

---

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	19
1.1.	Entwicklung der Mykologie	19
1.2.	Herausragende Merkmale und Leistungen der Pilze	23
<b>2.</b>	<b>Zytologie und Morphologie</b>	28
2.1.	<i>Zytologie</i>	28
2.1.1.	Zytoplasmamembran	28
2.1.2.	Zytoplasma	30
2.1.2.1.	Zytoskelett	31
2.1.2.2.	Zentriol	34
2.1.2.3.	Geißel	35
2.1.2.4.	Ribosomen	36
2.1.2.5.	Mykoviren	36
2.1.3.	Endoplasmatisches Retikulum	37
2.1.4.	Diktyosomen/Golgi-Apparat	38
2.1.5.	Coated vesicles	39
2.1.6.	Microbodies	39
2.1.7.	Organellen des Zellwachstums und der Zellwandsysteme	41
2.1.8.	Vakuole	45
2.1.9.	Zellkern	46
2.1.9.1.	Interphasekern	46
2.1.9.2.	Teilungskern	51
2.1.10.	Mitochondrien	56
2.1.11.	Zellwand	59
2.1.12.	Zellteilung	62
2.2.	<i>Morphologie</i>	64
2.2.1.	Vegetative Strukturen	64
2.2.1.1.	Plasmodien	64
2.2.1.2.	Hyphen	66
2.2.1.3.	Dauerformen	68
2.2.1.4.	Sproßzellen	71
2.2.1.5.	Dimorphismus	73
2.2.2.	Reproduktive Strukturen	75
2.2.2.1.	Vegetative Reproduktion (Anamorphen)	75
2.2.2.2.	Sexuelle Reproduktion	87

2.2.3.	Sporenkeimung . . . . .	102
2.2.4.	Myzelformen in flüssigem Substrat . . . . .	104
2.2.4.1.	Emers-Kultur von Pilzen . . . . .	104
2.2.4.2.	Submers-Kultur von Pilzen . . . . .	104
<b>3.</b>	<b>Fortpflanzung und Vermehrung . . . . .</b>	<b>111</b>
3.1.	Asexuelle Fortpflanzung . . . . .	112
3.2.	Sexuelle Fortpflanzung . . . . .	112
3.3.	Befruchtungsformen . . . . .	113
3.4.	Phasen der Befruchtung . . . . .	114
3.5.	Entwicklungszyklen . . . . .	115
3.5.1.	Generationswechsel . . . . .	115
3.5.2.	Zellzyklus . . . . .	115
3.5.3.	Lebenszyklen . . . . .	116
3.6.	Parasexualzyklus . . . . .	122
3.7.	Fortpflanzungssysteme . . . . .	123
3.7.1.	Monözie und Diözie . . . . .	124
3.7.2.	Heterothallie und Homothallie . . . . .	125
3.7.3.	Sexuelle Unverträglichkeit (Inkompatibilität) . . . . .	125
3.8.	Mechanismen sexueller Prozesse . . . . .	127
3.8.1.	Genetische Kontrolle der Paarungstypen . . . . .	128
3.8.2.	Paarungstyp-Interkonversion . . . . .	128
3.8.3.	Wirkung von Sexualstoffen . . . . .	130
<b>4.</b>	<b>Molekularbiologie und Genetik . . . . .</b>	<b>132</b>
4.1.	Molekulare Organisation der genetischen Information der Pilzzelle . . . . .	133
4.4.1.	Kerngenom . . . . .	133
4.1.2.	Extrachromosomal Erbträger . . . . .	136
4.1.2.1.	Mitochondriales Genom . . . . .	137
4.1.2.2.	Plasmide . . . . .	139
4.1.2.3.	Killer-Determinanten . . . . .	142
4.2.	Austauschprozesse genetischer Information . . . . .	145
4.2.1.	Sexuelle Rekombinationsprozesse . . . . .	145
4.2.2.	Parasexuelle Prozesse . . . . .	147
4.2.2.1.	Bedeutung parasexueller Prozesse für die Züchtung . . . . .	147
4.2.2.2.	Gentransfer durch Protoplastenfusion . . . . .	148
4.2.2.3.	Transformation und Klonierung von Genen . . . . .	152
4.3.	Erzeugung von Mutanten . . . . .	156
4.3.1.	Inaktivierung und Mutanteninduktion . . . . .	156
4.3.2.	Mutantenanreicherung . . . . .	157
4.3.3.	Mutantenselektion und -charakterisierung . . . . .	158

4.4.	Genetische Methoden zur Manipulation industriell genutzter Pilze . . . . .	159
4.4.1.	Optimierung durch Mutagenese . . . . .	161
4.4.2.	Nutzung sexueller Prozesse . . . . .	161
4.4.3.	Anwendung parasexueller Prozesse . . . . .	163
4.4.4.	Anwendung gentechnischer Methoden . . . . .	164
4.4.5.	Fragen der biologischen Sicherheit . . . . .	166
<b>5.</b>	<b>Transportprozesse und Kompartimentierung . . . . .</b>	<b>170</b>
5.1.	Grundlagen der räumlichen Organisation der Pilzzelle . . . . .	170
5.2.	Dynamik der zellulären Membransysteme . . . . .	171
5.2.1.	Exozytose . . . . .	172
5.2.2.	Endozytose . . . . .	172
5.2.3.	Membranfluß . . . . .	172
5.3.	Transfer von Proteinen in der Pilzzelle . . . . .	173
5.3.1.	Membrantransfer von Proteinen . . . . .	174
5.3.3.1.	Mitochondriale Proteine . . . . .	174
5.3.1.2.	Proteinimport in Peroxisomen und Glyoxysomen . . . . .	176
5.3.1.3.	Transfer durch die Membran des endoplasmatischen Retikulums . . . . .	176
5.1.3.4.	Ein einheitlicher Grundmechanismus für den Membrantransfer von Proteinen . . . . .	177
5.3.2.	Vesikeltransfer . . . . .	178
5.3.2.1.	Posttranskriptionale Modifikation von Proteinen während des Vesikeltransfers . . . . .	179
5.3.2.2.	Sortierung und Zielorientierung von Proteinen im Golgi-System . . . . .	180
5.3.2.3.	Transfer von Vesikeln zu den Zielsemipermeablenen . . . . .	182
5.3.2.4.	Membransynthese und Membranproteine . . . . .	183
5.4.	Transport von Mikromolekülen . . . . .	184
5.4.1.	Grundprinzip des Carriertransports . . . . .	184
5.4.2.	H <sup>+</sup> -Pumpen der Pilzzelle . . . . .	185
5.4.3.	Transportsysteme der Zytosplasmamembran . . . . .	189
5.4.3.1.	Permease-Muster . . . . .	189
5.4.3.2.	Transportsysteme im Dialog zwischen Zelle und Umwelt . . . . .	192
5.5.	Kompartimentierung und Channeling . . . . .	195
5.5.1.	Übersicht . . . . .	195
5.5.2.	Vakuolärer Transport und Kompartimentierung . . . . .	196
5.5.3.	Mitochondriale Transportsysteme . . . . .	199
5.5.4.	Metabolische Kooperation zwischen Organellen in der Pilzzelle . . . . .	199
5.5.4.1.	Enzymausstattung von Microbodies und Stoffaustausch mit den Mitochondrien . . . . .	200
5.5.4.2.	Kooperation von Vakuolen und Mitochondrien im Aminosäurestoffwechsel von <i>Neurospora</i> . . . . .	201
<b>6.</b>	<b>Das System der Pilze . . . . .</b>	<b>205</b>
6.1	Taxonomie – Nomenklatur – Klassifizierung . . . . .	205
6.2	Das Reich der Pilze . . . . .	217

6.2.1.	Myxomycota . . . . .	217
6.2.1.1.	Acrasiomycetes . . . . .	217
6.2.1.2.	Protosteliomycetes . . . . .	218
6.2.1.3.	Ceratiomyxomycetes . . . . .	218
6.2.1.4.	Dictyosteliomycetes . . . . .	218
6.2.1.5.	Myxomycetes . . . . .	219
6.2.1.6.	Plasmodiophoromycetes . . . . .	219
6.2.1.7.	Labyrinthulomycetes . . . . .	220
6.2.2.	Eumycota . . . . .	220
6.2.2.1.	Mastigomycotina . . . . .	220
6.2.2.2.	Zygomycotina . . . . .	224
6.2.2.3.	Ascomycotina . . . . .	227
6.2.2.4.	Basidiomycotina . . . . .	239
6.2.2.5.	Deuteromycotina . . . . .	247
6.3.	Evolution und phylogenetische Zusammenhänge . . . . .	251
<b>7.</b>	<b>Ökologie der Pilze . . . . .</b>	<b>259</b>
7.1.	Lebensbedingungen der Pilze . . . . .	259
7.2.	Lebensweise der Pilze . . . . .	261
7.2.1.	Saprophytische Pilze . . . . .	261
7.2.2.	Symbiotische Pilze . . . . .	266
7.2.2.1.	Ektotrophe Mykorrhiza . . . . .	268
7.2.2.2.	Endotrophe Mykorrhiza . . . . .	271
7.2.2.3.	Vesikulär-arkbuskuläre Mykorrhiza . . . . .	272
7.2.2.4.	Myzetome der Insekten . . . . .	273
7.2.2.5.	Lichenisierte Pilze . . . . .	273
7.2.3.	Parasitische Pilze . . . . .	277
7.3.	Verbreitungsbiologie der Pilze . . . . .	280
7.3.1.	Autochorie . . . . .	281
7.3.2.	Anemochorie . . . . .	281
7.3.3.	Hydrochorie . . . . .	283
7.3.4.	Zoochorie . . . . .	284
7.4.	Pilzsoziologie . . . . .	285
7.4.1.	Phytozönologische Pilzfloristik . . . . .	286
7.4.2.	Phytozönologische Pilzsoziologie . . . . .	287
7.4.3.	Mykozönotik . . . . .	287
7.4.4.	Flechtengesellschaften . . . . .	288
7.5.	Pilzgeographie . . . . .	288
7.6.	Pilzschatz . . . . .	289
<b>8.</b>	<b>Leistungen und praktische Bedeutung der Pilze . . . . .</b>	<b>293</b>
8.1.	<i>Kultur von Speisepilzen . . . . .</i>	293
8.1.1.	Kulturchampignon . . . . .	295
8.1.2.	Schwarzstreifiger Scheidling (Reisstrohscheidling) . . . . .	296

8.1.3.	Riesenträuschling . . . . .	296
8.1.4.	Shiitake . . . . .	296
8.1.5.	Weitere Speisepilze und ihre Kultur . . . . .	297
8.2.	<i>Pilze in der Lebensmittelindustrie</i> . . . . .	299
8.2.1.	Charakteristika der Produktionsverfahren . . . . .	300
8.2.2.	Nutzung von Hefen in der Backwarenindustrie . . . . .	301
8.2.3.	Herstellung alkoholischer Getränke . . . . .	304
8.2.3.1.	Weinherstellung . . . . .	306
8.2.3.2.	Bierherstellung . . . . .	310
8.2.3.3.	Ethanolherstellung . . . . .	312
8.2.4.	Pilze bei der Verarbeitung tierischer Rohstoffe . . . . .	315
8.2.4.1.	Verwendung in der Milchindustrie . . . . .	315
8.2.4.2.	Verwendung in der Fleisch- und Fischindustrie . . . . .	318
8.2.5.	Pilze bei der Herstellung ostasiatischer Lebensmittel . . . . .	319
8.2.6.	Fermentation von Kaffee, Tee, Kakao und Tabak . . . . .	324
8.2.7.	Pilze als Produzenten organischer Genußsäuren . . . . .	324
8.2.7.1.	Citronensäureproduktion . . . . .	325
8.2.7.2.	Gluconsäureproduktion . . . . .	329
8.2.8.	Pilze als Enzymproduzenten . . . . .	331
8.2.9.	Pilze als Vitamin- und Aromaproduzenten . . . . .	340
8.2.10.	Lebensmittelverderb durch Pilze . . . . .	342
8.3.	<i>Eiweiß aus Pilzen</i> . . . . .	347
8.3.1.	Hefen und filamentöse Pilze als Eiweißproduzenten . . . . .	348
8.3.2.	Traditionelle und neue Substrate für die Erzeugung mikrobieller Biomasse	348
8.3.3.	Nährwert mikrobieller Biomasse . . . . .	351
8.3.4.	Bildung heterologer Proteine in Pilzen . . . . .	352
8.4.	<i>Produkte des Sekundärstoffwechsels</i> . . . . .	355
8.4.1.	Das Reich der Sekundärmetabolite . . . . .	355
8.4.2.	Biogenese der Sekundärmetabolite und Aspekte der Regulation . . . . .	356
8.4.3.	Antibiotika . . . . .	358
8.4.3.1.	$\beta$ -Lactam-Antibiotika . . . . .	358
8.4.3.2.	Verschiedene Antibiotika aus filamentösen Pilzen . . . . .	361
8.4.3.3.	Antibiotika aus Basidiomyzeten . . . . .	362
8.4.4.	Weitere pharmakologisch wirksame Pilzhaltsstoffe . . . . .	363
8.4.4.1.	Mutterkorn . . . . .	363
8.4.4.2.	Pilzhaltsstoffe mit halluzinogener Wirkung . . . . .	365
8.4.4.3.	Cyclosporin . . . . .	366
8.4.5.	Wachstumsregulatoren pilzlicher Herkunft . . . . .	367
8.4.5.1.	Gibberelline . . . . .	367
8.4.5.2.	Weitere Phytohormone aus Pilzen und Fusicoccin . . . . .	369
8.4.6.	Farbstoffe . . . . .	369
8.4.7.	Mykotoxine . . . . .	372
8.4.8.	Giftstoffe in Pilzen . . . . .	376
8.5.	<i>Biotransformationen</i> . . . . .	381
8.5.1.	Technik der mikrobiellen Transformation . . . . .	382

8.5.2.	Mikrobielle Umwandlung von Steroiden . . . . .	383
8.5.3.	Biotransformationen zur Gewinnung von Aminosäuren . . . . .	384
8.5.4.	Biotransformationen zur Gewinnung pharmazeutischer Produkte . . . . .	385
8.6.	<i>Abbauleistungen</i> . . . . .	388
8.6.1.	Abbau von Naturstoffen . . . . .	388
8.6.1.1.	Polysaccharide . . . . .	388
8.6.1.2.	Lipide . . . . .	393
8.6.1.3.	Proteine . . . . .	393
8.6.1.4.	Kohlenwasserstoffe . . . . .	393
8.6.1.5.	Lignin . . . . .	398
8.6.2.	Abbau von Xenobiotika . . . . .	400
8.6.2.1.	Persistenz von Xenobiotika . . . . .	401
8.6.2.2.	Enzymatische Reaktionsmechanismen . . . . .	401
8.6.2.3.	Praktische Bedeutung . . . . .	404
8.6.3.	Materialzerstörung durch Pilze (Biodeterioration) . . . . .	404
8.6.3.1.	Holz, Papier, Pflanzenfasern . . . . .	406
8.6.3.2.	Wolle, Leder . . . . .	407
8.6.3.3.	Farben, Anstriche, Gemälde . . . . .	408
8.6.3.4.	Pharmazeutika, Kosmetika . . . . .	408
8.6.3.5.	Treibstoffe, technische Öle und Schmiermittel, Bitumen . . . . .	409
8.6.3.6.	Gummi und Kunststoffe . . . . .	409
8.6.3.7.	Metalle . . . . .	410
8.6.3.8.	Glas . . . . .	410
8.6.3.9.	Gestein, mineralische Baustoffe . . . . .	410
8.6.3.10.	Elektrische Anlagen . . . . .	411
8.6.3.11.	Bekämpfung materialzerstörender Pilze, Materialschutz . . . . .	411
8.7.	<i>Wechselwirkungen zwischen Pilzen und Metallen</i> . . . . .	414
8.7.1.	Toxizität . . . . .	414
8.7.2.	Resistenz . . . . .	415
8.7.3.	Wechselwirkungen . . . . .	415
8.7.4.	Biotechnologische Anwendungen . . . . .	418
8.7.4.1.	Laugung (Leaching) . . . . .	418
8.7.4.2.	Biosorption . . . . .	418
8.8.	<i>Biologische Schädlingsbekämpfung mit Pilzen</i> . . . . .	420
8.8.1.	Entomopathogene Pilze . . . . .	422
8.8.2.	Nematodenpathogene Pilze . . . . .	429
8.8.3.	Unkrautbekämpfung . . . . .	430
8.8.4.	Pilze gegen Pilze . . . . .	432
9.	<b>Pflanzenpathogene Pilze</b> . . . . .	436
9.1.	Parasit-Wirt-Beziehungen . . . . .	436
9.2.	Infektion . . . . .	444
9.3.	Pathogenese . . . . .	447
9.4.	Wirkungsmechanismen phytopathogener Pilze . . . . .	449

9.4.1.	Zell- und Gewebezerstörungen . . . . .	450
9.4.2.	Stoffwechselstörungen . . . . .	452
9.4.3.	Wachstumsstörungen . . . . .	455
9.4.4.	Störungen der Reproduktion . . . . .	456
9.4.5.	Rhythmus- und Phasenstörungen . . . . .	458
9.5.	Klassifizierung der Mykosen . . . . .	459
9.6.	Epidemiologie von Mykosen . . . . .	462
9.7.	Ertragsverluste durch Mykosen und ihre Verhütung . . . . .	463
9.8.	Zusammenfassung . . . . .	465
<b>10.</b>	<b>Pilze als Krankheitserreger bei Mensch und Tier . . . . .</b>	<b>467</b>
10.1.	Formen der Mykosen . . . . .	467
10.2.	Einteilung und Übertragung der medizinisch wichtigen Pilze . . . . .	468
10.2.1.	Dermatophyten . . . . .	468
10.2.2.	Schimmelpilze . . . . .	472
10.2.3.	Hefen . . . . .	472
10.2.4.	Dimorphe Pilze . . . . .	474
10.3.	Erreger-Wirt-Beziehungen . . . . .	474
10.4.	Terminologie der Mykosen . . . . .	479
10.5.	Dermatomykosen . . . . .	482
10.5.1.	Dermatophytosen bei Mensch und Tier . . . . .	483
10.5.2.	Hefe- und Schimmelpilzmykosen der Haut . . . . .	486
10.6.	Systemmykosen (Endomykosen) . . . . .	487
10.6.1.	Systemmykosen durch Sprosspilze . . . . .	487
10.6.1.1.	Gattung <i>Candida</i> . . . . .	487
10.6.1.2.	Gattung <i>Trichosporon</i> . . . . .	488
10.6.1.3.	Gattung <i>Cryptococcus</i> . . . . .	488
10.6.1.4.	Gattung <i>Malassezia</i> . . . . .	489
10.6.2.	Systemmykosen durch Schimmelpilze . . . . .	489
10.6.3.	Erkrankungen durch dimorphe Pilze . . . . .	490
10.7.	Myogene Allergien . . . . .	491
10.8.	Bekämpfung der Mykosen bei Mensch und Tier . . . . .	492
10.9.	Mykotoxikosen bei Mensch und Tier . . . . .	494
10.9.1.	Definition . . . . .	494
10.9.2.	Mykotoxinbildende Mikromyzeten . . . . .	495
10.9.3.	Bildungs- und Übertragungsbedingungen für Mykotoxine . . . . .	495
10.9.4.	Chemie und Wirkungsmechanismus der Mykotoxine . . . . .	497
10.9.5.	Diagnostik von Mykotoxikosen . . . . .	498
10.9.6.	Verhütung von Mykotoxikosen . . . . .	499
10.9.7.	Erkrankungen durch Mykotoxine . . . . .	500
10.9.7.1.	Fusarium-Mykotoxikosen . . . . .	500

10.9.7.2. Ochratoxikose . . . . .	501
10.9.7.3. Aflatoxikose . . . . .	504
10.9.7.4. Mutterkornvergiftung (Ergotismus) . . . . .	505
10.9.7.5. Weitere Mykotoxikosen . . . . .	505
<b>Gattungs- und Artenverzeichnis</b> . . . . .	507
<b>Sachregister</b> . . . . .	523