt.

Schon zeitig im Frühjahr erscheinen, oft an Silberweiden, die schwefelgelben bis orangegelben, dachziegelartig übereinander angeordneten, fächerförmigen, massigen Fruchtkörper des **Schwefelporlings** (*Laetiporus sulphureus*) (Abb. 82), um nach einer Phase der Ausstreuung riesiger Sporenmengen aus den unterseitigen, nicht ablösbaren Röhren, schnell zu vergehen. Jung sind die Fruchtkörper noch weich und saftig (und verzehrfähig), gealtert aber brüchig wie Kreide. Er verursacht im befallenen Baum Braunfäule und kann das Kernholz des befallenen Baumes innerhalb weniger Jahre regelrecht „aufressen“ und aushöhlen. Es bleibt am Ende nur noch die äußere Hülle mit Borke, Kambium und Splintholz erhalten. Man sieht es dem Baum nicht an, dass er innerlich längst ausgeräumt ist und seine Standfestigkeit längst verloren hat. Stürme können betroffene Bäume letztendlich zum Umknicken oder Abbrechen bringen und sollten aus Sicherheitsgründen gefällt werden. Er dringt von der Wurzel her ein und wächst mehrere Meter im Stamminneren hoch, um dort mit seinen Fruchtkörpern zu erscheinen. Befallen werden, über die Silberweide hinaus, oft gerade alte Eichen, Pappeln, Robinien, Obstbäume und auch Nadelbäume in den Hochgebirgen und in der Tundra.

Die Birke ist Wirt für viele Pilze

Der Birkenpilz (*Krombholziella scabra*) ist ein von vielen geschätzter essbarer Pilz. In den nordischen, von Birken geprägten Wäldern der Tundrenzzone kann er so reichlich auftreten, dass er getrocknet oder in Salzlake kon-

serviert wird. Er kann daher auch in bei uns angebotenen Mischpilzsortimenten enthalten sein. Der Birkenpilz steht mit seinem Pilzgeflecht mit den Wurzelspitzen der Birken über eine Mykorrhiza in Kontakt. Zu diesen Mykorrhizapilzen der Birke kann auch der giftige Fliegenpilz (*Amanita muscaria*) gehören. Biologen haben ermittelt, dass insgesamt bis zu 36 mykorrhizierende Pilze mit der Birke eine Symbiose eingehen können.



Abb. 83: Fruchtkörper des Birkenporlings.



Abb. 84: Zweigwucherung an einer Birke, ausgelöst durch *Taphrina betulina*.

Grösser ist noch die Zahl der auf Birken parasitierenden Pilze. Bis zu 91 verschiedene Pilze können sich vor allem vom Birkenholz ernähren, wobei sie den Baum zum Absterben bringen bzw. im Folgebefall das Holz – meistens schon am Boden liegend – total zersetzen und in den Stoffkreislauf rücküberführen.

Zu ihnen gehört der Birkenporling (*Piptoporus betulinus*) (Abb. 83), der weitverbreitet an älteren Birken über Wunden und Aststummel mit Sporen in noch lebende, aber geschwächte Stämme eindringt und diese durch Auslösung einer Braunfäule bald zum Absterben bringt. Schon am stehenden Baum bilden sich 30 cm breite, halbkreisförmige, zunächst ockerfarbene, später braune Fruchtkörper (Abb. 83) mit unauffälligem Stielansatz und ohne Zonierung. Selbst an zerfallenden, am Boden liegenden Stammteilen können noch Fruchtkörper auswachsen, die das restliche Stammholz braunfaul zerlegen.

Auch der Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*) kann sich auf der Birke einfinden, (Abb. 79), erzeugt allerdings im stehenden und liegenden Holz Weißfäule.

Auch die besonders im Winterzustand ohne Laub auffälligen Verzweigungs-Anhäufungen im Kronenbereich der Birke lassen sich auf einen Pilzbefall zurückführen. Diese sogenannten Hexenbesen (in Anlehnung an den Volksglauben, Hexen seien auf ihrem Flug mit dem Besen im Astwerk hängengeblieben) (Abb. 84) bilden eine Anhäufung von kurzen und gehäufteten Trieben, ausgehend von einer an der Basis befindlichen, zwiebel förmigen Verdickung. Die Sporen für die Verbreitung dieses Pilzes werden auf der Unterseite der Hexenbesenblätter gebildet. Eine Infektionshäufung findet sich in Gebieten mit einer hohen Luftfeuchtigkeit. Der Pilz überwintert mit seinem Myzel in Knospen und Rinde.

Normalerweise wird das Spitzenwachstum der Triebe durch das Phytohormon der Auxine gesteuert. Ein Befall der Spitzenknospen mit dem Schlauchpilz (*Ascomycota*) *Taphrina betulina* hemmt die Bildung von Auxinen zugunsten von Cytokininen, mit der Folge, dass nur Seitentriebe aus tiefer-stehenden Knospen austreiben, an denen nur kleine, eingerollte und 3 Wochen früher aus-