

Neue experimentelle Designs
zum Thema
**Naturstoffe im Chemieunterricht:
Chemie mit Pilzen**

MATERIALBAND

zur Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades
doctor rerum naturalium
(Dr. rer. nat.)

vorgelegt dem Rat der Chemisch-Geowissenschaftlichen Fakultät der
Friedrich-Schiller-Universität Jena
von Jan-Markus Teuscher
geboren am 11.08.1972 in Karl-Marx-Stadt

Inhaltsverzeichnis

TEIL I BIOLOGISCHE GRUNDLAGEN – KLEINE EINFÜHRUNG IN DIE MYKOLOGIE	5
Was sind Pilze?	6
Wie wachsen Pilze?.....	6
Wie vermehren sich Pilze?	7
Wie ernähren sich Pilze?	9
Mannigfaltigkeit der Pilze	10
Betrachtung der Pilze im Wandel der Zeit	15
TEIL II VERSUCHSANLEITUNGEN.....	25
Hinweise für Lehrer	25
Nachweis von Nährstoffen in Pilzen	29
Stärkenachweis	30
Cellulosenachweis	31
Glucosenachweis	32
Proteinnachweis	34
Xanthoproteinreaktion.....	34
Biuretreaktion.....	35
Ninhydrinreaktion	35
Einführung: Nachweis der Aminosäuren durch Dünnschichtchromatografie	37
Was ist Dünnschichtchromatografie?.....	37
Zweidimensionale Dünnschichtchromatografie.....	39
Versuch: Nachweis der Aminosäuren durch Dünnschichtchromatografie	40
Zweidimensionale Dünnschichtchromatografie.....	42
Bestimmung des Fettgehaltes von Pilzen.....	44
Nachweis ungesättigter Fettsäuren in Pilzfett	46
Wassernachweis	47
Bestimmung des Wassergehalts	48
Bestimmung des Aschegehaltes	49
Nachweis von Mineralstoffen mittels Flammprobe	51
Nachweis von Vitamin C	52
Farbreaktionen von Pilzen.....	53
Farbempfinden und Entstehung von Farbigkeit	54
Nachweis von Anthrachinonfarbstoffen in Hautköpfen.....	57
Nachweis von Polyporsäure im Zimtfarbenen Weichporling	59
Nachweis von Fomentariol im Zunderschwamm.....	61
Isolierung von Polyporsäure, Atromentin und Fomentariol.....	63
Isolierung von Polyporsäure.....	63
Isolierung von Atromentin	64

Isolierung von Fomentariol	64
Pilze werden blau	65
Malen mit Pilzen	68
Wielandscher Zeitungstest – Nachweis der Gifte des Grünen Knollenblätterpilzes.....	70
Tintlingstinte	73
Herstellen von Tinte aus Tintlingen	74
Porlingspapier.....	77
Herstellen von Papier aus Porlingen	78
Nachweis von Chitin in Pilzpapier.....	81
Färben von Wolle mit Pilzen.....	83
Grundlagen des Färbens	84
Beizen der Wolle	86
Rezepte zum Beizen von Wolle	87
Der Färbeprozess.....	89
Färbepilze	91
Zunder aus Zunderschwamm	97
Zunder	98
Der Zunderschwamm	98
Zunderherstellung.....	100
Nitrieren des Zunders	100
Feuermachen mit Stahl, Stein und Zunder	102
Synthese von Pilzaroma	105
Auswahl weiterführender Literatur	109
Abbildungen	111
Fotos	111

TEIL I

BIOLOGISCHE GRUNDLAGEN –

KLEINE EINFÜHRUNG IN DIE MYKOLOGIE

Dieser Teil ist als Informationsmaterial für Schüler und Lehrer gedacht. Sie sollen sich einen ersten Einblick in Wesen und Leben der Pilze, in die Mykologie als biologische Teildisziplin verschaffen können, da diese im Biologieunterricht im allgemeinen nur einen sehr geringen Raum einnimmt, gewisse mykologische Grundkenntnisse für das Arbeiten mit Pilzen jedoch wünschenswert sind.

Für ausführlichere Informationen zum Thema wird die Lektüre weiterführender Literatur empfohlen. Eine Auswahl ist am Ende dieses Bandes aufgelistet.

Was sind Pilze?

„Alle Schwemme seind weder kreütter noch wutzelen weder blümen noch samen, sondern eittel überflüssige feüchtigkeit der erden der beume der faulen höltzer und anderer faulen dingen.“ (HIERONYMUS BOCK 1539)

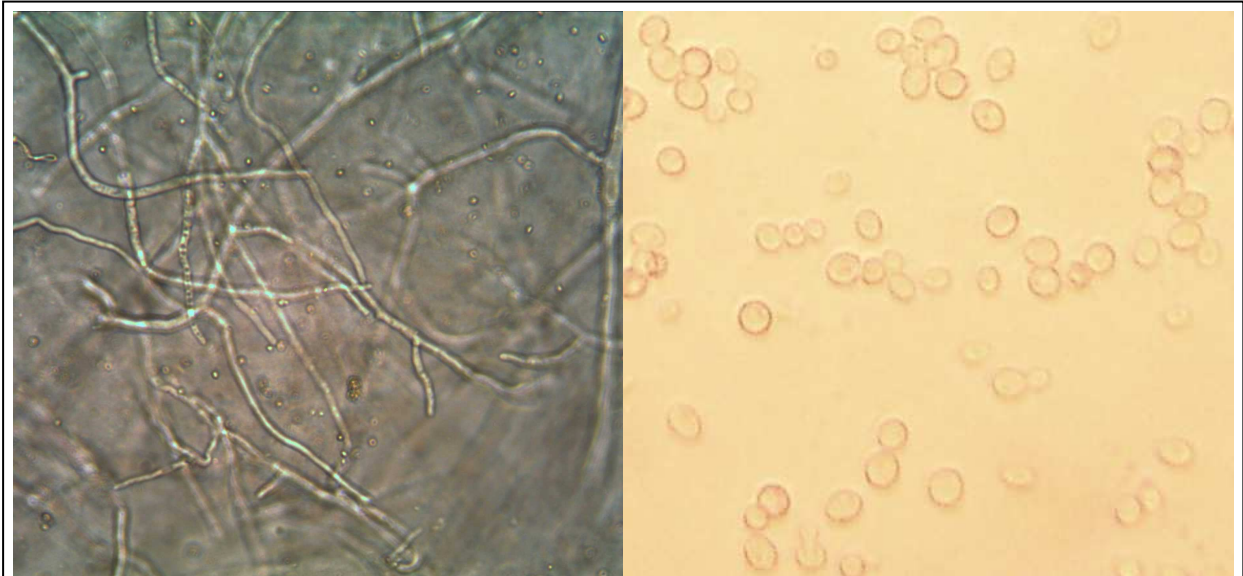
Diese Aussage, zu finden in einem populären Kräuterbuch der Renaissancezeit, ist typisch für die Ansichten über Entstehung und Natur der Pilze von der Antike bis weit in die Neuzeit hinein. Pilze wurden vielfach überhaupt nicht zu den Lebewesen gezählt, sondern als Schaumgebilde, Fäulnisprodukte oder Auswucherungen des Bodens und der Bäume betrachtet. Später galten sie allgemein als Pflanzen und werden auch in einigen neueren Naturführern noch neben Algen, Flechten und Moosen als Lagerpflanzen aufgeführt. Inzwischen hat sich jedoch die Auffassung durchgesetzt, dass Pilze weder Pflanzen noch Tiere sind, sondern ein ganz eigenes Reich mit einigen Besonderheiten bilden.

Nach heutiger Definition sind Pilze eukaryotische, osmotrophe, primär plastidenfreie Organismen. Das ist im wesentlichen eine Abgrenzungsdefinition: Als eukaryotische Organismen bestehen sie aus Zellen mit echtem Zellkern. Das eint sie mit Pflanzen, Tieren und vielen „höheren“ Mikroorganismen und grenzt sie gegen Bakterien und Archaeen ab. Mit Pflanzen gemein haben sie die osmotrophe Ernährungsweise, d. h. sie nehmen ihre Nährstoffe in gelöster Form unmittelbar aus dem umgebenden Substrat durch Osmose auf. Im Unterschied zu Pflanzen haben sie jedoch, genau wie Tiere, keine Plastiden, also auch keine Chloroplasten, können somit keine Photosynthese betreiben und sind auf heterotrophe Ernährung angewiesen. Alle Lebewesen, auf die diese Definition zutrifft, werden zu den Pilzen gezählt, die Zuordnung erfolgt also nicht auf Grundlage biologischer Verwandtschaft (die vielfach noch unklar ist), sondern nach diesen mehr oder minder willkürlichen Ordnungskriterien. Dementsprechend handelt es sich bei den Pilzen im weiteren Sinne auch nicht um eine einheitliche Abstammungsgemeinschaft. Man spricht deshalb von einem polyphyletischen Reich.

Wie wachsen Pilze?

Pilze bilden im Unterschied zu mehrzelligen Pflanzen und Tieren kein echtes Gewebe aus; sie bestehen in der Regel aus fädigen Hyphen, die sich verzweigen, z. T. auch vernetzen, und in ihrer Gesamtheit ein Mycel bilden. Durch die feine Verzweigung sind Mycelien in der Lage, ein Substrat weitflächig zu durchwachsen und dessen Nahrungsangebot optimal zu nutzen. Die Hyphen können durch Zusammenlagerung und Verflechtung gewebeähnliche Strukturen bilden; aus solchen Schein- oder Flechtgeweben bestehen die Fruchtkörper höherer Pilze, also

das, was der Volksmund als „Pilz“ bezeichnet. Neben den mycelbildenden (filamentösen) Pilzen gibt es auch Spross- bzw. Hefepilze, die aus Einzelzellen oder Zellverbänden bestehen und sich durch Sprossung vermehren. Während z. B. die Bier-, Wein- oder Backhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) ausschließlich in dieser Form existiert, können viele Hefepilze bei geeigneten Umweltbedingungen auch als filamentöser Pilz in Erscheinung treten. Einige Pilzgruppen durchleben in ihrem Entwicklungszyklus einen Generationswechsel, der eine filamentöse und eine Hefephase beinhaltet.

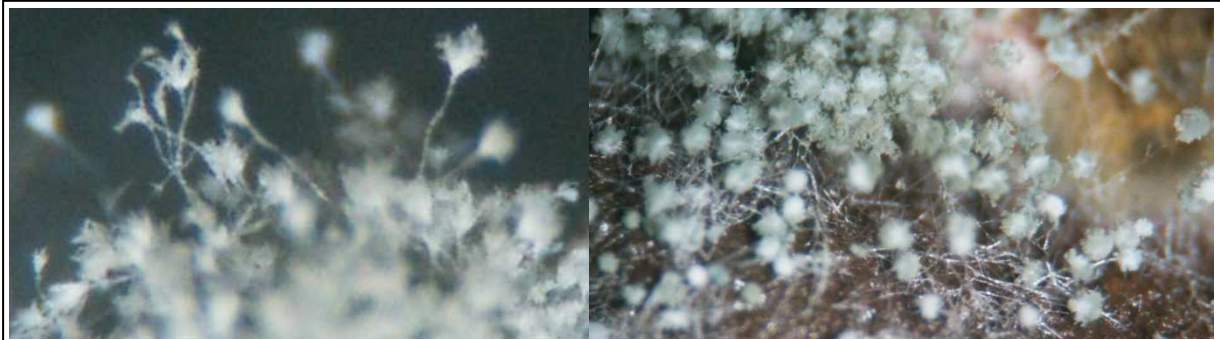


Links: Mycel des Kulturchampignons (*Agaricus bisporus*), 400fach vergrößert.

Rechts: Sprossende Zellen von *Saccharomyces cerevisiae* (Bierhefe), dem wohl wirtschaftlich wichtigsten Hefepilz, 400fach vergrößert. Die Hefeform wird als Anpassung an das Leben in flüssigen Substraten angesehen.

Wie vermehren sich Pilze?

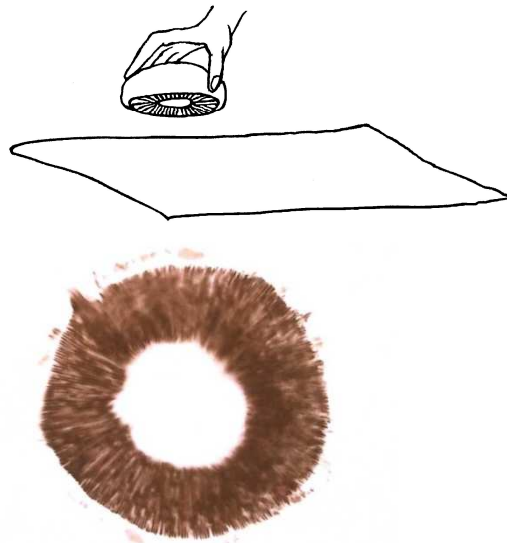
Pilze haben sehr unterschiedliche Fortpflanzungs- und Verbreitungsmechanismen entwickelt. Viele Pilze sind in der Lage, sich ungeschlechtlich über Mitosporen zu vermehren. Entwicklungsformen, die ausschließlich Mitosporen bilden, werden als Anamorphe (Nebenfruchtform) bezeichnet, während das Entwicklungsstadium, an dem die (geschlechtlich durch Meiose entstehenden) Meiosporen gebildet werden, Teleomorphe (Hauptfruchtform) genannt wird. Da die Anamorphen vieler Pilze recht selbständig existieren und sich aufgrund ihrer oft völlig anderen Gestalt und Lebensweise nicht ohne weiteres einer Teleomorphen zuordnen lassen, in manchen Fällen eine solche auch überhaupt nicht mehr ausbilden, wurden sie als eigene Arten beschrieben, mit eigenen Namen belegt und, ungeachtet ihrer tatsächlichen Verwandtschaftsverhältnisse, in einer Abteilung *Deuteromycota* (auch *Fungi imperfecti*) zusammengefasst. Viele Schimmelpilze gehören hierzu.



Viele Schimmelpilze sind Anamorphgattungen, d. h. sie vermehren sich ungeschlechtlich über Mitosporen, sogenannte Konidien. Sehr verbreitet und von großer Bedeutung sind die Gattungen *Penicillium* (Pinselschimmel, links) und *Aspergillus* (Gießkannenschimmel, rechts, beide 40fach vergrößert).

Die geschlechtliche Fortpflanzung kann über sehr mannigfaltige, z. T. sehr komplizierte Sexualvorgänge erfolgen, z. B. über die Verschmelzung spezieller Befruchtungszellen, die festsitzend oder frei beweglich sein können, oder über die Verschmelzung normaler vegetativer Zellen, wie dies bei den Großpilzen, zu denen all unsere Speisepilze gehören, geschieht. Nach der Verschmelzung der Zellen (Plasmogamie) muss es nicht gleich zur Verschmelzung der Zellkerne (Karyogamie) kommen, diese findet u. U. erst unmittelbar vor der Meiose, bei Großpilzen also in den Fruchtkörpern, statt. Die Fruchtkörper besitzen zumeist spezielle Strukturen (z. B. die Röhren der Röhrlinge und die Lamellen der Blätterpilze), auf denen die Meiosporen gebildet und von denen sie an die Umgebung abgegeben werden. Mit dem Wind können die Sporen kilometerweit verbreitet werden. Fallen sie auf ein geeignetes Substrat, keimen sie wieder zu einem Mycel aus.

Die Sporenfarbe ist ein wichtiges Bestimmungsmerkmal von Pilzen, jedoch direkt auf dem Pilz oft nicht sicher zu erkennen. Deshalb werden Sporenabdrücke angefertigt: Schneide den Stiel direkt unterhalb des Hutes ab und lege den Hut mit den Lamellen nach unten auf ein Blatt Papier (für dunkle Sporen weißes, für helle Sporen schwarzes Papier). Am nächsten Tag hast du einen schönen Sporenabdruck, weil die Sporen aus den Lamellen auf das Papier gefallen sind.



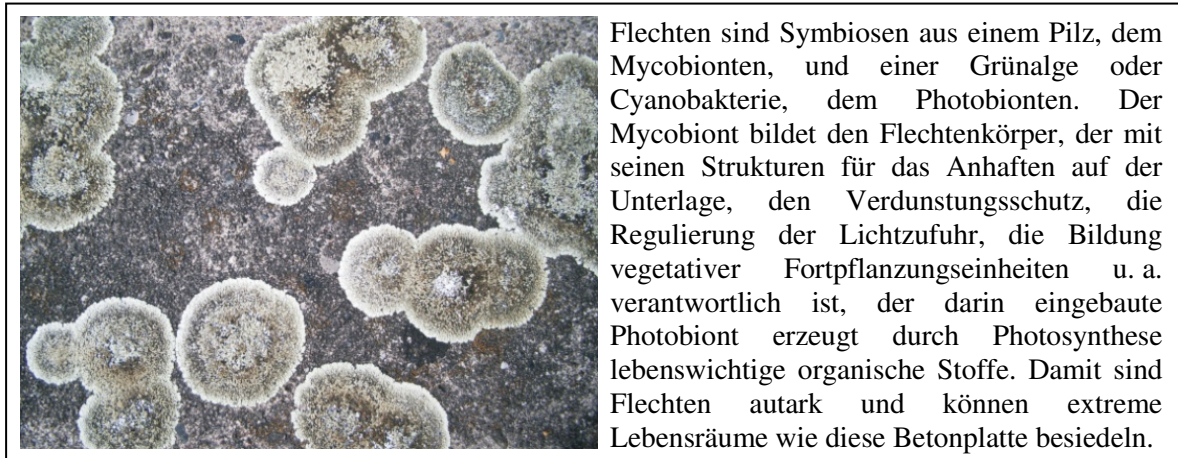
Wie ernähren sich Pilze?

Pilze haben nahezu alle organischen Materialien als Nahrungsquelle erschlossen. Saprobionten ernähren sich von toter organischer Substanz; sie spielen im Naturhaushalt als Destruenten eine wichtige Rolle bei der Humusbildung (Humifizierung). Zahlreiche Pilze haben sich auf das Substrat Holz spezialisiert. Braunfäuleerreger bauen vornehmlich die Cellulose ab; das Holz zerbröckelt würfelig und nimmt durch das übrigbleibende Lignin eine rotbraune Farbe an. Weißfäuleerregende Pilzarten verwerten auch das Lignin, das Holz wird weiß und faserig.



Bei vielen Holzersettern gibt es fließende Übergänge zwischen parasitischer und saprobiontischer Lebensweise. So besiedelt z. B. der Hallimasch lebende Bäume zunächst als Schwächeparasit, tötet diese ab und wächst dann als Weißfäuleerreger noch jahrelang auf dem toten Holz, bis die Nährstoffe aufgebraucht sind. Mit festen Mycelsträngen, den sogenannten Rhizomorphen, breitet er sich zu den nächsten „Opfern“ aus und kann auf diese Weise große Gebiete „erobern“. Ein Hallimasch in den USA ist mit einer Ausdehnung von 880 Hektar und einem Alter von mindestens 2400 Jahren eines der größten und ältesten Lebewesen der Erde.

Parasiten und Symbionten beziehen ihre Nahrung aus lebenden Organismen. Der Begriff Symbiose bezeichnete ursprünglich jedwede enge Lebensgemeinschaft verschiedenartiger Organismen mit unmittelbarem stofflichen Austausch, also auch den Parasitismus, wird aber heute vor allem im deutschsprachigen Raum zumeist im engeren Sinne auf das Zusammenleben zum gegenseitigen Vorteil angewendet; dieser Fall wird auch Mutualismus genannt. Sehr bedeutsam für das Leben auf der Erde ist eine Form der Symbiose zwischen Pilzen und Pflanzen: die Mykorrhiza („Pilzwurzel“). Das Pilzmycel dringt hierbei in die Pflanzenwurzel ein und ernährt sich von den von der Pflanze gebildeten Assimilaten. Die Pflanze wiederum hat davon den Vorteil, dass sie das gesamte fein verzweigte Mycel zur Versorgung mit Wasser und Mineralien nutzen kann. Viele Gehölze sind auf Mykorrhiza angewiesen. Bereits in den Wurzeln fossiler Urandpflanzen aus dem Devon hat man Pilzhyphen gefunden, die eine Symbiose mit den Pflanzen gebildet haben könnten; möglicherweise hat die Mykorrhiza den Pflanzen überhaupt erst die Besiedlung des trockenen Festlandes ermöglicht.



Mannigfaltigkeit der Pilze

Nachfolgend sollen einige der wichtigsten Pilzgruppen vorgestellt werden.

Die **Schleimpilze** (*Myxomycota*) sind keine Pilze, wurden aber aufgrund ihrer pilzähnlichen Sporenbehälter als Pilze betrachtet. Sie sind mit Amöben verwandt, werden auch als Tiere in zoologischen Systemen erfasst, bilden aber wahrscheinlich keine einheitliche Verwandtschaftsgruppe, sondern mindestens drei entwicklungsgeschichtlich getrennte Klassen, deren Gemeinsamkeit die Ausbildung plasmodialer Stadien ist. Die Schleimpilze im engeren Sinne (*Myxomycetes*) treten in einem Entwicklungsabschnitt als sich von Algen, Bakterien und anderen Mikroorganismen ernährende Myxamöben in Erscheinung. Aus diesen entsteht durch Kernteilung und Wachstum oder durch Verschmelzung vieler Myxamoeben ein Plasmodium, gewissermaßen eine vielkernige Riesenzelle, die sich weiterhin durch Plasmaströmung fortbewegt und ernährt. Das Plasmodium bildet Sporenbehälter aus, die Sporen freisetzen, aus denen wieder Myxoamöben auskeimen. Schleimpilze führen überwiegend ein recht unscheinbares Leben, es gibt jedoch einige auffällige Vertreter. Auf ausgelaugter Gerbrinde (Lohe) kamen früher oft die knallgelben Plasmodien der Lohblüte (*Fuligo septica*) vor, die aufgrund ihres plötzlichen, geradezu unheimlichen Erscheinens volkstümliche Namen wie „Hexenbutter“ oder „Drachendreck“ erhielten. Im Wald kann man auf morschem Holz häufig die im unreifen Zustand leuchtend rosa gefärbten Sporenbehälter des Blutmilchpilzes (*Lycogala epidendron*) beobachten.



Blutmilchpilz (*Lycogala epidendron*)

Auch die **Eipilze** (*Oomycota*) gehören nicht zu den Pilzen im engeren Sinne, sondern sind viel näher mit bestimmten Algen verwandt und werden deshalb auch als Algenpilze

bezeichnet. Im Unterschied zu den Echten Pilzen bestehen ihre Zellwände aus Cellulose. Die sexuelle Fortpflanzung erfolgt über Oogamie, also die Befruchtung von Eizellen. Unter den durchweg mikroskopisch kleinen, saprobiontisch oder parasitisch lebenden Oomyceten gibt es sehr bedeutsame Arten. So sind die Falschen Mehltaupilze als Schädlinge in Gartenbau und Landwirtschaft bekannt, und die Erreger der Kraut- und Knollenfäule haben durch die Vernichtung ganzer Kartoffelernten schon gravierende Hungersnöte verursacht und z. B. Mitte des 19. Jahrhunderts ein Drittel der Bewohner Irlands zur Auswanderung gezwungen. Auch die von Kleingärtnern gefürchtete Braunfäule der Tomaten wird von diesen Erregern verursacht, weshalb man Kartoffeln und Tomaten nicht unmittelbar benachbart pflanzen soll, damit sie sich im Falle einer Infektion nicht gegenseitig anstecken.



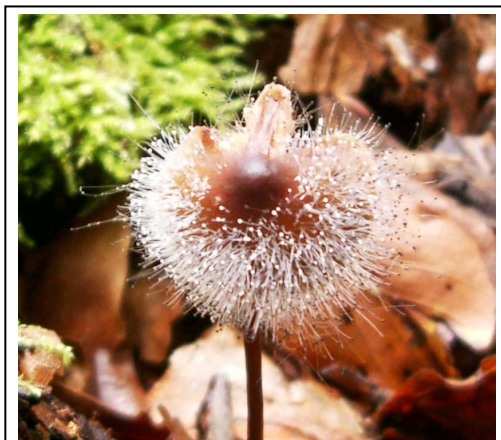
Braunfäule an Tomate

Die **Flagellatenpilze** (*Chytridiomycota*) sind zumeist einzellige saprobiontisch oder parasitisch lebende Boden- oder Wasserpilze. Ihre Zellwände bestehen wie die der Echten Pilze aus Chitin. Flagellatenpilze werden teils als isolierte Abteilung behandelt, teils als sehr ursprüngliche, wahrscheinlich am nächsten mit den Jochpilzen verwandte Klasse der Echten Pilze betrachtet.

Daneben gibt es weitere isolierte Verwandtschaftskreise unbekannter Zugehörigkeit.

Die **Echten Pilze** (*Eumycota*) bilden eine Organismenabteilung unklarer Abstammung. Wahrscheinlich sind sie näher mit Tieren verwandt und haben mit diesen einen gemeinsamen Vorfahren.

Die **Jochpilze** (*Zygomycetes*) sind eine recht ursprüngliche Klasse der Echten Pilze. Bei der geschlechtlichen Fortpflanzung bilden sie Befruchtungszellen, die zu jochförmigen Zygoten verschmelzen; daher der Name. Einige Jochpilze hat jeder schon zu Gesicht bekommen: der Gemeine Brotschimmel und der Köpfchenschimmel gehören zu ihnen. Die Klasse beinhaltet auch einige Kuriositäten im Pilzreich: die coprophilen (auf Kot lebenden) Arten der Gattung *Pilobolus* „schießen“ ihre Sporen bis zu



Helmingsschimmel (*Spinellus fusiger*), ein auf Helmlingen parasitierender Jochpilz

2 m hoch und bis 2,5 m weit in Richtung Licht. Die Sporen bleiben an Pflanzenteilen kleben, werden von weidendem Vieh aufgenommen und mit dem Kot wieder ausgeschieden. So können sie vor dem Eintreffen der Konkurrenz „ihr“ Substrat besiedeln. Einige bodenbewohnende Jochpilze leben räuberisch, sie bilden mit ihren Hyphen Klebfäden, Schlingen oder Fangnetze aus, in denen sich Nematoden und andere kleine Beutetiere verfangen, worauf sie getötet und von Ernährungshyphen durchwachsen werden.

Die **Glomeromycetes**, oft auch als Ordnung *Glomales* zu den Jochpilzen gestellt, sind eine stammesgeschichtlich sehr alte Gruppe von Mykorrhiza-Pilzen. Möglicherweise handelt es sich um unmittelbare Nachfahren der ältesten Pilzfossile, die in den Wurzeln von Urlandpflanzen gefunden wurden. Die *Glomeromycetes* bilden eine spezielle Form der Mykorrhiza, die bei sehr vielen Pflanzarten unterschiedlichster Familien, darunter auch zahlreichen Kulturpflanzen, vorkommt und deren Nährstoffzuführung und damit deren Wachstum optimiert. Somit haben die *Glomeromycetes* große wirtschaftliche Bedeutung.

Die **Schlauchpilze** (*Ascomycetes*), benannt nach ihren schlauchförmigen Sporenbehältern, stellen zahlreiche für den Menschen bedeutsame Vertreter. Die Anamorph-Gattungen *Aspergillus* und *Penicillium* spielen sowohl als Krankheitserreger und Vorratschädlinge als auch als Produzenten von Antibiotika, Citronensäure und anderen Naturstoffen eine wirtschaftlich wichtige Rolle, *Aspergillus oryzae* wird für die Herstellung von Sojasoße benötigt, und *Penicillium camemberti*, *P. gorgonzola* und *P. roqueforti* verleihen den gleichnamigen Käsesorten ihr typisches Aroma. Die Bierhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) schafft mit der alkoholischen Gärung die Grundlage für alle alkoholischen Getränke und für die Hefeteigbereitung. Der Echte Mehltau, der Landwirtschaft, Garten- und Weinbau vor große Probleme stellt, wird durch Schlauchpilze der Ordnung *Erysiphales* verursacht. *Claviceps purpurea* bildet in Roggenähren als Überdauerungsform die sogenannten Mutterkörner. Mit diesen verunreinigtes Brotgetreide führte im Mittelalter oft zu schweren



Grünspanbecherlinge (*Chlorociboria*) sind auffällig gefärbte, aber selten zu findende Schlauchpilze. Auch ihrer geringen Größe wegen werden diese Holzbewohner leicht übersehen. Zuweilen kann man in Laubwäldern verrottendes Holz entdecken, das durch Einlagerung eines von diesen Pilzen gebildeten Farbstoffes intensiv türkisgrün gefärbt ist. Dieses „grünfaule“ Holz war früher in der Kunstschlerei für Intarsienarbeiten sehr begehrt.

Massenvergiftungen, die unter den Namen Kriebelkrankheit und Antoniusfeuer neben Pest und Pocken zu den größten Geißeln der Menschen gehörten. Die Mutterkornalkaloide wurden aber auch zur Wehenanregung und für Abtreibungen verwendet und sind Ausgangsstoff für die Synthese von LSD. Zur Klasse der Schlauchpilze gehören auch Becherlinge, Lorcheln, Morcheln und Trüffeln. Außerdem sind die weitaus meisten der flechtenbildenden Pilze Ascomyceten.

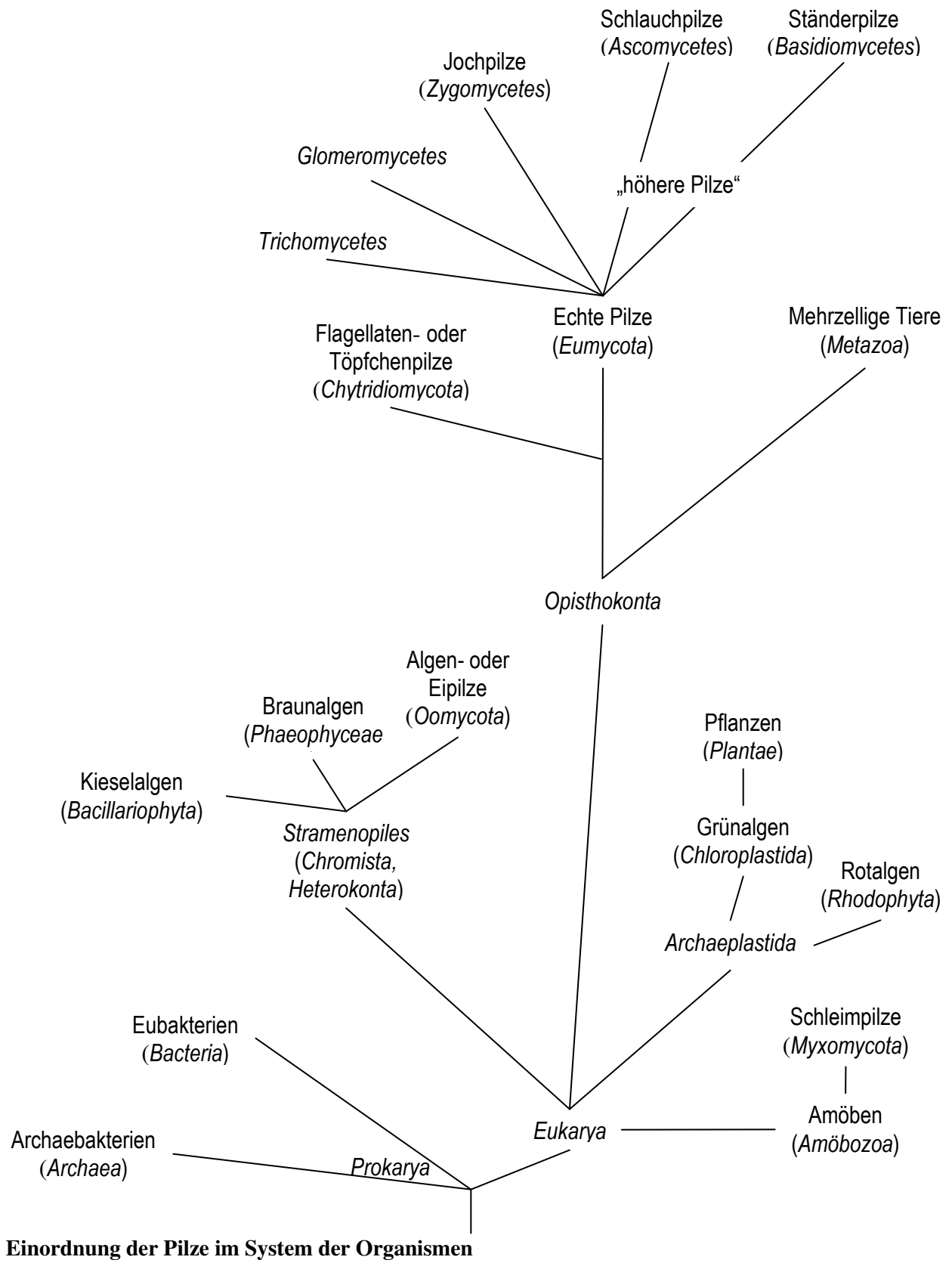
Die **Ständerpilze** (*Basidiomycetes*)

bilden ihre Sporen auf Sporenständern (Basidien). Alle Hutpilze, Bauchpilze (Boviste) und viele Baumpilze (Porlinge) sind Basidiomyceten, wobei die Wuchsform des Fruchtkörpers zumeist keinen Rückschluss auf die engeren Verwandtschaftsverhältnisse zulässt. Daneben gehören z. B. auch die für Landwirtschaft und Gartenbau als Schädlinge bedeutsamen Brand- und Rostpilze in diese Klasse.



Der Fliegenpilz (*Amanita muscaria*) ist wohl einer der bekanntesten *Basidiomyceten*.

Schlauch- und Ständerpilze werden zuweilen auch als „höhere Pilze“ bezeichnet. Bilden sie große, makroskopisch gut wahrnehmbare Fruchtkörper, also das, was der Nichtmykologe schlechthin als „Pilz“ bezeichnet, werden sie Großpilze genannt.



Betrachtung der Pilze im Wandel der Zeit

Das Wissen um Pilze reicht wahrscheinlich bis in die Anfänge der Menschheitsgeschichte zurück. Als potentielle Nahrungsmittel, Gifte, Krankheitserreger und Schädlinge sind Pilze bzw. deren Lebenszeichen den Menschen immer präsent gewesen.

Die ältesten überlieferten Zeugnisse der Nutzung von Pilzen sind uns in ca. 7000 Jahre alten Felsmalereien im Tassili-n'-Ajjer-Massiv im Süden des heutigen Algerien überliefert. Die Darstellungen lassen auf einen kultischen Gebrauch psychoaktiver Pilze durch Schamanen schließen, wie er auch aus anderen Erdteilen z. B. von den Ureinwohnern Mexikos oder sibirischen Völkern bekannt ist. Ungefähr genauso alt dürfte die Nutzung der alkoholischen Gärung für Wein- und Bierbereitung sein, wenn auch noch nicht bekannt war, dass Hefen, also pilzliche Organismen, mit ihren Stoffwechselleistungen für diesen Vorgang verantwortlich sind. Auch die Heilkräfte mancher Pilze wurden schon in vorgeschichtlicher Zeit genutzt. So trug die Gletschermumie vom Hauslabjoch, allgemein bekannt als „Ötzi“, Pilzfruchtkörper bei sich, die ihm möglicherweise als „steinzeitliche Apotheke“ dienten.



In der traditionellen chinesischen Medizin spielt der Pilz Ling Zhi (Glänzender Lackporling, *Ganoderma lucidum*) seit Jahrhunderten eine wichtige Rolle. Er wird bereits im „Shen Nong Ben Cao Jing“ („Des göttlichen Bauern Buch von Wurzeln und Kräutern“) beschrieben, das von dem mythischen Weisen Shen Nong vor ca. 5000 Jahren verfasst worden sein soll.

In Europa begann die schriftliche Fixierung des gesammelten Wissens mit dem griechischen Altertum. Geschichtsschreiber und Dichter berichteten von Speisewert, Gift- und Heilwirkung von Pilzen, griffen Volkswissen und Aberglauben auf, gaben Hinweise für das Erkennen

giftiger Pilze und nannten als Ursache für deren Giftigkeit das Wachsen auf Höhlen giftiger Schlangen, unter Bäumen mit giftigen Früchten, neben Rost, faulenden Lappen u. a. Die detailliertesten Informationen über Pilzkenntnisse in dieser Zeit erhalten wir aus dem botanischen Werk von Theophrast, einem Schüler Aristoteles'. Er sah in Pilzen „*absonderliche Pflanzen, denen die wesentlichen Teile anderer Pflanzen fehlen*“, und beschrieb auch deren Habitate, z. B. die Umgebung bestimmter Bäume oder deren Wurzeln, Mist und andere Substrate.

Die Lehren der griechisch-römischen Antike bildeten, z. T. über den Umweg arabischer Abschriften, die Grundlage mittelalterlicher Scholastik. Albertus Magnus ließ in seine botanischen Bücher neben aus der Antike übernommenen Vorstellungen auch eigene Anschauung und Volkswissen einfließen. Von ihm stammt die erste klare Pilzbeschreibung in der wissenschaftlichen Literatur, eine ausführliche Abhandlung über Aussehen und Verwendung des Fliegenpilzes.

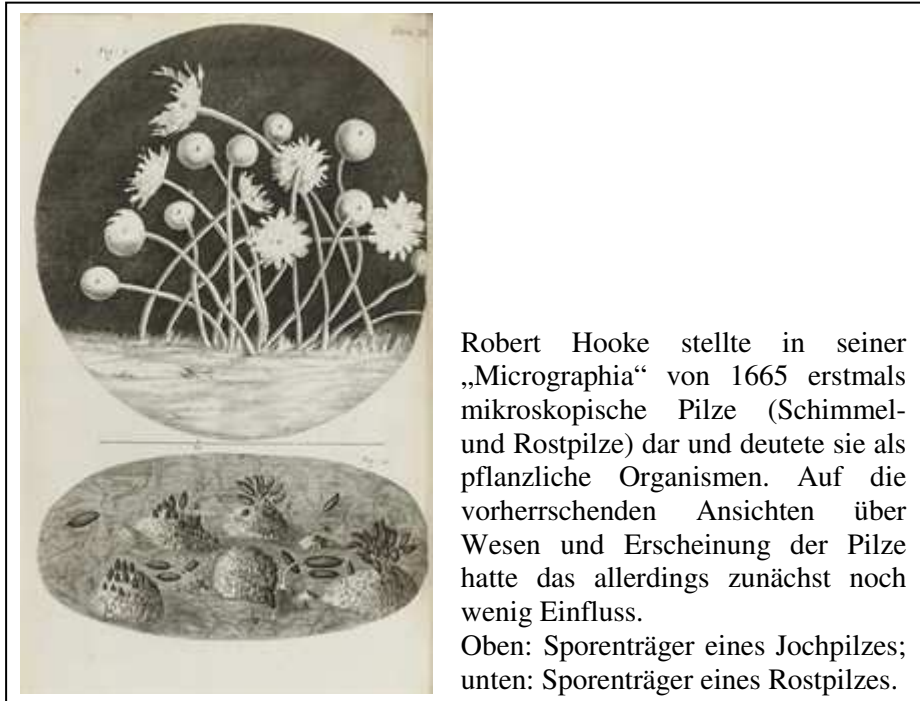
In dieser Zeit wurde auch, ausgehend vom in den Klöstern gepflegten Latein, das seit der Antike für einige Speisepilze, insbesondere den Kaiserling (*Amanita cesarea*), verwendete Wort „boletus“ ins Deutsche übernommen, daraus entstand über althochdeutsch „boliz“ (10. Jahrhundert) schließlich das neuhochdeutsche „Pilz“ und verdrängte allmählich bis dahin übliche Wörter wie „swam“/„swamp“. Die Bezeichnung „Schwamm“ wurde und wird teilweise noch synonym benutzt und hat sich in einigen Mundarten bis heute erhalten.



Darstellung aus dem „New Kreütter Buch“ (1539) von Hieronymus Bock. Darin werden neben vielen Pflanzen auch mehrere „Geschlechter“ (Arten im heutigen Sinne) verwertbarer sowie in der Küche nicht verwertbarer Pilze beschrieben. Im 16. Jahrhundert entstanden viele Kräuterbücher, in denen man sich erstmals um eine Systematik der Pflanzen einschließlich der Pilze nach ihrer Gestalt bemühte. Die äußere Gestalt sollte nach der damals populären Signaturenlehre einen Hinweis („Signatur“) auf Heilkraft oder sonstige Verwendbarkeit der Gewächse geben. Dadurch erwachte ein neues Interesse an genauer Naturbeobachtung. Der bekannte Arzt und Begründer der Signaturenlehre Paracelsus (1493-1541) jedoch hielt Pilze für „*ein misgewechs der Natur*“ und lehnte sie aus pharmazeutischer Sicht ab.

Mit der Renaissance brach für die Naturwissenschaften ein neues Zeitalter an. Die Biologie begann sich als eigenständige Wissenschaft zu entwickeln. Die Erfindung des Buchdrucks ermöglichte eine große Verbreitung von Kräuterbüchern und damit eine Popularisierung botanischen Wissens. Erste Pilzbücher entstanden.

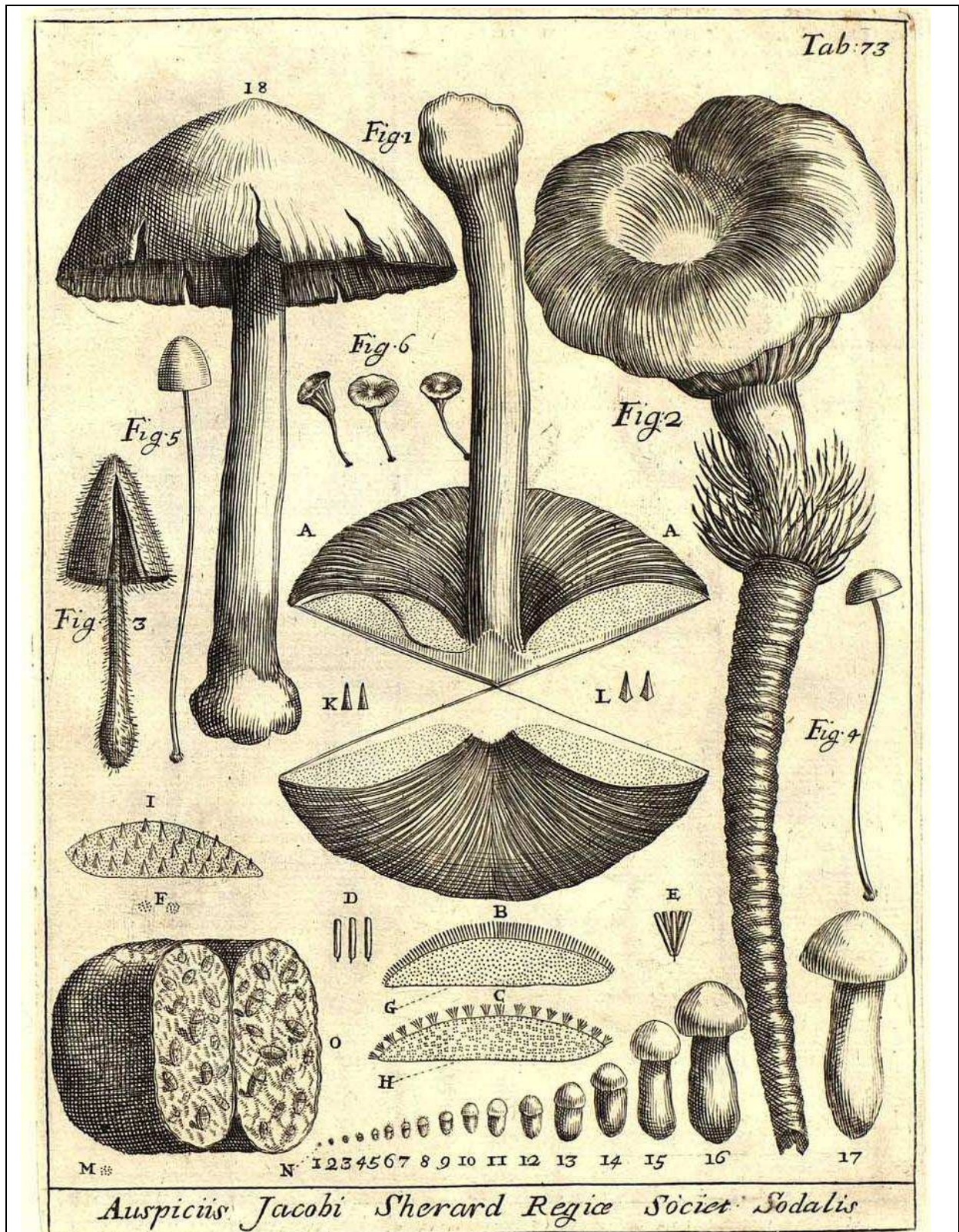
Um 1600 wurden erste Mikroskope konstruiert und machten Naturforschung in völlig neuen Dimensionen möglich. Die Frühzeit der Mikroskopie ist eng mit den Namen Hooke, Leeuwenhoek und Malpighi verbunden, nachdem bereits 1588 della Porta die Pilzsporen entdeckte, allerdings wieder in Vergessenheit geriet.



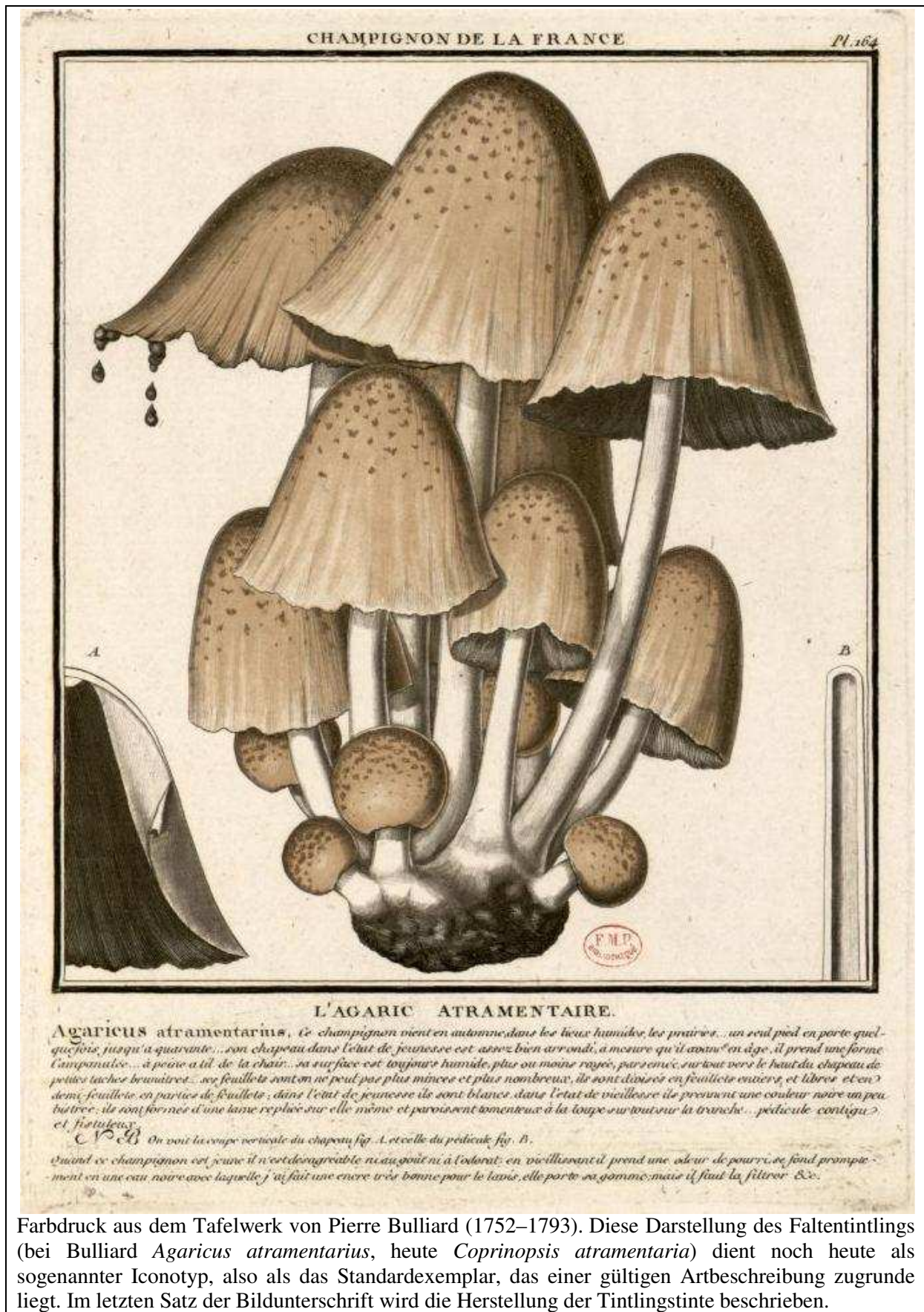
Ab 1700 wurden große Fortschritte auf dem Gebiet der Systematik der Pflanzen einschließlich der Pilze erzielt. Die noch heute gebräuchliche Einteilung in Blätterpilze und Nichtblätterpilze wurde vorgenommen und verwandte Arten zu klar definierten „genera“ (Gattungen) zusammengefasst. Tournefort beobachtete erstmals den Zusammenhang von Mycel und Fruchtkörper. Nach der Entdeckung der Sexualität bei Pflanzen wurde auch bei Pilzen intensiv nach Sexualorganen gesucht, was zur Entdeckung zahlreicher Strukturen bis hin zur Wiederentdeckung der Sporen 1729 durch Micheli führte.

Linné vereinfachte 1753 die botanische Namensgebung, die damals noch einer Kurzbeschreibung der Pflanze glich, indem er dem Gattungsnamen eine Artbezeichnung beifügte. Diese Binär-Nomenklatur ist noch heute gültig.

Im ausgehenden 18. Jahrhundert erlebten großformatige Tafelwerke, die die Pflanzenwelt in kolorierten Kupferstichen naturgetreu darstellten, eine Blütezeit. Besonders erwähnt werden soll hier Bulliard, dessen in stetig überarbeiteter Auflage erschienenes Werk neben allen bekannten Pflanzen Frankreichs auch viele Neubeschreibungen von Pilzen enthielt. Er entwickelte ein Verfahren zum Mehrfarbdruck und ist auch der „Erfinder“ der Tintlingstinte, die in einem Versuch dieses Bandes vorgestellt wird.



Pilztafel aus „Nova planta genera“ (1729) des Gärtners Pier Antonio Micheli. Er entdeckte über 100 Jahre nach Giambattista della Porta die Pilzsporen wieder, beschrieb sie als Samen und führte, um das zu beweisen, Aussaatversuche durch, deren Erfolge oder Misserfolge allerdings nicht überliefert sind. Im unteren Bereich der Tafel ist eine Lamelle mit vierzähligen Sporen dargestellt (Buchstabe H), was bereits auf die erst später entdeckten viersporigen Basidien hinweist. Darunter wird die vermeintliche Entwicklung eines Pilzfruchtkörpers aus einer Spore skizziert. Offenbar erkannte Micheli nicht die Bedeutung des Mycels. Dennoch schuf er, indem er den mikroskopischen Merkmalen, vor allem den Sporen und den sie bildenden Strukturen, hohe Bedeutung beimaß, ein modernes System, das seiner Zeit weit voraus war.



Farbdruck aus dem Tafelwerk von Pierre Bulliard (1752–1793). Diese Darstellung des Faltentintlings (bei Bulliard *Agaricus atramentarius*, heute *Coprinopsis atramentaria*) dient noch heute als sogenannter Iconotyp, also als das Standardexemplar, das einer gültigen Artbeschreibung zugrunde liegt. Im letzten Satz der Bildunterschrift wird die Herstellung der Tintlingstinte beschrieben.

Um 1800 hatte das Fachgebiet der Pilzkunde durch den raschen Wissenszuwachs einen solchen Umfang erreicht, dass es nicht mehr von Botanikern „nebenher“ betrieben werden konnte. Persoon schließlich erkannte die fundamentalen Unterschiede zwischen Pilzen und Pflanzen und damit die Notwendigkeit, die „Schwammlehre“ von der Botanik zu emanzipieren. Er gilt als der Begründer der modernen Pilzkunde und führte dafür die Bezeichnung „Mykologie“ ein.

Im frühen 19. Jahrhundert hatte die von Deutschland ausgehende romantische Naturphilosophie einen starken Einfluss auf die gesamte Biologie. Der zeitweilig als Professor in Jena lehrende, auch gesellschaftlich sehr engagierte Lorenz Oken veröffentlichte in seinem „Lehrbuch der Naturgeschichte“ u. a. ein auf naturphilosophischen Ideen basierendes System der Pilze. Der ebenfalls von naturphilosophischen Ideen beeinflusste schwedische Botaniker und Mykologe Fries schuf ein zwar künstliches, aber sehr vollständiges und dabei überschaubares System, das als Startpunkt der Pilznomenklatur betrachtet wird.

Da die enorme Artenvielfalt und die Fülle neuer Erkenntnisse zur Biologie der Pilze bald nicht mehr in ihrer Gesamtheit zu bewältigen waren, begann sich die noch junge Mykologie in Einzeldisziplinen aufzusplittern: die Systematik und die experimentellen Arbeiten wurden nun losgelöst voneinander betrieben. Die immer ausgefeiltere Mikroskopiertechnik führte zu Fortschritten in der Aufklärung der Lebensgeschichte der Pilze. Sporenkeimung und Infektionsvorgang bei Rost- und Brandpilzen wurden beobachtet, der vollständige Entwicklungszyklus des Mutterkorns aufgeklärt und erstmals Sexualvorgänge bei Pilzen beobachtet. Nach den Sporenschläuchen (Asci) der Schlauchpilze wurden nun auch die Sporenstände (Basidien) der Ständerpilze entdeckt. Hefezellen wurden mikroskopiert und deren organismische Natur erkannt. Der Mediziner und Mitbegründer der Zelltheorie Schwann entdeckte, dass die Weingärung eine durch die Stoffwechselaktivität der Hefen hervorgerufene Zersetzung des Zuckers ist. Auch Pasteur interpretierte die alkoholische Gärung als mit der physiologischen Tätigkeit der Hefe verbundenen chemischen Vorgang und führte hierzu Stoffwechselversuche durch. Die Arbeiten von Schwann und Pasteur mit sterilen Nährmedien widerlegten experimentell die noch recht verbreiteten Ideen der spontanen Entstehung von Organismen und können als Anfänge der Mikrobiologie und der Biotechnologie gelten.

Pflanzenreich

1. Land: Stockpflanzen, Stocker (*Stirpariae*)1. Gau: Markpflanzen, Marker (*Parenchymariae, Acotyledonen*)**1. Classe: Zellenpflanzen, Zeller (*Cellulariae*) = Pilze****1. Stufe: Stock-Zeller = Bläschenpilze****1. Ordnung: Mark-Zeller = Roste (Bläschen, Staubpilze)**

mit den Zünften Zellen-Zeller (Brande), Ader-Zeller (Matzen) und Drossel-Zeller (Pöle)

2. Ordnung: Stamm-Zeller = Schimmel (Fadenpilze)

mit den Zünften Wurzel-Zeller (Muche), Stengel-Zeller (Moder) und Laub-Zeller (Volze)

2. Stufe: Blust-Zeller = Blasenpilze**3. Ordnung: Blüten-Zeller = Lurren (Balg-Pilze)**

mit den Zünften Samen-Zeller (Kille), Gröps-Zeller (Buffe, z. B. Stäublinge, Boviste und Erdsterne) und Blumen-Zeller (Trüffeln)

4. Ordnung: Frucht-Zeller = Botze (Fleischpilze = Schlauchpilze, Hutpilze usw.)

mit den Zünften Nuß-Zeller (Rimpeln), Pflaumen-Zeller (Kunze, z. B. einige Becherlinge, Gallertpilze), Beeren-Zeller (Morcheln, dazu auch Lorcheln, Keulen-, Korallen- und Rutenpilze) und der

13. Zunft: Apfel-Zeller (Reische)

a Stock-Reische

1. Sippschaft: Mark-Reische (verschiedene Stachelpilze)

1. Sippe: Zellen-Reisch (*Thelephora*)2. Sippe: Ader-Reisch (*Phebia*)3. Sippe: Drossel-Reisch (*Hericium, Hydnum*)

2. Sippschaft: Stamm-Reische

4. Sippe: Wurzel-Reisch (*Fistulina* = Leberreischling)5. Sippe: Stengel-Reisch (*Boletus* = Röhrlinge, z. B. Steinpilz)6. Sippe: Laub-Reisch (*Polyporus* = viele Porlinge)

b Blust-Reische

3. Sippschaft: Blüten-Reische

7. Sippe: Samen-Reisch (*Daedalea*)8. Sippe: Gröps-Reisch (*Merulius*, z. B. Hausschwamm)9. Sippe: Blumen-Reisch (*Cantharellus*, z. B. Pfifferling)

4. Sippschaft: Frucht-Reische

10. Sippe: Nuß-Reisch (*Systotrema*)11. Sippe: Pflaumen-Reisch (*Gomphus* = *Gomphidius* = Schmierlinge)12. Sippe: Beeren-Reisch (*Schizophyllum*)13. Sippe: Apfel-Reisch (*Agaricus* = Blätterpilze, z. B. Champignons)

Pilze im System von Lorenz Oken (1779-1851)

Nach Okens Vorstellungen sind alle Pflanzen aus insgesamt 13 Organen zunehmender Komplexität aufgebaut, die er zwei Gruppen bzw. vier Kategorien zuordnete. Durch deren konsequente Kombination erschuf er ein „philosophisches System“ des Pflanzenreichs aus zwei Ländern, vier Gauen und 13 Classen. Jede Classe enthält in zwei Stufen und vier Ordnungen 13 Zünfte, die wiederum in je vier Sippschaften unterteilt 13 Sippen beherbergen. Die Pilze bilden in diesem System die niederste Classe. Auf die Sippen verteilte Oken alle damals bekannten Gattungen einschließlich der mikroskopischen und phytopathogenen Pilze sowie der Schleimpilze. Für die Benennung der Taxa ersann er größtenteils eigene „deutsche“ Namen.

Oken wollte in seinem „Lehrbuch der Naturgeschichte“ alle vier Naturreiche – die Mineralien, die Pflanzen, die Tiere und den Menschen – umfassend und vollständig darstellen. Zahlenmagie und Geometrie spielten im romantisch-naturphilosophischen Gedankengut generell eine große Rolle. Jegliche gewonnene Erkenntnis wurde einer „höheren Idee“ untergeordnet, wie sie z. B. auch in Goethes Metamorphosen zu finden ist.

Darwins Evolutionstheorie hatte eine revolutionierende Wirkung auf die gesamte Biologie. Zunehmend setzten sich nun Bestrebungen durch, Sippen als Abstammungsgemeinschaften aufzufassen und in natürlichen Systemen anzuordnen. In der Mykologie ist dieses neue Denken vor allem mit dem Namen de Bary verknüpft. Er beschäftigte sich mit Morphologie, Physiologie und Entwicklungsgeschichte der Pilze, klärte durch gezielte Infektionsexperimente den Generationswechsel bei Rostpilzen auf und publizierte die erste Schleimpilz-Monographie, in welcher er die „Pilztiere“, wie er sie nannte, richtig als lediglich pilzähnliche, aber nicht mit den Pilzen verwandte, sondern einzelligen Tieren näher stehende Organismen beschrieb. Er äußerte erste Vermutungen über die Dualnatur der Flechten und definierte den Symbiosebegriff. Die Tatsache, dass Flechten keine selbständigen Organismen, sondern eine Vergesellschaftung von Pilzen und Photobionten (Grünalgen oder Cyanobakterien) sind, wurde kurz darauf von Schwendener erkannt. Eine andere, zunächst für Parasitismus gehaltene Form der Symbiose wurde von A. B. Frank untersucht. Er prägte für die Verbindung zwischen Pilzmycel und Baumwurzeln, die er zuerst an Trüffeln und den Wurzeln von Eichen und Buchen beobachtete, den Namen „Pilzwurzel“ – Mykorrhiza – und erkannte deren Bedeutung für die Ernährung der Bäume.

Durch intensive Forschung in allen Teilen der Welt wuchs die Fülle bekannter Arten immer mehr an, die systematische Gliederung und Einordnung dieser Mannigfaltigkeit der Pilze ist auch in der Gegenwart noch lange nicht abgeschlossen. Daneben spielten Physiologie, Morphologie und Cytologie eine immer größere Rolle, dazu traten im 20. Jahrhundert neue Disziplinen wie die Biochemie, Molekularbiologie, Genetik, Ökologie u. s. w. Die Elektronenmikroskopie erschloss in der Untersuchung submikroskopischer Strukturen neue Dimensionen. Das ermöglichte immer bessere Einblicke in die Lebensfunktionen der Pilze und in deren phylogenetische Beziehungen. Die vielfältige Bedeutung, die Pilze auch für weite Bereiche des menschlichen Lebens haben, sei es als unentbehrlicher Bestandteil der Ökosysteme, als Krankheitserreger von Kulturpflanzen, Tieren und Menschen, als Allergene, Materialzerstörer oder Produzenten sekundärer Naturstoffe, wurde immer besser erkannt, die ökonomische Anwendung mykologischer Erkenntnisse weitete sich auf Land- und Forstwirtschaft, Gartenbau, Nahrungs- und Genussmittelproduktion, Pharma- und Chemieindustrie, Medizin u. a. aus.

Die Mykologie hat sich also, ausgehend vom Volkswissen, zu einer Wissenschaft mit zahlreichen Spezialgebieten entwickelt, die in ihrer Komplexität nur von ausgebildeten Experten durch- und überschaut werden können. Demgegenüber knüpft die volkstümliche Pilzkunde, wie sie in zahlreichen populärwissenschaftlichen Pilzbüchern erscheint, an eine

traditionelle Sichtweise an und beschränkt sich im wesentlichen auf die Vermittlung von Kenntnissen zur Unterscheidung von Gift- und Speisepilzen.

Johanna Schultze-Wege (1844-1918), eine Thüringer Pilzforscherin, Malerin, Dichterin und Übersetzerin, bemühte sich um eine Vermittlung zwischen der wissenschaftlichen Mykologie und allgemeinverständlicher, öffentlichkeitswirksamer Wissensvermittlung. Sie sammelte neben floristischen Daten auch Pilzrezepte sowie die Volksnamen der Pilze und befasste sich mit deren Verbreitung und Etymologie. Ihr wissenschaftlicher Nachlass umfasst u. a. ca. 2000 naturgetreue Pilzaquarelle sowie umfangreich erarbeitete Buchmanuskripte, die allerdings nie gedruckt wurden, weil die Verleger die gewaltigen Kosten einer reichlich mit farbigen Abbildungen versehenen Auflage scheuten. Daher ist ihr Schaffen – wie das vieler wissenschaftlich ambitionierter Frauen um 1900 – weitgehend unbekannt geblieben.

Rechts: Fliegenpilz (*Amanita muscaria*), Aquarell von Johanna Schultze-Wege.



TEIL II

VERSUCHSANLEITUNGEN

Hinweise für Lehrer

Die vorliegende Auswahl versucht thematisch geordnet ein möglichst breit gefächertes Angebot für Experimentiermöglichkeiten mit Pilzen zu unterbreiten. Die Versuche können auch einzeln oder in thematisch anderer Zusammenstellung in den Unterricht integriert werden. Oft empfiehlt sich ein fächerübergreifendes Arbeiten vor allem mit der Biologie, aber auch Physik (Farbreaktionen und Färben mit Pilzen), Kunst (Farbreaktionen und Färben mit Pilzen, Tintlingstinte, Porlingspapier) oder Geschichte (Zunderherstellung).

Die Versuche zum Thema „Nachweis von Nährstoffen in Pilzen“ lassen sich mit Kulturchampignons aus dem Supermarkt durchführen. Es handelt sich überwiegend um gängige Schulexperimente, die unmittelbar in den lehrplanorientierten Unterricht integriert werden können.

Der Nachweis der Aminosäuren durch Dünnschichtchromatografie ist aufwendiger und zeitintensiver. Da für das Verständnis dieses Verfahrens Vorkenntnisse über die Polarität von Lösungsmitteln, Wasserstoffbrückenbindungen, Verteilungsgleichgewichte u. a. notwendig sind, ist die Einbeziehung dieses Versuchs erst in der Sekundarstufe II sinnvoll.

Für die quantitativen Versuche „Bestimmung des Fettgehaltes“ und „Bestimmung des Aschegehaltes“ muss ein größerer, den Rahmen einfacher Unterrichtsstunden sprengender Zeitbedarf veranschlagt werden.

Die „Bestimmung des Wassergehaltes“ lässt sich gut an zwei aufeinanderfolgenden Tagen durchführen: Am ersten Tag wird der Versuch angesetzt, am nächsten ausgewertet. Der Zeitaufwand für beide Arbeitsschritte ist dann gering.

Der Versuch „Wassernachweis“ ist wegen des Gefahrenpotentials von Cobalt(II)-chlorid nur als Lehrerdemonstrationsexperiment zulässig. Auch für Frauen im gebärfähigen Alter gelten Tätigkeitsbeschränkungen.

Der Vitamin-C-Nachweis beruht auf einer sehr unspezifischen Reaktion. Nicht nur Ascorbinsäure, jedwede reduzierende Substanz ergibt ein positives Ergebnis.

Für die Versuche zum Thema „Farbreaktionen von Pilzen“, „Tintlingstinte“ und „Färben von Wolle mit Pilzen“ werden bestimmte Pilzarten benötigt, daher ist die Zusammenarbeit mit einem Pilzexperten anzuraten. Die Pilze können z. B. in einer fächerverbindenden Exkursion mit dem Biologieunterricht gesammelt werden. Bedingt durch die Wachstumszeit der Pilze ist ein Sammeln nur saisonal eingeschränkt möglich. Für die meisten Farb- und Färbeexperimente können die Pilze jedoch auch getrocknet mehrere Monate aufbewahrt werden.

Für die Durchführung der handwerklichen Versuche „Herstellen von Tintlingstinte“, „Herstellen von Porlingspapier“, „Färben mit Pilzen“ und „Zunder aus Zunderschwamm“ sind keine chemischen Vorkenntnisse vonnöten. Sie sind deshalb zumindest teilweise bereits in der Mittelstufe bspw. im NaWi-Unterricht einsetzbar. Mit Ausnahme der Tintenherstellung, die

schnell erfolgen kann, sind diese Versuche wegen des höheren Zeitaufwandes nicht für gewöhnliche Unterrichtsstunden, wohl aber für Projektstage geeignet.

Der Versuch „Synthese von Pilzaroma“ ist wegen des materiellen Aufwandes, der anspruchsvollen Durchführung, vor allem aber wegen der Giftigkeit des Ausgangsstoffes Dibromethan und des daraus gebildeten Zwischenproduktes Vinylbromid nicht als Schülerexperiment zu empfehlen.

In der Literaturliste im Anschluss an die Versuchsanleitungen sind auch Veröffentlichungen zur weiteren Information über mögliche Schalexperimente mit Pilzen aufgeführt.

Möglicher Einsatz von Experimenten mit Pilzen im Lehrplan Chemie für Thüringer Regelschulen und Gymnasien

Unterrichtsthema	Versuch
Verbrennungsvorgänge/Oxidationen/Verbrennen von Stoffen an der Luft und in reinem Sauerstoff (RS Kl. 7 Th. 5; Gym. Kl. 8 Th. 5.1) Entzünden von Feuer/Entstehung, Bekämpfung und Verhütung von Bränden (RS Kl. 7 Th. 6; Gym. Kl. 8 Th. 5.1) Redoxreaktionen (RS Kl. 7 Th. 7; Gym. Kl. 8 Th. 5.1)	Zunder aus Zunderschwamm
Ethanol/Alkohole (RS Kl. 9 Th. 2.1; Gym. Kl. 9 Th. 4.1)	Alkoholische Gärung mit Bierhefe
Nährstoffe/Organische Stoffe mit funktionellen Gruppen (RS Kl. 9 Th. 4.1; Gym. Kl. 9 Th. 4 und Kl. 11 Th. 3)	Nachweis von allgemeinen Grund- und Nährstoffen in Pilzen
Stoff- und Energiekreisläufe (RS Kl. 10 Th. 3.7 und 5.2; Gym. Kl. 10 Th. 3.4)	Nachweis der Stoffwechselleistungen von Pilzen
Reaktionsarten (RS Kl. 10 Th. 4.3; Gym. Kl. 10 Th. 4.2)	Proteinnachweis, Nachweis ungesättigter Fettsäuren, Nachweis von Vitamin C Farbreaktionen
Chemie und Umwelt (RS Kl. 10 Th. 5.1)	Nachweis der Stoffwechselleistungen von Pilzen; Schwermetallbelastung von Pilzen
Umweltbelastung durch Schwermetallverbindungen (Gym. Kl. 11 Th. 1.3)	Schwermetallbelastung von Pilzen
Koordinationschemische Verbindungen (Gym. Kl. 11 Th. 2)	Farbreaktionen Färben mit Pilzen
Säure-Base-Gleichgewichte in wässriger Lösung (Gym. Kl. 11 Th. 2) Löslichkeitsgleichgewichte (Gym. Kl. 11 Th. 3)	Farbreaktionen

Unterrichtsthema	Versuch
Farbstoffe (Gym. Leistungskurs Kl. 11 Th. 3.4)	Farbreaktionen Färben mit Pilzen
Biochemie (Gym. Leistungskurs Kl. 11 Th. 5): Enzyme (Gym. Leistungskurs Kl. 11 Th. 5.1.1) Hormone und Vitamine (Gym. Leistungskurs Kl. 11 Th. 5.1.2) Stoff- und Energiewechsel der Zelle (Gym. Leistungskurs Kl. 11 Th. 5.2)	Nachweis der Stoffwechselleistungen von Pilzen Nachweis von Vitamin C Nachweis der Stoffwechselleistungen von Pilzen; Alkoholische Gärung mit Bierhefe Nachweis von allgemeinen Grund- und Nährstoffen in Pilzen Farbreaktionen Synthese von Pilzaroma

Nachweis von Nährstoffen in Pilzen



Viele Menschen essen gern Pilze. Diese zählen jedoch weder zu den Pflanzen, noch zu den Tieren. Aber was essen wir dann?

Mit folgenden Versuchen sollen einige der wichtigsten Nährstoffe in Pilzen nachgewiesen werden.

Stärkenachweis

Benötigte Materialien und Chemikalien

- Messer
- Uhrglas
- Pipette
- Lugolsche Lösung (Iod-Kaliumiodid-Lösung)
- Champignons oder andere Pilze
- Kartoffel (zum Vergleich)

Durchführung

- Zerschneide den Pilz und lege ein Stück auf das Uhrglas.
- Gib einen Tropfen Lugolsche Lösung auf die Schnittfläche.
- Wiederhole den Versuch mit einer Kartoffelscheibe.

Beobachtung

Stärke wird durch Lugolsche Lösung blauschwarz gefärbt. Bleibt diese Verfärbung aus, ist keine Stärke vorhanden.

Erklärung

Die Stärkemoleküle bilden Hohlräume, in die sich Iod einlagern kann. Es bildet sich ein tiefblau gefärbter Iod-Stärke-Komplex.

Stärke ist ein verbreitetes Speicherkohlenhydrat im Pflanzenreich, von Pilzen wird sie jedoch im allgemeinen nicht gebildet.

Cellulosenachweis

Benötigte Materialien und Chemikalien

- Messer
- Chlorzinkjodidlösung (ZnCl_2 , KI, I_2 und H_2O)
- Uhrglas
- Champignons oder andere Pilze
- Pipette
- pflanzliches Material, Papier oder Zellstoff (zum Vergleich)

Durchführung

Herstellung der Chlorzinkjodidlösung:

20 g Zinkchlorid werden in 10 mL destiliiertem Wasser gelöst und mit einer Lösung von 2,1 g Kaliumiodid und 0,5 g Iod in 5 mL destiliiertem Wasser gemischt, dekantiert und mit einigen Iodkristallen versetzt.

Nachweis:

- Zerschneide den Pilz und lege ein Stück auf das Uhrglas.
- Gib einen Tropfen Chlorzinkjodidlösung auf die Schnittfläche.
- Wiederhole den Versuch mit pflanzlichen Proben, Papier oder Zellstoff.

Beobachtung

Cellulose wird durch Chlorzinkjodidlösung blauviolett gefärbt. Bei Pilzen ist diese Verfärbung nicht zu beobachten.

Erklärung

Die Iod-Atome lagern sich in die Molekülketten der Cellulose ein, zusätzlich bilden sich mit den Hydroxidgruppen der Cellulose und den $[\text{I}_3]^-$ -Einheiten Zink-Komplexverbindungen, die für die Färbung verantwortlich sind.

Diese Reaktion unterbleibt jedoch bei Pilzen, weil diese anstelle von Cellulose Chitin enthalten.

Glucosenachweis

Der Fehling-Test wurde um 1850 von dem deutschen Chemiker Hans Christian von Fehling entwickelt. Die Fehlingsche Testlösung besteht aus einer Kombination einer Lösung von Kupfer(II)-sulfat (Fehling I) und einer Lösung von Natriumhydroxid und Kaliumnatriumtartrat, dem Kalium-Natrium-Salz der Weinsäure (Fehling II). Das Tartrat-Ion bildet einen Komplex mit den Kupfer(II)-Ionen und verhindert, dass diese in der stark alkalischen Lösung als schwerlösliches Kupfer(II)-hydroxid ausfallen.

Benötigte Materialien und Chemikalien

- Becherglas
- Heizplatte oder Bunsenbrenner
- Messer
- Pipetten
- Reagenzglas
- Fehlingsche Lösung I
- Fehlingsche Lösung II
- Wasser
- frische Champignons oder andere Pilze



Vorsicht: Fehlingsche Lösung enthält Natriumhydroxid und wirkt ätzend!

Durchführung

- Schneide den Pilz in kleine Stücke und fülle diese in ein Reagenzglas, anschließend gib Wasser darüber.
- Stelle das mit Pilzstücken und Wasser gefüllte Reagenzglas in ein mit siedendem Wasser gefülltes Becherglas und lasse das Ganze einige Minuten auf der Heizplatte oder über dem Bunsenbrenner kochen.
- Gib eine Mischung aus je 2 mL Fehlingscher Lösung I und II in das Reagenzglas und stelle dieses wieder in das siedende Wasserbad.

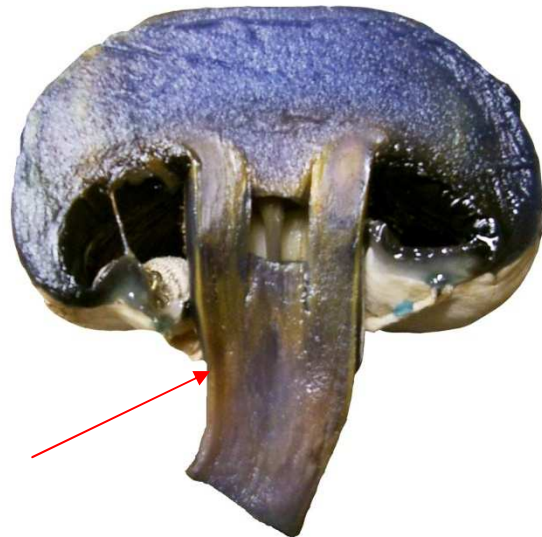
Alternative Durchführung

Der Versuch lässt sich auch direkt auf dem Pilz durchführen.

- Schneide vom Pilz eine möglichst dünne Scheibe ab und lasse diese 20 Minuten in einem Gemisch aus Fehlingscher Lösung I und II einweichen. Diese Zeit ist notwendig, damit die Fehlingsche Lösung in die Pilzzellen eindringen kann.
- Erhitze die Pilzscheibe vorsichtig. Die Pilzscheibe soll nicht verkohlen!

Beobachtung

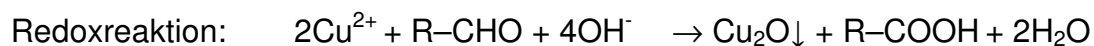
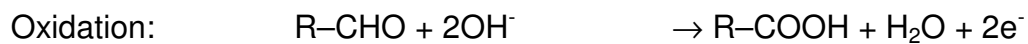
Bei Anwesenheit von Glucose bildet sich ein ziegelroter Niederschlag. Direkt auf dem Pilz ist dieser Niederschlag meist nicht so gut zu erkennen, da er durch die blauviolette Farbe der Biuret-Reaktion überdeckt wird.



Erklärung

Glucose enthält eine Aldehydgruppe, die Cu^{2+} -Ionen reduzieren kann. Dabei entsteht unlösliches Kupfer(I)-oxid Cu_2O , das als roter Niederschlag ausfällt. Die Aldehydgruppe wird zur Carboxylgruppe oxidiert, aus Glucose entsteht Glucuronsäure.

Vereinfachte Reaktionsgleichungen (in Wirklichkeit läuft die Reaktion sehr viel komplizierter in mehreren Schritten ab):



Alle Aldehyde und Kohlenhydrate mit freier Aldehydgruppe reagieren in dieser Weise.

Glucose ist ein universeller, von allen Lebewesen genutzter Grundnährstoff. Auch Pilze nehmen Glucose mit der Nahrung auf und bilden daraus körpereigene Stoffe.

Proteinnachweis

Bekanntlich sollen Pilze besonders viel Eiweiß enthalten. Hier werden drei unterschiedliche Möglichkeiten vorgestellt, das nachzuprüfen.

Benötigte Materialien und Chemikalien

- Becherglas
- Heizplatte oder Bunsenbrenner
- Messer
- Pipetten
- Reagenzgläser
- Trichter und Papierfilter
- Uhrgläser
- konzentrierte Salpetersäure
- Natronlauge (1 mol/L)
- Kupfer(II)-sulfatlösung (1 mol/L)
- Ninhydrinlösung (2 % in Ethanol)
- Wasser
- Champignons oder andere Pilze

Vorsicht: Konzentrierte Salpetersäure und Natronlauge wirken stark ätzend!



Xanthoproteinreaktion

Durchführung

Zerschneide den Pilz und gib auf die Schnittfläche einen Tropfen konzentrierter Salpetersäure!

Beobachtung

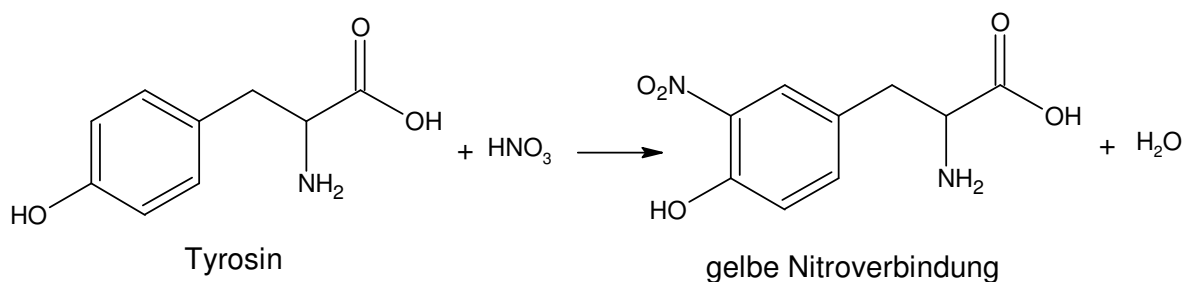
Die mit Salpetersäure betroffene Stelle färbt sich gelb.



Erklärung

Einige der Aminosäuren, aus denen die Proteine bestehen, enthalten aromatische Ringe, die durch konzentrierte Salpetersäure nitriert werden.

Reaktion am Beispiel von Tyrosin:



Biuretreaktion

Durchführung

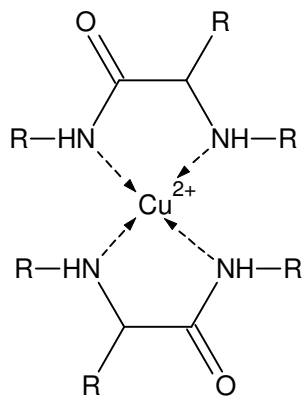
- Zerschneide den Pilz und benetze die Schnittfläche mit Natronlauge.
- Gib einen Tropfen Kupfer(II)-sulfatlösung darauf.

Beobachtung

Die Farbe schlägt ins Violette um.

Erklärung

Die Cu^{2+} -Ionen bilden mit den Stickstoffatomen der Proteinmoleküle einen farbigen Komplex.



Ninhydrinreaktion

Durchführung

- Schneide den Pilz in kleine Stücke, fülle ein Reagenzglas mit den Pilzstücken und etwas Wasser und lasse das Ganze im Wasserbad einige Minuten kochen.
- Filtriere das „Pilzwasser“ in ein zweites Reagenzglas, gib 1 mL Ninhydrinlösung dazu und stelle das Reagenzglas ins heiße Wasserbad.

Alternative Durchführung

Der Versuch lässt sich auch direkt auf dem Pilz durchführen.

- Zerschneide den Pilz und gib einen Tropfen Ninhydrinlösung auf die Schnittfläche.
- Erwärme das Pilzstück.

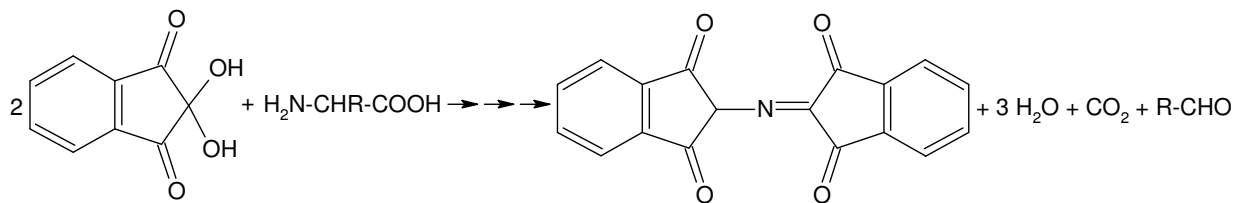
Beobachtung

Beim Erhitzen färbt sich die Lösung violett. Die Schnittfläche des Pilzes färbt sich beim Erwärmen ebenfalls violett.



Erklärung

Ninhydrin reagiert mit α -Aminosäuren, Polypeptiden und Proteinen, dabei entsteht ein blauviolett Kondensationsprodukt:



Einführung: Nachweis der Aminosäuren durch Dünnschichtchromatografie

Was ist Dünnschichtchromatografie?

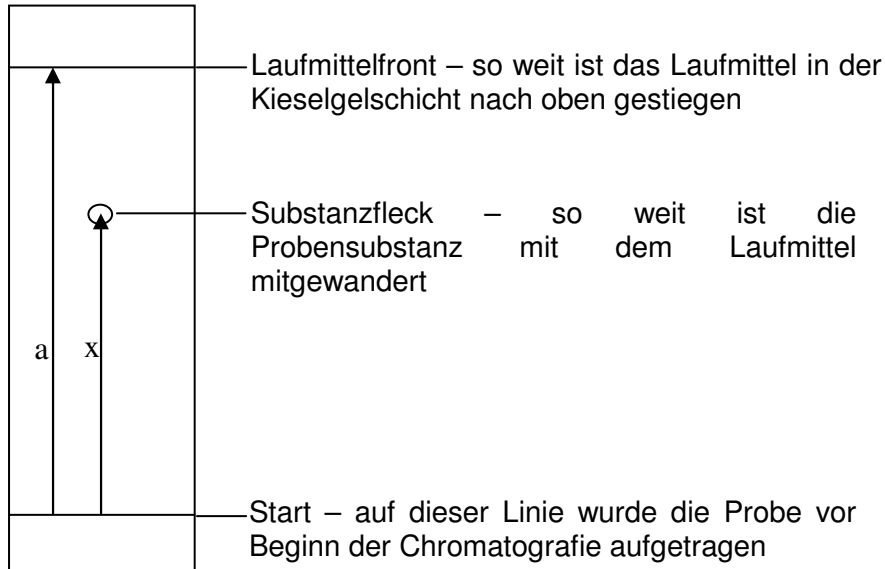
Die Chromatografie (von griechisch *chromos* = die Farbe und *graphein* = schreiben) ist ein Verfahren zur Trennung von Stoffgemischen, das auf der unterschiedlichen Verteilung der Stoffe zwischen einer stationären und einer mobilen Phase beruht. Dieses Verfahren wurde 1903 von dem russischen Botaniker Michail S. Tswett zur Auftrennung von Pflanzenfarbstoffen entwickelt.

Die laufenden Filzstiftfarben oder Runge-Bilder sind ein bekanntes Beispiel für eine einfache Papierchromatografie. Als stationäre Phase dient hierbei das Filterpapier, als mobile Phase Wasser. Die Einzelkomponenten des Farbstoffgemischs laufen unterschiedlich schnell und trennen sich so auf.



Bei der Dünnschichtchromatografie (abgekürzt DC) besteht die stationäre Phase zumeist aus einer Kieselgelschicht auf einer Aluminium- oder Kunststoffplatte als Unterlage. Die mobile Phase, auch Laufmittel genannt, ist oftmals ein Gemisch verschiedener polarer oder unpolarer Lösungsmittel. Die Probe wird mittels einer Kapillare als möglichst kleiner Fleck auf die Kieselgelschicht aufgetragen. Dann wird die so vorbereitete DC-Platte in die mit Laufmittel gefüllte Chromatografiekammer gestellt. Durch Kapillarwirkung steigt das Laufmittel in der Kieselgelschicht nach oben und nimmt dabei die sich in ihm lösenden Probensubstanzen mit. Werden diese Substanzen allerdings von der stationären Phase, dem Kieselgel, adsorbiert, also festgehalten, verzögert das ihre Wanderung. Stoffe, die besonders stark adsorbiert werden, wandern in der gleichen Zeit nicht so weit wie Stoffe, die nur wenig adsorbiert werden. Ein quantitatives Maß für die Wanderungsgeschwindigkeit ist der R_f -Wert (englisch *retention factor*). Er ist als das Verhältnis der Wanderungsstrecke einer Substanz zur Wanderungsstrecke der Laufmittelfront definiert. Folgende Skizze soll das verdeutlichen:





Wenn a die Wanderungstrecke des Laufmittels ist und x die Wanderungstrecke der Probensubstanz, ergibt sich also der R_f -Wert nach der Formel $R_f = x/a$.

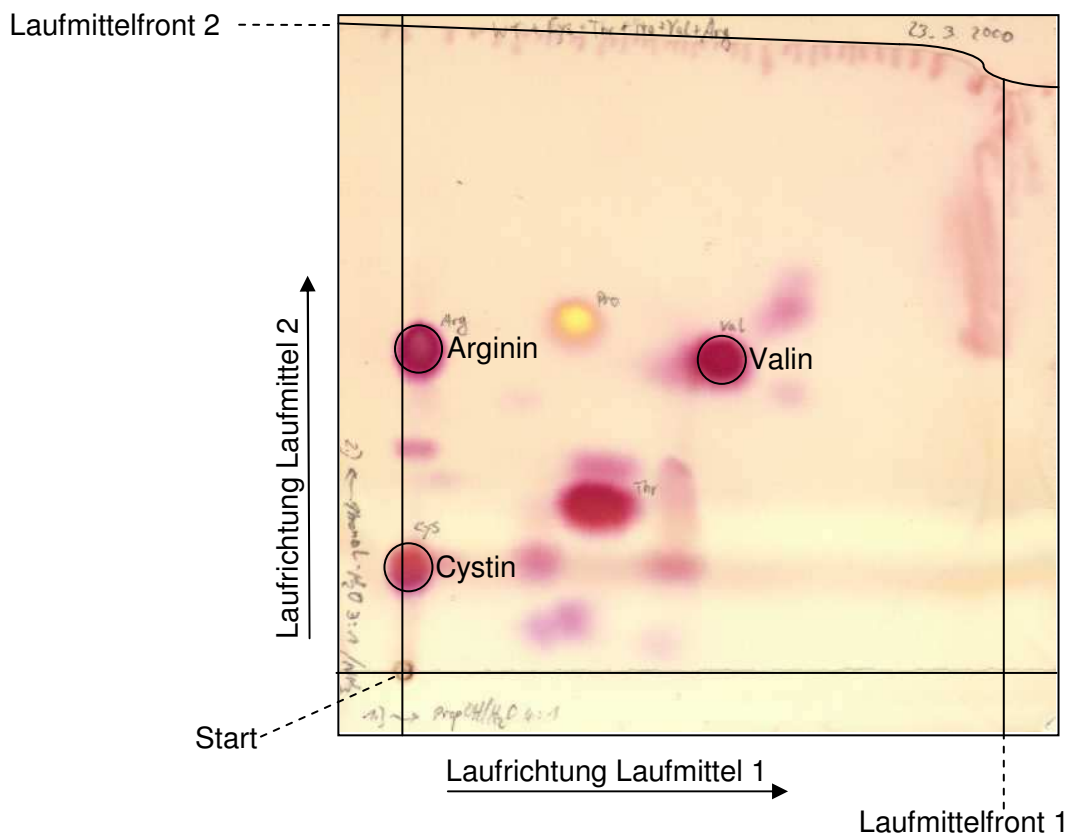
Pilze enthalten reichlich Proteine, jedoch kaum freie Aminosäuren. Die Proteine müssen durch Hydrolyse in die einzelnen Aminosäuren zerlegt werden, erst dann können diese dünnschichtchromatografisch untersucht werden.

Als farblose Substanzen sind Aminosäuren auf dem Chromatogramm zunächst nicht sichtbar. Wird die DC-Platte jedoch mit Ninhydrinlösung besprüht und etwas erwärmt, reagiert das Ninhydrin mit den Aminosäuren zu einem violetten Farbstoff.

Zweidimensionale Dünnschichtchromatografie

Durch die Nutzung eines zweiten Laufmittels kann mit der zweidimensionalen Dünnschichtchromatografie eine zusätzliche Auftrennung erreicht werden, wodurch sich gerade komplexe Aminosäuregemische noch besser untersuchen lassen.

Als Beispiel für die verbesserten Trennmöglichkeiten soll ein zweidimensionales Dünnschichtchromatogramm eines für Pilzprotein typischen Aminosäuregemisches betrachtet werden. Wir schauen uns insbesondere die Aminosäuren Arginin, Cystin und Valin an:



Bei Laufmittel 1 haben Arginin und Cystin nahezu gleiche R_f -Werte von ca. 0,02-0,03, Valin hingegen einen R_f -Wert von 0,53. Arginin und Cystin lassen sich unter diesen Bedingungen folglich kaum trennen, Valin von ersteren beiden hingegen sehr gut. Bei Laufmittel 2 kehren sich die Verhältnisse um: Arginin und Valin haben ungefähr gleiche R_f -Werte von ca. 0,5, werden also nicht getrennt, Cystin mit einem R_f -Wert von ca. 0,16 unterscheidet sich davon sehr deutlich. In der Kombination beider Laufmittel auf zwei Dimensionen werden diese drei Aminosäuren also sehr gut getrennt und hinterlassen drei gut unterscheidbare Flecke.

Versuch: Nachweis der Aminosäuren durch Dünnschichtchromatografie

Benötigte Materialien und Chemikalien

- Chromatografiekammer mit Deckel (alternativ Becherglas mit passendem Uhrglas oder Petrischale als Deckel oder ein Marmeladenglas geeigneter Größe)
- Probengläschen/Reagenzgläser
- Glaskapillaren
- kieselgelbeschichtete DC-Platte
- weicher Bleistift und Lineal
- Fön
- Messzylinder
- Trockenschrank
- Heizplatte
- 15%ige Salzsäure
- 1-Butanol
- Eisessig
- 1-Propanol
- Phenol
- destilliertes Wasser
- Ninhydrin-Sprühreagenz (2 % in Ethanol)
- Champignons oder andere Pilze
- Lösungen einiger Aminosäuren (je ca. 1 mg/mL) zum Vergleich

Vorsicht: Salzsäure und Eisessig wirken ätzend!

Phenol ist giftig und wird durch die Haut resorbiert! Hautkontakt ist strikt zu meiden, darum Schutzhandschuhe tragen! Unter dem Abzug arbeiten!



Durchführung

Vorbereitung der Probenlösung:

- Die Pilze werden mit 15%iger Salzsäure 24 Stunden lang bei 95 °C im Trockenschrank hydrolysiert. Das Hydrolysat wird abfiltriert und die Salzsäure abgedampft. Der Abdampfrückstand wird in etwas Wasser gelöst.
- Vorbereitung des Laufmittels:
- 8 mL 1-Butanol, 4 mL Eisessig und 2 mL destilliertes Wasser werden miteinander vermischt.

Dünnschichtchromatografie:

- Fülle die Chromatografiekammer ca. $\frac{1}{2}$ cm hoch mit dem Laufmittel. Verschließe sie mit dem Deckel. Lasse die befüllte und verschlossene Kammer etwa 10 min stehen. In der Zwischenzeit kannst Du die DC-Platte vorbereiten.
- Ziehe mit einem weichen Bleistift auf der DC-Platte 1 cm vom unteren Rand entfernt eine waagerechte Linie. Dies ist die Startlinie.

- Trage mittels einer Kapillare die vorbereitete Probelösung und einige Vergleichslösungen im Abstand von mind. 1 cm auf die Startlinie auf der DC-Platte auf. (Hinweis: Die Flecken sollten nicht größer als 2 mm sein.) Dazu tauchst du die Kapillare in die Lösung und setzt sie vorsichtig auf der DC-Platte auf. Trockne den Fleck unter Zuhilfenahme des Föns und wiederhole das Auftragen der Lösung.
- Stelle die Platte mit der Startlinie nach unten in die Chromatografiekammer und verschließe diese wieder. Die Laufdauer des Chromatogramms beträgt etwa 60 min. Der Versuch sollte abgebrochen werden, bevor das Laufmittel den oberen Rand erreicht.
- Nimm die Platte aus der Kammer, markiere die Laufmittelfront mit einem Bleistiftstrich und lasse die Platte unter dem Abzug trocknen.
- Besprühe die Platte mit Ninhydrin-Sprühreagenz und lege sie für 5 min auf die warme Heizplatte oder auf die Heizung.

Beobachtung

Auf der DC-Platte erscheinen violette Flecke.

Auswertung

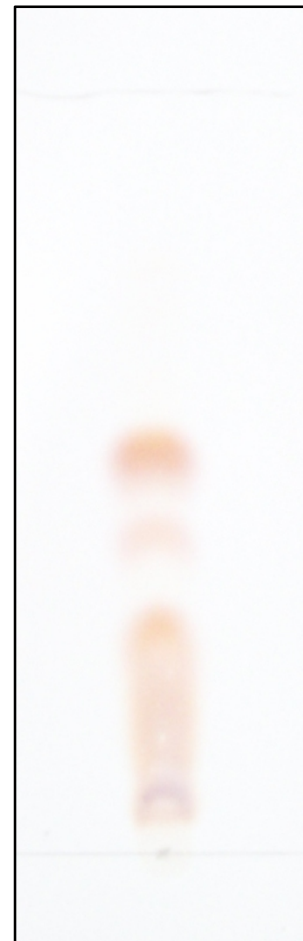
Die verschiedenen Aminosäuren, aus denen das Pilzprotein bestand, sind auf der DC-Platte unterschiedlich weit gewandert. Anhand der Vergleichslösungen kann man sie zuordnen.

Bestimmung der Rf-Werte:

Miss den Abstand zwischen Startlinie und Laufmittelfront und die Abstände der Mittelpunkte der Substanzflecke zur Startlinie. Die Rf-Werte der verschiedenen Aminosäuren ergeben sich nach folgender Formel:

$$Rf\text{-Wert} = \frac{\text{Abstand Startpunkt} - \text{Substanz}}{\text{Abstand Startlinie} - \text{Laufmittelfront}}$$

Mittels der Rf-Werte lassen sich die Substanzen aus verschiedenen Chromatogrammen miteinander vergleichen, wenn das gleiche Laufmittel verwendet wurde.



Zweidimensionale Dünnschichtchromatografie

Durchführung

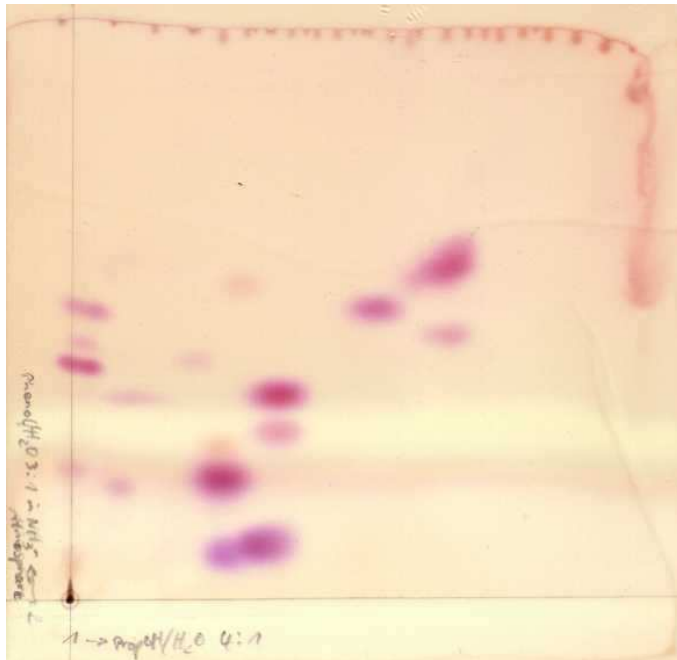
Es wird die Probenlösung aus dem vorhergehenden Versuch verwendet.

Vorbereitung der Laufmittel:

- Laufmittel 1: 8 mL 1-Propanol und 2 mL destilliertes Wasser werden miteinander vermischt.
- Laufmittel 2: 9 g Phenol und 3 mL destilliertes Wasser werden miteinander vermischt.
- Dünnschichtchromatografie:
 - Fülle die Chromatografiekammer ca. $\frac{1}{2}$ cm hoch mit Laufmittel 1. Verschließe sie mit dem Deckel.
 - Markiere mit einem weichen Bleistift auf der DC-Platte (Format 10x10 cm) in einer Ecke je 1 cm vom unteren und vom seitlichen Rand entfernt einen Punkt. Dies ist der Startpunkt.
 - Trage mittels einer Kapillare die vorbereitete Probelösung auf den Startpunkt auf der DC-Platte auf. Dazu tauchst du die Kapillare in die Lösung und setzt sie vorsichtig auf der DC-Platte auf. Trockne den Fleck unter Zuhilfenahme des Föns und wiederhole das Auftragen der Lösung.
 - Stelle die Platte mit dem Startpunkt nach unten in die Chromatografiekammer mit Laufmittel 1 und verschließe diese wieder.
 - Nimm die Platte aus der Kammer, bevor das Laufmittel den oberen Rand erreicht, markiere die Laufmittelfront mit einem Bleistiftstrich, und lasse die Platte unter dem Abzug trocknen.
 - Leere inzwischen Laufmittel 1 aus der Chromatografiekammer, säubere sie und fülle sie ca. $\frac{1}{2}$ cm hoch mit Laufmittel 2.
 - Stelle die Platte um 90° gedreht, Startpunkt nach unten, in die Chromatografiekammer mit Laufmittel 2 und verschließe diese.
 - Nimm die Platte aus der Kammer, bevor das Laufmittel den oberen Rand erreicht, markiere die Laufmittelfront mit einem Bleistiftstrich, und lasse die Platte unter dem Abzug trocknen.
 - Besprühe die Platte mit Ninhydrin-Sprühreagenz und lege sie für 5 min auf die warme Heizplatte oder auf die Heizung.

Beobachtung

Auf der DC-Platte erscheinen violette Flecke.



Auswertung

Die R_f -Werte der verschiedenen Aminosäuren lassen sich für beide Laufmittel in der jeweiligen Laufrichtung wiederum nach der Formel

$$R_f\text{-Wert} = \frac{\text{Abstand Startpunkt} - \text{Substanz}}{\text{Abstand Startlinie} - \text{Laufmittelfront}}$$

berechnen.

Die Zuordnung der erhaltenen Flecken zu den Aminosäuren kann anhand der R_f -Werte über den Vergleich mit eindimensionalen Vergleichschromatogrammen erfolgen.

Es ist auch möglich, Vergleichslösungen gemeinsam mit der Probenlösung auf den Startpunkt einer DC-Platte aufzutragen. Die Flecken der zum Vergleich genutzten Aminosäuren erscheinen dann verstärkt.

Bestimmung des Fettgehaltes von Pilzen

Fett dient Pilzen als wichtiger Nährstoffspeicher. Der Fettnachweis mit der bekannten Fettfleckprobe wird allerdings kaum gelingen, dafür ist die Fettanreicherung in den Pilzzellen zu gering. Allerdings lässt sich das Fett mit einem unpolaren Lösungsmittel aus den Pilzen extrahieren.

Benötigte Materialien und Chemikalien

- 2 Rundkolben
- zum Rundkolben passender Heizpilz oder Heizplatte mit Wasserbad
- Rückflusskühler und Liebigkühler mit Wasserschläuchen
- Stativ mit Klemmen
- evt. elektrische Kaffeemühle
- Filterpapier und Trichter
- genaue Waage
- getrocknete Champignons oder andere Pilze
- Petrolether (Siedebereich ca. 60 °C)
- Siedesteinchen

Für Soxhlet-Extraktion zusätzlich:

- Soxhlet-Extraktor mit Extraktionshülse

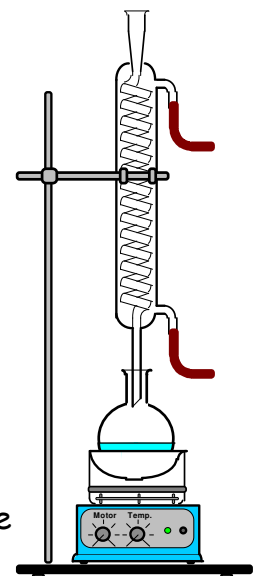
Vorsicht: Petrolether ist leichtentzündlich!



Durchführung

Einfache Extraktion

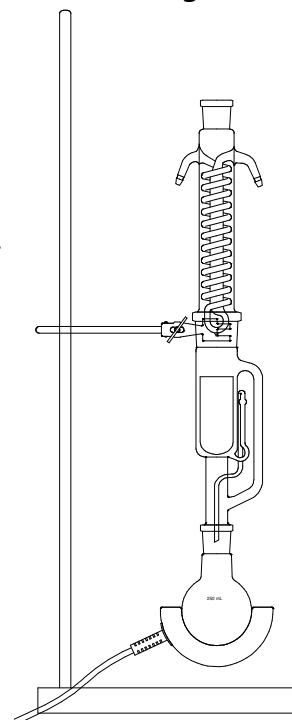
- Zerkleinere die getrockneten Pilze. Gut geht dies mit einer elektrischen Kaffeemühle.
- Fülle ca. 10 g der zerkleinerten Pilze in einen sauberen, trockenen Rundkolben. Notiere die genaue Masse der eingefüllten Pilze.
- Fülle den Rundkolben zu knapp der Hälfte mit Petrolether.
- Baue die Apparatur wie in der Skizze ersichtlich auf.
- Drehe das Kühlwasser auf, dann schalte den Heizpilz oder die Heizplatte an und lasse den Kolbeninhalt ca. 20 Minuten unter Rückfluss kochen. Danach lasse die Apparatur abkühlen.
- Fülle in einen zweiten sauberen und trockenen Rundkolben einige Siedesteinchen, wäge ihn und notiere die Masse. Setze einen Liebigkühler auf den Kolben und destilliere den Petrolether ab.
- Wäge den Kolben erneut.



Soxhletextraktion

Mit einer Soxhletextraktion lassen sich viel höhere Ausbeuten erzielen als mit einer einfachen Extraktion, da das Probenmaterial in mehreren Zyklen ausgelaugt wird. Hierzu bedient man sich eines besonderen Extraktionsapparates, der um 1900 vom Lebensmittel- und Agrikulturchemiker Franz von Soxhlet entwickelt wurde. Das Lösungsmittel wird zum Sieden erhitzt, steigt als Dampf auf, kondensiert am Kühler und tropft in eine Extraktionshülse, in welcher sich das Probenmaterial (in unserem Fall die Pilze) befindet. Das Lösungsmittel diffundiert durch die Zellstoffwand der Extraktionshülse, nimmt dabei die gelösten Stoffe mit und fließt durch Heberwirkung zurück in den Kolben. Dort reichern sich die extrahierten Stoffe an, während das Lösungsmittel erneut verdampft, kondensiert und das Probenmaterial weiter auslaugt.

- Fülle in den sauberen, trockenen Rundkolben einige Siedesteinchen, wäge ihn und notiere die Masse.
- Fülle ca. 10 g der zerkleinerten (gemahlene) Pilze in die Extraktionshülse. Notiere die genaue Masse der eingefüllten Pilze.
- Fülle den Rundkolben zu knapp der Hälfte mit Petrolether.
- Baue die Apparatur wie in der Skizze ersichtlich auf.
- Drehe das Kühlwasser auf, dann schalte den Heizpilz oder die Heizplatte an und lasse den Kolbeninhalt einige Extraktionszyklen lang kochen.
- Lasse die Apparatur abkühlen. Ersetze Soxhletextraktor und Rückflusskühler gegen einen Liebigkühler und destilliere den Petrolether ab.
- Wäge den Kolben erneut.



Auswertung

Der prozentuale Fettgehalt F ergibt sich nach folgender Formel:

$$F(\%) = 100 \cdot (m_2 - m_1) / E$$

Dabei ist m_1 die Masse des leeren, trockenen Kolbens (mit Siedesteinchen) vor der Extraktion in g, m_2 die Masse des Kolbens mit Fett nach beendeter Extraktion und Trocknung in g und E die Probeneinwaage (getrocknete Pilze) in g.

Je nach Art beträgt der Fettgehalt getrockneter Pilze ca. 1-5 %.

Nachweis ungesättigter Fettsäuren in Pilzfett

Pilzfett enthält einen großen Anteil ungesättigter Fettsäuren, insbesondere Linolsäure und Ölsäure. Die darin enthaltenen Doppelbindungen können einfach mit Bromwasser nachgewiesen werden.

Benötigte Materialien und Chemikalien

- Extrahiertes Pilzfett aus Versuch „Bestimmung des Fettgehaltes von Pilzen“
- Bromwasser
- Pipette

Vorsicht: Bromwasser ist giftig; die Dämpfe reizen Augen und Schleimhäute! Unter dem Abzug arbeiten!



Durchführung

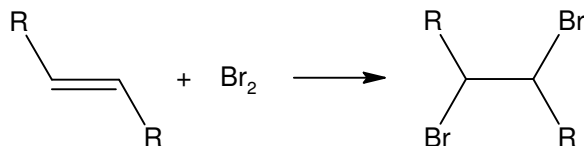
Versetze das Pilzfett mit ca. 1 mL Bromwasser und schüttle gut um.

Beobachtung

Das Bromwasser entfärbt sich.

Erklärung

Brom reagiert in einer elektrophilen Addition mit den Doppelbindungen der Fettsäuren:



Zu beachten ist, dass entsprechend der geringen verfügbaren Menge Pilzfettes nur wenig Bromwasser zugegeben werden darf, sonst liegt Brom u. U. im Überschuss vor und wird nicht vollständig in der Reaktion verbraucht, weswegen eine Entfärbung des Bromwassers ausbleibt.

Wassernachweis

Pilze enthalten natürlich wie alle Lebewesen auch Wasser. Dieses wird im folgenden Versuch nachgewiesen.

Benötigte Materialien und Chemikalien

- Messer
- Cobaltchloridpapier
- frische Champignons oder andere Pilze

Vorsicht: Cobaltchlorid ist giftig, krebserzeugend, erbgutverändernd und fortpflanzungsgefährdend!



Durchführung

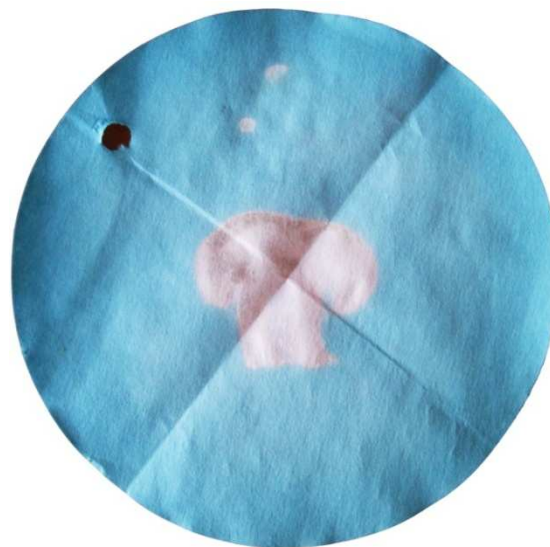
- Das Cobaltchloridpapier wird vom Lehrer durch Tränken von Filterpapier mit Cobalt(II)-chloridlösung und anschließendes Trocknen vorbereitet.
- Schneide ein Stück vom Pilz ab und drücke dieses auf das trockene Cobaltchloridpapier.

Beobachtung

Das blaue Papier färbt sich an den Druckstellen rosa.

Erklärung

Wasserfreies Cobalt(II)-chlorid ist blau. Mit Wasser bilden die Cobalt(II)-Ionen den rosa gefärbten Hexaaquo-Komplex $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$.



Bestimmung des Wassergehalts

Mit folgendem Versuch kann nachgewiesen werden, dass Pilze, wie jedes andere Gemüse auch, zum allergrößten Teil aus Wasser bestehen.

Benötigte Materialien

- Messer
- Uhrglas o. a. Unterlage
- Trockenschrank
- Waage
- frische Champignons oder andere Pilze

Durchführung

- Schneide die Pilze in Stücke, wäge diese und notiere die Masse.
- Lege die Pilzstücke auf einem Uhrglas für mindestens 4 Stunden bei 105 °C in den Trockenschrank.
- Ermittle erneut die Masse der Pilzstücke. Wiederhole Trocknen und Wägen bis zur Gewichtskonstanz.

Habt ihr keinen Trockenschrank zur Verfügung, dann legt die Pilzstücke einfach auf die Heizung. Ihr benötigt dann allerdings mehr Zeit (1-3 Tage) und die getrockneten Pilze enthalten noch einen geringen Wasseranteil. Gut geeignet ist auch ein Dörrapparat, der in manchem Haushalt zu finden ist. Darin dauert das Trocknen von Pilzen ca. 5-10 Stunden.

Beobachtung und Auswertung

Die Masse der Pilze nimmt beim Trocknen sehr stark ab. Die Differenz entspricht dem verdampften Wasser. Setzt man diese zur Ausgangsmasse vor dem Trocknen ins Verhältnis, erhält man den Wassergehalt der frischen Pilze. Zumeist liegt er bei über 90 %.

Aufgabe

500 g Pilze mit einem Wassergehalt von 90 % werden so lange getrocknet, bis der Wassergehalt nur noch 80 % beträgt. Was wiegen die Pilze jetzt?

Bestimmung des Aschegehaltes

Die Asche ist der Rückstand, der nach der vollständigen Verbrennung der organischen Bestandteile der Probe erhalten wird. Im Idealfall entspricht der Aschegehalt dem Mineralstoffgehalt der Probe. Pilzen haften jedoch oft Verunreinigungen (Sand, Ton) an, und auch Kohlepartikel aus unvollständigen Verbrennungsvorgängen können das Ergebnis verfälschen. Dieser Rückstand wird daher als Rohasche oder besser als Glührückstand bezeichnet.

Benötigte Materialien

- Porzellan- oder Magnesiaschale oder Keramiktiegel
- getrocknete und zerkleinerte (gemahlene) Champignons oder andere Pilze
- Waage
- Muffelofen oder Bunsenbrenner

Durchführung

Die getrockneten Pilze werden in eine bis zur Massenkonstanz vorgeglühte Porzellan- oder Magnesiaschale eingewogen und im Muffelofen bei 550 °C (oberhalb 600 °C treten Verluste an Alkalichloriden auf) bis zur Massekonstanz, geglüht. Ist kein Muffelofen vorhanden, kann die Probe auch vorsichtig mit dem Bunsenbrenner verascht werden, was allerdings aufgrund möglichen Probenverlustes zu größeren Fehlern führen kann.

Beobachtung

Als Glührückstand verbleibt weiße Asche.



Auswertung

Der prozentuale Glührückstand bzw. Aschegehalt G wird aus Differenzwägung nach folgender Gleichung berechnet:

$$G (\%) = 100 \cdot (m_2 - m_1) / E$$

Dabei ist m_1 die Masse der leeren Schale in g, m_2 die Masse von Schale und Probe nach Veraschung in g und E die Probeneinwaage in g.

Der Mineralstoffgehalt variiert je nach Pilzart und Alter der Fruchtkörper zumeist 4-20 % der Trockenmasse. Der Glührückstand oder Rohaschegehalt kann dementsprechend etwas höher ausfallen. Für Kulturchampignons werden üblicherweise Werte von ca. 10 % der Trockenmasse erhalten.

Nachweis von Mineralstoffen mittels Flammprobe

Die Flammprobe gehört zu den einfachsten qualitativen Nachweisen von Mineralstoffen.

Benötigte Materialien

- Bunsenbrenner
- Magnesiastäbchen
- eventuell Spektroskop
- Pilzasche aus dem Versuch „Bestimmung des Aschegehaltes“

Durchführung

Erhitze das Magnesiastäbchen in der entleuchteten Brennerflamme bis zur Rotglut, tauche es dann in die Pilzasche und halte es erneut in die Flamme.

Beobachtung

Die Flamme färbt sich gelblich-violett.

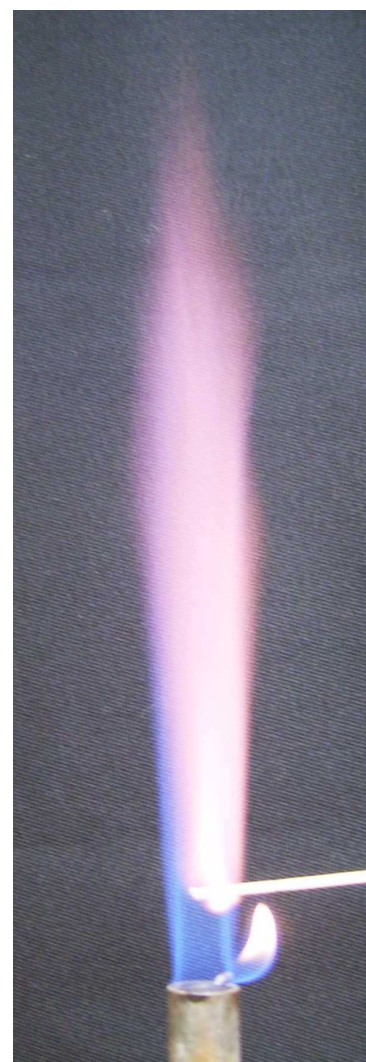
Bei Betrachtung durch ein Spektroskop sind eine intensive gelbe Linie bei ca. 590 nm und eine purpurrote Linie bei knapp 770 nm zu erkennen.

Erklärung

Durch thermische Anregung werden Außenelektronen auf höhere Energieniveaus gehoben. Beim Abkühlen „fallen“ die angeregten Elektronen in ihren ursprünglichen Zustand zurück und geben die Anregungsenergie in Form von Licht wieder ab.

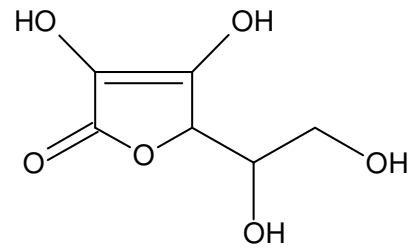
Pilze enthalten - genau wie auch Pflanzen - sehr viel Kalium. Dieses färbt die Flamme rotviolett, verursacht vor allem durch die purpurrote Kalium-Doppellinie bei 766,5/769,9 nm.

Natrium emittiert besonders intensives gelbes Licht. Deshalb dominiert es oft die Flammenfärbung, auch wenn es in Pilzen in viel geringer Konzentration vorhanden ist. Die Natrium-D-Doppellinie liegt bei 589,0/589,6 nm. Sie dient auch der Kalibrierung von Spektrometern.



Nachweis von Vitamin C

Vitamin C ist ein essentieller Nahrungsbestandteil, dessen Bedarf wir durch den Verzehr von Obst und Gemüse decken. Ist es auch in Pilzen enthalten? In folgendem Nachweis wird die reduzierende Wirkung von Ascorbinsäure, wie Vitamin C chemisch heißt, ausgenutzt.



Benötigte Materialien und Chemikalien

- Messer
- Filterpapier
- Zerstäuber (z. B. Parfümfläschchen)
- 1%ige Eisen(III)-chloridlösung
- verdünnte Salzsäure
- 1%ige Kaliumhexacyanoferrat(III)-Lösung (Rotes Blutlaugensalz)
- frische Champignons oder andere Pilze

Durchführung

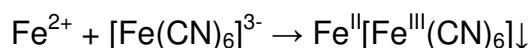
- Das Eisen(III)-chloridpapier wird durch Tränken von Filterpapier in mit Salzsäure angesäuerter 1%iger Eisen(III)-chloridlösung und anschließendes Trocknen vorbereitet.
- Schneide ein Stück vom Pilz ab und drücke dieses auf das Eisen(III)-chloridpapier.
- Besprühe das Papier mit der Kaliumhexacyanoferrat(III)-Lösung.

Beobachtung

An den Stellen, auf die der Pilz gedrückt wurde, hellt das gelbe Eisen(III)-chloridpapier auf. Beim Besprühen mit Kaliumhexacyanoferrat(III)-Lösung färben sich die Stellen blau.

Erklärung

Durch Ascorbinsäure wird Fe^{3+} zu Fe^{2+} reduziert. Dieses bildet mit dem Cyanoferrat(III)-Ion einen Niederschlag von Berliner Blau.



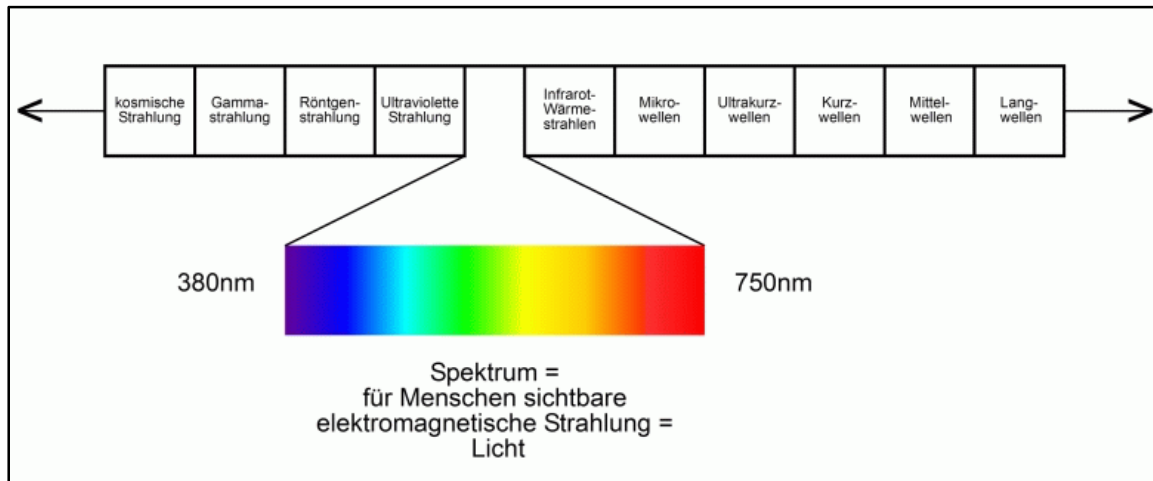
Farbreaktionen von Pilzen



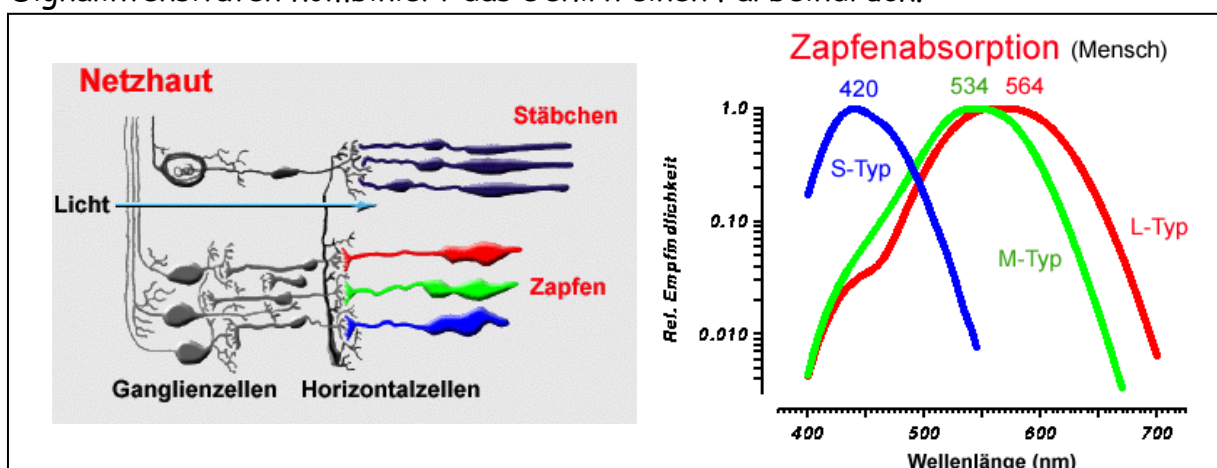
Die Vielfalt der Farben gehört zu den auffälligsten Erscheinungen der Pilzwelt. Rotkappe, Zinnoberschwamm, Schwefelporling und Grünspanträuschling tragen wie viele andere Pilze die Farbe schon im Namen. Dieser ist allerdings insofern zuweilen irreführend, als nicht anorganische Pigmente für die Färbung verantwortlich sind, sondern organische Farbstoffe. In den folgenden Versuchen werden einige dieser Farbstoffe in „ihren“ Pilzen vorgestellt.

Farbempfinden und Entstehung von Farbigkeit

Als „Farbe“ wird der visuelle Sinneseindruck bezeichnet, den beleuchtete Körper bzw. Flächen dem menschlichen Auge aufgrund der Absorption, Reflexion und Streuung bestimmter Anteile des sichtbaren Lichtes, also des Spektrums elektromagnetischer Strahlung mit Wellenlängen von ca. 400-750 nm, vermitteln.

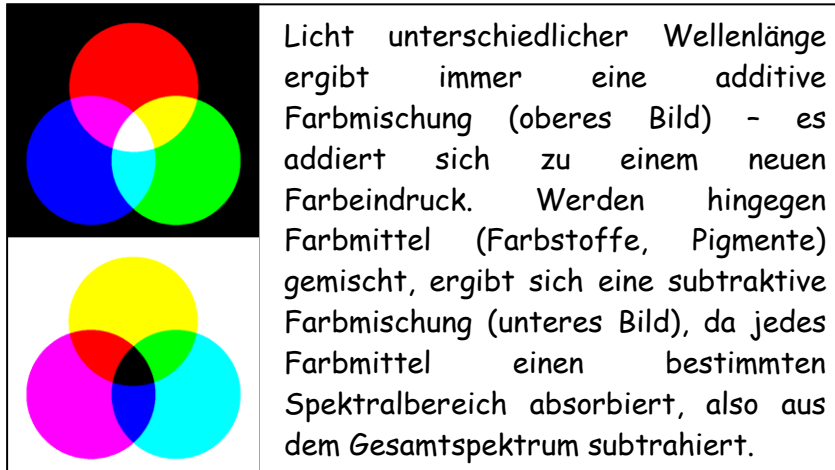


Auf der Netzhaut des Auges befinden sich zwei Arten von Rezeptoren, die lichtempfindlicheren Stäbchen, die für das Dämmerungs- und Nachtsehen genutzt werden und nur Helligkeitsunterschiede wahrnehmen, und die Zapfen, die erst bei ausreichender Lichtintensität aktiv werden und für das Farbsehen verantwortlich sind. Das menschliche Auge besitzt drei Zapfentypen, die aufgrund unterschiedlicher Pigmente mit unterschiedlichen Absorptionsmaxima auf Licht einer Wellenlänge unterschiedlich starke Signale liefern. Aus den Signalintensitäten kombiniert das Gehirn einen Farbeindruck.

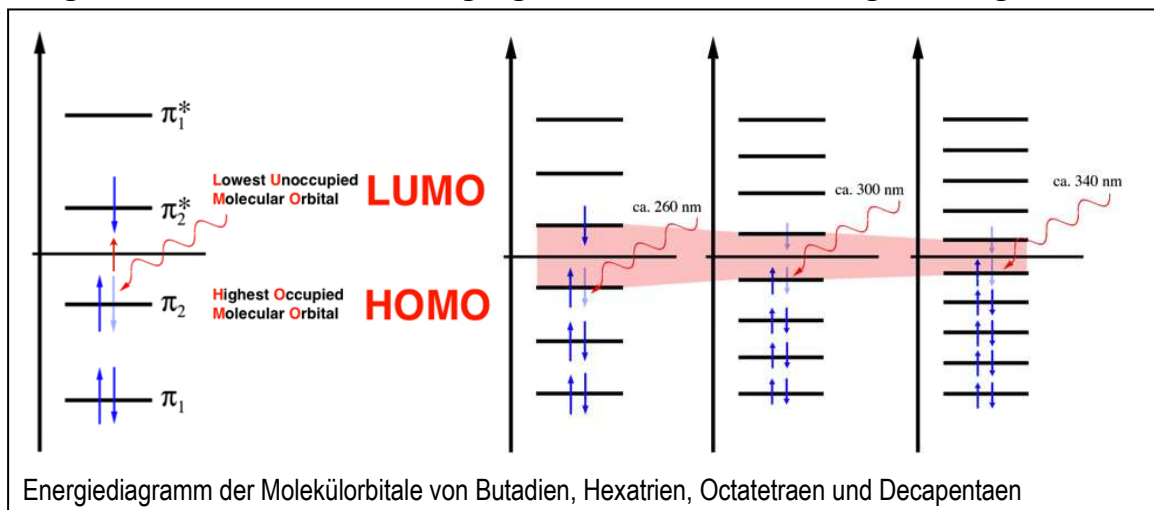


Werden alle drei Zapfen-Typen gleich stark angesprochen, z. B. durch ein kontinuierliches Lichtspektrum, wird die Farbe Weiß wahrgenommen (additive Farbmischung). Reflektiert ein Stoff das gesamte Lichtspektrum, erscheint er folglich weiß, transmittiert er das gesamte Lichtspektrum, erscheint er farblos. Absorbiert er hingegen alle Wellenlängen, erreicht gar kein Licht das Auge, und

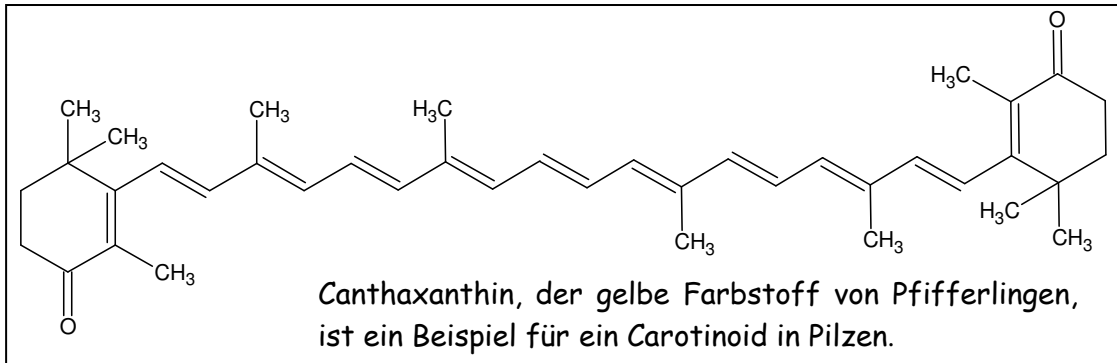
der Stoff erscheint schwarz. Absorbiert ein Stoff Licht bestimmter Wellenlänge, resultiert aus der Gesamtheit der übrigen (reflektierten oder transmittierten) Wellenlängen ein Farbeindruck, der der Farbe des absorbierten Lichtes komplementär ist. Viele Farbstoffe weisen mehrere Absorptionsmaxima auf, aus dem reflektierten Licht, das das Auge erreicht, wird entsprechend ein Farbeindruck zusammengemischt.



Die Absorption von Licht bestimmter Wellenlänge in einem Farbstoff beruht in der Regel auf Elektronenanregungen. Gemeinsames Merkmal organischer Farbstoffmoleküle sind konjugierte π -Bindungen, d. h. die Bindungen mehrerer direkt benachbarter sp^2 -hybridisierter Atome treten zueinander in Resonanz, das π -Elektronensystem ist delokalisiert, was durch das Formulieren unterschiedlicher mesomerer Grenzstrukturen anschaulich gemacht werden kann. Gruppen mit solchen Bindungen werden als Chromophore („Farbträger“) bezeichnet. Je größer die Anzahl konjugierter π -Bindungen ist, desto näher liegen die immer zahlreicheren Molekülorbitale energetisch beieinander, desto kleiner ist somit die Energiedifferenz zwischen den höchsten besetzten und den niedrigsten unbesetzten Molekülorbitalen (*highest occupied molecular orbital* = HOMO und *lowest unoccupied molecular orbital* = LUMO) und desto geringer folglich auch die für die Anregung der Elektronen benötigte Energie.



Die Absorption verschiebt sich somit in den energieärmeren langwelligen Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Diese Erscheinung wird bathochrome („farbvertiefende“) Verschiebung genannt. Während Verbindungen, die nur einzelne Chromophore enthalten, im UV-Bereich absorbieren, dem menschlichen Auge also farblos erscheinen, liegen die Absorptionsmaxima von Verbindungen mit neun und mehr konjugierten Doppelbindungen im Bereich des sichtbaren Lichts; diese Verbindungen erscheinen dem menschlichen Auge farbig. Ein Beispiel für solche Verbindungen unter den Naturfarbstoffen sind die Carotinoide.



Substituenten mit freien Elektronenpaaren üben auf das chromophore System einen mesomeren Effekt aus. Durch weitgehende Delokalisierung der π -Elektronen rücken die Energieniveaus der Molekülorbitale noch näher zusammen, was eine zusätzliche bathochrome Verschiebung zur Folge hat. Solche Substituenten, die bereits in Verbindung mit relativ kurzen Chromophoren intensive Farbigkeit bewirken können, werden als Auxochrome bezeichnet. Fast alle Naturfarbstoffe enthalten solche Auxochrome zumeist in Form von Hydroxyl-, Methoxy-, Carbonyl- oder Amino-Gruppen.

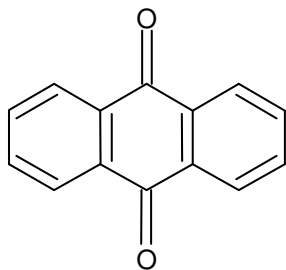
Verkürzt lässt sich formulieren, dass die Absorption einer Verbindung umso weiter im langwelligen Bereich liegt, je ausgedehnter das chromophore System ist und je ausgeprägter dessen Mesomerie ist, je kleiner also die energetischen Unterschiede zwischen den mesomeren Grenzstrukturen sind. Mit Hilfe der Molekülorbitaltheorie (MO-Theorie) lassen sich diese Vorgänge auch quantitativ beschreiben.

Nachweis von Anthrachinonfarbstoffen in Hautköpfen

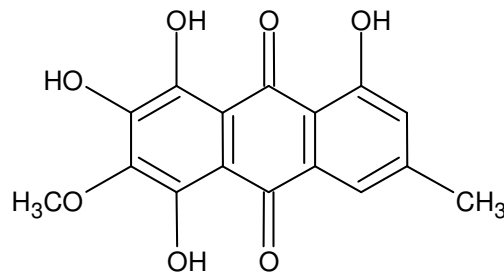
Die im Herbst in Nadelwäldern wachsenden Hautköpfe (*Dermocybe*) sind eine Gruppe innerhalb der enorm artenreichen Pilzgattung der Schleierlinge (*Cortinarius*). Von allen anderen Vertretern dieser Gattung unterscheiden sich Hautköpfe jedoch durch eine Besonderheit: sie enthalten Anthrachinonfarbstoffe. Das sind Farbstoffe,



die ansonsten im Pflanzen- und Tierreich verbreitet sind und seit Jahrhunderten für die Beizenfärberei von Textilien genutzt werden. Besonders bedeutende Vertreter dieser Farbstoffgruppe sind das Alizarin aus der Krappwurzel und das Karmin aus den Cochenille-Schildläusen. Anthrachinonfarbstoffe leiten sich vom Anthrachinon ab, einem gelben, nur in unpolaren organischen Lösungsmitteln löslichen Diketon. Sind die H-Atome der aromatischen Ringe durch Hydroxylgruppen substituiert, ändern sich sowohl Farbe als auch Löslichkeit der Verbindung. Dermocybin z. B. ist rot und löst sich in polaren Lösungsmitteln wie Alkoholen oder Wasser.



Anthrachinon



Dermocybin

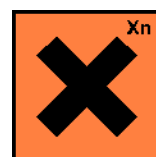
Neben Dermocybin kommen in den Hautköpfen noch zahlreiche andere Anthrachinonfarbstoffe vor, die sich durch Anzahl und Anordnung der enthaltenen Substituenten (Hydroxyl-, Methyl-, Carboxyl- und Methoxygruppen) unterscheiden.

Benötigte Materialien und Chemikalien

- Zellstoff
- Pipette
- Ethanol
- Hautköpfe (Dermocybe-Arten)

Vorsicht: Ethanol ist leichtentzündlich!

Anthrachinonfarbstoffe sind gesundheitsschädlich!



Durchführung

Befeuchte den Zellstoff mit etwas Ethanol und drücke den Pilz darauf.

Beobachtung und Erklärung

Anthrachinonfarbstoffe lösen sich in Ethanol. Dadurch wird der Zellstoff gelborange bis rot gefärbt.

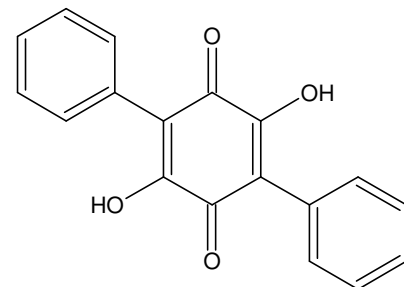


Nachweis von Polyporsäure im Zimtfarbenen Weichporling

Der Zimtfarbene Weichporling (*Hapalopilus nidulans*) wächst im Sommer und Herbst an verschiedenen Laub- und Nadelhölzern. Bemerkenswert und bei Färbern sehr begehrt ist dieser ansonsten eher unscheinbare Pilz durch seinen enorm hohen Farbstoffgehalt von bis über 40 % der



Trockenmasse. Dieser Farbstoff, die giftige Polyporsäure, ist zunächst zimtbraun gefärbt wie der Pilz und in Wasser nahezu unlöslich. In Laugen allerdings bildet sich das tiefviolette, wasserlösliche Polyporsäure-Anion.



Benötigte Materialien und Chemikalien

- Uhrglas
- verdünnte Kalilauge oder Ammoniaklösung
- Pipette
- Zimtfarbener Weichporling (*Hapalopilus nidulans*)

Vorsicht: Polyporsäure ist giftig. Pilze nicht kosten - Gefahr lebensgefährlicher Vergiftung!

Kalilauge und Ammoniaklösung sind ätzend!



Durchführung

Lege ein Stück des Zimtfarbenen Weichporlings auf das Uhrglas und gib einen Tropfen Kalilauge oder Ammoniaklösung auf den Pilz.

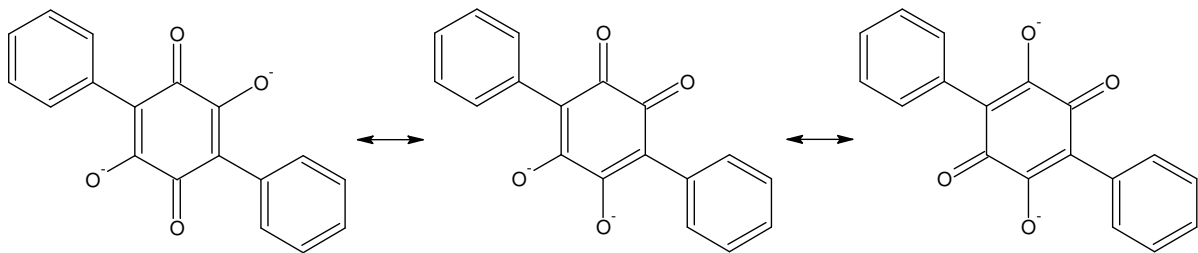
Beobachtung

Die mit Lauge benetzten Stellen des Pilzes färben sich violett.



Erklärung

Polyporsäure löst sich im basischen Milieu. Im gelösten Polyporsäure-Anion sind die negativen Ladungen delokalisiert. Es lassen sich verschiedene mesomere Grenzstrukturen formulieren:



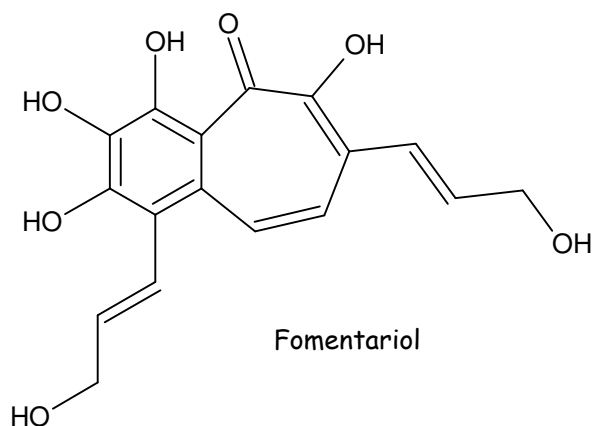
Dadurch ist die Anregungsenergie der Elektronen stark herabgesetzt, was die intensive Farbigkeit der Verbindung bewirkt.

Diese sehr spezifische Nachweisreaktion wird auch in Bestimmungsschlüsseln zur Unterscheidung des Zimtfarbenen Weichporlings von anderen Porlingen benutzt.

Nachweis von Fomentariol im Zunderschwamm

„Das brennt wie Zunder“ - aus dem Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*) hat man in früheren Zeiten, bevor Streichhölzer und Feuerzeug erfunden wurden, Zunder zum Entfachen des Feuers gewonnen. Auch im Thüringer Wald war die Zunderherstellung über Jahrhunderte ein wichtiger Wirtschaftszweig.

Der Zunderschwamm befällt altersschwache Bäume, vor allem Buchen und Birken, und zersetzt deren Holz. In naturnahen, „unaufgeräumten“ Wäldern ist er häufig und zu jeder Jahreszeit anzutreffen. Denen, die diesen Pilz noch nicht kennen, kann es schwer fallen, ihn von anderen Baumpilzen zu unterscheiden. Hierbei kann etwas Natronlauge helfen. Nur in der grauschwarzen Kruste des Zunderschwamms findet sich der rote Farbstoff Fomentariol. Dieser kann mittels Lauge herausgelöst werden.



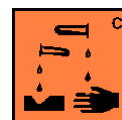
Benötigte Materialien und Chemikalien

- Uhrglas
- verdünnte Kalilauge
- Pipette
- Zunderschwamm und andere Baumpilze

Vorsicht: Kalilauge ist ätzend!

Durchführung

Lege ein Stück Zunderschwamm auf das Uhrglas und gib einige Tropfen Kalilauge auf die Oberseite des Pilzes.



Beobachtung

Handelt es sich um den echten Zunderschwamm, färbt sich der Tropfen blutrot. Verfärbt er sich nur blass oder überhaupt nicht, hast Du wohl keinen Zunderschwamm, sondern einen seiner Doppelgänger erwischt.

Erklärung

Durch Basen wird das blutrote Fomentariol aus der Zunderschwammkruste herausgelöst.



Isolierung von Polyporsäure, Atromentin und Fomentariol

Die Löslichkeit dieser Farbstoffe in Basen kann man sich zunutze machen, um sie aus den Pilzen zu extrahieren.

Benötigte Materialien und Chemikalien

- Bechergläser
- Trichter und Filterpapier
- Messer
- verdünnte Ammoniaklösung
- verdünnte Natronlauge
- verdünnte Salzsäure
- Zimtfarbener Weichporling
- Samtfußkrempling
- Zunderschwamm
- Wasser
- Unitestpapier

Vorsicht: Polyporsäure ist giftig. Pilze nicht kosten - Gefahr lebensgefährlicher Vergiftung!

Ammoniaklösung, Natronlauge und Salzsäure sind ätzend!



Isolierung von Polyporsäure

Durchführung

Als Ausgangsmaterial für die Darstellung von Polyporsäure werden am besten Fruchtkörper des Zimtfarbenen Weichporlings verwendet, die zu Beginn des Winters gesammelt wurden, da dann die löslichen Stoffe durch den Regen ausgelaugt wurden, während die in Wasser unlösliche und widerstandsfähige Polyporsäure erhalten bleibt.

- Zerkleinere den Pilz, gib die Stücke in das Becherglas, übergieße sie mit Ammoniaklösung und lasse das Ganze zugedeckt bis zum nächsten Tag stehen.
- Filtriere die violette Lösung. Lauge die Pilzstücke so lange wiederholt mit Wasser aus, bis die Lösung nicht mehr gefärbt ist.
- Versetze die Lösung mit einem geringen Überschuss Salzsäure bis zur leicht sauren Reaktion und filtriere den Niederschlag ab.

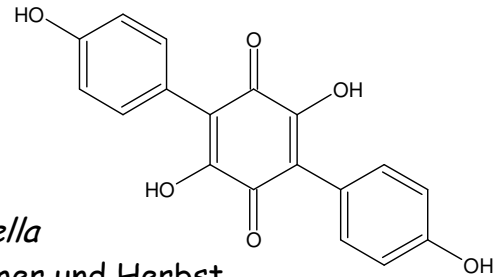
Der ockerfarbene Niederschlag ist Polyporsäure. Versetzt man ihn mit Ammoniak, bildet sich wieder eine violette Lösung. Löst man den Niederschlag hingegen in Kalilauge und lässt die rotviolette Lösung mehrere Tage stehen, setzt sich das Kaliumsalz der Polyporsäure in Form purpurner Kristalle ab.

Isolierung von Atromentin

Atromentin gehört wie die Polyporsäure zu den Terphenylchinonen, einer vielfältigen und sehr verbreiteten Pilzfarbstoffgruppe.

Atromentin kommt im Samtfußkrempling (*Tapinella atrotomentosa*) vor, einem Pilz, der im Spätsommer und Herbst

zumeist gesellig an abgestorbenen Nadelholzstubben wächst und recht groß werden kann. Die Hüte sind seitlich gestielt, auf der Oberseite braun, an der Unterseite mit hellen, oft braunfleckigen Lamellen. Deutlichstes Kennzeichen und Namensgeber ist der gedrungene, wie mit dunkelbraunem Samt überzogene Stiel. Aufgrund ihres bitterlichen Geschmackes eignen sich Samtfußkremplinge nicht als Speisepilze.



Durchführung

- Zerkleinere den Pilz, gib die Stücke in das Becherglas, übergieße sie mit Natronlauge und lasse das Ganze zugedeckt bis zum nächsten Tag stehen.
- Filtriere die dunkelbraune Lösung und versetze sie mit einem geringen Überschuss Salzsäure bis zur leicht sauren Reaktion.
- Filtriere den braunen Niederschlag ab.

Der braune Niederschlag enthält ca. 10 % Atromentin. Reines Atromentin kannst Du erhalten, indem Du den Niederschlag in heißer Essigsäure löst und einige Tage stehen lässt. Der Farbstoff scheidet sich in Form dunkelbrauner, metallisch glänzender Kristallblättchen ab.

Isolierung von Fomentariol

- Gib abgetrennte Zunderschwammkruste in das Becherglas, übergieße sie mit Natronlauge und lasse das Ganze zugedeckt bis zum nächsten Tag stehen.
- Filtriere die dunkelrote Lösung und versetze sie mit einem geringen Überschuss Salzsäure bis zur leicht sauren Reaktion.
- Filtriere den ockergelben Niederschlag ab. Dieser Niederschlag ist - noch verunreinigtes - Fomentariol. In Basen löst er sich wieder mit blutroter Farbe.

Pilze werden blau

Ein vielen Menschen bekanntes Phänomen ist das Blauanlaufen einiger Röhrenpilzarten bei Verletzung. Gut zu beobachten ist dieses Phänomen z. B. bei dem als Speisepilz beliebten Maronenröhrling oder den ebenfalls essbaren Hexenröhrlingen.

Der **Maronenröhrling** (*Xerocomus badius*) wächst im Sommer und Herbst vor allem in Nadelwäldern auf sauren Böden. Namensgebend ist die kastanienbraune Hutoberseite. Der Stiel ist hellbraun netzartig gefasert. Die anfangs hellgelben, im Alter olivgrünlichen Röhren verfärben sich bei Druck blaugrün. Das weißlich-blassgelbe Fleisch läuft im Schnitt blau an.



Der **Flockenstielige Hexenröhrling** (*Boletus erythropus*) wächst im Sommer und Herbst in Laub- und Nadelwäldern auf saurem Boden vor allem in mittleren Gebirgslagen. Die Hutoberseite ist zumeist dunkelbraun, zuweilen auch heller. Die Röhren sind gelb, deren Mündungen leuchtend rot, bei Druck schwarzblau verfärbend. Der bauchige Stiel ist auf gelbem Grund dicht mit roten Flecken bedeckt und bei Druck ebenfalls blauend. Das blassgelbe Fleisch läuft im Schnitt sofort dunkelblau an, verblasst aber bald wieder.



Der **Netzstielige Hexenröhrling** (*Boletus luridus*) ähnelt in Habitus und Färbung dem Flockenstieligen Hexenröhrling, hat aber auf dem Stiel auf gelbem Grund eine orangerote Netzzeichnung und wächst zumeist in Laubwäldern auf Kalkboden. Auch er läuft bei Druck und Verletzung sofort tiefblau an und verblasst bald wieder.



Benötigte Materialien

- Glas, Messer, Papier, Wasser
- Maronen-, Hexen- oder andere Röhrlinge

Durchführung

- Zerschneide den Pilz.
- Drücke einen frisch zerschnittenen Pilz mit der Schnittfläche auf Papier.
- Gib frisch geschnittene Pilzstücke in ein mit Wasser gefülltes Glas und schwenke sie etwas darin.

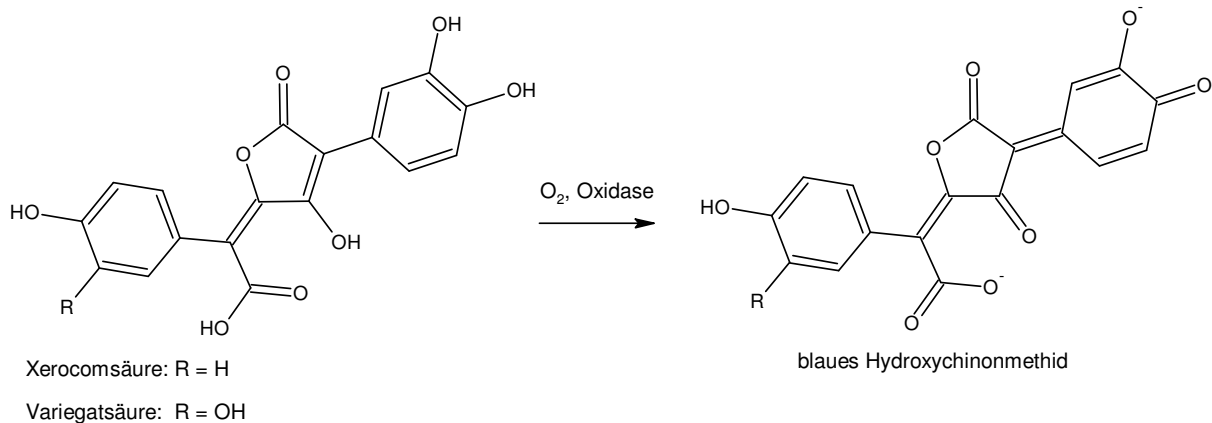
Beobachtung

- Die Schnittflächen des Pilzes laufen blau an, verblassen aber bald wieder.
- Auf dem Papier hinterlassen die Schnittflächen des Pilzes blaue Abdrücke, die ebenfalls bald verblassen.
- Beim Schwenken in Wasser entsteht eine blaue Lösung, die nach einiger Zeit verblasst.



Erklärung

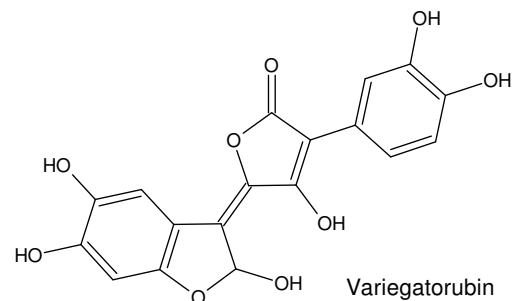
Die Röhrlinge enthalten sogenannte Pulvinsäuren. Diese werden bei Zutritt von Luftsauerstoff enzymatisch oxidiert. Aus den gelblichen Pulvinsäuren entsteht dabei ein blaues Hydroxychinonmethid. Die negativen Ladungen des Hydroxychinonmethid-Anions lassen eine weitgehende Delokalisierung der Elektronen über das gesamte chromophore System zu. Dadurch verschiebt sich das Absorptionsspektrum, und die Farbe ändert sich.



Pulvinsäuren und ihre Oxidationsprodukte sind gut in Wasser löslich. Durch Schwenken der Stücke eines zerschnittenen Röhrlings wird eine blaue Lösung erhalten, da die herausgelöste Pulvinsäure durch den ins Wasser gelangenden Luftsauerstoff sofort oxidiert wird.

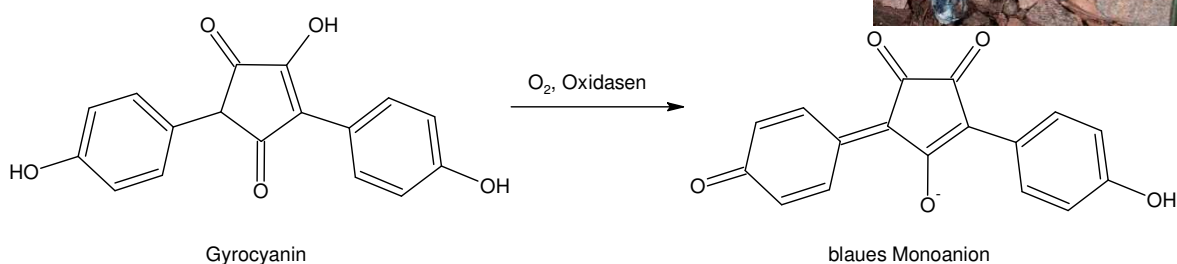
Die verschiedenen Pulvinsäuren unterscheiden sich lediglich durch Anzahl und Anordnung einiger Hydroxylgruppen. Der Maronenröhrling und seine nächsten Verwandten enthalten Xerocomsäure. In den Hexenröhrlingen ist Variegatsäure enthalten. Einige Pilzarten verfärben sich nicht, obwohl sie ebenfalls Pulvinsäuren enthalten. Ihnen fehlt das für die Oxidation zum blauen Farbstoff benötigte Enzym.

Aus Variegatsäure entsteht durch enzymatische Oxidation auch Variegatorubin, das Stiel und Röhrenmündungen der Hexenröhrlinge die rote Farbe verleiht.



Die braunen Hutfarbstoffe von Maronenröhrling, Hexenröhrlingen und weiteren Röhrlingen entstehen ebenfalls - durch Kondensation - aus Pulvinsäuren.

Es gibt noch weitere Redoxsysteme, die zur Verfärbung von Pilzen führen. Der seltene Kornblumenröhrling (*Gyroporus cyanescens*) z. B. färbt sich durch enzymatische Oxidation des gelben Gyrocyanins bei Verletzung kornblumenblau.



Malen mit Pilzen

Der Milchsaft einiger Pilzarten lässt sich direkt als „Malfarbe“ verwenden. Besonders geeignet hierfür sind der Große Bluthelmling (*Mycena haematopus*)



Orangemilchender Helmling
(*Mycena crocata*)

und der Gelb- oder Orangemilchende Helmling (*Mycena crocata*). Diese zur sehr artenreichen und ansonsten schwer zu bestimmenden Gattung der Helmlinge gehörenden Pilze sind anhand ihres milchsaftes leicht zu erkennen. Beide wachsen im Herbst in naturnahen Laubwäldern auf verrottendem Holz, besonders auf alten Buchenstubben. Vor allem der Gelbmilchene Helmling tritt stellenweise sehr häufig auf. Er ist klein und

zart, auf der Hutoberseite bräunlich-grau, zum Rand hin blasser, am Stiel orangebraun gefärbt. Der im Pilz sehr reichlich vorhandene, leuchtend orangefarbene bis safranrote Milchsaft schimmert im Hut vor allem in den hellen, sehr zarten Lamellen oft durch und lässt diese orangefleckig erscheinen. Der Große Bluthelmling ist etwas größer und kräftiger als der Gelbmilchende Helmling und nicht ganz so häufig. Sein Milchsaft ist dunkelrotbraun gefärbt.

Benötigte Materialien

- frische Fruchtkörper von Großem Bluthelmling (*Mycena haematopus*) oder Orangemilchendem Helmling (*Mycena crocata*)
- Papier

Durchführung

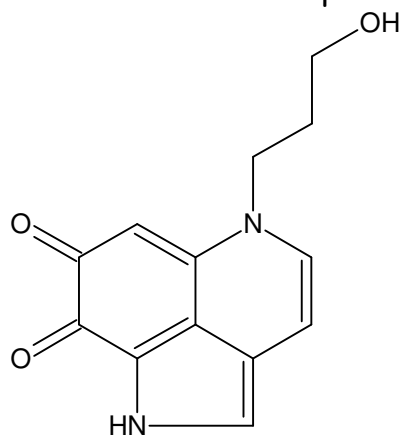
Werden die milchenden Helmlinge „gepflückt“, läuft der Milchsaft aus dem Stiel heraus und lässt sich direkt auf Papier malen, indem die Pilzstiele wie Stifte oder Pinsel verwendet werden.

Die Farbe des Milchsaftes bleibt beim Eintrocknen desselben erhalten und verblasst auch im Verlauf mehrerer Jahre nicht.

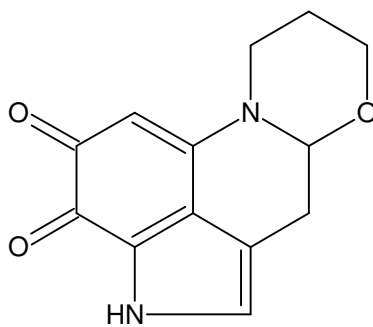


Erklärung

Die Farbstoffe sind erst zum Teil erforscht. Der frische Milchsaft des Großen Bluthelmlings enthält z. B. gelbes Mycenaflavin, das erst bei Lufteinwirkung in rotviolett Haematopodin umgewandelt wird.



Mycenaflavin



Haematopodin

Wielsandscher Zeitungstest - Nachweis der Gifte des Grünen Knollenblätterpilzes

Es gibt zahlreiche Volksweisheiten über angeblich bewährte Methoden, um giftige von essbaren Pilzen sicher zu unterscheiden. Diese „Hausmittel“ scheitern allgemein an der Vielfalt der Pilzgifte. Es gibt keine Reaktion, mit der gleichermaßen alle möglichen Gifte erfasst werden.

Jedoch 90 % aller tödlich verlaufenden Pilzvergiftungen werden durch den Verzehr des Grünen Knollenblätterpilzes und seiner nächsten Verwandten, des Weißen und des Spitzhütigen Knollenblätterpilzes, hervorgerufen.

Der Grüne Knollenblätterpilz (*Amanita phalloides*) wächst im Sommer und Herbst im Laubwald, häufig unter Eichen.

Die Hutoberseite ist gelbgrün, olivgrün oder graugrün gefärbt. Die weißen Lamellen sind nicht am Stiel angewachsen. Der Stiel trägt unter dem Hut einen häutigen Ring, ist am Grunde knollig verdickt und steckt in einer häutigen Volva, die im Erdreich verborgen sein kann. Ganz junge Pilze sind noch komplett von einer weißen Hülle umgeben und sehen dann eiförmig aus.



Grüner Knollenblätterpilz
(*Amanita phalloides*)

Der Weiße und der Spitzhütige Knollenblätterpilzes (*Amanita verna* und *Amanita virosa*) sind ähnlich gebaut, allerdings ist ihre Hutoberseite rein weiß.

Die Pilze enthalten Phalloidine und Amanitine (auch Phallotoxine und Amatoxine genannt), das sind hochgiftige, ringförmige Peptide. Bereits ein reifer Fruchtkörper enthält genügend Giftstoffe, um einen erwachsenen Menschen zu töten. Auch im Gifthäubling (*Galerina marginata*) und einigen Schirmlingen wurden diese Gifte in gefährlichen Mengen nachgewiesen. Darüberhinaus kommen sie in zahlreichen weiteren Pilzen, auch Speisepilzen, in äußerst geringen, unschädlichen Mengen vor.



Gifthäubling
(*Galerina marginata*)

Typisch für Knollenblätterpilzvergiftungen sind die lange Latenzzeit von mehreren Stunden und der zweiphasige Verlauf: nach heftigsten Magen-Darm-Beschwerden tritt zunächst eine scheinbare Besserung ein, bevor sich schwere Organschäden vor allem der Leber, der Nieren und des Herzens bemerkbar machen, die unbehandelt in 80-90 % der Fälle zum Tode führen. Durch frühzeitige intensive Behandlung wurde die Letalität auf 10-20 % gesenkt.

Benötigte Materialien und Chemikalien

- Messer
- Grüne Knollenblätterpilze
- Zeitungspapier (möglichst holzhaltig)
- 6-molare Salzsäure

Vorsicht: Grüne Knollenblätterpilze sind tödlich giftig!

Nicht kosten! Nach dem Versuch Hände waschen!

Salzsäure wirkt ätzend!



Durchführung

- Gib etwas Pilzsaft auf das Zeitungspapier, z. B. indem du ein frisch geschnittenes Pilzstück auf das Papier drückst.
- Lasse den entstandenen feuchten Fleck an der Luft eintrocknen.
- Befeuchte den Fleck mit Salzsäure.

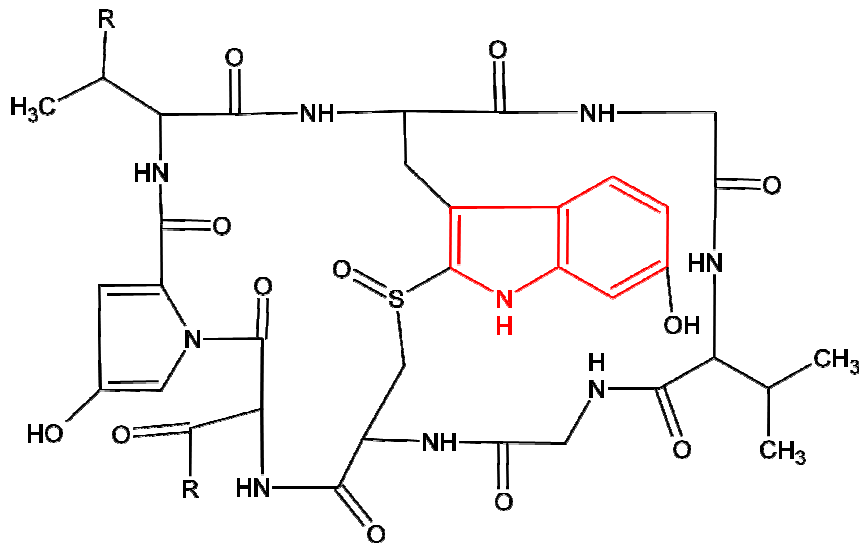
Beobachtung

Bei Anwesenheit von Amanitinen färbt sich der Fleck binnen fünf bis zehn Minuten blau. Die Intensität der Blaufärbung ist abhängig von der Amanitin-Konzentration und korreliert folglich mit der Giftigkeit des Pilzes.



Erklärung

Die Färbung beruht auf einer Kondensationsreaktion des im Papier enthaltenen Lignins mit der Indol-Struktur im Amanitin-Molekül.



Amanitin

Der Wielandsche Zeitungstest wurde 1949 von Theodor Wieland in Anlehnung an die nach demselben Prinzip funktionierende Fichtenspan-Reaktion entwickelt. Diese Reaktion wurde 1833 von Friedlieb Ferdinand Runge bei der Untersuchung von Pyrrol gefunden. Ein mit Salzsäure befeuchteter Fichtenholzspan wird von Pyrroldämpfen feuerrot gefärbt (daher der Name: griechisch *pyrros* = feuerrot und lateinisch *oleum* = Öl). Auch mit Indol und Derivaten bilden sich intensiv gefärbte Kondensationsprodukte.

Achtung: Zuweilen fällt der Wielandsche Zeitungstest nicht so deutlich positiv wie erwartet aus. Grund dafür kann neben geringem Amatoxin-Gehalt des Pilzes auch der geringe Lignin-Gehalt heutigen Zeitungspapiers sein. Deshalb sollte aus einem negativen oder undeutlichen Testergebnis auf keinen Fall bedenkenlos auf Ungiftigkeit des Pilzes geschlossen werden. Bester Schutz vor Pilzvergiftungen ist in jedem Fall, Pilze, über deren Genießbarkeit nicht 100%ige Sicherheit besteht, für den Verzehr zu meiden.

Tintlingstinte



Herstellen von Tinte aus Tintlingen

Tintlinge (Gattung *Coprinus*) tragen ihren Namen zu recht: mit der Sporenreife setzt bei ihnen eine enzymatische Zersetzung ein, in deren Folge die Pilze zu einer schwarzbraunen, tintenartigen Flüssigkeit zerfließen. Für die Tintenherstellung am geeignetsten ist der Graue Faltentintling (*Coprinus atramentarius*), den man von Sommer bis Spätherbst an nährstoffreichen Orten, oft an verrottendem Holz, finden kann.

Die schwarze Farbe rührt von den Sporen des Pilzes her, um deren Suspension es sich bei der Tinte handelt. Da die Sporen sehr widerstandsfähig sind, ist auch die Tinte sehr haltbar.



Geräte/Chemikalien

- Bechergläser
- Sieb
- Heizplatte oder Brenner
- Spatel
- reife Tintlinge (bevorzugt Faltentintlinge)
- Gewürznelken oder andere aromatische Zusätze
- Gummi arabicum
- eventuell Stereolupe oder Mikroskop

Durchführung

Die Hüte der Tintlinge werden geerntet, wenn sie sich schwarz färben und zu zerfließen beginnen. Sie werden in ein Glas gelegt und stehengelassen. Nach wenigen Tagen hat sich aus den Pilzhüten eine schwarze Flüssigkeit gebildet. Diese wird durch ein Sieb gegossen, um sie von festen Bestandteilen zu befreien, und unter Zusatz von einem Spatel Gummi arabicum und einigen Gewürznelken oder einigen Tropfen Nelkenöl aufgekocht. Eventuell kann das Volumen noch etwas eingedampft werden, um die Tinte dickflüssiger zu machen.

Unter mikroskopischer Vergrößerung sind die Sporen zu erkennen, aus denen die Tintlingstinte besteht.

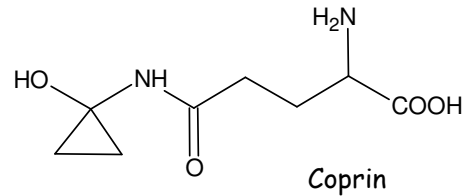
Geschichtliches

Der französische Arzt und Botaniker Jean Baptiste Françoise Pierre Bulliard (1742-1793) erwähnte in seinem in den Jahren 1780-1798 erschienenen Tafelwerk, er hätte aus dem Faltentintling „eine sehr gute Tinte für Tuschezeichnung“ hergestellt. Ca. 100 Jahre später griff der französische Pharmazeut und Mykologe Jean-Louis Émile Boudier (1828-1920) diesen

Gedanken auf und stellte die Tinte nebst Rezeptur ihrer Herstellung auf einer Konferenz der Botanischen Gesellschaft Frankreichs vor. Der Präsident der Gesellschaft bescheinigte der in Augenschein genommenen Tinte „tatsächlich ein sehr schönes Schwarz, und dass es unmöglich sei, sie auf bloße Betrachtung hin von einer gewöhnlichen schwarzen Tinte zu unterscheiden“.

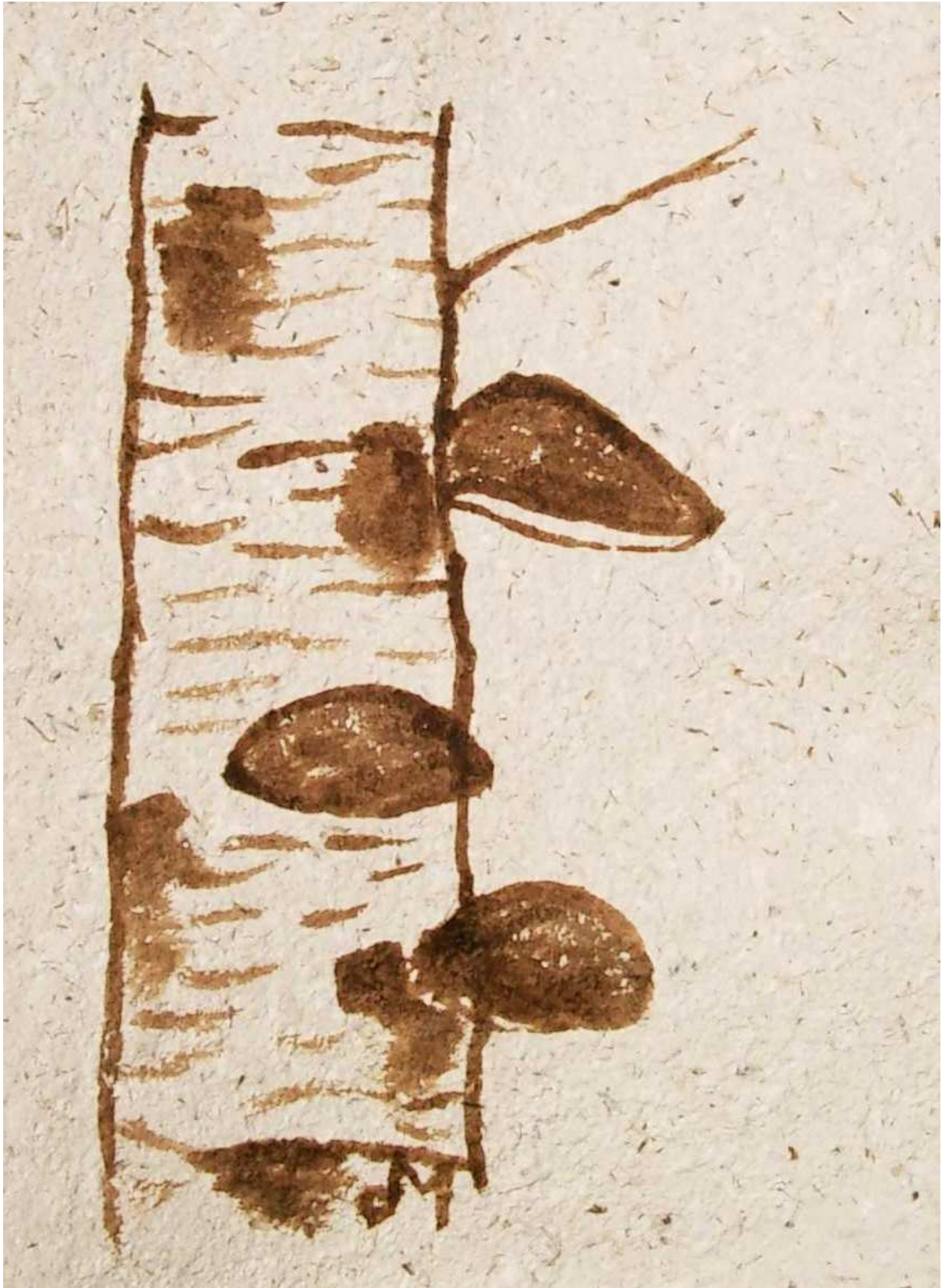
Dennoch geriet die Tintlingstinte erneut in Vergessenheit und wurde erst vor wenigen Jahren wiederentdeckt.

Wissenswert: Der an sich ungiftige Faltentintling verursacht in Verbindung mit Alkohol heftige Unverträglichkeitsreaktionen. Die in diesem Pilz enthaltene Aminosäure Coprin bzw. deren Abbauprodukt 1-Aminocyclopropanol hemmt das Enzym Acetaldehyd-Dehydrogenase, wodurch der Ethanolabbau in der Leber auf der Stufe des Acetaldehyds stehen bleibt, es kommt folglich zu einer Acetaldehydvergiftung. Dies macht den Faltentintling zum „Antialkoholikerpilz“.



Federzeichnung von Faltentintlingen mit Tintlingstinte

Porlingspapier



Herstellen von Papier aus Porlingen

Das Grundprinzip der neuzeitlichen Papierherstellung wurde um 100 n. Chr. in China erfunden und breitete sich, nachdem es im 12. Jahrhundert durch die Araber nach Spanien gebracht wurde, bis ins 14. Jahrhundert in ganz Europa aus. Zunächst dienten als Rohstoffe ausschließlich Lumpen und Abfälle aus der Tuchmacherei, also Fasern von Hanf, Leinen, Baumwolle und anderen Faserpflanzen. Erst seit im 19. Jahrhundert das Holzschliffverfahren und die Zellstoffherstellung entwickelt wurden, wird Papier überwiegend aus Holzfasern hergestellt.

Die Idee, Pilze als Papierrohstoff zu verwenden, stammt aus Schweden und gelangte in den vergangenen Jahren auch nach Deutschland.

Für diesen Versuch lässt sich im Prinzip jeder dickfleischige Pilz verwenden, Birkenporlinge eignen sich aber besonders gut, weil sie fast keine Farbstoffe enthalten und sehr zäh sind, so dass der aus ihnen hergestellte Karton hell, fast weiß und sehr fest ist.

Der Birkenporling (*Piptoporus betulinus*) ist ein holzbewohnender Pilz, der ausschließlich geschwächte oder abgestorbene Birken befällt. Die Fruchtkörper sind kissenartig gewölbt, mit stielähnlicher Anwachsstelle, ledriger, bräunlicher Oberhaut und weißem Fleisch, in jungem Zustand weich und saftig, später trocken und sehr zäh. Sie sind einjährig, verbleiben aber nach dem Absterben am Stamm, werden dann allerdings in zunehmendem Maße von Insekten und Milben befallen. Aufgrund seiner Bitterkeit und Zähigkeit ist der Birkenporling hinsichtlich seines Speisewertes für den Menschen als ungenießbar einzustufen.



Zuweilen wird der Birkenporling als Heilpilz gehandelt. Ob er tatsächlich die versprochene antibiotische und entzündungshemmende Wirkung besitzt, ist allerdings nicht nachgewiesen. Der Mann vom Hauslabjoch, allgemein bekannt als „Ötzi“, trug zwei Birkenporlingsfruchtkörper bei sich, die ihm möglicherweise als „steinzeitliche Apotheke“ dienten.

Benötigte Materialien



- Birkenporlinge oder andere festfleischige Pilze
- Wasser
- Kochtopf
- Heizplatte
- Pürierstab
- Wanne
- Rührlöffel
- Schöpfsieb und -rahmen
- saugfähige Tücher
- Filzpappen
- alte Zeitungen
- Nudelholz

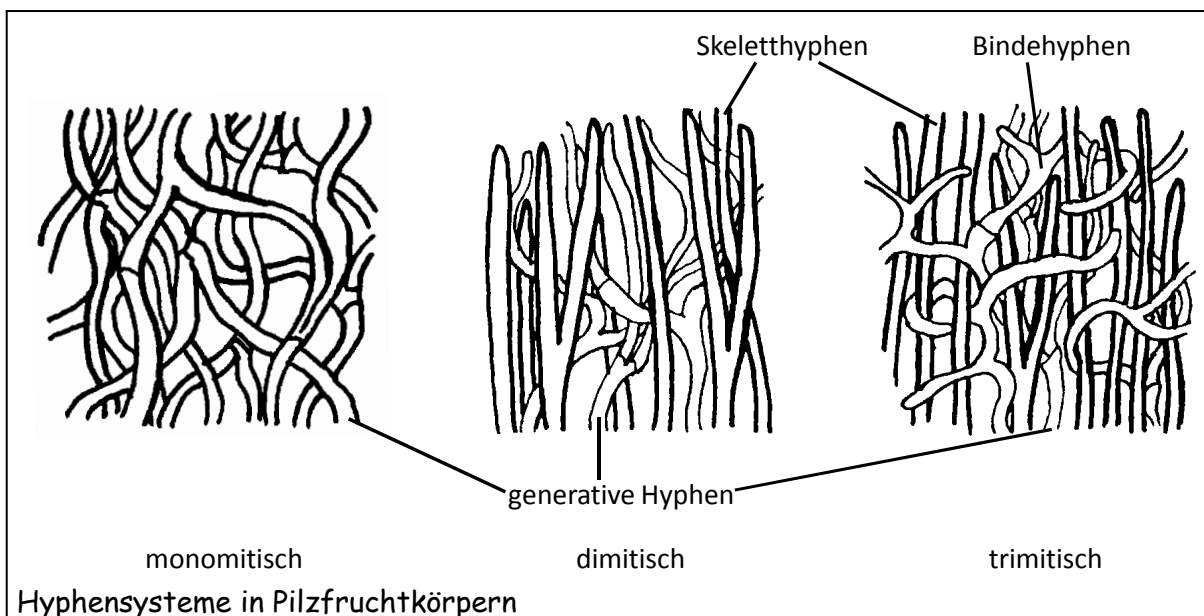
Durchführung

- Schneide die Birkenporlinge in kleine Würfel und lasse sie 15 Minuten kochen. Zerkleinere sie danach mit einem Pürierstab.
- Gib nun den Pilzbrei in eine große Wanne, die auf die Größe der Schöpfrahmen abgestimmt ist, verdünne gegebenenfalls und rühre mit dem Rührlöffel solange um, bis die Fasern fein verteilt sind.
- Lege den Formgebungsrahmen auf den Gitterrahmen. Tauche diese dann in die gefüllte Wanne.
- Nachdem sich der Pilzbrei fein auf das Gitter verteilt hat, hebe die Rahmen heraus und lass alles gut abtropfen.
- Streiche vorsichtig mit dem Tuch unter dem Sieb entlang das Wasser ab. Wringe das Tuch über der Wanne aus. Wiederhole diese Prozedur mehrmals.

- Nimm vorsichtig den Formgebungsrahmen vom Gitterrahmen und lege anschließend eine Filzpappe über die feuchte Masse. Stürze den Gitterrahmen samt Pappe kopfüber auf eine stabile Unterlage.
- Drücke den Siebrahmen fest auf die Unterlage und streiche mit dem Tuch mehrmals ohne Druck über das Sieb, um das Wasser herauszuziehen.
- Löse nun vorsichtig den Rahmen vom Pilzpapier.
- Lege auf das nasse Pilzpapierblatt eine Filzpappe und darüber eine Zeitung.
- Walze anschließend behutsam mit einem Nudelholz über die Zeitung.
- Nimm die Zeitung und dann vorsichtig die obere Filzpappe ab. Löse das Pilzpapierblatt vorsichtig von der unteren Filzpappe. Lasse das Papier nun gut trocknen.

Erklärung

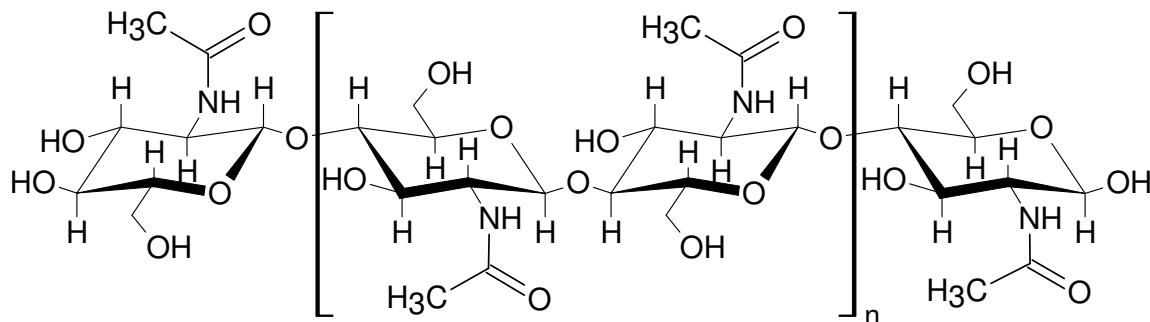
Die Festigkeit des aus Pilzen erhaltenen Papiers bzw. Kartons resultiert aus der Hyphenstruktur der Fruchtkörper. Diese bestehen zwischen ihren Oberflächen, die, vor allem bei Porlingen, als feste Kruste ausgebildet sein kann, aus der Trama, einer durch Verflechtung von Hyphen entstandenen gewebeähnlichen Substanz (volkstümlich als „Fleisch“ bezeichnet). Besteht die Trama lediglich aus einem Hyphentyp, den dünnwandigen generativen Hyphen, nennt man sie monomitisch, es entstehen weichfleischige, vergängliche Fruchtkörper. Durch zusätzliche Einflechtung dickwandiger, nicht oder wenig verzweigter Skeletthyphen entsteht eine feste dimitische Trama. In einer trimitischen Trama werden die generativen und Skeletthyphen überdies von reich verzweigten Bindehyphen umwachsen und miteinander verbunden. Monomitisch sind z. B. die Fruchtkörper aller zu Speisezwecken genutzten Arten. Mehrjährige, derbe, harte Porlinge sind di- oder trimitisch. Aus diesen gefertigtes Papier weist entsprechend eine hohe Festigkeit auf.



Nachweis von Chitin in Pilzpapier

Im Gegensatz zu Pflanzen enthalten Pilze als Gerüstkohlenhydrat nicht Cellulose, sondern Chitin. Aus diesem besteht folglich auch das aus Pilzen geschöpfte Papier.

Chitin ist ähnlich aufgebaut wie Cellulose, nur dass die Molekülketten nicht aus Glucose, sondern aus N-Acetyl-D-Glucosamin-Einheiten bestehen, d. h. jeweils eine Hydroxylgruppe ist durch eine Aminogruppe ersetzt, die wiederum einen Essigsäurerest trägt.



Chitin bildet auch die Kutikula von Gliederfüßern (*Insekten, Spinnen, Krebsen*).

Mit folgendem einfachen Versuch lässt sich Chitin in Pilzpapier nachweisen.

Benötigte Materialien und Chemikalien

- Pipette
- Pilzpapier
- Fön
- Ninhydrinlösung (2 % in Ethanol)

Vorsicht: Ethanol ist leichtentzündlich!



Durchführung

Gib einen Tropfen Ninhydrinlösung auf das Pilzpapier und erhitze den Fleck mit dem Fön.

Beobachtung

Der Fleck färbt sich violett.

Auf herkömmlichem (Cellulose-)Papier bleibt diese Färbung aus.

Erklärung

Ninhydrin reagiert mit den Aminogruppen des Chitins zu einem blauvioletten Kondensationsprodukt.

Cellulose enthält keine Aminogruppen, mit denen das Ninhydrin reagieren könnte.



Färben von Wolle mit Pilzen



Grundlagen des Färbens

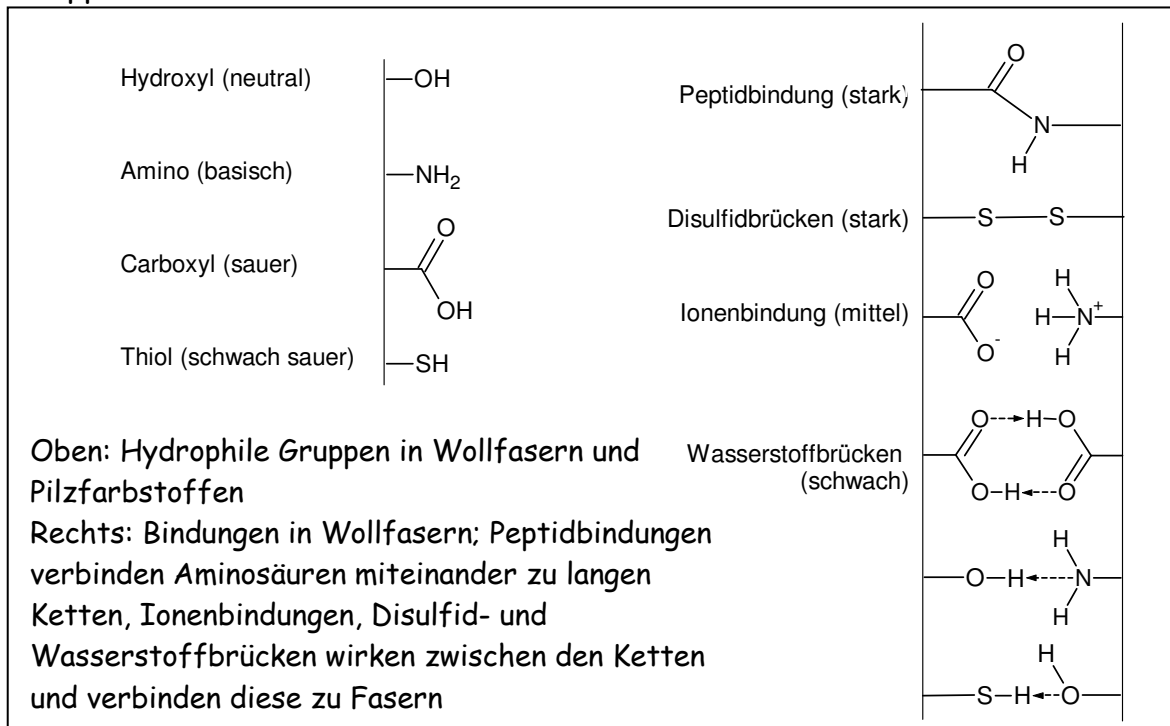
Farbstoff oder Pigment?

Farbstoffe nennt man Farbmittel, d. h. zum Färben geeignete Verbindungen, die sich im Anwendungsmedium, zumeist Wasser oder organische Lösungsmittel, lösen. Unlösliche Farbmittel werden als Pigmente bezeichnet. In der Praxis wird diese Einteilung allerdings nicht immer strikt befolgt; so wird z. B. Indigo zu den Pflanzenfarbstoffen gezählt, obwohl es in den meisten wässrigen und organischen Lösungsmitteln unlöslich ist.

Um wasserlöslich zu sein, muss der Farbstoff über eine ausreichende Anzahl hydrophiler Gruppen (Hydroxyl-, Amino-, Carboxylgruppen) verfügen.

Wie hält der Farbstoff auf der Faser?

Wolle ist hauptsächlich aus Keratinen aufgebaut, also den Gerüsteiweißen, aus denen auch Federn, Schuppen, Nägel, Hufe und Hörner gebildet werden. Hauptbestandteil der Seide ist ebenfalls ein Gerüsteiweiß, das Fibroin. Wolle und Seide bestehen also aus Proteinfasern. Kennzeichnend für Proteine ist die Peptidbindung, durch die Aminosäuren miteinander verknüpft sind. Einige der Aminosäuren tragen weitere funktionelle Gruppen: Hydroxyl-, Thiol-, Amino- und Carboxylgruppen. Die zwischen diesen Gruppen gebildeten Bindungen (Ionenbindungen, Wasserstoff- und Disulfidbrücken) halten die Fasern untereinander zusammen. An den „übriggebliebenen“ freien funktionellen Gruppen können Farbstoffe anbinden.

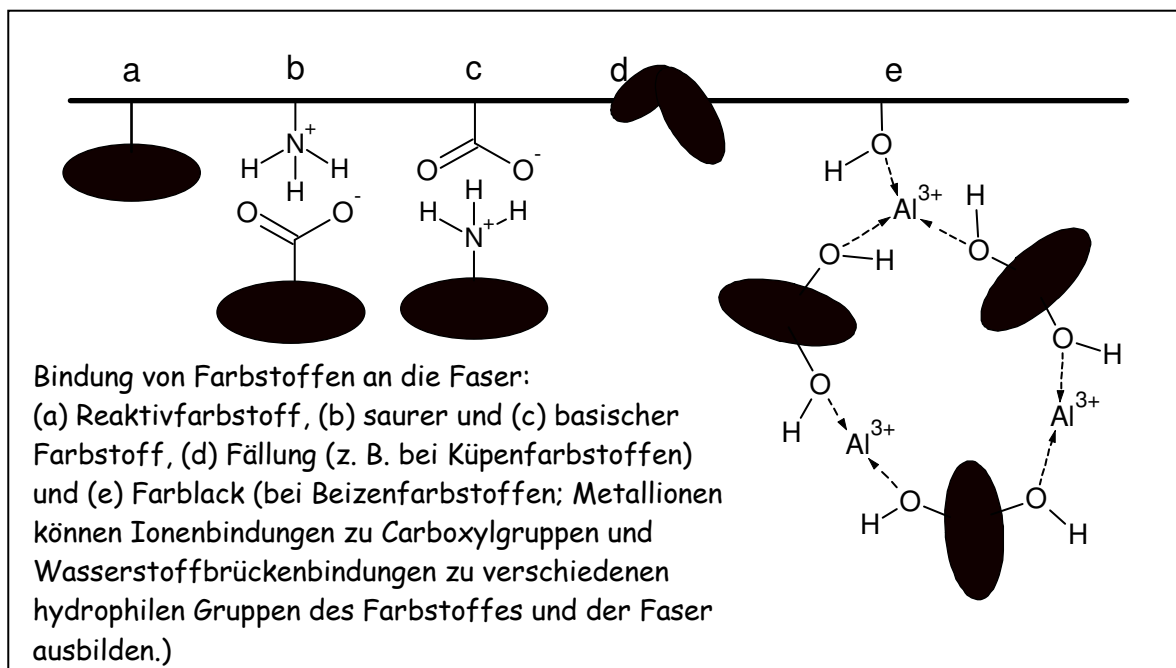


Im Unterschied dazu bestehen Pflanzenfasern wie Baumwolle und Leinen aus Cellulose, also langen Ketten glykosidisch verknüpfter Glucoseeinheiten. Als

funktionelle Gruppen kommen hier ausschließlich Hydroxylgruppen vor, die Wasserstoffbrückenbindungen ausbilden können. Somit resultieren auch andere Färbereigenschaften.

Wieder andere Verhältnisse findet man bei den verschiedenen Kunstfasern (Polyester, Polyamid u. a.).

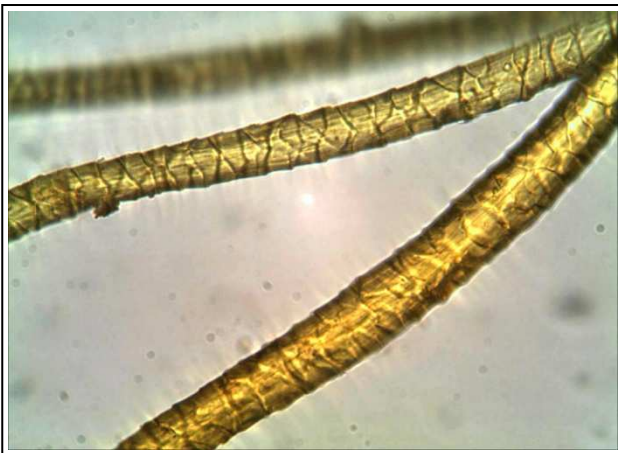
Farbstoffe lassen sich nach ihren unterschiedlichen Bindungseigenschaften und den damit verbundenen Färbetechniken einteilen. Reaktivfarbstoffe reagieren chemisch mit der Faser und sind dann mit dieser durch kovalente Bindung fest verbunden. Sie spielen bei den Naturfarbstoffen praktisch keine Rolle. Saure oder anionische Farbstoffe bilden mittels saurer Gruppen (Carboxyl- oder Sulfonylgruppen) mit den basischen Aminogruppen der Wollfaser Salze, werden also durch Ionenbindung fixiert. Basische oder kationische Farbstoffe enthalten Ammoniumgruppen und können unter Salzbildung an saure Gruppen der Faser binden. Bei Glykosiden bewirken an den Farbstoff gebundene Mono- oder Oligosaccharide die Wasserlöslichkeit. Nach dem Aufziehen auf die Faser wird das Kohlenhydrat durch Einwirkung von Säure (z. B. Essigsäure) hydrolytisch abgespalten, der Farbstoff verliert somit seine Wasserlöslichkeit und bleibt auf der Faser haften. Küpenfarbstoffe wie Indigo und Purpur sind eigentlich Pigmente, die durch Reduktion im basischen Milieu in wasserlösliche, zumeist farblose Leukoformen überführt werden und aus der so entstandenen Lösung, der Küpe, in die Faser eindringen. Durch Oxidation an der Luft entsteht wieder das unlösliche farbige Pigment. Für die Färbung von Wolle und Seide mit Naturfarbstoffen am bedeutsamsten sind Beizenfarbstoffe. Hierbei entsteht durch Reaktion der hydrophilen Gruppen des Farbstoffes mit den Metall-Ionen des Beizmittels ein relativ schwerlöslicher Farblack. Die Metall-Ionen können auch an saure Gruppen der Faser gebunden sein, wodurch die Haftung des Farbstoffes verstärkt wird.



Die Wolle

Rohwolle, wie sie vom Schaf kommt, muss von allen Unreinheiten befreit und gewaschen werden, da das natürlicherweise auf der Faser haftende Wollfett ein Aufziehen der Farben behindert. Gegen schnellen Temperaturwechsel ist Wolle sehr empfindlich - die feinen Schüppchen auf der Faseroberfläche verhaken sich, die Wolle verfilzt. Deshalb darf sie beim Waschen und beim Färben nur allmählich und nicht über 90 °C erwärmt werden. Auch basische pH-Werte >9 verträgt sie nicht - es kommt zur Hydrolyse der Peptidbindungen.

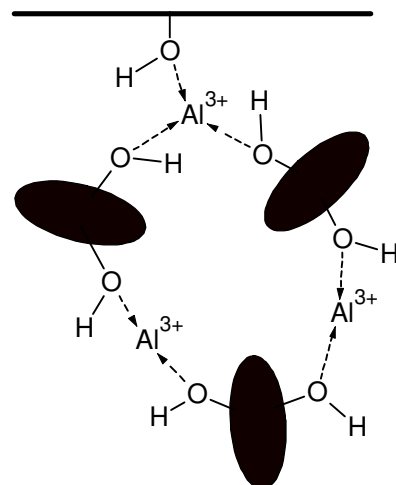
Will man sich die Arbeit des Waschens sparen, kauft man gleich fertig gewaschene Wolle, die aber nicht gegen Motten imprägniert sein darf, da auch das ein Aufziehen der Farben beeinträchtigen würde.



Bei starker Vergrößerung (hier 400fach) erkennt man die schuppige Oberflächenstruktur der Wollfasern. In warmem Wasser stellen sich die Schüppchen auf - die Farbstoffe können in die Faser eindringen und sich anlagern. Beim langsamen Abkühlen legen sich die Schüppchen wieder an. Beim Kochen jedoch und bei zu raschem Temperaturwechsel werden die Schüppchen in ihrer gespreizten Lage fixiert - die Wolle wird rau und verfilzt.

Beizen der Wolle

Viele Farbstoffe haften von sich aus nicht an der Faser, man sagt, „sie ziehen nicht auf.“ Deshalb beizt man Wolle (oder auch Baumwolle, Seide u. s. w.) vor dem Färben. Dabei werden die Fasern mit Lösungen von Metallsalzen behandelt, deren Hydroxide in Wasser schwer löslich sind. Im späteren Färbeprozess blockieren die Metall-Ionen jene Hydroxyl- oder Carbonylgruppen, die den Farbstoff wasserlöslich machen. Er bleibt somit an der Faser haften, ohne sich wieder im Farbad zu lösen, es entsteht ein sogenannter Farblack. Unterschiedliche Metall-Ionen können dabei mit den gleichen Farbstoffen sehr unterschiedlich gefärbte Farblacke ergeben. Gebräuchliche Beizmittel sind Alaun (Kaliumaluminiumsulfat), Eisen- und weitere Schwermetallsalze wie Zinn- und Kupfersalze und Chromate. Letztere sind allerdings starke Umweltgifte und richten in Kläranlagen und allgemein in Gewässern großen Schaden an, Chromat ist zudem krebserregend.



Wir beschränken uns deshalb auf Aluminium- und Eisenbeizen. Weitere Zusätze zur Beizlösung sind Weinstein, der durch Komplexbildung ein vorzeitiges Ausfällen der Metall-Ionen als Hydroxid-Schlamm verhindert, und Glaubersalz, das die Reaktion von Eisen-Ionen mit Gerbstoffen verzögert und somit ein Fleckigwerden des Garns verhindert.

Die Beizung kann vor oder während des Färbens erfolgen. Vorbeizung bietet einige Vorteile:

- der Farbstoff trifft erst auf der Faser auf das Beizmittel, behält also im Farbbad seine volle Löslichkeit,
- ein Überschuss an auf der Faser haftendem Beizmittel, das das Garn spröde und brüchig machen könnte, wird durch das Farbbad ausgewaschen,
- es können unterschiedlich gebeizte Garne in einem Farbbad gleichzeitig gefärbt werden, wobei die geringen sich aus dem Garn lösenden Beizmittelspuren nicht stören.

Um unterschiedlich gebeizte Wolle auch später auseinanderhalten zu können, empfiehlt es sich, die jeweilige Beize durch Knotenmarkierungen im Garn kenntlich zu machen, z. B. einen Knoten für Alaun- und zwei Knoten für Eisenbeize.

Rezepte zum Beizen von Wolle

Für jeweils 100 g Wolle benötigen wir:

Alaunbeize:

- 25 g Kaliumaluminiumsulfat (Alaun)
- 10 g Kaliumhydrogentartrat (Weinstein)

Eisenbeize:

- 20 g Eisen(II)-sulfat („Vitriol“)
- 5 g Kaliumhydrogentartrat (Weinstein)
- 30 g Natriumsulfat (Glaubersalz)

Vorsicht: Eisen(II)-sulfat ist gesundheitsschädlich!



- Die Beizmittel werden in ungefähr 3 L warmem Wasser gelöst.
- Die Wolle wird hinein gegeben, gut mit der Lösung durchtränkt und vollständig untergetaucht. Das Bad wird erwärmt und für eine Stunde (bei Alaun genügen 20 Minuten) auf 90 °C gehalten. Während des Beizvorganges wird die Wolle ab und zu in der Lösung bewegt, damit das Beizmittel überall einwirken kann, sonst wird die Färbung später ungleichmäßig und fleckig.
- Die Wolle wird aus dem Beizbad genommen, vorsichtig ausgedrückt - nicht ausgewrungen, dann verfilzt sie - und an der Luft getrocknet.

Kaltbeize

Eine Alternative zur Alaunbeize ist die Kaltbeize AL nach J. Harborth. Dabei handelt es sich um Aluminiumformiat, also das Aluminiumsalz der Ameisensäure. In dieser Form wird das Aluminium leichter von der Wolle aufgenommen, wodurch kein Kochen notwendig ist und die Wolle geschont wird.

- 100 g Kaltbeize AL werden in ca. 2 L warmem Wasser (ca. 50 °C) gelöst und mit kaltem Wasser zu 5 L aufgefüllt. Die frische Lösung sieht milchig trüb aus.
- 200 g Wolle werden hinein gegeben, gut mit der Lösung durchtränkt und vollständig untergetaucht. Die Einwirkzeit sollte bei Raumtemperatur mindestens 8 Stunden betragen.
- Die Wolle wird herausgenommen und gut ausgedrückt, damit möglichst wenig von der Beizlösung verloren geht. Diese kann nämlich noch bis zu fünfmal wiederverwendet werden, insgesamt lassen sich damit also 1-1,5 kg Wolle beizen.

Rostbeize

Diese Art der Eisenkaltbeize wurde bereits im Altertum angewendet. Ein Vorteil gegenüber der Eisen(II)-sulfatbeize ist ihre Wollverträglichkeit - die Wolle wird nicht spröde.

- Eisen (Feilspäne, rostige Schrauben o. ä.) wird über mehrere Tage in Essigessenz (25%ige Essigsäure) aufbewahrt.
- Die resultierende Eisen(III)-Ionen enthaltende Lösung kann unmittelbar zum Beizen verwendet werden.

Der Färbeprozess

Zuerst müssen natürlich geeignete Pilze gefunden und gesammelt werden. Durch Trocknen können diese haltbar gemacht und praktisch unbegrenzte Zeit aufbewahrt werden. Wie viele Pilze man für das Färben einer entsprechenden Wollmenge braucht, hängt natürlich vom Farbstoffgehalt ab. Bei den meisten Arten rechnet man mit einem Masseverhältnis getrocknete Pilze zu Wolle von 1:1. Da frische Pilze je nach Wetterlage unterschiedlich viel Wasser enthalten können, ist eine verbindliche Mengenangabe schwieriger.

Die Gefäße für das Farbbad sollten aus rostfreiem oder emailliertem Stahl bestehen. Besonders praktisch (auch für das Beizen) sind Einkochautomaten mit integriertem Thermostaten und Zeitschaltuhr; sie machen das Einstellen von Temperatur und Zeit sehr einfach und bequem.

Das verwendete Wasser sollte weich sein. Gelöste Mineralien, vor allem Eisen- oder Calciumsalze, können als Beizmittel wirken und das Färbeergebnis verfälschen oder gar zunichte machen.

Benötigte Materialien



- großer Kochtopf (emaillierter oder Edelstahl)
- großer Holzlöffel oder Holzstab
- Heizplatte
- Messer
- Thermometer
- Uhr
- Wäscheleine
- Färbepilze
- Wolle (gewaschen)
- Wasser
- Essig
- eventuell Ammoniak und Indikatorpapier

Durchführung

- Die Pilze werden mit der drei- bis fünffachen Menge Wasser aufgeköcht, bis das Bad mit Farbstoff gesättigt ist. Das dauert je nach Löslichkeit 15-60 min. Einige Farbstoffe lösen sich nur in basischem Milieu. Ammoniak ist hierbei anderen Basen wie Natron- oder Kalilauge vorzuziehen, da es durch Verdampfen wieder aus der Lösung entfernt werden kann. Der pH-Wert darf aber 9 nicht übersteigen, da sonst die Wolle zerstört wird. Bei manchen Farbstoffen allerdings, z. B. beim Hispidin aus dem Schillerporling, wirkt sich Ammoniakzugabe nachteilig auf das Färbeergebnis aus.
- Nach Abkühlen des Bades kommt die Wolle hinein, bleibt eine Stunde bei maximal 90 °C darin und wird ab und zu bewegt, damit sie gleichmäßig durchfärbt wird.
- Nach dem Herausnehmen aus dem Bad wird die Wolle gespült, zuletzt mit einem Schuss Essig, um Glanz und Waschechtheit der Farbe zu erhöhen, und zum Trocknen über die Leine gehängt.
- Das Bad enthält jetzt zumeist noch so viel Farbstoff, dass eine zweite oder sogar noch eine dritte Portion Wolle gefärbt werden kann.

Färbepilze

Prinzipiell können alle Pilze auf ihre Tauglichkeit zum Färben hin getestet werden. Einige Pilze enthalten jedoch keine nennenswerten Farbstoffe. Andere wiederum sind zwar auffallend gefärbt, geben aber ihre Farbstoffe nicht ab, so z. B. der Violette Lacktrichterling (*Laccaria amethystea*), oder die Farbstoffe gehen zwar in Lösung, haften aber nicht auf der Faser, wie dies z. B. bei den Betalain-Verbindungen aus der Huthaut des Fliegenpilzes (*Amanita muscaria*) der Fall ist. Für eine gezielte Suche nach geeigneten Färbepilzen bedarf es deshalb einer gewissen Artenkenntnis. Zu empfehlen ist daher, die Unterstützung eines Pilzkundigen zu suchen. Nachfolgend werden einige „klassische“ Färbepilze sowie häufig zu findende und relativ leicht zu identifizierende Arten vorgestellt.

Hautköpfe (*Dermocybe*)

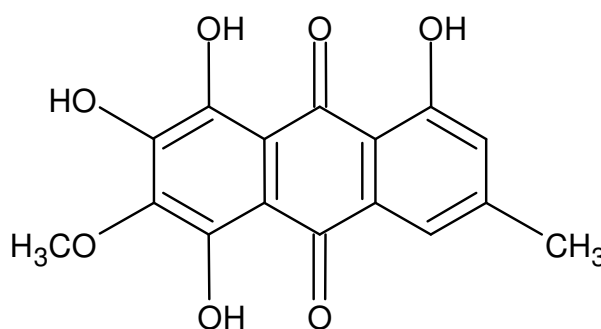
Die Vertreter dieser Gattung, früher zu den Schleierlingen (*Cortinarius*) gezählt, sind durch ihren hohen Gehalt an Anthrachinon-Farbstoffen ausgezeichnet. Der Farbstoffgehalt beträgt zuweilen mehrere Prozent der Trockenmasse. Das macht die Hautköpfe zu sehr ergiebigen Färbepilzen. Zu finden sind sie im Herbst zumeist in feuchten Nadelwäldern, oft an moorigen Stellen. Diese Pilze sind relativ klein, weshalb für eine zum Färben brauchbare Menge recht viele Exemplare benötigt werden.



Die Farbstoffe der *Dermocybe*-Arten sind wie ihre Verwandten pflanzlichen und tierischen Ursprungs, Krapp, Cochenille u. a., klassische Beizenfarbstoffe.

Aufgrund der leichten Reduzierbarkeit der Anthrachinon-Struktur wäre zwar prinzipiell auch eine Verwendung als Küpenfarbstoffe denkbar. Allerdings sind die *Dermocybe*-Farbstoffe aufgrund zahlreicher hydrophiler Substituenten sehr wasserlöslich, würden also ohne eine Beizen-Fixierung wieder aus der Faser herausgewaschen.

Als Beizmittel dienen vorzugsweise Alaun und andere Aluminiumsalze.



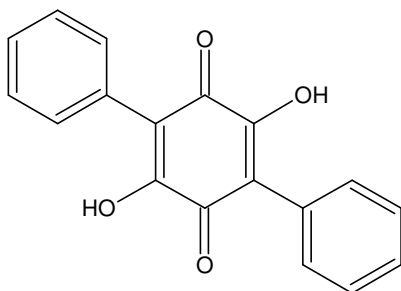
Mit dem Bluthautkopf (*D. sanguinea*) und dem Blutblättrigen Hautkopf (*D. semisanguinea*) lässt sich ein kräftig leuchtendes Rot erzielen; Zimthautkopf (*D. cinnamomea*) und Gelbblättriger Hautkopf (*D. crocea*) färben orange bis rosafarben.



Aufgrund der abführenden Wirkung von Anthrachinon-Derivaten sind Hautköpfe als giftig einzustufen. Wesentlich gefährlicher ist allerdings der Orangefuchsig Raukopf (*Cortinarius orellanus*), mit dem die Hautköpfe u. U. verwechselt werden können.

Zimtfarbener Weichporling (*Hapalopilus nidulans*)

Ebenfalls ein sehr ergiebiger Färbepilz ist der leider relativ selten zu findende Zimtfarbene Weichporling, der aufgrund seines enorm hohen Gehaltes an Polyporsäure (bis über 40 % der Trockenmasse) bei Färbern sehr begehrt ist. Dieser Weißfäuleerreger wächst auf morschen Ästen verschiedener Laub- und Nadelbäume. Die Fruchtkörper sind wenige Zentimeter groß und gleichmäßig blassbeige bis zimtfarben. Erst mit Lauge geben sie die tiefviolette Farbreaktion der Polyporsäure, durch die dieser Pilz eindeutig gekennzeichnet ist.



Da der Farbstoff sich in alkalischem Milieu löst, muss auch dem Färbebad Lauge (bevorzugt Ammoniak) zugegeben werden.

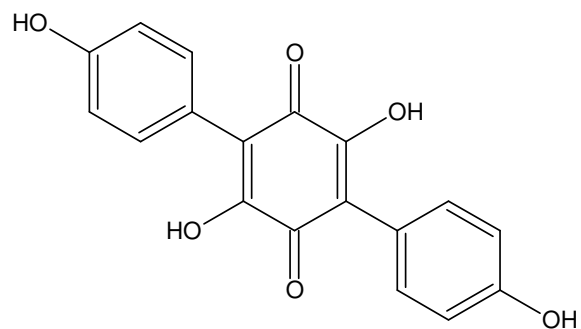
Mit dem Zimtfarbenen Weichporling werden tiefviolette Färbungen erreicht.



Polyporsäure ist giftig; Vergiftungen durch Verspeisen des Pilzes äußern sich nach einer Inkubationszeit von ca. 12 Stunden zunächst in Kopfschmerzen und Übelkeit und führen zu teils lebensbedrohlichen Leber- und Nierenproblemen.

Samtfußkrempling (*Tapinella atrotomentosa*)

Dieser Pilz wächst im Spätsommer und Herbst zumeist gesellig an abgestorbenen Nadelholzstümpfen. Die Fruchtkörper können mit bis zu 30 cm Hutdurchmesser recht groß werden. Die seitlich gestielten, muschelförmigen Hüte sind oberseits feinfilzig bis samtig braun, im Alter verkahlend, unterseits mit am Stiel herablaufenden, hell cremefarbenen, an Druckstellen braunfleckigen Lamellen. Deutlichstes Kennzeichen der Art ist der gedrungene, samtig-filzige dunkelbraune Stiel. Aufgrund ihres bitterlichen Geschmackes eignen sich Samtfußkremplinge nicht als Speisepilze.

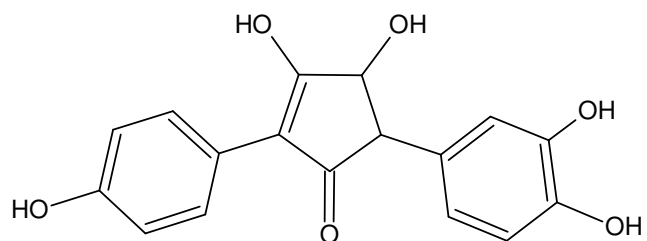


Der zu 3-4 % der Trockenmasse enthaltene Farbstoff Atromentin ist ein Hydroxylderivat der Polyporsäure und liegt im Pilz zumeist als reduzierte Leukoverbindung vor.

Je nach Färbebedingungen (Art der Beize, mit oder ohne Ammoniakzusatz) lassen sich violette, olivgrüne oder braune Farbtöne erreichen.



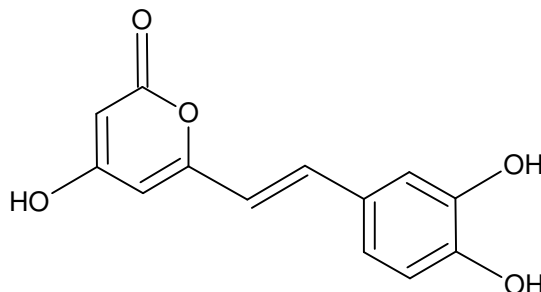
Der Kahle Krempling (*Paxillus involutus*), der als Mykorrhizapilz mit verschiedenen Baumarten und in unterschiedlichsten Biotopen vorkommt und daher weitverbreitet und oft massenhaft zu finden ist, enthält u. a. den Farbstoff Involutin und ergibt auf Wolle beige bis braune Farbtöne.



Zottiger Schillerporling (*Inonotus hispidus*)

Der Zottige Schillerporling ist ein Weißfäuleerreger, der vor allem alte Apfelbäume, Eschen und zuweilen auch andere Laubbäume befällt und daher vor allem auf Obstwiesen und an Alleen zu finden ist. Die einjährigen Fruchtkörper wachsen ab Juni und können im Laufe des Sommers sehr groß und mehrere Kilogramm schwer werden. Frisch sind sie weich, sehr saftig, oberseits filzig-zottig, rotbraun mit goldigem Schimmer, unterseits mit gelben bis rostfarbenen Röhren, die oft Guttationstropfen ausscheiden. Bei seitlichem Lichteinfall schillern die Poren silbrig, was dem Pilz seinen deutschen Namen einbrachte. Im

Herbst sterben die Fruchtkörper ab, werden schwarz, vertrocknen und sind dann noch bis ins nächste Jahr hinein an den Bäumen zu finden. Oft werden sie von Käferlarven befallen.

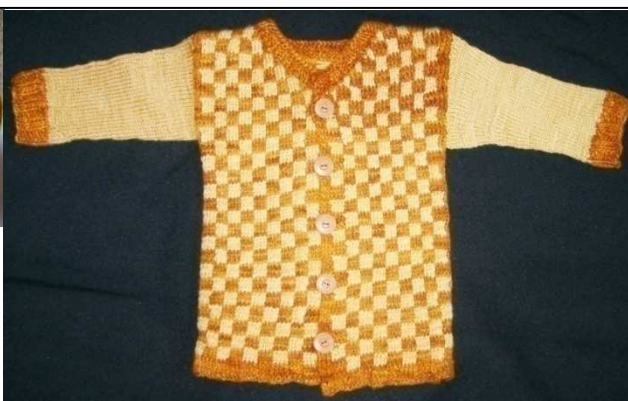


Der Schillerporling ist kein Speise-, wohl aber ein ergiebiger Färbepilz. Er enthält den gelben Farbstoff Hispidin. Mit diesem lassen sich auf ungebeizter Wolle ein helles Gelb, mit Alaunbeize ein kräftiges Gelb bis Gelborange, mit Zinnbeize ein leuchtendes Rotorange und mit Eisenbeize grünliche bis tiefbraune Farbtöne erzielen.



oben: Mit Zottigem Schillerporling gefärbte Wolle, gebeizt mit Eisen-, Zinn- und Alaunbeize (von links nach rechts)

rechts: Strickjäckchen aus dieser Wolle



Auch der von Juni bis Oktober an Wurzeln, Stümpfen oder Stämmen von Nadelhölzern wachsende **Kiefern-Braunporling** (*Phaeolus schweinitzii*) enthält Hispidin und ist in gleicher Weise wie der Schillerporling zum Färben geeignet.

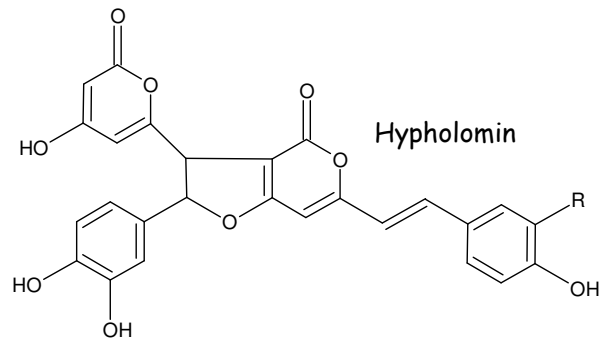
Schwefelköpfe (*Hypholoma*)

Die Schwefelköpfe sind auffällige, büschelweise an Totholz erscheinende Pilze mit schwefelgelber bis rötlicher Hutoberseite und ebenso gefärbten Stielen. Der leicht giftige, bitter schmeckende, in Wäldern und Parks vor allem an Laubholzstubben wachsende



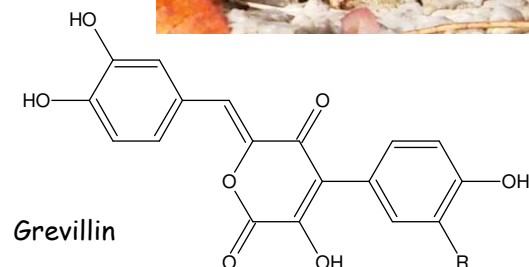
Grünblättrige Schwefelkopf (*H. fasciculare*) mit gelbgrünlichen Lamellen ist besonders häufig. Der essbare Graublättrige Schwefelkopf (*H. capnoides*) hat graue Lamellen und wächst ausschließlich an Nadelholz.

Schwefelköpfe sind nicht sehr ergiebige, wegen ihres oft massenhaften Auftretens aber dennoch lohnende Färbepilze. Sie enthalten strukturell mit Hispidin eng verwandte gelbe Hypholomine und farblose, im UV-Licht blau fluoreszierende Fasciculine. Die verwandten Gattungen Flämmlinge (*Gymnopilus*) und Schüpplinge (*Pholiota*) enthalten ebensolche Farbstoffe und lassen sich in gleicher Weise zum Färben verwenden. Auf Alaunbeizter Wolle resultieren hellgelbe, auf eisengebeizter Wolle grünliche Farbtöne.



Röhrlinge (*Boletus*, *Suillus*, *Xerocomus* u.a.)

Verschiedene als Speisepilze beliebte Röhrlinge wie Steinpilze (*Boletus sp.*), Maronenröhrlinge (*Xerocomus badius*) oder Butterpilze (*Suillus luteus*) färben gebeizte Wolle gelb. Bei den Farbstoffen handelt es sich um Pulvinsäurederivate und Grevilline. Die aus Variegatsäure und Xerocomsäure entstehenden blauen Farbstoffe sind zu wasserlöslich und ziehen deshalb nicht auf Wolle auf; das rote Variegatorubin bindet ebenfalls nicht. Zum Färben können auch ausschließlich die Röhren der Pilze verwendet werden.



Champignon (*Agaricus*)

Champignons haben weiße bis blassbräunliche Hüte und Stiele und weißes Fleisch. Die Lamellen sind bei jungen Fruchtkörpern zart rosafarben und dunkeln mit zunehmender Sporenreife, bis sie bei alten Exemplaren fast schwarz sind. Der Kulturchampignon (*A. bisporus*) wird in weißen und braunen Varianten gezüchtet. Die Hutfarbstoffe auch der braunen Exemplare ergeben jedoch auf Wolle nur blasser Farbtöne. Mit voll ausgereiften Lamellen hingegen lässt sich Wolle hellbraun färben.

Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*)

Mit dem Zunderschwamm lässt sich Wolle in Brauntönen färben.

Zunder aus Zunderschwamm



Zunder

Als Zunder werden Materialien bezeichnet, die durch einen Funken zu anhaltendem Glimmen gebracht werden können und daher zum Entfachen von Feuer verwendet wurden. Das kann im einfachsten Fall trockenes Moos, Laub, Gras, Flugsamen von Distel, Löwenzahn, Rohrkolben, Pappel, Weide und anderen Pflanzen, Birkenrinde oder mulmiges Holz sein.

Bereits in der Jungsteinzeit wurde Zunder auch aus Zunderschwamm hergestellt. In einigen Regionen wurde die Zunderherstellung zeitweise zu einem wichtigen Wirtschaftszweig. In Neustadt am Rennsteig/Thüringer Wald beispielsweise trug dieses Gewerbe ab ca. 1700 wesentlich zum Lebensunterhalt der Bevölkerung bei. Die dafür benötigten Zunderschwämme wurden dort deswegen so rar, dass sie schließlich sogar aus Böhmen, dem Schwarzwald, dem Alpenraum oder Skandinavien importiert werden mussten. Mit der Erfindung und Verbreitung der bequemer anzuwendenden Streichhölzer verlor die Zunderherstellung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts jedoch rasch an Bedeutung.

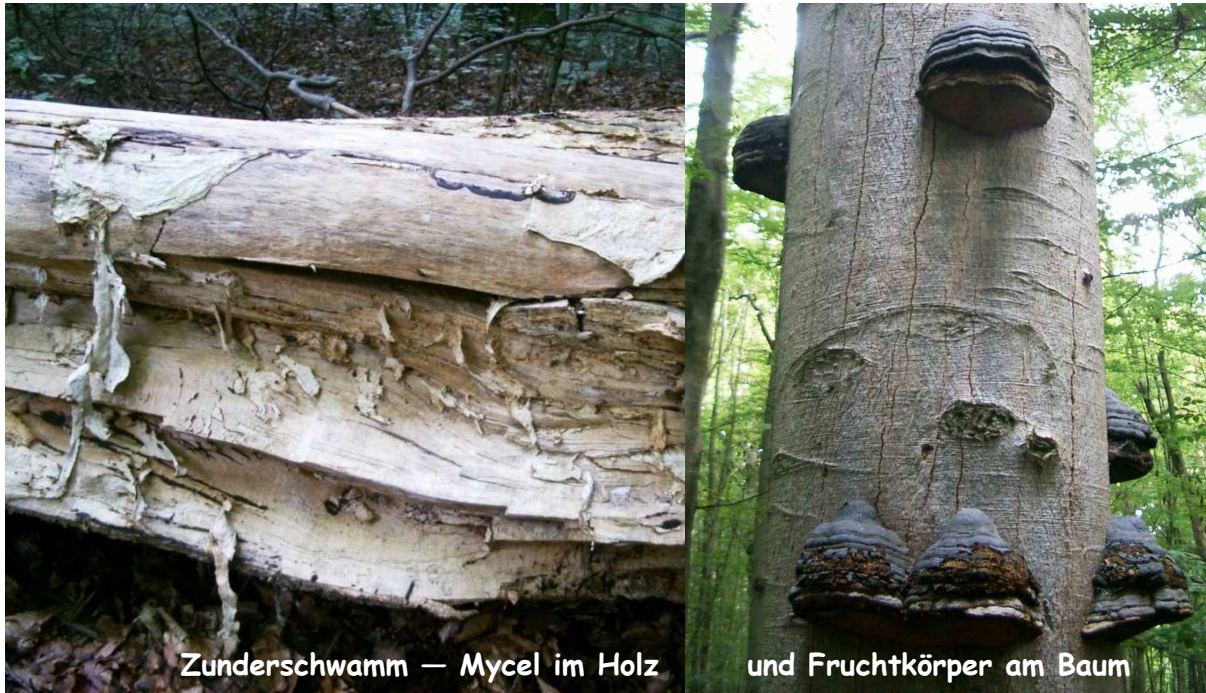


Der Zunder wurde nicht nur zum Feuermachen verwendet, sondern auch medizinisch genutzt, da er wegen seiner großen Oberfläche blutstillend wirkt. Außerdem diente das wildlederartige Material zur Herstellung von Hüten, Westen, Handschuhen und Taschen. In manchen Gegenden Rumäniens werden heute noch Mützen und Hüte aus Zunderschwamm als Tourismusartikel gefertigt.

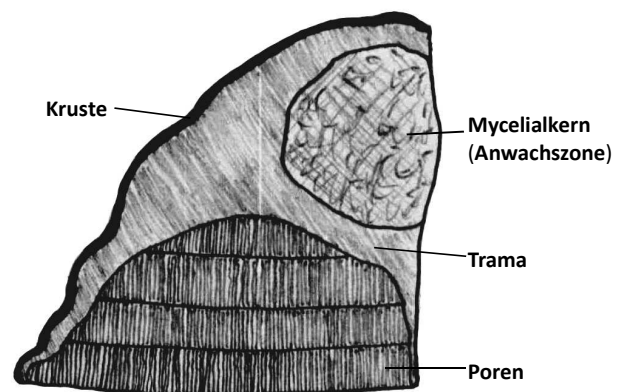


Der Zunderschwamm

Der Echte Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*) ist in nahezu der gesamten Nordhemisphäre verbreitet. In Mitteleuropa befällt er vor allem alte, geschwächte Buchen, aber auch Birken, seltener andere Laubbäume. Dort



verursacht er eine intensive Weißfäule, durch die bedingt der Baumstamm nach einigen Jahren typischerweise in mehreren Metern Höhe abbricht. Auf den abgestorbenen Baumstämmen können die Pilze noch jahrelang wachsen. Die mehrjährigen, beträchtliche Größe erreichenden konsolen- oder hufförmigen Fruchtkörper sind oberseits von einer sehr harten, hell- bis schwarzgrauen Kruste bedeckt. Diese enthält den roten, in Alkalien löslichen Farbstoff Fomentariol. Unter der Kruste befindet sich die braune, filzartige, trimitische Trama; nur diese wird für die Zunderherstellung benötigt. Darunter liegen mehrere graubraune Porenschichten. An der Anwachszone des Fruchtkörpers zum Baumstamm ist ein hellerer Myzelialkern ausgebildet. Die Fruchtkörper wachsen immer so, dass die Porenöffnungen nach unten gerichtet sind, d. h. nachdem der Baumstamm umgefallen ist, wachsen sie um 90° gedreht weiter. Diese Geotropismus genannte Erscheinung dient der ungehinderten Freigabe der Sporen. Das Sporenpulver ist weiß und wird vor allem im zeitigen Frühjahr freigesetzt; die Fruchtkörper sehen dann oft wie mit Mehl bestäubt aus. Durch forstliche Nutzung wurde der Zunderschwamm aus vielen Wäldern verdrängt, in naturnahen Buchenwäldern ist er aber sehr häufig und zu jeder Jahreszeit anzutreffen.



Schematischer Querschnitt durch einen Zunderschwammfruchtkörper

Zunderherstellung

Benötigte Materialien

- Kochtopf
- Heizplatte
- Säge oder scharfes Messer
- Klopfer
- Wäscheleine und Klammern
- Zunderschwamm
- Wasser



Durchführung

- Der Zunderschwamm wird in ca. 1 cm starke Scheiben geschnitten.
- Die Scheiben werden ca. eine Stunde in Wasser weichgekocht und dann in noch feuchtem Zustand mit einem Klopfer auf einer festen Unterlage breitgeklopft, wobei die Porenschicht als Haltegriff dienen kann.
- Die erhaltenen dünnen, filzartigen Lappen werden auf einer Wäscheleine getrocknet.

Der so erhaltene Zunder kann bereits zum Feuermachen verwendet werden. Zur Verbesserung der Glimmeigenschaften wird er nitriert.

Nitrieren des Zunders

Benötigte Materialien und Chemikalien

- | | |
|----------------------------|---|
| - Gefäß | - Zunder |
| - Wäscheleine und Klammern | - 20%ige Salpeterlösung
(Natrium- oder Kaliumnitrat) |

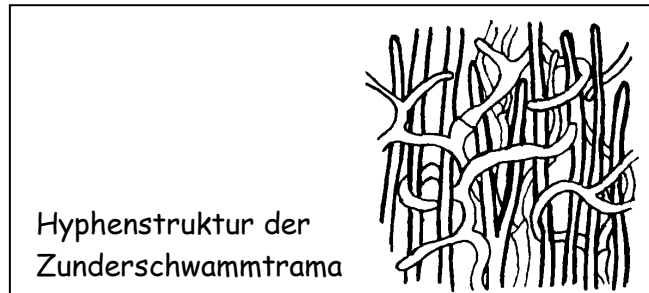
Durchführung

Der Zunder wird für einen Tag in 20%ige Salpeterlösung gelegt, herausgenommen und getrocknet.

Nitrierter Zunder „fängt leichter Funken“, lässt sich leichter zum Glimmen bringen und glimmt intensiver.

Erklärung

Die Trama des Zunderschwammes ist trimitisch aufgebaut; dickwandige Skeletthyphen sowie vernetzende Bindehyphen verleihen ihr die für die Verarbeitung erforderliche Festigkeit. Durch das Klopfen wird die Oberfläche vergrößert. Das bewirkt die leichte Oxidierbarkeit der vor allem aus Chitin bestehenden Zellwandsubstanz.



Beim Nitrieren des Zunders lagern sich zwischen den Hyphenfasern Nitrat-Kristalle ein, die als Sauerstoff-Donator zusätzlich verbrennungsfördernd wirken.

Salpeter ist erst seit dem Mittelalter bekannt. Davor wurde Zunder durch Einlegen in Urin nitriert. Wegen der enormen Geruchsbelästigung und aus hygienischen Gründen ist dies aber nicht zu empfehlen.

Feuermachen mit Stahl, Stein und Zunder

Bereits in der Steinzeit erkannten die Menschen, dass sich durch Zusammenschlagen von Pyrit (Eisen(II)-disulfid, FeS_2) und Feuerstein Funken erzeugen lassen, mit denen unter Zuhilfenahme von leicht glimmbarem Material ein Feuer entzündet werden kann. Seit der Antike wurde auch Feuerstahl verwendet. Seither gehörten Stahl, Stein und Zunder bis in die zweite Hälfte des 19. Jahrhunderts hinein zum allgemein üblichen Feuerzeug.

Benötigte Materialien

- Feuerstein
- Pyrit oder Schlageisen aus Feuerstahl
- Zunder
- trockenes Brennmaterial (Stroh, Holzspäne o. ä.)



Durchführung

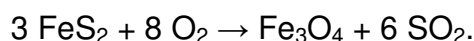
Zum Feuerschlagen mit Stahl, Stein und Zunder bedarf es einigen Geschickes und Übung.

- Zunder und Feuerstein werden übereinandergelegt in einer Hand gehalten, die andere Hand hält den Feuerstahl oder Pyrit und schlägt diesen hart auf die Kante des Feuersteines.
- Die dabei abspringenden Funken fallen auf den Zunder und bringen diesen zum Glimmen.
- Mit der Glut wird durch Pusten trockenes Brennmaterial entzündet.
- Versuche das Feuerschlagen mit nitriertem und mit unbehandeltem Zunder! Wie unterscheidet sich das Glimmverhalten?

Pyrit kann zur Funkengewinnung auch über eine Feile gerieben werden.

Erklärung

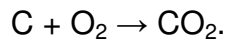
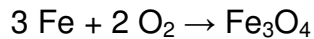
Beim Feuerschlagen schlägt der Feuerstein aufgrund seiner Härte Splitter vom Pyrit ab. Angeregt durch die Reibungs- bzw. Aufschlagenergie oxidieren diese an der Luft:



Die bei dieser exothermen Reaktion freiwerdende Wärme reicht aus, den Zunder, auf den die glühenden Späne fallen, zum Glimmen zu bringen.

Bei Feuerstahl handelt es sich um sehr kohlenstoffreiches Eisen. Vom hieraus gefertigten Schlageisen lösen sich beim Zusammenschlagen mit Feuerstein

ebenfalls Splitter bzw. Späne ab, die oxidieren und dabei die für das Aufglimmen des Zunders benötigte Wärme freisetzen:



Einige heutige Feuerzeuge funktionieren noch nach dem gleichen Prinzip, nur dass als „Feuerstein“ bzw. Zündstein eine Cer-Eisen-Legierung Verwendung findet und anstelle von Zunder Gas entzündet wird. Die meisten heutigen Feuerzeuge nutzen allerdings den Piezo-Effekt.

Pyrit (von griechisch *pyros* = Feuer) oder Schwefelkies (Eisen(II)-disulfid, FeS_2) ist ein weitverbreitetes, sehr formenreiches, hartes, sprödes Mineral, das wegen seines Goldglanzes auch als Katzen- oder Narrengold bezeichnet wird. Eine seltenere metastabile Modifikation dieses Eisensulfids, Markasit, wurde ebenfalls für die Feuererzeugung genutzt. Markasit und Pyrit werden auch unter der Bezeichnung Eisenkies zusammengefasst.



Feuerstein (Flint, Silex) ist ein sehr hartes, sprödes Sedimentgestein mit dunklem, glasigem Aussehen und splittrig-muscheligem Bruch. Als Kieselsäurekonkretion besteht es aus mit Opal durchsetztem Chalcedon, einer feinkristallinen wasserhaltigen Quarzmodifikation, die aus aufgelösten Skelettresten von Kieselalgen entstand. Feuerstein kommt in Form von oft mit einer weißen Rinde bedeckten Knollen in Kalken, vor allem in Kreideschichten, sowie in eiszeitlichen Ablagerungen vor und wurde in der Steinzeit außer für die Feuererzeugung auch zur Herstellung von Werkzeug genutzt.

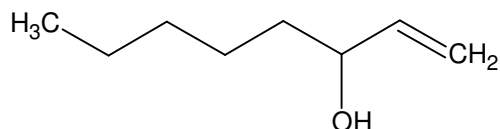


Das Feuerschlagen mit Pyrit und Feuerstein ist nur eine der in vorgeschichtlichen Zeiten genutzten Methoden des Feuerentfachens. Als weitere Möglichkeit kam z. B. die Reibemethode zum Einsatz, bei der die für die Entzündung des Zunders erforderliche Wärme durch Aneinanderreiben zweier Hölzer bspw. unter Zuhilfenahme eines Feuerbohrers erzeugt wurde.

Synthese von Pilzaroma

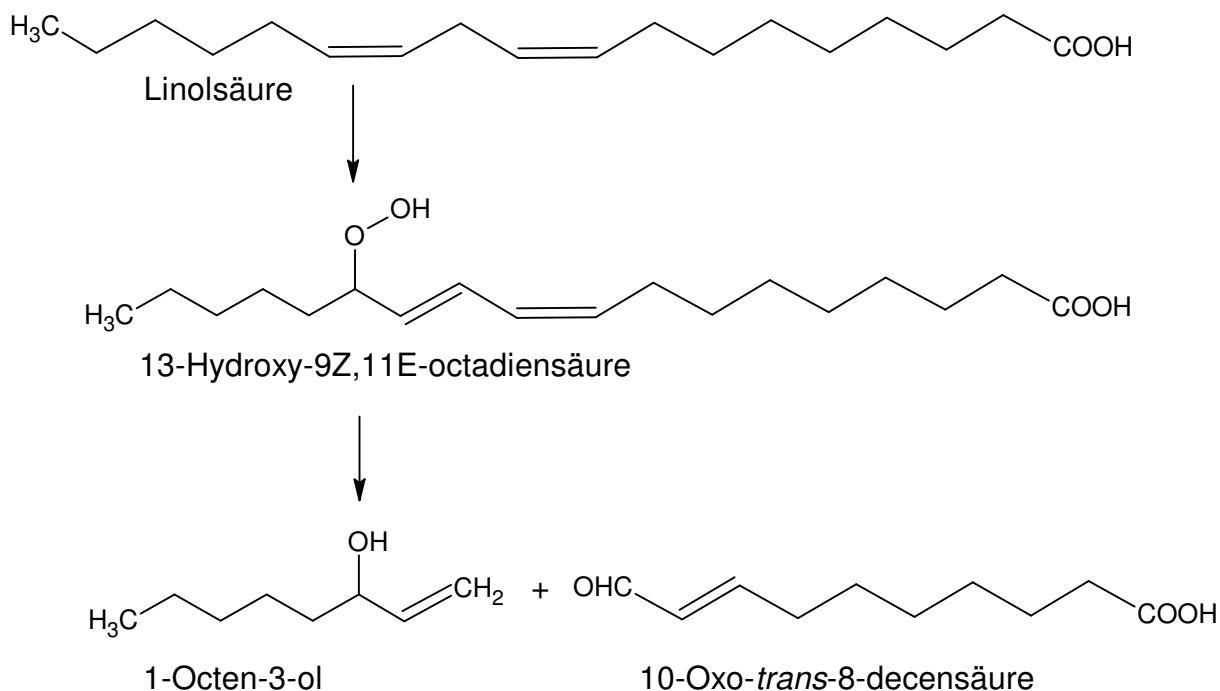
Einführung

Pilze enthalten natürlich sehr viele und sehr unterschiedliche Aromakomponenten. Eine Verbindung jedoch, das 1-Octen-3-ol, kommt in allen Pilzen vor und wird in der Lebensmittelindustrie als „Pilzaroma“ verwendet.



Unverdünnt riecht es blumig, manchmal gar muffig, verdünnt kann man den Geruch eines gerade angeschnittenen Champignons wahrnehmen. Aber das 1-Octen-3-ol ist nicht nur in Pilzen zu finden, sondern auch in Lavendel, Minze, Lauch, Hühnerfleisch, Krabben, Hummern und frischem Fisch.

In Pilzen wird 1-Octen-3-ol aus Linolsäure durch enzymatische Oxidation und Spaltung gebildet. Der noch nicht gänzlich aufgeklärte Reaktionsweg könnte folgendermaßen aussehen:



In folgendem Versuch wird 1-Octen-3-ol auf einem ganz unnatürlichen Weg durch Grignardreaktion hergestellt.

Benötigte Materialien und Chemikalien:

- 250-mL-Dreihalsschliffkolben
- 500-mL-Dreihalsschliffkolben
- 2 Magnetrührstäbchen
- 2 Rückflusskühler
- 2 Tropftrichter mit Druckausgleich
- Thermometer
- Waschflasche
- Verbindungsschläuche
- Gaseinleitungsrohr
- Trockenrohr
- 2 Magnetrührer
- 500-mL-Heizpilz
- Kristallisierschale (Wasserbad)
- 500-mL-Becherglas
- 500-mL-Scheidetrichter
- Glastrichter und Faltenfilter
- Rotationsverdampfer
- Natriumhydroxid
- Ethanol
- destilliertes Wasser
- Iod
- Magnesiumpulver
- trockenes Tetrahydrofuran (THF)
- 1,2-Dibromethan
- Hexanal (Capronaldehyd)
- Ammoniumchlorid
- Stickstoff (als Schutzgas)
- Eis (als Kühlmittel)
- Als Trockenmittel:
 - wasserfreies Calciumchlorid
 - wasserfreies Natriumsulfat

Vorsicht:

Ethanol ist leichtentzündlich!

Natriumhydroxid ist ätzend!

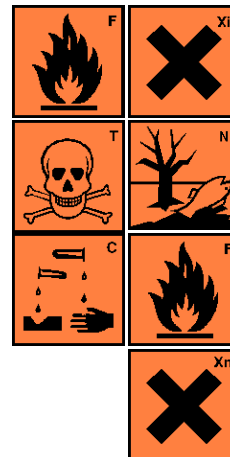
Tetrahydrofuran ist reizend, leichtentzündlich und kann explosive Peroxide bilden!

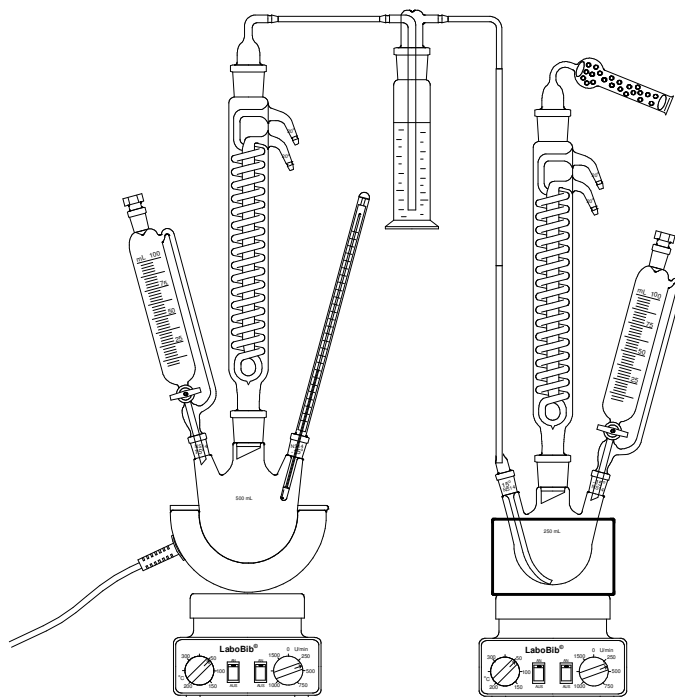
Iod ist gesundheitsschädlich.

Magnesiumpulver ist leicht entzündlich!

1,2-Dibromethan ist giftig und krebserregend!

Hexanal ist gesundheitsschädlich.





Durchführung

Die Versuchsanordnung (Skizze) muss trocken und sauerstofffrei sein, deshalb wird sie vor Versuchsbeginn mit Stickstoff gespült.

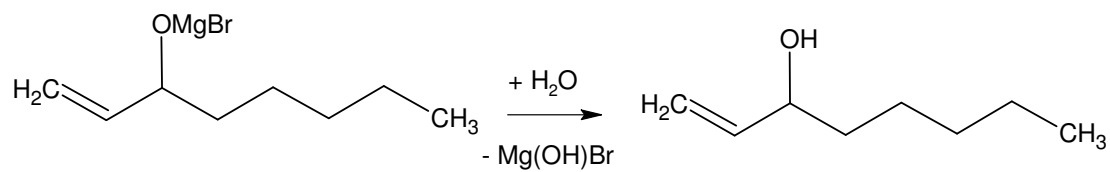
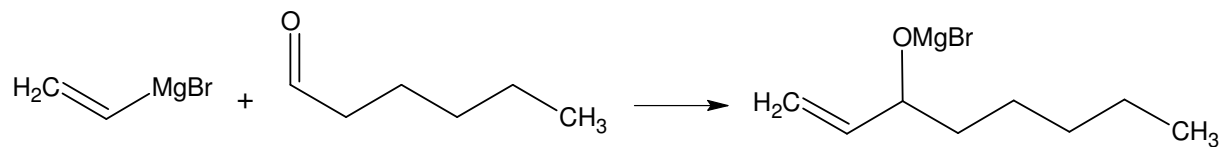
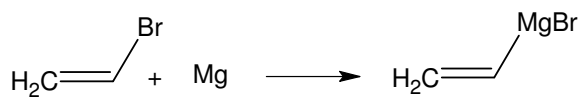
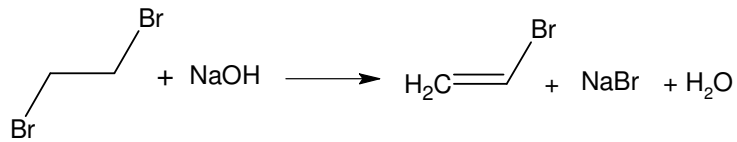
Eine Lösung von 27 g Natriumhydroxid in 70 mL Wasser und 140 mL Ethanol wird unter Rühren auf ca. 60 °C erwärmt. Die Rückflusskühlung sollte auf ca. 17 °C eingestellt sein. Im anderen Kolben werden 4 g Magnesium (0,17 mol) und ein Iodkristall in ca. 40 mL trockenem Tetrahydrofuran gerührt.

Zum Natronlauge-Ethanol-Gemisch werden langsam 19 mL 1,2-Dibromethan (0,22 mol) zugetropft. Das entstehende gasförmige Vinylbromid wird durch eine mit wasserfreiem Calciumchlorid gefüllte Waschflasche in die Magnesium-Tetrahydrofuran-Suspension eingeleitet. Das Anspringen der Grignardreaktion erkennt man an einem Temperaturanstieg bis zum Sieden des Tetrahydrofurans. Nach ca. 30 min Rühren hat sich das Grignardgemisch wieder auf Raumtemperatur abgekühlt; es wird nun zusätzlich mit Eis (Kühlbad) gekühlt und eine Lösung von 15 mL Hexanal in ca. 40 mL trockenem Tetrahydrofuran langsam zugetropft. Dann wird noch bis zum nächsten Tag, mindestens aber 3 Stunden, bei Raumtemperatur weitergerührt.

Das Gemisch wird in 65 mL einer gesättigten Ammoniumchloridlösung gegeben, die THF-Phase abgetrennt und die wässrige Phase noch dreimal mit Tetrahydrofuran ausgeschüttelt. Die vereinigten THF-Phasen werden mit Natriumsulfat getrocknet und filtriert. Nach Abdestillieren des Tetrahydrofurans erhält man ein gelbes bis bräunliches Öl mit intensivem Pilzgeruch. Dieses kann durch Vakuumdestillation gereinigt werden (Siedepunkt 1-Octen-3-ol: 175 °C (bei Normaldruck)).

Ablaufende Reaktionen

1. Bildung von Bromethen (Vinylbromid) durch Eliminierung aus 1,2-Dibromethan
2. Bildung der Grignardverbindung
3. Reaktion der Grignardverbindung mit der Carbonylverbindung
4. Hydrolyse des gebildeten Magnesiumalkoholats zum Endprodukt 1-Octen-3-ol



Auswahl weiterführender Literatur

- Boudier, E.: Notice sur l'encre de Coprin (Über die Tintlingstinte);
Bulletin de la Société botanique de France, vol 23 (1876), S. 299
- Dörfelt H., Jetschke, G.(Hrsg.): Wörterbuch der Mycologie, 2. Aufl. Heidelberg/Berlin 2001
- Dörfelt, H. (Hrsg.): Lexikon der Mykologie, Stuttgart, New York 1989
- Dörfelt, H., Heklau, H.: Die Geschichte der Mykologie, Schwäbisch-Gmünd 1998
- Erb, B., Matheis, W.: Pilzmikroskopie, Stuttgart 1983
- Faulstich, H.: Amatoxine und Knollenblätterpilzvergiftung; Naturwissenschaften 66 (1979), S. 410–412
- Gerhardt-Dircksen, A., Müller, S. (Hrsg.): Pilze; Praxis der Naturwissenschaften – Biologie 7/41 (1992)
- Helbling, F.: Die Synthese eines Pilzaromas (1-Octen-3-ol);
Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 3/49 (2000), S. 19–21
- Kastner, M., Thüringer Rennsteigverein e. V. Neustadt am Rennsteig:
Die Zunderschwammherstellung, ein historischer Erwerbszweig in Neustadt am Rennsteig;
<http://www.thueringer-rennsteigverein.de>
- Kleber, J. J., Haberl, B., Zilker, Th.: Differentialdiagnose der Pilzvergiftung;
Pilzinformationsdienst der Toxikologischen Abteilung de Klinikums der TU München,
<http://www.toxinfo.org/frameset.php?class=3&hauptframe=/pilz/index.html>
- Kultusministerkonferenz (KMK): Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht 20.12.2005
<http://www.sinus-hessen.de/sicher/frameset.htm>
- Latzel, G. (Hrsg.): Pilze; Praxis der Naturwissenschaften – Chemie 3/49 (2000)
- Matissek, R., Steiner, G., Fischer, M.: Lebensmittelanalytik, Berlin, Heidelberg 2010
- Michael, E., Hennig, B., Kreisel, H.: Handbuch für Pilzfreunde, 6 Bände,
Gustav-Fischer-Verlag Jena 1983–1988
- Müller, G.: <http://www.pilzepilze.de/>
- Müller, S., Gerhardt-Dircksen, A.: Experimente mit Höheren Pilzen in der Sekundarstufe II –
Untersuchungen zur Einnischung ausgewählter Arten – Teil 4:
Exoenzyme Höherer Pilze als Beispiel für einen biotischen Aspekt;
Praxis der Naturwissenschaften – Biologie 6/46 (1997), S. 35–39
- Müller, S.: Die Vermittlung ökologischer Phänomene und Zusammenhänge in der
Sekundarstufe II am Beispiel der Höheren Pilze; Dissertation Bielefeld 1997
- Müller, S.: Halluzinogene Pilze als Einstieg in den Problemkreis „Drogen und neuronale Steuerung“;
Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule 8/49 (2000), S. 13–23
- Müller, S.: Nur scheinbar unscheinbar – Pilze auf dem Vormarsch,
Teil 1: Lebensstrategien bei Pilzen und ihre Bedeutung in der Biotechnologie;
Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule 6/51 (2002), S. 41–43
- Müller, S.: Nur scheinbar unscheinbar – Pilze auf dem Vormarsch, Teil 2: Traditionelle Nutzung von
Pilzen; Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule 7/51 (2002), S. 34–37
- Müller, S.: Nur scheinbar unscheinbar – Pilze auf dem Vormarsch, Teil 3: Pilze in der Agro-
Biotechnologie; Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule 8/51 (2002), S. 33–36

- Müller, S.: Nur scheinbar unscheinbar – Pilze auf dem Vormarsch, Teil 4: Pilze in der modernen (Umwelt-)Biotechnologie; Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule 1/52 (2003), S. 34–36
- Müller, S.: Nur scheinbar unscheinbar – Pilze auf dem Vormarsch, Teil 5: Pilze in der Medizin; Praxis der Naturwissenschaften – Biologie in der Schule 2/52 (2003), S. 35–37
- Niss, U., Probst, W.: Pilze als Holzersetzer, Unterrichts Anregung für die Sekundarstufe I (8.–10. Schülerjahrgang); Unterricht Biologie 253/24 (2000), S. 37–41
- Rätsch, C.: Enzyklopädie der psychoaktiven Pflanzen, AT Verlag Aarau/Schweiz 1998
- Ritter, C.: Naturwissenschaft und Reformpädagogik – Entwicklung, Erprobung und Bewertung von Lernsets für einen Projektunterricht zum Thema Feuer; Staatsexamensarbeit Jena 2009
- Röder, U., Wondratschek, I.: Schwermetalle in Pilzen; Praxis der Naturwissenschaften Biologie 7/41 (1992), S. 34
- Römpf Online-Chemielexikon, Thieme-Verlag
<http://www.roempp.com/prod/>
- Samorini, G.: The oldest Representations of Hallucinogenic Mushrooms in the World; Integration no. 2&3 (1992), S. 69–78,
http://www.samorini.it/doc1/sam/sah_int.htm
- Seeber-Kahl, S.: Chemie mit Pilzen; Staatsexamensarbeit Jena 2010
- Souci, S. W., Fachmann, W., Kraut, H.: Die Zusammensetzung der Lebensmittel, Nährwerttabellen; Stuttgart 2008
- Schweppe, H.: Handbuch der Naturfarbstoffe, Vorkommen, Verwendung, Nachweis; Landsberg/Lech 1993
- Steglich, W.: Pilzfarbstoffe; Chemie in unserer Zeit, 9. Jg., Nr. 4 (1975), S. 117–123
- Sundström, C. und E.: Mit Pilzen färben;
Deutsche Ausgabe Orell Füssli Verlag Zürich und Schwäbisch Hall 1984.
- Süßer, Ilse: Herstellung von Papier aus Pilzen; Südwestdeutsche Pilzrundschau 40/2 (2004), S. 14–15
- Tegeler, Karin: <http://www.textiles-werken.de>
- Teuscher, J.-M.: Neue experimentelle Designs zum Thema Naturstoffe im Chemieunterricht: Chemie mit Pilzen; Dissertation Jena 2011
- Volbracht, C.: Bulliards Tintlings-Tinte; Der Tintling Heft 4 (1996)
- Wieland, Th.: Amatoxine, Phallotoxine – die Gifte des Knollenblätterpilzes; Chemie in unserer Zeit 13 (1979), 56–63

Abbildungen

S. 14 System der Organismen zusammengefasst und stark vereinfacht nach Dörfelt H., Jetschke, G. (Hrsg.): Wörterbuch der Mycologie, 2. Aufl. Heidelberg/Berlin 2001; Adl, Sina M., et al.: The New Higher Level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists, Journal of Eukaryotic Microbiology 52 (2005); und Schlegel, H. G., Fuchs, G. (Hrsg.): Allgemeine Mikrobiologie, Stuttgart/New York 2007

S. 15 Felsmalerei in Tassili und Pilzstein der Maya:
<http://samorini.it/site/archeologia/africa/funghi-allucinogeni-teste-rotonde/>
<http://samorini.it/site/archeologia/americhe/pietre-fungo-guatemala/>

S. 16 Hieronymus Bock: New Kreütter Buch von underscheydt würckung und namen der kreütter so in Teutschen lande wachsen, Straßburg 1539

S. 17 Hooke, R.: Micrographia, London 1665

S. 18 Micheli, P. A.: Nova plantarum genera, Florenz 1729

S. 19 Bulliard, J. B. F. P.: Herbar de la France. Histoire des champignons, Paris 1791

S. 21 nach Oken, L.: Lehrbuch der Naturgeschichte, Band 2 (Botanik), Jena 1825

S. 23 Johanna Schultze-Wege: Jena Microbial Resource Collection

S. 54 Lichtspektrum:
<http://lehrerfortbildung-bw.de/kompetenzen/gestaltung/farbe/physik/welle/spektrum.html?menu=0>

S. 54 Zapfentypen, Zapfenabsorption: <http://www.biokurs.de/skripten/12/bs12-39.htm>

S. 55 additive und subtraktive Farbmischung:
<http://www.metacolor.de/additiv.htm>
<http://www.metacolor.de/subtraktiv.htm>

S. 55 Energiediagramm der Molekülorbitale: <http://www.u-helmich.de/che/13/farbe/01/seite1-02.html>

S. 80 und 101 Hyphensysteme nach Dörfelt, H. (Hrsg.): Lexikon der Mykologie, Stuttgart, New York 1989

S. 85 Bindung von Farbstoffen an die Faser nach Sundström, C. und E.: Mit Pilzen färben, Deutsche Ausgabe Orell Füssli Verlag Zürich und Schwäbisch Hall 1984

S. 86 Farblack: ebenda

S. 105 Biosynthese von 1-Octen-3-ol nach Kuribayashi, T. et al.: Purification and characterization of Lipoxigenase from *Pleurotus ostreatus*, Journal of agricultural and food chemistry 50 (2002)

Fotos

S. 13: Adrian Teuscher

S. 53 (Fliegenpilz in der Mitte): Julia Damm

S. 59: Achim Bollmann

S. 65, 67, 94 (Kahler Krempling) und 95 (Schwefelköpfe): Georg Müller, www.pilzepilze.de

S. 92 (Zimtfarbener Weichporling): Andreas Gminder

Alle anderen Fotos und die Zeichnungen sind vom Autor.