

## 6 Pilze

### Inhaltsvorschau

Die Entdeckung der Pilze lässt sich natürlich nicht so genau datieren wie die Entdeckung der Viren und Bakterien. Dies liegt daran, dass Pilze schon seit Jahrtausenden von Menschen als Nahrungsmittel verwendet werden. Aus pharmazeutischer Sicht sind Pilze sehr bedeutende Mikroorganismen.

Nach einer kurzen Auflistung der wichtigsten Eigenschaften von Pilzen werden in diesem Kapitel Pilze sowohl als Krankheitserreger als auch als Arzneistofflieferanten vorgestellt. Am Ende des Kapitels werden die wichtigsten Antimykotika aufgeführt.

### 6.1 Definition und Entdeckung

Die wissenschaftliche Entdeckung der Pilze beginnt um 1600. Bereits 1650 sind 1600 Pilze botanisch beschrieben. R. Hook gilt als Pionier der Beschreibung von Schimmelpilzen, P. A. Micheli beschreibt als erster das Phänomen der Pilzsporen und der Myzelbildung. Micheli (1679–1737) gilt als der Begründer der wissenschaftlichen Mykologie.

Pilze gehören zu den eukaryotischen Mikroorganismen. Bekannt sind etwa 60 000 Arten. Pilze sind für den Pharmazeuten aus unterschiedlichen Gründen von Bedeutung. 0,5–1% treten als Krankheitserreger in Erscheinung, andere führen jedes Jahr zu Vergiftungen und wieder andere sind Produzenten bedeutender Naturstoffe bzw. Arzneistoffe. Außerdem sind Pilze wichtige Nahrungsmittel bzw. Nahrungsmittelproduzenten. In der Natur sind sie außerdem verantwortlich für die Zersetzung von totem organischem Material. Da Pilze leider auch lebendiges Material als Nahrung verwenden, gehören sie zu den wichtigsten Pflanzenschädlingen.

### 6.2 Aufbau von Pilzen

Pilze: eukaryotische Lebewesen, die Mitochondrien und ein Zytoskelett enthalten. Ihre Zellen enthalten Vakuolen und Zellwände.

Pilze enthalten Mitochondrien und ein Pilzskelett. Sie besitzen ähnlich wie Pflanzen eine Vakuole und eine Zellwand, sind jedoch nicht in der Lage, Photosynthese zu betreiben. Oft enthalten sie in der Zellwand Chitin.

Pilze können sich, ähnlich wie Schwämme, nicht bewegen. Außerdem weisen sie saprophytische, parasitische oder symbiontische Lebensweisen auf.

### 6.3 Entwicklungsstadien

Pilze vermehren sich sexuell und asexuell. Bei der asexuellen Vermehrung unterscheidet man die Zweiteilung, die Knospung und die Bildung von asexuellen, also mitotisch gebildeten Sporen. Bei den *Fungi imperfecti* (Deuteromycetes) ist die sexuelle Fortpflanzung unbekannt. Das morphologische Grundelement der filamentösen Pilze ist die Hyphe, als Mycel bezeichnet man die Gesamtheit der Hyphen, und die Gesamtheit des Mycels wird als Thallus bezeichnet. Bei der sexuellen Ver-

mehring steht die Reduktionsteilung (Meiose) zunächst im Vordergrund. Haploide Kerne entstehen, die dann in haploiden Sporen verbreitet werden. Durch Kreuzung entstehen dann wieder diploide Zellen.

## Klassifizierung der Pilze

Innerhalb der Systematik der Eukaryoten (vgl. → Kap. 8.1) gehören die Pilze zu den Opisthokonta. Im Jahr 2007 wurden die echten Pilze (nicht zu den echten Pilzen gehören die Oomyceten, die mit den Braunalgen verwandt sind) in sieben Abteilungen unterteilt, von denen die Ascomyceten (Ascomycota), Basidiomyceten (Basidiomycota), Glomeromyceten (Glomeromycota) und Chytridiomyceten (Chytridiomycota) wohl die bekanntesten sind. Auch die Microsporidia bilden heute eine Abteilung innerhalb der Pilze. Einige Pilze gehören zur Unterabteilung der Mucoromycotina, die keiner Abteilung zugeordnet ist.

Die Zygomyceten (Zygomycota) werden seit 2007 nicht mehr als eigene Abteilung geführt. Die Schleimpilze (Eumycetozoa) gehören nicht zu den Pilzen.

In der Medizin wird eine Klassifizierung nach praktisch ausgerichteten Aspekten durchgeführt. Dabei werden Hefen, Dermatophyten, Schimmelpilze und dimorphe Pilze unterschieden. Eine Einteilung in Pilze, die Hauterkrankungen verursachen, Pilze, die für Atemweginfektionen verantwortlich sind, und Pilze, die Blutgefäße infizieren, ist ebenfalls üblich. Da die in der Biologie vorgenommene Einteilung auf der Basis der Sequenzen von 18S-rDNA vorgenommen wurde, soll diese Einteilung auch im vorliegenden Buch Vorrang bekommen.

## Ascomycota

Ascomyceten werden als Schlauchpilze bezeichnet. Bekannt sind etwa 30 000 Arten, viele davon leben in Symbiosen mit Bakterien, Algen oder Pflanzen. Ein Beispiel hierfür sind die Flechten, in denen meist Ascomyceten zusammen mit Grünalgen oder Cyanobakterien vorkommen.

Bei vielen Ascomyceten kommt es im Zuge der geschlechtlichen Vermehrung zur Bildung eines Fruchtkörpers, der als Ascokarp (Ascus) bezeichnet wird. Er besteht aus sterilen und fruchtbaren Hyphen. Letztere bilden die Sporen.

Die Ascomycota werden in drei Untergruppen unterteilt:

- Saccharomycotina: Die Saccharomycotina sind am einfachsten gebaut, sie bilden keine Hyphen und bilden nur selten Ascosporen. Innerhalb der Unterabteilung der Saccharomycotina findet man nur eine Klasse (Saccharomycetes) und darin nur eine Ordnung (Saccharomycetales), die in mehrere Familien eingeteilt wird.
- Pezizomycotina: Die Pezizomycotina (echte Schlauchpilze), zu denen die meisten Ascomyceten gehören, weisen immer einen Ascokarp auf. Sie werden in mehrere Klassen eingeteilt.
- Taphrinomycotina: Die Taphrinomycotina bilden die kleinste Untergruppe innerhalb der Ascomycota. Arten aus dieser Untergruppe unterscheiden sich recht deutlich von Arten aus den anderen Untergruppen. Auch die Taphrinomycotina werden in mehrere Klassen unterteilt.

## 6.4

Einteilung der Pilze in 7 Abteilungen:

Ascomyceten,  
Basidiomyceten,  
Glomeromyceten,  
Chytridiomyceten,  
Microsporidia,  
Neocallimastigomycota  
und Blastocladiomycota

### 6.4.1

Ascomyceten: Pilze mit schlauchförmigen Asci

Bekanntester Vertreter der Ascomyceten ist die Bäckerhefe (*Saccharomyces cerevisiae*). Nahe verwandt ist die Spaltheife (*Schizosaccharomyces pombe*), die ebenfalls zu den Ascomyceten gehört. Weitere in der Pharmazie bedeutende Ascomyceten sind Erreger primärer Systemmykosen (z. B. *Histoplasma capsulatum*), Erreger opportunistischer Systemmykosen (z. B. *Candida albicans*), Erreger kutaner und subkutaner Mykosen (z. B. *Trichophyton*-Arten) und »nützliche« Ascomyceten wie *Claviceps purpurea* (Mutterkornpilz), *Penicillium*- oder *Acremonium*-(*Cephalosporium*-)Arten (Produzenten von Naturstoffen), *Aspergillus*-Arten (Gießkannenschimmel), und *Morchella* sp. (Morchel).

### Saccharomyces und Schizosaccharomyces

*Saccharomyces cerevisiae* und *Schizosaccharomyces pombe* sind aus Sicht der Wissenschaft wohl die bekanntesten Ascomycota, denn das Wissen über zahlreiche zelluläre Vorgänge ist diesen beiden Pilzen zu verdanken.

#### Charakteristika von *Saccharomyces cerevisiae*

- Unterabteilung: Saccharomycotina
- Klasse: Saccharomycetes
- Ordnung: Saccharomycetales
- Familie: Saccharomycetaceae

Besondere Merkmale: keine Ascokarpbildung, trotzdem Bildung von Endosporen, keine Hyphengeflechtbildung; Einsatz in biotechnologischen Verfahren zur Erzeugung von Lebensmitteln und Arzneistoffen, Modellorganismus in der Forschung.

*Saccharomyces cerevisiae*: Produzent von Brot, Bier und Wein

*Saccharomyces cerevisiae* bildet kein Mycel und vermehrt sich meist asexuell durch Sprossung. *S. cerevisiae* ist ein sehr bekannter Pilz, der seit Jahrhunderten zu biotechnologischen Zwecken eingesetzt wird. Besonderen Einsatz findet er bei der Bier- und Weinherstellung. Außerdem ist der Pilz Modellorganismus der eukaryotischen Forschung. Das Genom von *S. cerevisiae* besteht aus 13 Millionen Basenpaaren. *S. cerevisiae* wird ferner im »two hybrid system« zur Erforschung von Wechselwirkungen zwischen Proteinen verwendet.

#### Charakteristika von *Schizosaccharomyces pombe*

- Unterabteilung: Saccharomycotina
- Klasse: Schizosaccharomycetes
- Ordnung: Schizosaccharomycetales
- Familie: Schizosaccharomycetaceae

Besondere Merkmale: keine Ascokarpbildung, keine Hyphengeflechtbildung; Modellorganismus in der Forschung.

*Schizosaccharomyces pombe*: Spaltheife

Im Unterschied zu *Saccharomyces cerevisiae*, der sich durch Sprossung vermehrt, vermehrt sich *Schizosaccharomyces pombe* durch Teilung. Der Pilz wird deshalb auch als Spaltheife bezeichnet. Auch dieser Pilz ist Modellorganismus der eukaryotischen Forschung. P. Nurse erhielt 2001 den Nobelpreis für Physiologie oder Medizin für seine Arbeiten zur Zellzyklusregulation von *Schizosaccharomyces pombe*.

## Histoplasma capsulatum, Coccidioides-Arten und Blastomyces-Arten als Erreger primärer Systemmykosen

### Charakteristika von *Histoplasma capsulatum*

- Unterabteilung: Pezizomycotina
  - Klasse: Eurotiomycetes/Eurotiomycetidae
  - Ordnung: Onygenales
  - Familie: Onygenaceae
- Besondere Merkmale: Erreger der Histoplasmose.

Die Histoplasmose ist eine Erkrankung der Lunge. Der Erreger kommt vor allem in Amerika, Afrika und Asien vor. Nach dem Einatmen von Sporen, die von Makrophagen phagozytiert werden, entwickeln sich in der Lunge Granulome. Eine Ausbreitung des Erregers über das Blut in innere Organe wird beobachtet. *Histoplasma capsulatum* ist ein dimorpher Pilz, der mikroskopisch diagnostiziert wird.

*Histoplasma capsulatum*: Erreger der Histoplasmose, einer Lungenerkrankung

6

### Charakteristika der *Coccidioides*-Arten

- Unterabteilung: Pezizomycotina
  - Klasse: Eurotiomycetes/Eurotiomycetidae
  - Ordnung: Onygenales
  - Familie: Onygenaceae
- Besondere Merkmale: Erreger der Kokzidioidomykose.

*Coccidioides*-Arten findet man in Trockengebieten Nord- und Südamerikas. Durch Inhalation von Sporen kann es zu einer Infektion der Lunge kommen. Spontane Ausheilungen sind häufig, Todesfälle andererseits nicht selten.

*Coccidioides*-Arten: Erreger von Lungenerkrankungen

### Charakteristika der *Blastomyces*-Arten

- Unterabteilung: Pezizomycotina
  - Klasse: Eurotiomycetes/Eurotiomycetidae
  - Ordnung: Onygenales
  - Familie: Onygenaceae
- Besondere Merkmale: Erreger der Blastomykose.

Die bekannteste *Blastomyces*-Art ist wohl *Blastomyces dermatitidis* (*Paracoccidioides brasiliensis*). Man findet den Pilz in den USA (hier besonders in der Nähe der großen Flüsse Mississippi und Ohio), in Süd-Kanada, in Lateinamerika, in Afrika und in Indien. Häufiger als der Mensch sind Tiere befallen. Symptome sind zunächst ein Befall der Lunge, sekundär kommt es zu Hauterkrankungen. Der Pilz wird bisweilen auch keiner Ordnung oder Familie zugeteilt.

*Blastomyces dermatitidis*: Erreger von Lungenerkrankungen

### Candida albicans, Aspergillus fumigatus und Mucor-Arten als Erreger opportunistischer Systemmykosen

Das Auftreten von AIDS hat weltweit dazu geführt, dass Pilzinfektionen einen großen Stellenwert einnehmen. Neben den unten aufgeführten Pilzen bzw. den von ihnen ausgehenden Erkrankungen sollten noch die Phäohyphomykosen und Hyalohyphomykosen erwähnt werden, die durch zahlreiche Pilze verursacht werden können.

Bei den Erregern der Phäohyphomykosen handelt es sich um Pilze, die durch Melanineinlagerungen in der Zellwand schwarz aussehen (Schwärzepilze, z. B. *Curvularia*-Arten). Bei der Phäohyphomykose kommt es zur Besiedlung der Atemwege mit oft tödlichem Ausgang.

Hyalohyphomykosen sind ebenfalls Atemwegserkrankungen, die jedoch durch Pilze hervorgerufen werden, die nicht zu den Schwärzepilzen gehören (z. B. *Fusarium*-Arten).

Auch die Anzahl an Pilzen, die opportunistische Hefemykosen verursachen, hat in den letzten Jahrzehnten zugenommen. Neben *Candida albicans* treten zahlreiche andere Gattungen und Arten auf, die hier nicht im Detail besprochen werden können.

#### Charakteristika von *Candida albicans*

- Unterabteilung: Saccharomycotina
- Klasse: Saccharomycetes
- Ordnung: Saccharomycetales
- Familie: Saccharomycetaceae

Besondere Merkmale: bildet Pseudomycel und Hyphen aus; Erreger von Candidosen.

*Candida albicans*:  
Erreger von Candidosen

*Candida albicans* ist ein fast überall vorkommender Pilz, der bei immungeschwächten Patienten Schleimhautmykosen (Candidosen) verursacht. Betroffen sind auch Patienten die an Diabetes oder an AIDS erkrankt sind. Besiedelt werden vor allem Schleimhäute des Mund- und Rachenraums, des Genitalbereichs und des Verdauungstrakts. Auch Fußpilzkrankungen sind auf *C. albicans* zurückzuführen. *C. albicans* ist ein polymorpher Pilz, der unterschiedliche Wachstumsformen ausbilden kann. Er kann einzellig, in Fadenform (Pseudomyzel) oder in Myzelform (nach Hyphenbildung) vorliegen. Das Vorliegen eines Myzels von *C. albicans* in einem Patienten weist auf eine sehr starke Infektion hin. Dauerformen des Pilzes bezeichnet man als Chlamydosporen. Diese Sporen enthalten eine sehr widerstandsfähige Zellwand.

#### Charakteristika von *Aspergillus fumigatus*

- Unterabteilung: Pezizomycotina
- Klasse: Eurotiomycetes/Eurotiomycetidae
- Ordnung: Eurotiales
- Familie: Trichocomaceae

Besondere Merkmale: Erreger der Aspergillose.

*Aspergillus fumigatus* ist wohl die bekannteste *Aspergillus*-Art. Er ist nicht nur ein Modellorganismus in der Wissenschaft, sondern auch verantwortlich für Allergien und schwerwiegend verlaufende Erkrankungen bei immungeschwächten Patienten. Dabei kommt es dazu, dass Sporen des Pilzes vom Immunsystem nicht eliminiert werden, sich im Körper verteilen und anschließend Hyphen und Myzel bilden. Sämtliche Organe des Menschen und auch das Zentrale Nervensystem können betroffen sein.

*Aspergillus fumigatus*:  
Erreger vieler  
Pilzinfektionen,  
verantwortlich für  
Allergien

#### Charakteristika der Mucor-Arten

- Unterabteilung: Mucoromycotina
  - Klasse: Keine Einteilung
  - Ordnung: Mucorales
  - Familie: Mucoraceae
- Besondere Merkmale: Erreger der Mucor-Mykosen.

Mucor-Mykosen werden von verschiedenen Pilzen hervorgerufen. Namensgebend für die Erkrankung sind *Mucor*-Arten, doch sind auch *Absidia*-Arten, *Rhizopus*-Arten und Vertreter anderer Gattungen Erreger der Mucor-Mykosen. Es erkranken fast nur Patienten mit Immundefekten bzw. Stoffwechselerkrankungen. Darunter fallen auch Diabetiker. Befallen werden die Lungen, der Magen-Darm-Trakt, Nase und Nasennebenhöhlen und die Haut (z. B. nach Verbrennungen). Oft sind Gefäße betroffen. Es kann zu Gefäßverschlüssen kommen, nicht selten endet eine Infektion tödlich.

Mucor-Mykosen:  
Bezeichnung von  
Pilzinfektionen, die  
durch *Mucor*-,  
*Absidia*-, *Rhizopus*-  
Arten und Arten  
weiterer Gattungen  
hervorgerufen werden

#### Sporothrix schenckii und Trichophyton-Arten als Erreger subkutaner und kutaner Mykosen

Pilze, die subkutane oder kutane Mykosen verursachen, findet man fast überall.

Subkutane Pilze dringen über verletzte Haut ein und verursachen chronische Infektionen. Er gibt eine Reihe von Pilzen, die subkutane Mykosen verursachen. Der bekannteste Pilz ist *Sporothrix schenckii*, der die Sporotrichiose verursacht.

Kutane Mykosen werden von Pilzen verursacht, die das Keratin der Haut angreifen. Neben *Trichophyton*-Arten sind an den kutanen Infektionen auch *Microsporum*- und *Epidermophyton*-Arten beteiligt.

#### Charakteristika von Sporothrix schenckii

- Unterabteilung: Pezizomycotina
  - Klasse: Sordariomycetes/Sordariomycetidae
  - Ordnung: Ophistomatales
  - Familie: Ophistomataceae
- Besondere Merkmale: Erreger der Sporotrichiose (weltweit erkranken jedoch nur vereinzelt Menschen an einer Infektion mit diesem Pilz).

### Charakteristika der Trichophyton-Arten

- Unterabteilung: Pezizomycotina
- Klasse: Eurotiomycetes/ Eurotiomycetidae
- Ordnung: Onygenales
- Familie: Arthrodermataceae

Besondere Merkmale: Erreger von Dermatomykosen.

*Trichophyton*-Arten:  
Erreger zahlreicher  
Dermatomykosen

Von den zahlreichen Pilzarten, die kutane Mykosen verursachen, sind die *Trichophyton*-Arten am bekanntesten. Für den Menschen pathogen sind vor allem *Trichophyton rubrum*, *T. mentagrophytes*, *T. terrestre*, *T. tonsurans*, *T. verrucosum*, *T. schoenleinii*, *T. violaceum*, *T. soudanense* und *T. equinum*. Der Erreger wird von Mensch zu Mensch, oft über Sporen, übertragen. Eine genaue Diagnose erfolgt mikroskopisch. Eine Infektion wird auch als Tinea bezeichnet; dabei unterscheidet man je nach Infektionsort u. a. zwischen:

- *T. barbae* (Infektion im Bartbereich),
- *T. capitis* (Infektion der Kopfhaut),
- *T. faciei* (Infektion des Gesichts),
- *T. pedis* (Infektion der Füße) und
- *T. unguium* (Infektion der Nägel).

### Claviceps purpurea, Penicillium-Arten und Acremonium-Arten als Produzenten von Arzneistoffen

#### Charakteristika von Claviceps purpurea

- Unterabteilung: Pezizomycotina
- Klasse: Sordariomycetes/Hypocreomycetidae
- Ordnung: Hypocreales
- Familie: Clavicipitaceae

Besondere Merkmale: wächst auf Getreide, produziert Mutterkornalkaloide.

*Claviceps purpurea*:  
Produzent der  
Mutterkornalkaloide

Der Bildschnitzer N. von Hagenau und der Maler M. Grünewald erbauten zwischen 1512 und 1516 den Isenheimer Altar in Colmar. In Auftrag gegeben hatte die Arbeiten der Hospitaliterorden des Heiligen Antonius. Dieser Orden kümmerte sich um am Antoniusfeuer leidende Menschen – eine Erkrankung, an der im Mittelalter viele Menschen starben. Auf dem Altar zu sehen sind Bilder, die leidende Menschen zeigen. Erst im 17. Jahrhundert wurde bekannt, dass der Verzehr von mit *Claviceps purpurea* verunreinigtem Getreide die Erkrankung verursacht.

Bekannt ist heute, dass *C. purpurea* Mutterkornalkaloide produziert, die starke Gefäßverengungen verursachen und bei schweren Vergiftungen zum Absterben von Gliedmaßen führen. Heute werden Mutterkornalkaloide noch als Medikamente zur Behandlung von Migräne eingesetzt.

Der Lebenszyklus von *C. purpurea* ist gut untersucht. Zu Beginn eines Zyklus werden Ascosporen auf den Fruchtknoten blühender Roggenpflanzen übertragen. Aus den Ascosporen entwickelt sich ein Myzel und daraus Konidiosporen. Das Myzel sondert außerdem eine süße Flüssigkeit ab, die Honigtau genannt wird, und In-

sekten anlockt. In einer späteren Phase reift das Myzel zum Sklerotium heran. Das Sklerotium fällt zusammen mit Getreidekörnern auf den Boden herab, um zu überwintern. Aus dem Sklerotium entwickeln sich im Frühjahr die Perithezien (Fruchtkörper) mit den Asci, die die Ascosporen bilden.

#### Charakteristika der *Penicillium*-Arten

- Unterabteilung: Pezizomycotina
  - Klasse: Eurotiomycetes/Eurotiomycetidae
  - Ordnung: Eurotiales
  - Familie: Trichocomaceae
- Besondere Merkmale: Produzent von Antibiotika.

Im September 1928 beobachtete A. Fleming, dass auf einer mit Staphylokokken beimpften Agarplatte ein Schimmelpilz (*Penicillium notatum*) wuchs, der das Wachstum des Keims unterdrückte. Einige Jahre später wurde die Struktur der keimhemmenden Verbindung aufgeklärt, die Verbindung wurde Penicillin genannt. Zusammen mit H. W. Florey und E. B. Chain erhielt A. Fleming 1945 für diese Entdeckung den Nobelpreis für Medizin.

Der Thallus von *Penicillium*-Arten besteht aus stark verzweigten Hyphen. Hauptverbreitungsformen des Pilzes sind Konidiosporen, die aus den Konidiophoren als Bestandteile des Myzels hervorgehen. Die Form der Konidiophoren ähnelt einem Pinsel, aus diesem Grund wird der Pilz auch als »Pinselschimmel« bezeichnet. *Penicillium*-Arten bilden während der sexuellen Fortpflanzung ganz spezifische Fruchtkörper aus.

Pilze aus der Gattung *Penicillium* (*Penicillium notatum*, *P. chrysogenum*, *P. griseofulvum*) werden zur Produktion von Arzneistoffen und in der Lebensmittelindustrie zur Herstellung von Käse (*P. roqueforti*) eingesetzt.

#### Charakteristika der *Acremonium*-Arten

- Unterabteilung: Pezizomycotina
  - Klasse: Sordariomycetes/Hypocreomycetidae
  - Ordnung: Hypocreales
  - Familie: Hypocreaceae
- Besondere Merkmale: Produzent von Antibiotika.

Die Gattung *Acremonium* wurde früher als *Cephalosporium* bezeichnet. Es sind etwa 100 Arten bekannt, von denen einige Naturstoffproduzenten, andere hingegen für den Menschen pathogen sind. Bekannter Produzent von Cephalosporin C ist *Acremonium strictum*, der früher als *Cephalosporium acremonium* bezeichnet wurde. *Acremonium* findet man sehr häufig bei Feuchtigkeitsschäden vor, insbesondere im Bodenbereich. Die Sporen von *Acremonium* sind allergieauslösend. *Acremonium* sp. gehören zu den Auslösern von Fußinfektionen mit Schwellungen und Läsionen der befallenen Gewebe. Darüber hinaus können in seltenen Fällen Nagelmykosen (Onychomykosen), Augeninfektionen (Keratitis, Endophthalmitis), Infektionen des Herzbeutels (Endokarditis) und anderer innerer Organe auftreten

*Penicillium notatum*:  
Produzent des ersten  
Penicillins

6

*Acremonium strictum*:  
Produzent von  
Cephalosporin C



(Meningitis, Peritonitis, Osteomyelitis). Dies wird jedoch nur bei immungeschwächten Personen beobachtet.

### Morchella-Arten als Speisepilze

Auch die Ascomycota haben wohlschmeckende Speisepilze hervorgebracht, von denen hier stellvertretend lediglich die Morcheln vorgestellt werden sollen.

#### Charakteristika der Morchella-Arten

- Unterabteilung: Pezizomycotina
  - Klasse: Pezizomycetes
  - Ordnung: Pezizales
  - Familie: Morchellaceae
- Besondere Merkmale: guter Speisepilz.

*Morchella esculenta*:  
Speisepilz

Morcheln (z. B. *Morchella esculenta*) sind gute Speisepilze, die nach neuesten Forschungserkenntnissen auch kultivierbar sind. Frische Morcheln sind reich an Vitamin D, B<sub>1</sub> und B<sub>2</sub> und haben einen hohen Kaliumgehalt sowie einen niedrigen Natriumgehalt.

## 6.4.2 Basidiomycota

Basidiomyceten:  
Ständerpilze

Das haploide Myzel der Basidiomyceten, das sich aus einer Basidiospore entwickeln kann, wird auch als Monokaryon bezeichnet. Durch Verschmelzung zweier Monokaryen entsteht das Dikaryon, aus dem hochorganisierte Fruchtkörper entstehen können. In den Fruchtkörpern entstehen Basidien (Sporenständer), an denen dann die Sporen gebildet werden.

Die Basidiomycota werden in zahlreiche Unterabteilungen eingeteilt. Neben den Rostpilzen (Pucciniomycotina) und Brandpilzen (Ustilaginomycotina) sind die Blätterpilze, Nichtblätterpilze und Bauchpilze (Agaricomycotina) wohl die bekanntesten Basidiomyceten. Zu ihnen gehören fast alle bekannten Speise- und Giftpilze, die in diesem Buch jedoch nicht beschrieben werden können. Exemplarisch werden einige Pilze vorgestellt, die einen Bezug zu pharmazeutischen Themen aufweisen.



#### Merke

Bei den Basidiomyceten findet die Sporenbildung extern statt, bei den Ascomyceten erfolgt die Sporenbildung intern.

### Amanita-Arten

#### Charakteristika

- Unterabteilung: Agaricomycotina
  - Klasse: Agaricomycetes/Agaricomycetidae
  - Ordnung: Agaricales
  - Familie: Amanitaceae
- Besondere Merkmale: Giftpilz.

Der Fliegenpilz (*Amanita muscaria* var. *muscaria*) ist einer der bekanntesten Pilze. Schon früh lernen ihn Kinder kennen, da er in zahlreichen Märchen vorkommt und im Wald durch sein Aussehen auffällt. Seine Giftigkeit ist auf Ibotensäure zurückzuführen, eine nichtproteinogene Aminosäure. Die Symptome einer Vergiftung werden als Pantherina-Syndrom bezeichnet. Selten kommt es zu einem tödlichen Ausgang. Weitere pharmazeutisch interessante *Amanita*-Arten sind *Amanita phalloides* (grüner Knollenblätterpilz) und einige Arten, die als weiße Knollenblätterpilze bezeichnet werden. Sie enthalten zyklische Peptide, die als Amatoxine bzw. Phallotoxine bekannt sind und eine sehr hohe Toxizität aufweisen.

*Amanita muscaria* var. *muscaria*: Fliegenpilz, Produzent der Ibotensäure

### Psilocybe-Arten

#### Charakteristika

- Unterabteilung: Agaricomycotina
- Klasse: Agaricomycetes/Agaricomycetidae
- Ordnung: Agaricales
- Familie: Strophariaceae

Besondere Merkmale: Giftpilz.

Die Kahlköpfe (*Psilocybe*) sind eine Pilzgattung aus der Familie der Träuschlingsartigen. Die meisten Arten der Gattung *Psilocybe* enthalten relevante Mengen von Psilocybin, das eine halluzinogene Wirkung hat. Aufgrund dieser Inhaltsstoffe sind sowohl der Besitz dieser Pilze als auch der Handel mit ihnen untersagt.

*Psilocybe*-Arten: Pilze mit halluzinogener Wirkung

### Cryptococcus neoformans

#### Charakteristika

- Unterabteilung: Agaricomycotina
  - Klasse: Tremellomycetes
  - Ordnung: Filobasidiales
  - Familie: Filobasidiaceae
- Besondere Merkmale: Erreger der Kryptokokkose.

*Cryptococcus neoformans* gehört zu den Erregern, die ebenfalls opportunistische Systemmykosen verursachen. Nach Infektion kommt es zu einer Meningitis. Vor allem immungeschwächte Patienten sind betroffen, besonders häufig AIDS-Patienten. Auch tödliche Verläufe sind möglich.

*Cryptococcus neoformans*: Erreger der Kryptokokkose

## Glomeromycota

Die Glomeromyceten sind die verbreitetsten und ältesten Mykorrhiza-Pilze. Mehr als 80 % aller Landpflanzen leben mit Glomeromyceten in Symbiose. So sind die Süßgräser (Poaceae), wie die meisten krautigen Pflanzen, von der Besiedelung mit den Pilzen abhängig.

### 6.4.3

### 6.4.4 Chytridiomycota

Die Tüpfchenpilze (Chytridiomycota) werden auch Flagellatenpilze genannt. Es sind meist einzellige Organismen, die nicht selten parasitisch leben. Oft leben sie auch innerhalb eines Parasiten. Charakteristisch für die Tüpfchenpilze ist, dass ihre Zellwände Chitin und gelegentlich auch Cellulose enthalten.

### 6.4.5 Microsporidia

Die Microsporidien zählen erst seit 2007 zu den Pilzen. Meist parasitieren Vertreter der Microsporidia in Tieren. Beispiele hierfür sind *Glugea anomala*, der in Fischen (Stichlingen) parasitiert, *Nosema apis*, der Bienen befällt, und *Encephalitozoon cuniculi*, ein Pathogen für Hunde, Katzen und Kaninchen.

## 6.5 Antimykotika und deren Zielstrukturen

Targets für Antimykotika: Ergosterolbiosynthese, Membranen, DNA-Synthese

Da die Pilze als Eukaryoten uns Menschen ähnlich sind, stehen für die Behandlung von Pilzkrankungen nur wenige Angriffspunkte zur Verfügung. Durchgesetzt haben sich Inhibitoren der Biosynthese von Ergosterol, einem essenziellen Bestandteil der Zellmembran von Pilzen. Ein weiterer Angriffspunkt sind die Membranen der Pilze selbst. Porenbildner setzen sich in die Membran und führen zu einem unkontrollierten Stofffluss aus der Zelle heraus. Darüber hinaus können die Biosynthese des Zellwandbestandteils Chitin und die DNA-Synthese gehemmt werden. In **Tab. 6.1** sind einige Antimykotika aufgeführt. Es sei darauf hingewiesen, dass Pilze, ähnlich wie Bakterien, Antimykotika-Resistenzen entwickeln können.

#### Merke

Da für Pilze Ergosterole zur Aufrechterhaltung der Membranfunktionen essenziell sind, sind Inhibitoren der Ergosterolbiosynthese sehr effektive Antimykotika.

**Tab. 6.1** Antimykotika und ihre Targets

Zelluläres Target	Antimykotikum	Behandelbarer Krankheitserreger
Enzyme der Ergosterolbiosynthese	Azole: Clotrimazol, Bifonazol, Fenticonazol, Isoconazol, Oxiconazol, Miconazol, Econazol, Fluconazol, Ketoconazol Morpholine: Amorolfin	<i>Candida albicans</i> , <i>Coccidioides immitis</i> , <i>Mucor</i> , <i>Rhizopus</i> -, <i>Absidia</i> -, <i>Trichophyton</i> -, <i>Blastomyces</i> -Arten
	Allylamine: Naftifin, Tolnaftat, Terbinafin	<i>Trichophyton</i> -Arten
Membranen	Polyene: Amphotericin, Nystatin, Natamycin	<i>Aspergillus fumigates</i> , <i>Histoplasma capsulatum</i> , <i>Coccidioides immitis</i> , <i>Mucor</i> -, <i>Rhizopus</i> -, <i>Absidia</i> -, <i>Blastomyces</i> -Arten
Enzyme der Chitinbiosynthese	Griseofulvin	<i>Trichophyton</i> -Arten
Hemmung der Glycanbiosynthese	Echinocandine	<i>Candida albicans</i> , <i>Aspergillus fumigates</i>
DNA-Synthese	Cytosinanalogen: Flucytosin	<i>Candida albicans</i>

**Wiederholungsfragen****Frage 1**

Welche Antwort ist richtig? *Amanita muscaria* gehört zu einem Vertreter der:

- A) Ascomycota
- B) Basidiomycota
- C) Glomeromycota
- D) Chytridiomycota
- E) Zygomyceten

**Frage 2**

Welche Antwort ist richtig? Was wird als Achillesferse (= Ort der Verwundbarkeit) der Pilze bezeichnet?

- A) Ergosterolbiosynthese
- B) Chitin der Zellwand
- C) Glykane als Reservestoffe
- D) Sprossung
- E) Bildung von Penicillinen bzw. Cephalosporinen

**Frage 3**

Welche Antwort ist richtig? Welcher Pilz produziert Ergotamin?

- A) *Amanita muscaria*
- B) *Claviceps purpurea*
- C) *Rhizopus nigricans*
- D) *Candida albicans*
- E) *Aspergillus fumigatus*

**Frage 4**

Welche Aussage trifft zu?

- A) Das morphologische Grundelement des filamentösen Pilzes ist das Filament.
- B) Einige Pilze können sich durch Knospung vermehren.
- C) *Mucor*-Arten gehören zu den Zygomyceten.
- D) *Mucor*-Arten gehört zu den Basidiomyceten.
- E) *Aspergillus fumigatus* ist nicht pathogen.

**Synopse****Zusammenfassung**

- Pilze werden in der Systematik in sieben Abteilungen eingeteilt.
- Aus pharmazeutischer Sicht sind Pilze sehr bedeutende Mikroorganismen. Sie sind sowohl Naturstoffproduzenten als auch Krankheitserreger.
- Es existieren nur wenige pilzliche zelluläre Targets, die eine Bekämpfung von Pilzinfektionen möglich machen.