



Mykologie

Markus Künzler
HS 2017

HIT J53 08.45 – 10.30



Überblick über die Vorlesung

Einstieg mit

Youtube: Fantastic Fungi - Coming 'Shroom

<https://www.youtube.com/watch?v=RLsxZegPzm4>

Lernziele:

- > Verständnis der pilzlichen Lebensform (Lifestyle)
- > Kenntnisse von spezifischen Eigenschaften der pilzlichen Zelle
- > Kenntnisse der verschiedenen Differenzierungsprozesse des Myzels
- > Kenntnisse der Reproduktionszyklen aller Phyla der Pilze
- > Kenntnisse über die verschiedenartigen Ernährungsweisen der Pilze; Korrelation mit Habitat und Ökologie
- > Kenntnisse der Nutzung von Pilzen in Lebensmittelherstellung und Biotechnologie

- Konzept: Besprechung der Themen anhand von Powerpoint-Präsentationen; Darstellung anhand von Beispielen; eigenes Erarbeiten von Kenntnissen mittels Selbststudium

- Hilfsmittel: E-learning Plattform (Moodle) mit Powerpoint-Präsentationen (mit Filmen und Kommentaren) und zusätzlichem Informationsmaterial (u.a. zwei Büchern, Reviewartikel)

- Leistungs(Lern)kontrolle: Schriftliche Sessionsprüfung (120 Minuten) mit Text- und Multiple Choice-Fragen

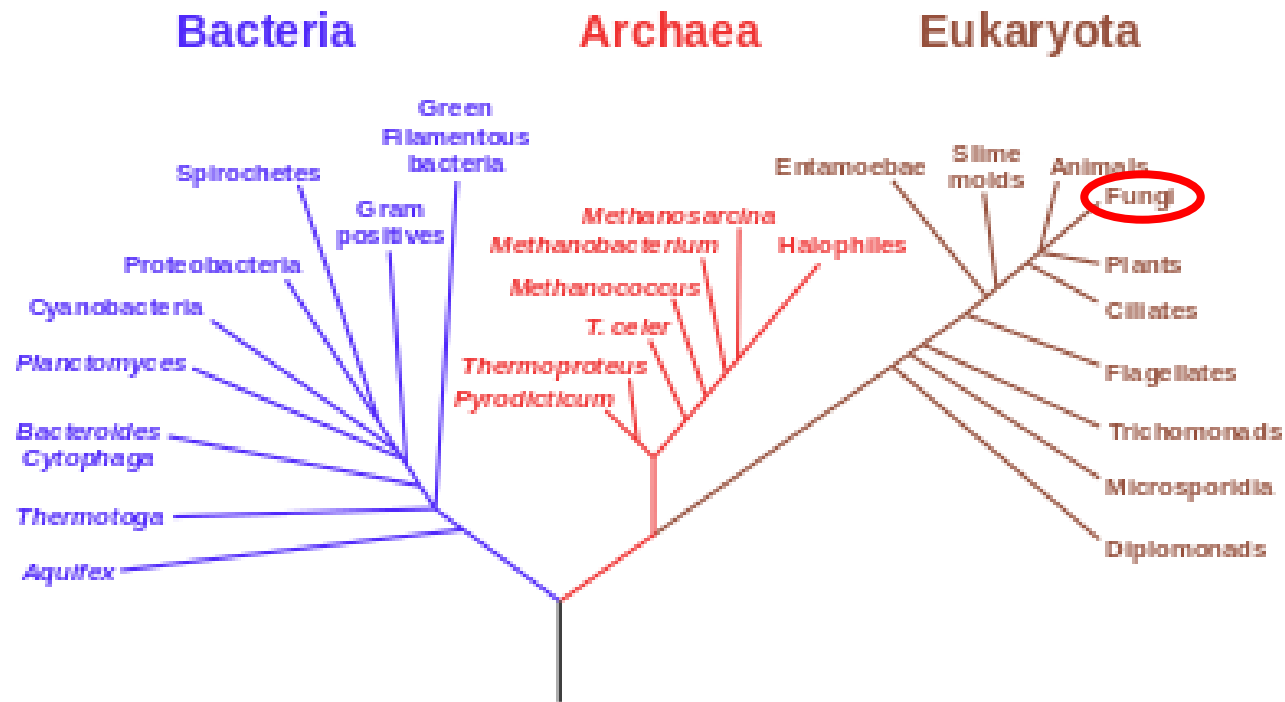
Programm

Vorlesungskapitel	Besprochene Themen	Kapitel Moore	Kapitel Deacon	Datum
Einführung	Überblick über die Vorlesung Stellung der Pilze unter den Organismen (Phylogenie) Lebensstil der Pilze Systematik der Pilze	1, 2, 3	1, 2	25.09.2017
Lebensstil der Pilze	Die pilzliche Zelle - Hyphenwachstum - Hefewachstum - Zellaufbau - Zellwand Die pilzliche Kolonie - Myzel - Vergleich zu Hefe-Form Ernährungsweise der Pilze - C-Heterotrophie - Substrate der Pilze und deren enzymatischer Abbau	4, 5, 6	3, 4, 6, 7, 8	02.10.2017 09.10.2017
Differenzierung des Myzels	Sporenbildung Myzelstränge Sklerotien	9, 12	5, 10	16.10.2017
Reproduktionszyklen und systematische Einteilung der Pilze	Konzept der sexuellen Reproduktion Beispiele - Chytridiomycota - Glomeromycota - Zygomycota - Ascomycota - Basidiomycota - Deuteromycota (Fungi imperfecti, Hyphomycota)	7, 8	2, 9	23.10.2017 30.10.2017 06.11.2017
Ökologie der Pilze	Saprophyten Antagonistische Symbiose - Phytopathogene Pilze - Tier- und humanpathogene Pilze - Mykoparasiten Mutualistische Symbiose - Flechten (mit Bakterien und Algen) - Mykorrhiza (mit Pflanzen) - mit Tieren	10, 13, 14, 15, 16	11, 12, 13, 14, 15, 16, 17	13.11.2017 20.11.2017 27.11.2017
Nutzung der Pilze	Lebensmittelherstellung - Brot, Bier und Wein - Soja-Fermentation - Käse Enzymproduktion Sekundärmetabolite Speisepilze	11, 17, 18	-	04.12.2017 11.12.2017 18.12.2017

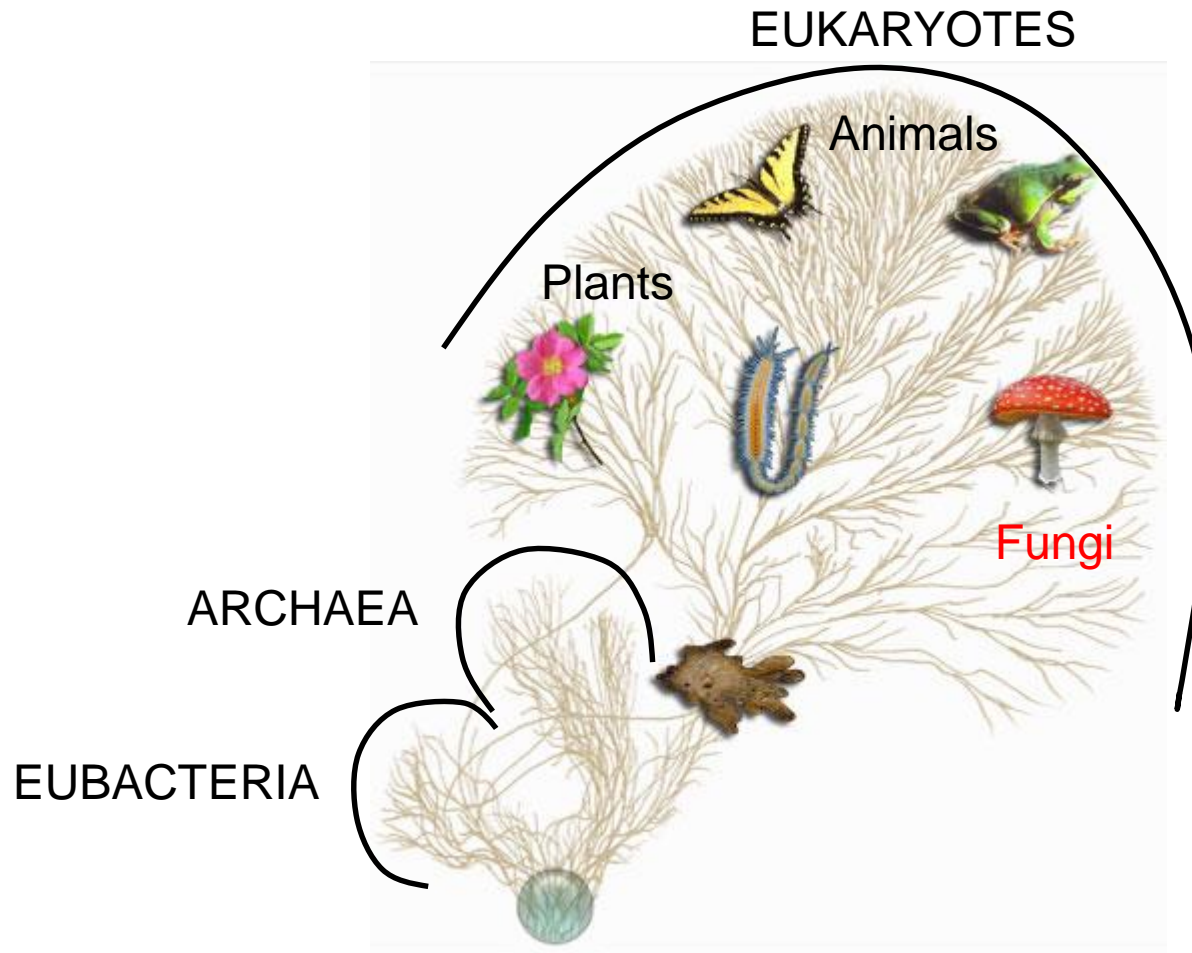
Einführung in die Welt der Pilze

Phylogenie der Pilze

Phylogenetic Tree of Life



Phylogenie der Pilze



3 Domains of life: EUBACTERIA, ARCHAEA, EUKARYOTES

5 Kingdoms of life: EUBACTERIA, ARCHAEA, Plants, Animals, **Fungi**

Phylogenie der Pilze

Unterteilung der Eukaryonten

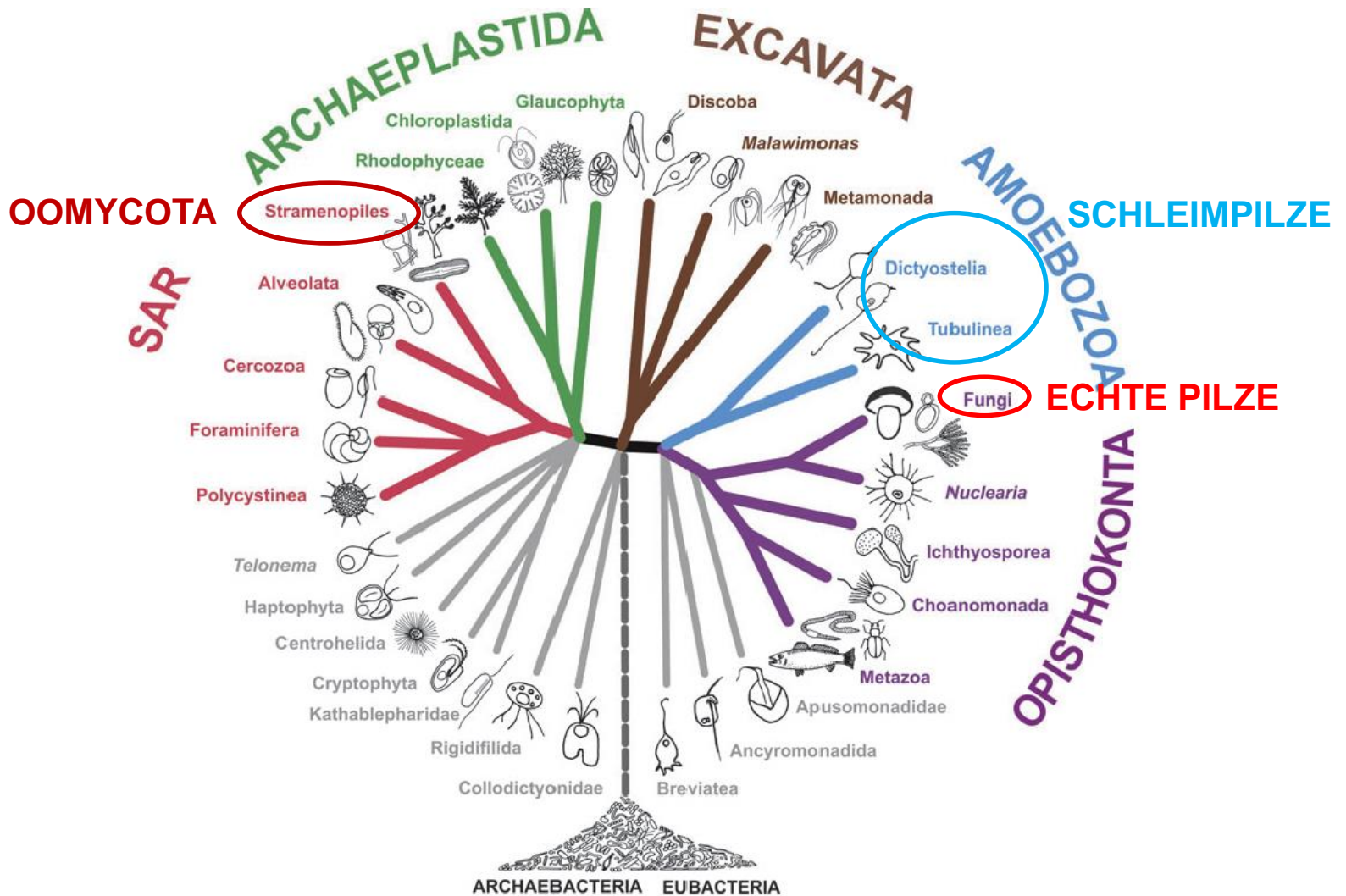
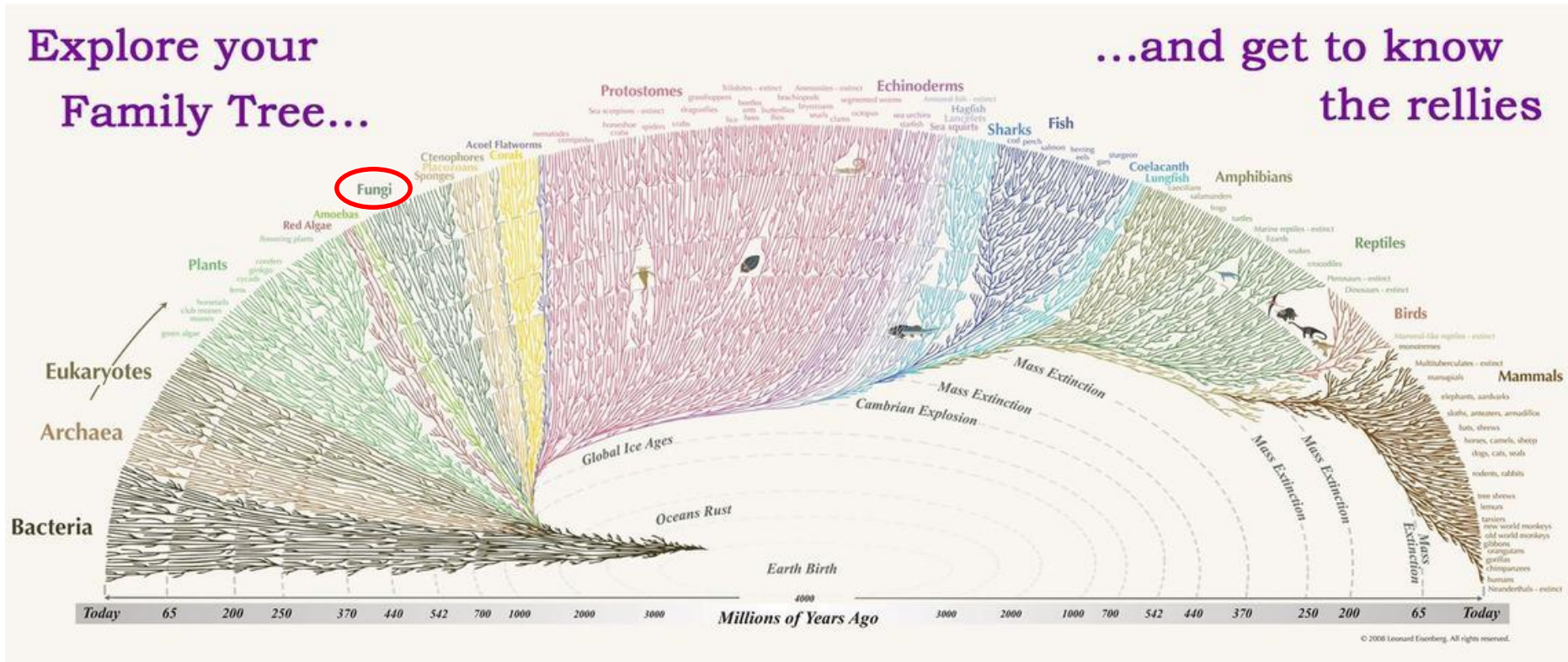


Fig. 1. A view of eukaryote phylogeny reflecting the classification presented herein.

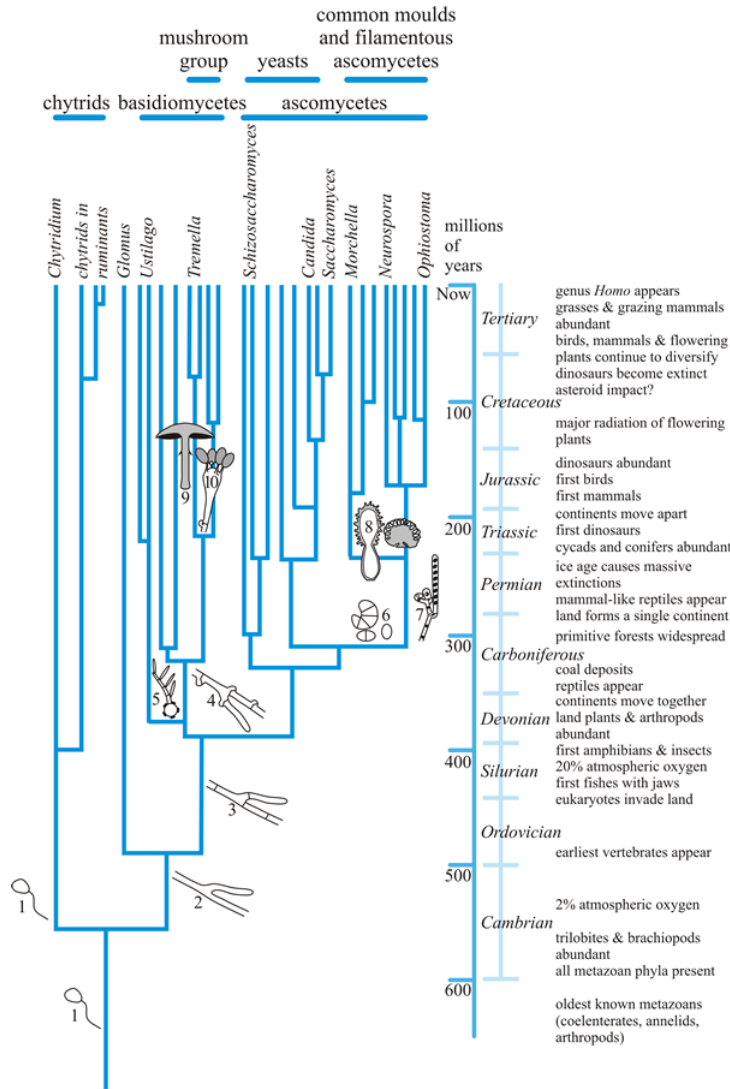
Phylogenie der Pilze

Explore your
Family Tree...

...and get to know
the rellies



Phylogenie der Pilze



Evolution der Pilze

- 1: Bewegliche Sporen
- 2: Verzweigte Hyphen ohne Septen
- 3: Verzweigte Hyphen mit Septen
- 4: Schnallen bei Basidiomyzeten
- 5: Heterobasidien bei Basidiomyzeten
- 6: Asexuelle Sporen bei Ascomyzeten
- 7: Asci bei Ascomyzeten
- 8: Fruchtkörper bei Ascomyzeten
- 9: Fruchtkörper bei Basidiomyzeten
- 10: Holobasidien bei Basidiomyzeten

Phylogenie der Pilze

Zusammenfassung

- Pilze bilden das 5. Reich (5th Kingdom) des Lebens
- Pilze sind näher verwandt mit Tieren als mit Pflanzen
- Das Reich der Pilze umfasst viele verschiedene Phyla und Subphyla
- Die phylogenetisch ältesten Pilzphyla sind die aquatischen Pilze mit motilen Sporen

Artenvielfalt der Pilze

Reich	Geschätzte Zahl der Arten	Beschriebene Zahl Arten
Tiere	7 Mio.	20%
Pflanzen	390'000	80%
Pilze	3 Mio	3-8%

Pilzliche Genome

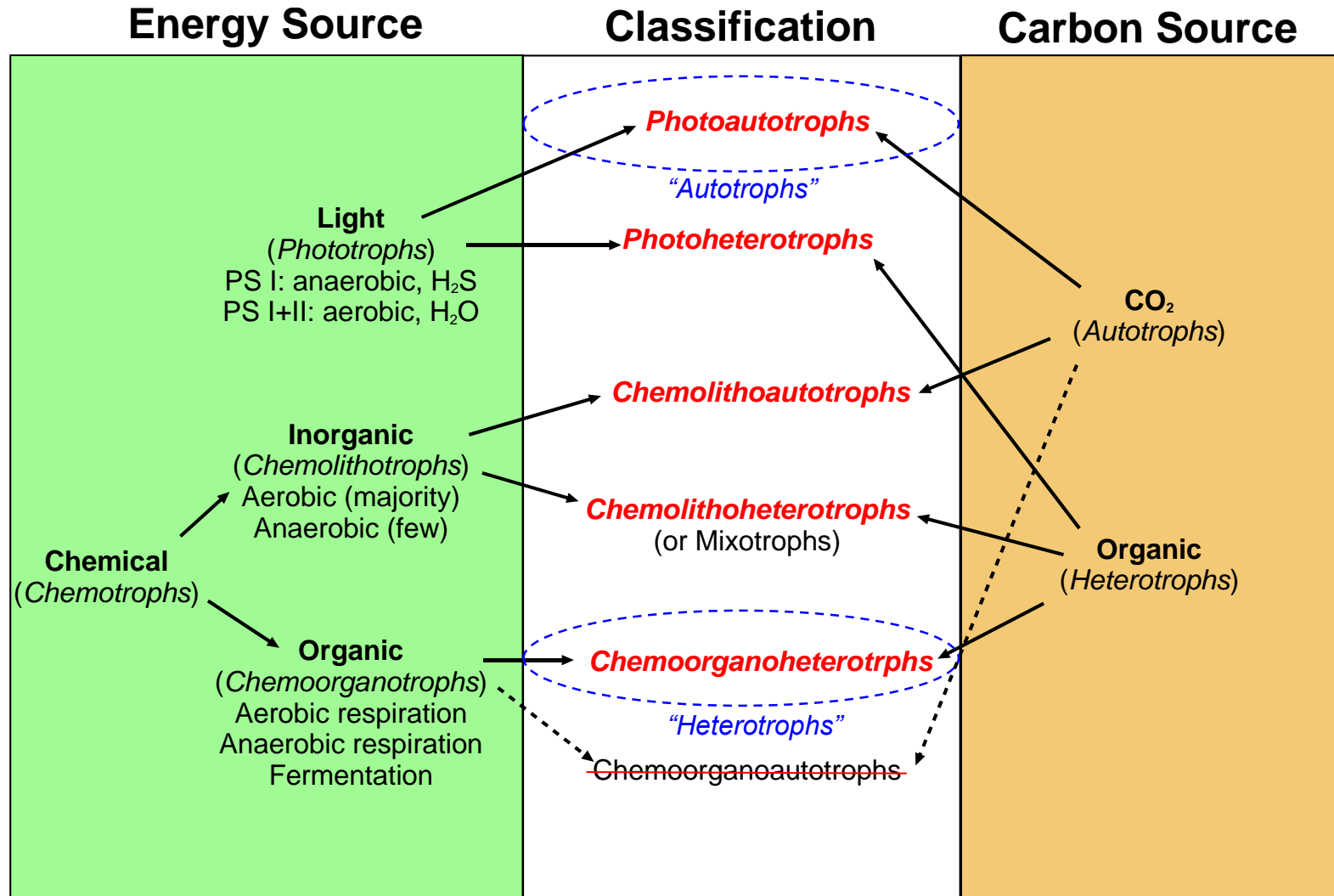
Gruppe und Spezies	Anzahl Chromosomen	DNA (in Millionen Basenpaaren = Mbp)	
		Nukleus	Durchschnittliche Grösse der Chromosomen
Prokaryoten	1	4	4
<i>E. coli</i>			
Schleimpilze			
<i>D. discoideum</i>	7	50	7
<i>P. polycephalum</i>	ca. 40	270	7
Oomycota			
<i>A. bisexualis</i>	?	46	?
Zygomycota			
<i>P. blakesleeenanus</i>	?	31	?
Ascomycota			
<i>N. crassa</i>	7	47	4 - 13
<i>A. nidulans</i>	8	31	3 - 5
<i>S. cerevisiae</i>	16	12	0.2 - 2
Basidiomycota			
<i>S. commune</i>	6	36	1 - 5
<i>U. maydis</i>	20	19	0.3 - >2
Tomate	12	2350	196
Mensch	23	3000	130

Lebensstil der Pilze

- ‘Heterotrophe’ Ernährungsweise
- Absorptive (osmotrophe) Ernährungsweise
- Immotilität des Organismus (nicht unbedingt aller Zellen)
- Von Zellwänden umgebene Zellen
- Hyphenförmige Multizellularität (polares multizelluläres Wachstum)
- Verbreitung durch Sporen

Heterotrophe Ernährungsweise

Metabolic Classification of Life

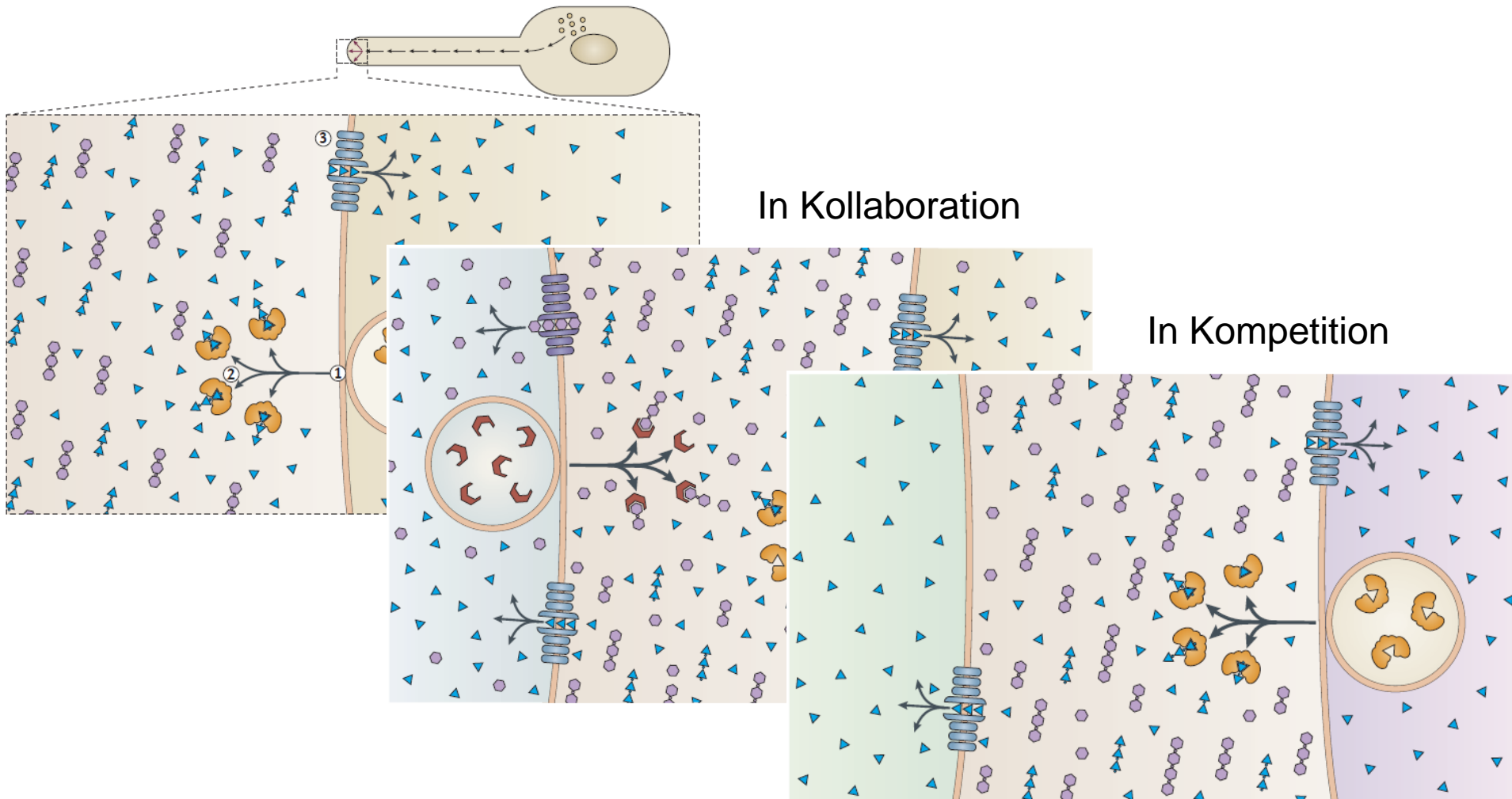


Absorptive (osmotrophe) Ernährungsweise

- Abbau der Nahrung ausserhalb des Organismus
- Sekretion von Exoenzymen, welche komplexe Nahrungsmoleküle zu kleineren Molekülen abbauen
- Aufnahme von kleineren Moleküle durch Zellwand und Zellmembran (Transporter)

Osmotrophe Ernährungsweise und ‘public goods’

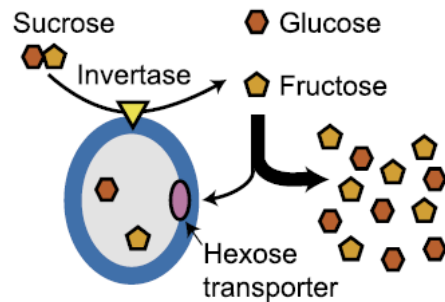
Axenisch



Osmotrophe Ernährungsweise und Multizellularität

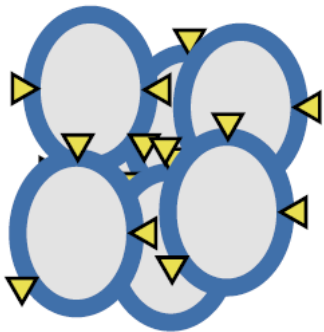
Hypothese

At low cell density in low sucrose concentrations, yeast cells cannot capture enough glucose and fructose to grow.

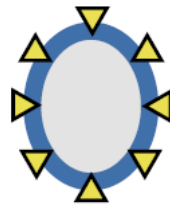


Three engineered strategies for growth in low sucrose:

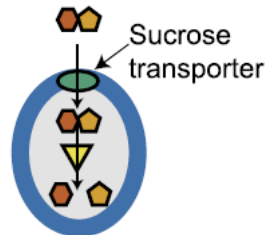
1. Form multicellular clumps.



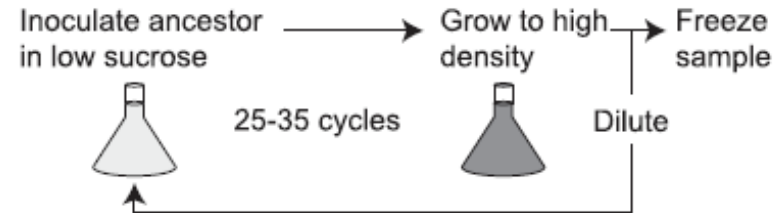
2. Make more invertase.



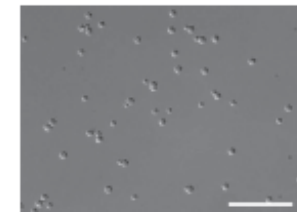
3. Import sucrose.



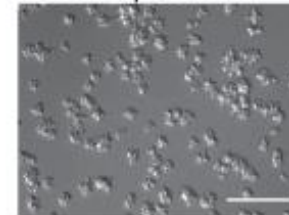
Experiment



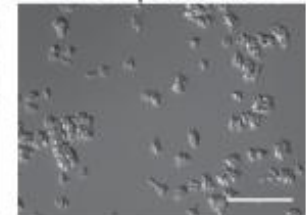
Ancestor



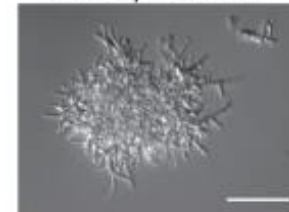
EvoPopulation4



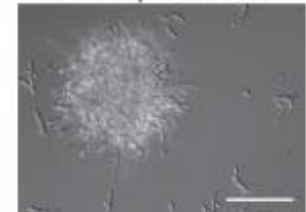
EvoPopulation5



EvoPopulation9



EvoPopulation10



Pilze zeigen bezüglich C-Quelle (Heterotrophie) drei grundsätzliche Lebensstile

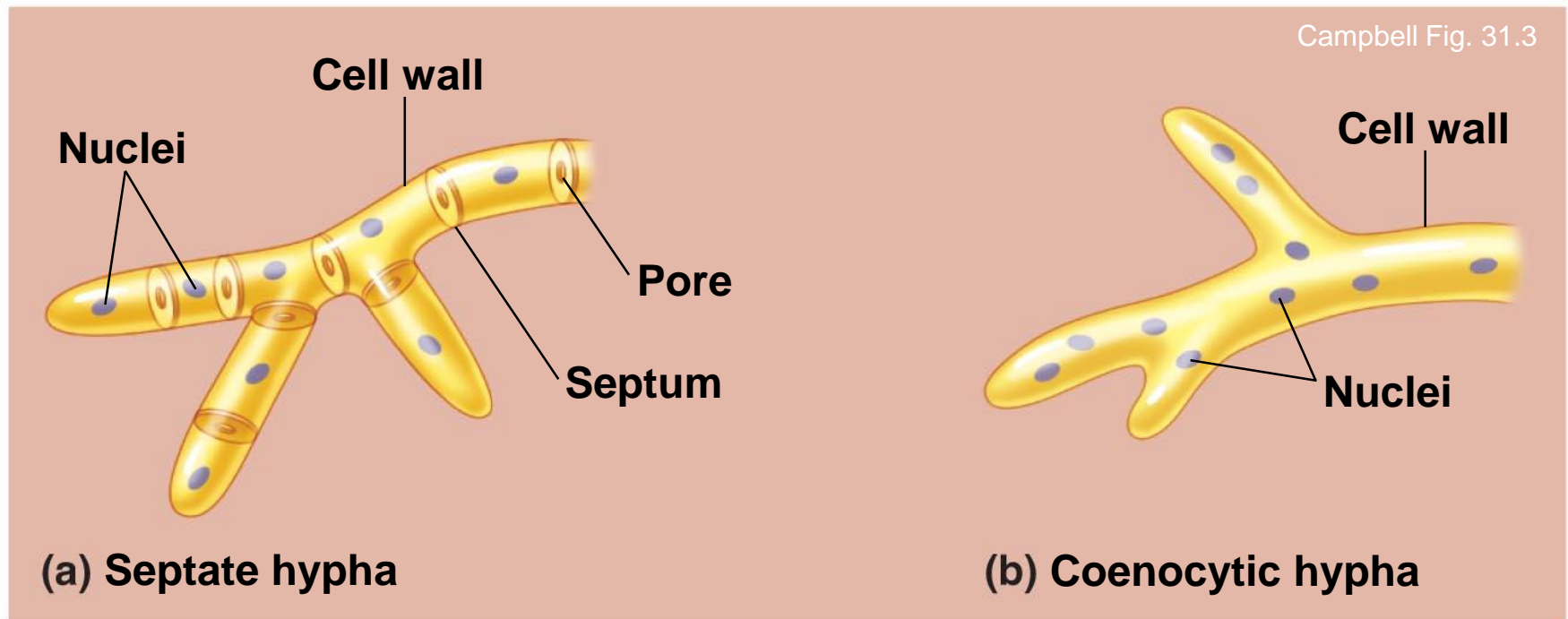
- Saprophyt
- Parasit (antagonistischer Symbiont)
- Mutualistischer Symbiont

Die Ernährungsweise* beeinflusst die Körperform der Pilze

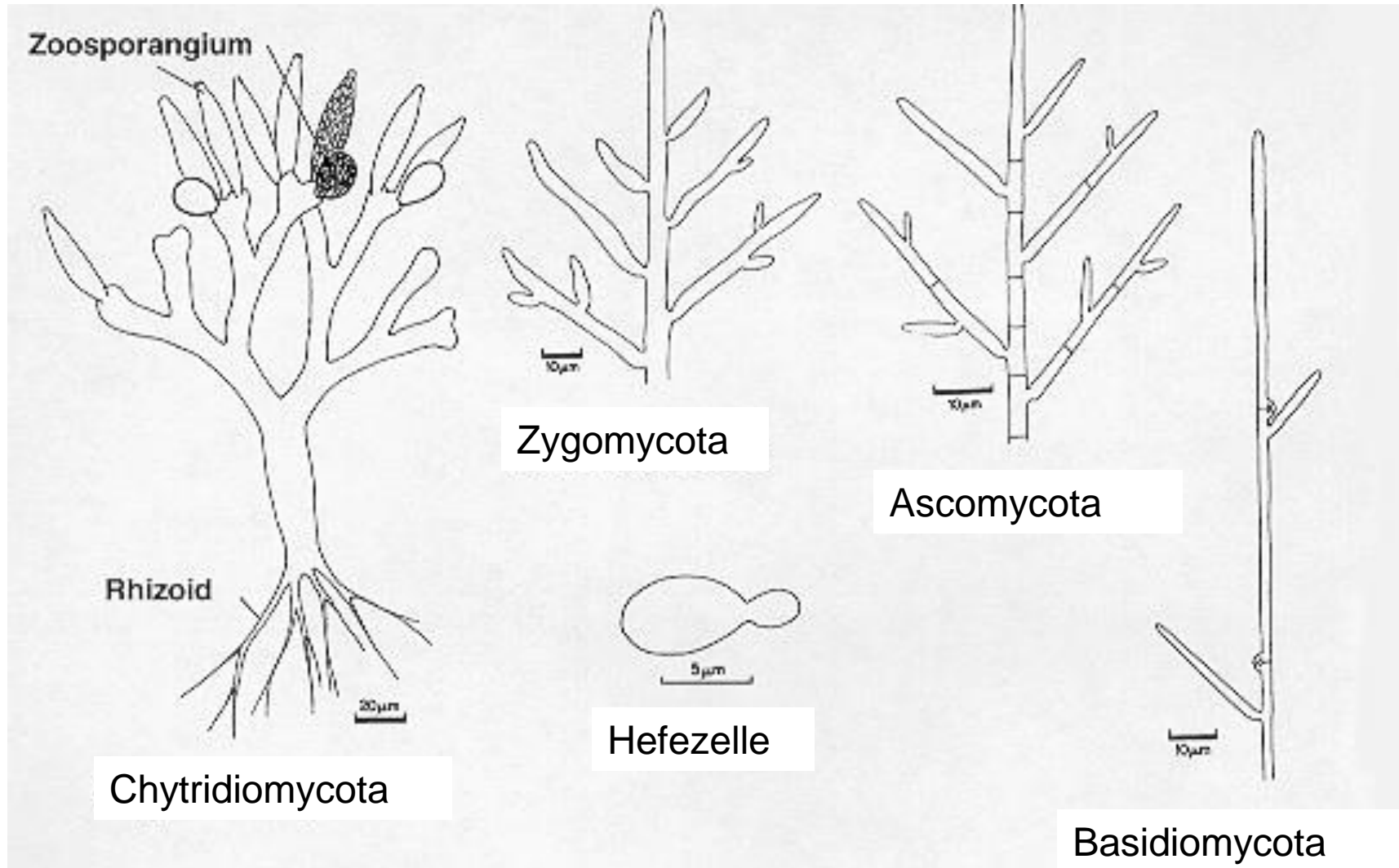
- Die Hyphe erlaubt die optimale Aufnahme von Nahrungsbestandteilen (grosse Oberfläche, Ein- und Durchdringen des Substrates)
- Verzweigte Hyphen bilden ein Netzwerk (Myzel) für den Transport von Nährstoffen und Information

*Heterotrophie, Osmotrophie

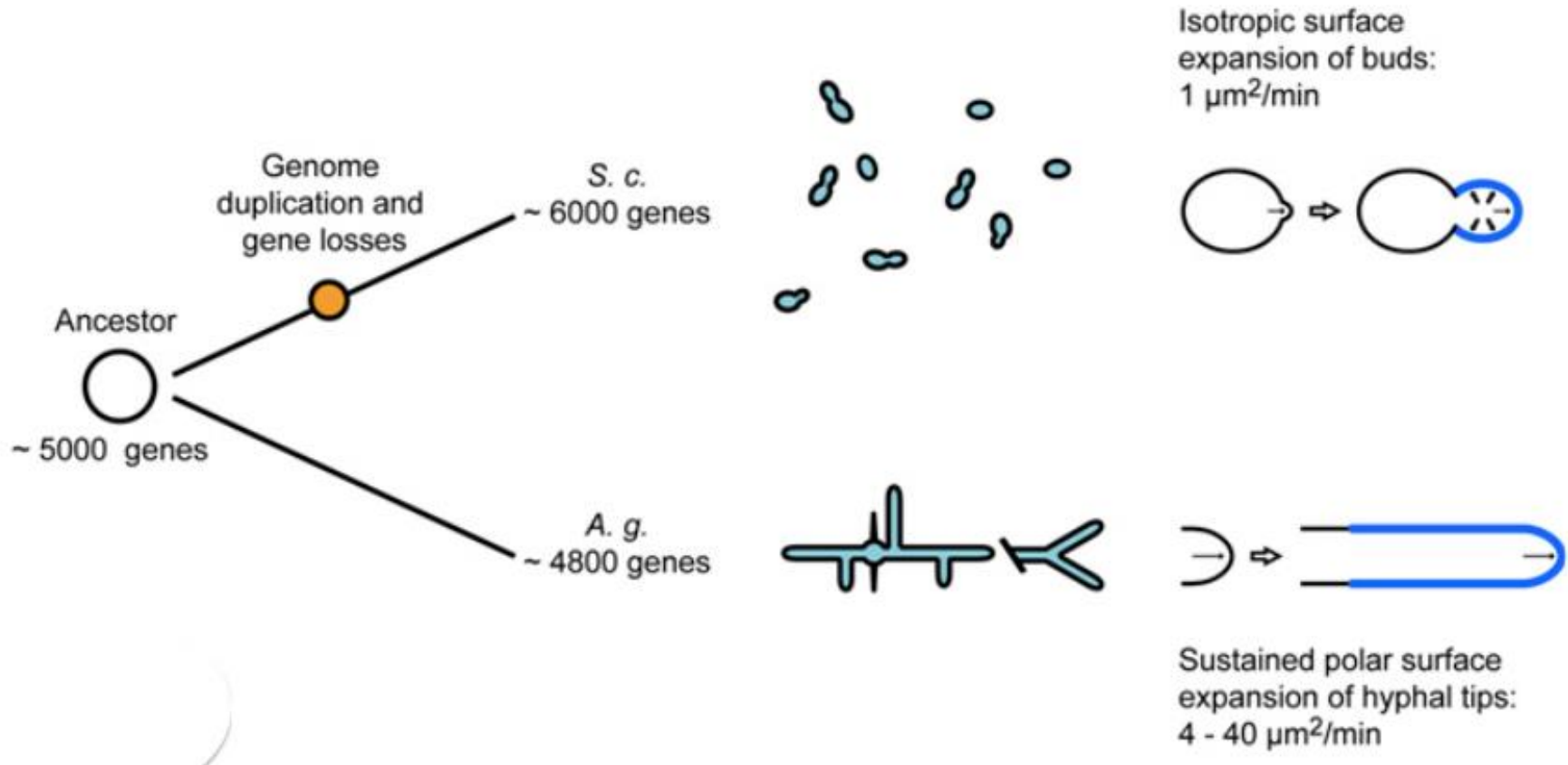
Die Ernährungsweise beeinflusst die Zellform der Pilze



Zelluläre Formen der Pilze

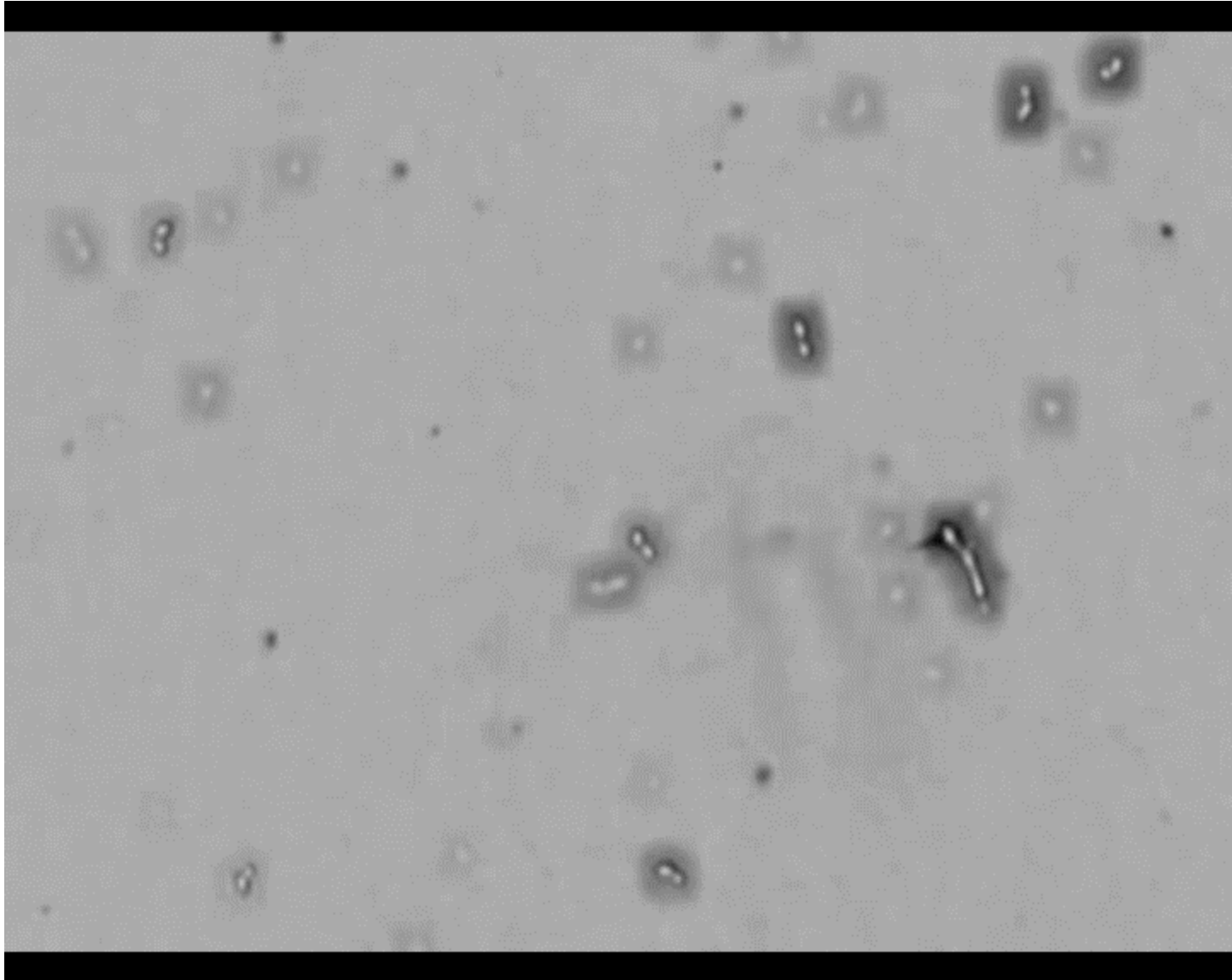


Pilzliches Zellwachstum



Ashbya gossypii (A.g.) / *Saccharomyces cerevisiae* (S.c.)

Pilzliches Zellwachstum



Ashbya gossypii / *Saccharomyces cerevisiae*

Die Verbreitungs- und Vermehrungseinheit der Pilze ist die Spore

- Sporen werden auf vielfältige Arten (Teilung, Sprossung, etc.) gebildet
- Wir unterscheiden zwischen asexuell und sexuell gebildeten Sporen
- Die Art der sexuellen Sporenbildung ist das grundlegende taxonomische Merkmal für die Systematik der Pilze



Sporenbildung



Echter Mehltau (*Erysiphe/Blumen*)

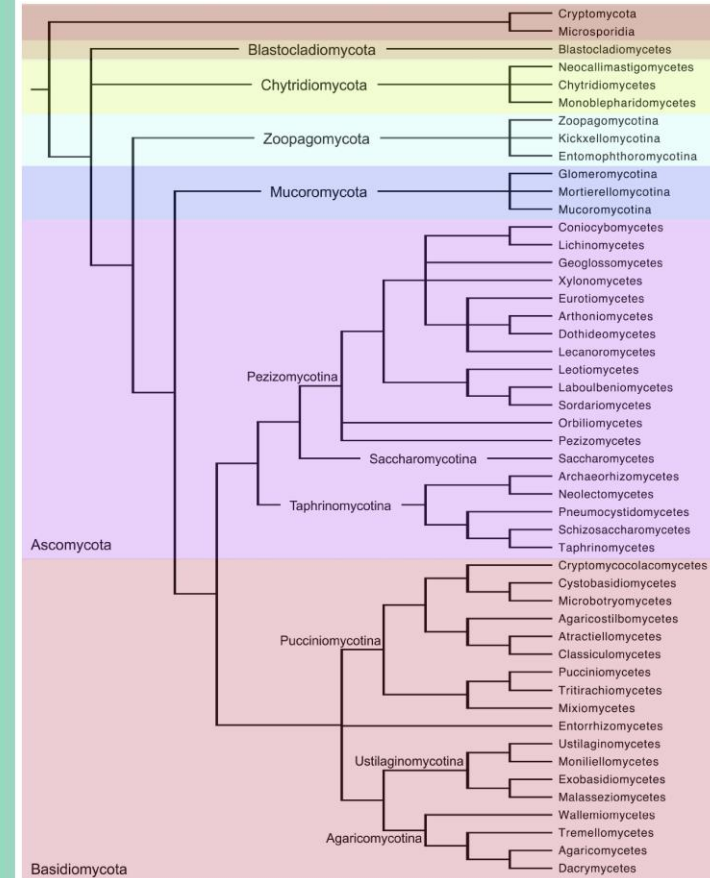
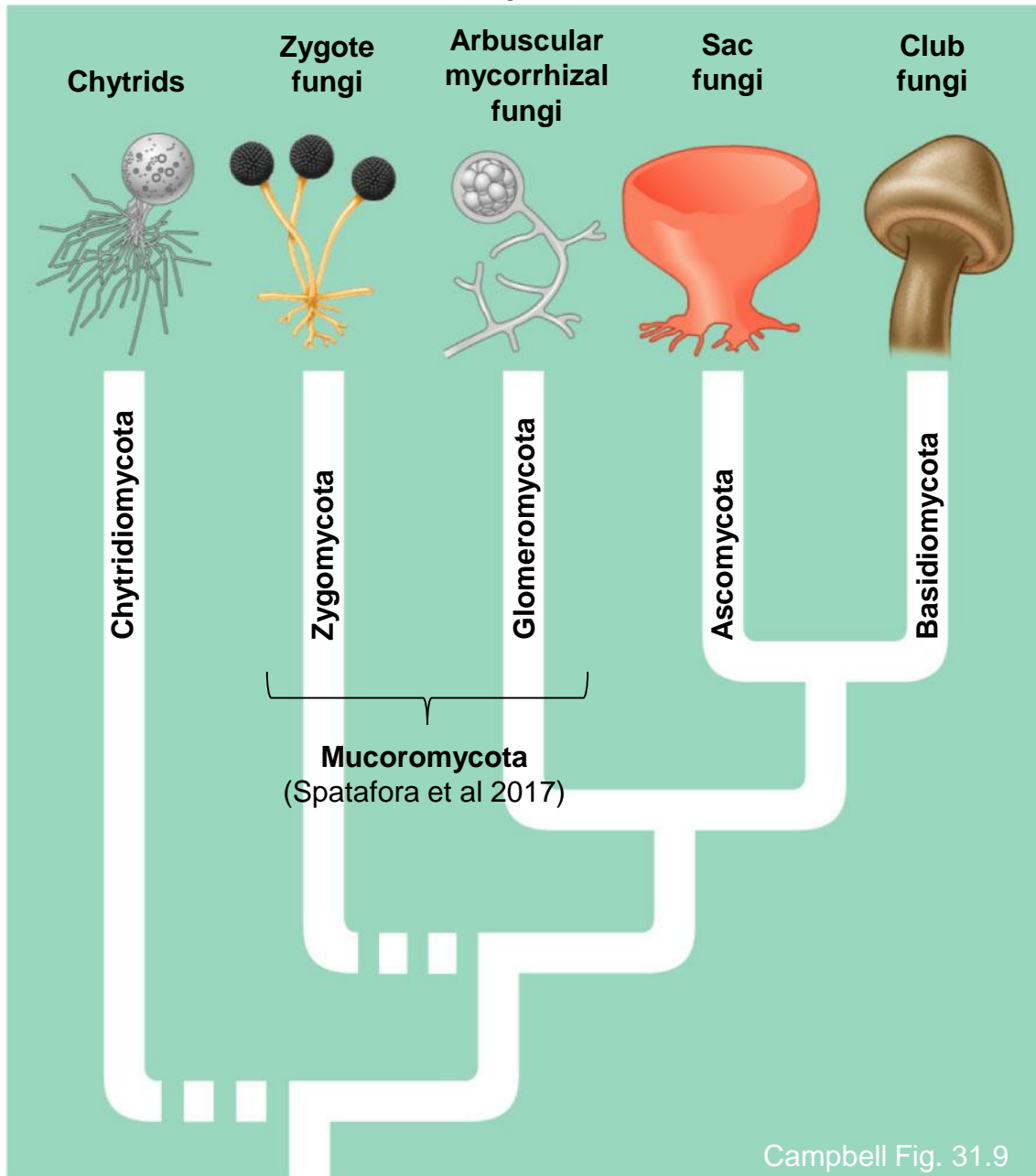
Echter Mehltau (*Uncinula tulasnei*) auf Spitzahorn

Wirtsresistenz gegen biotrophe Pilze



Echter Mehltau (*Erysiphe/Blumeria graminis*) auf Gerste

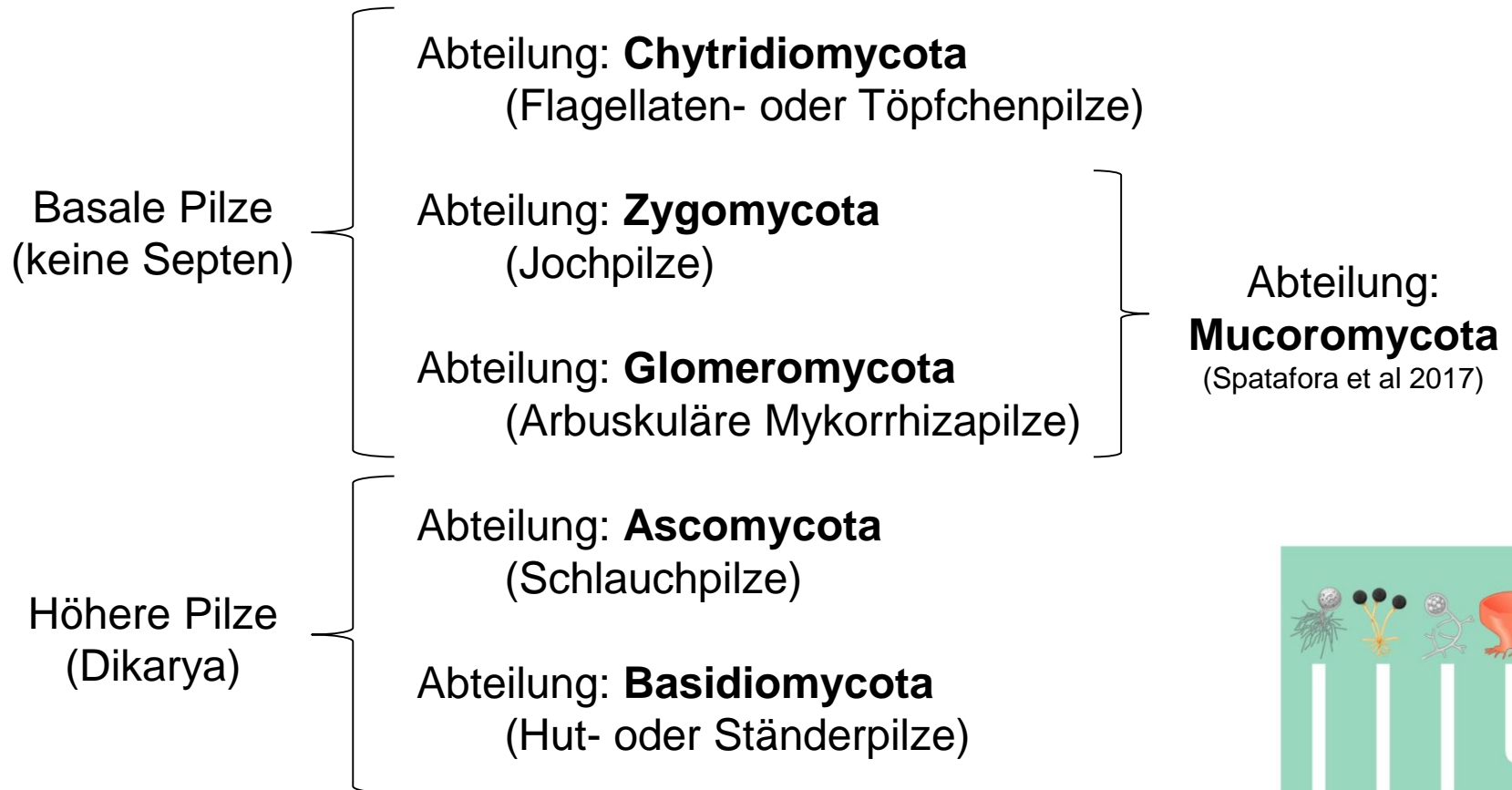
Systematik der Pilze



Quelle: Spatafora et al 2017

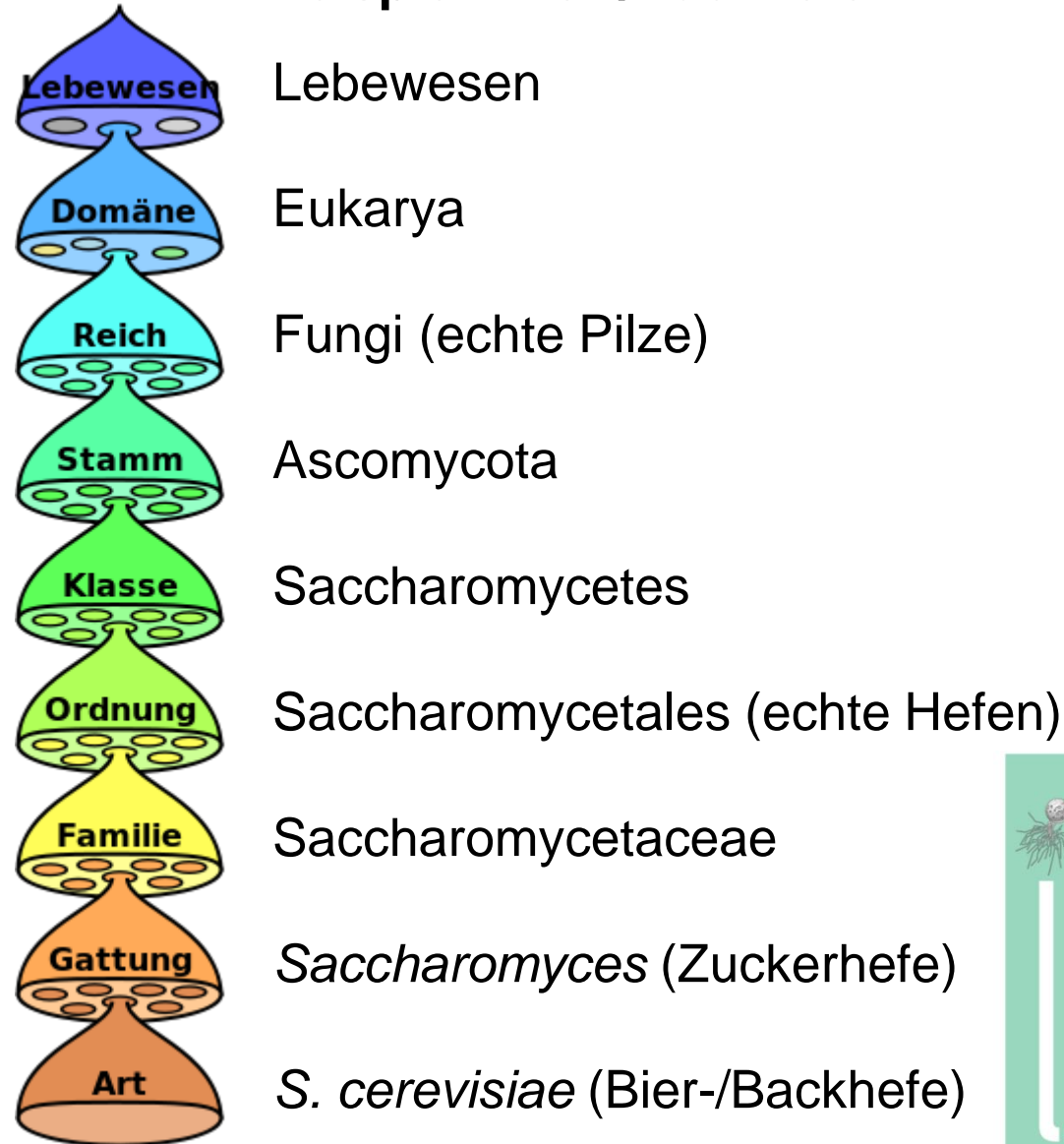
Systematik der Pilze

Reich: **Fungi** (Echte Pilze)



Taxonomie der Pilze

Beispiel: Bier-/Backhefe



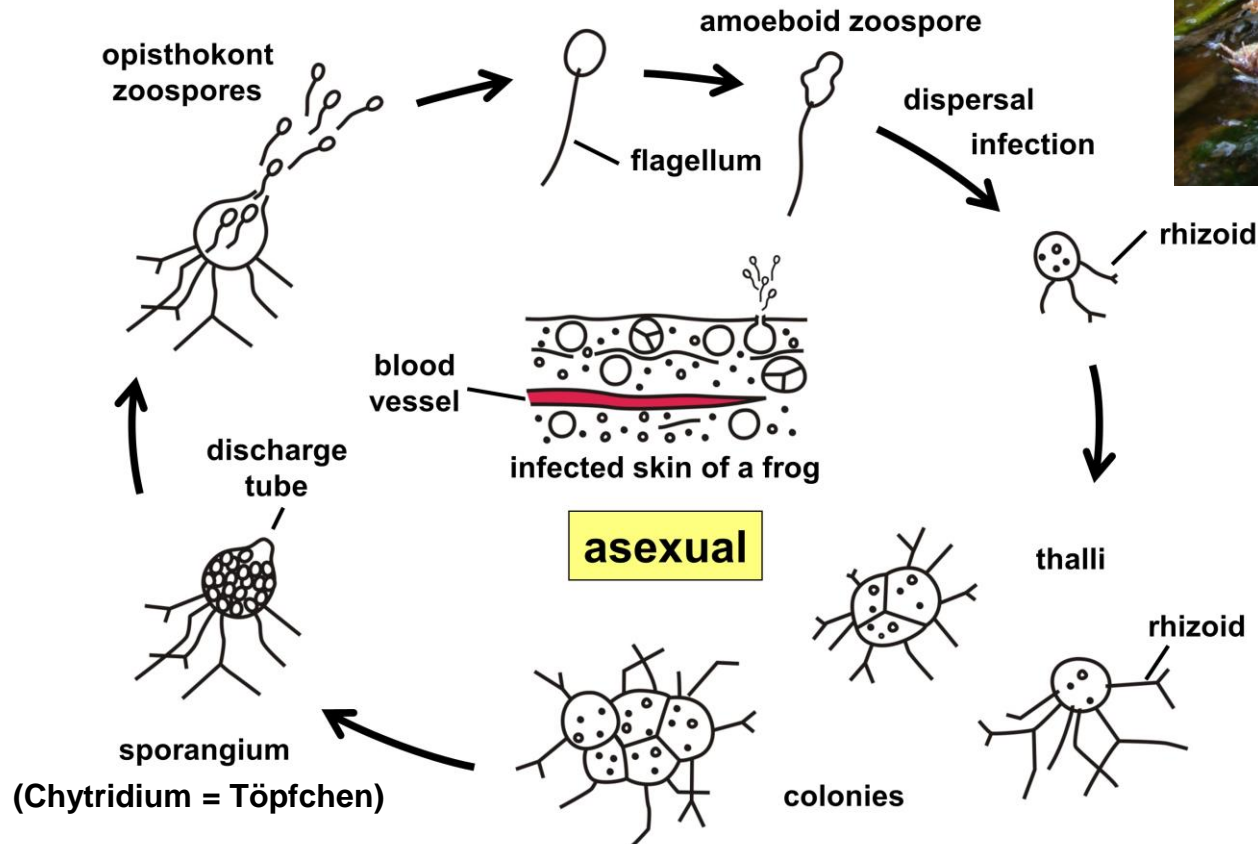
Chytridiomycota

- Der Stamm (Phylum, Abteilung) Chytridiomycota umfasst etwa 1250* heute bekannte Spezies
- Die Chytridiomycota gehören zu den phylogenetisch ältesten Pilzen
- Wir finden Vertreter Chytridiomycota als Saprophyten, Parasiten oder Symbionten
- Typisch für die Chytridiomycota sind begeisselte Sporen (Zoosporen)



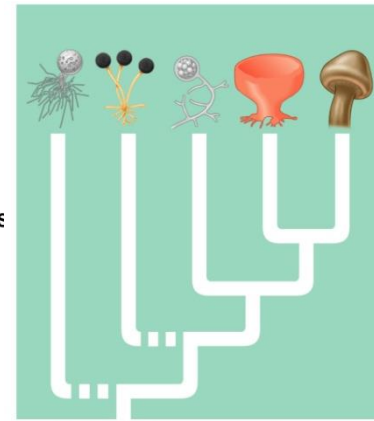
Chytridiomycota

Chytridiomykose



© M. Piepenbring, CC BY-NC

Batrachochytrium dendrobatidis



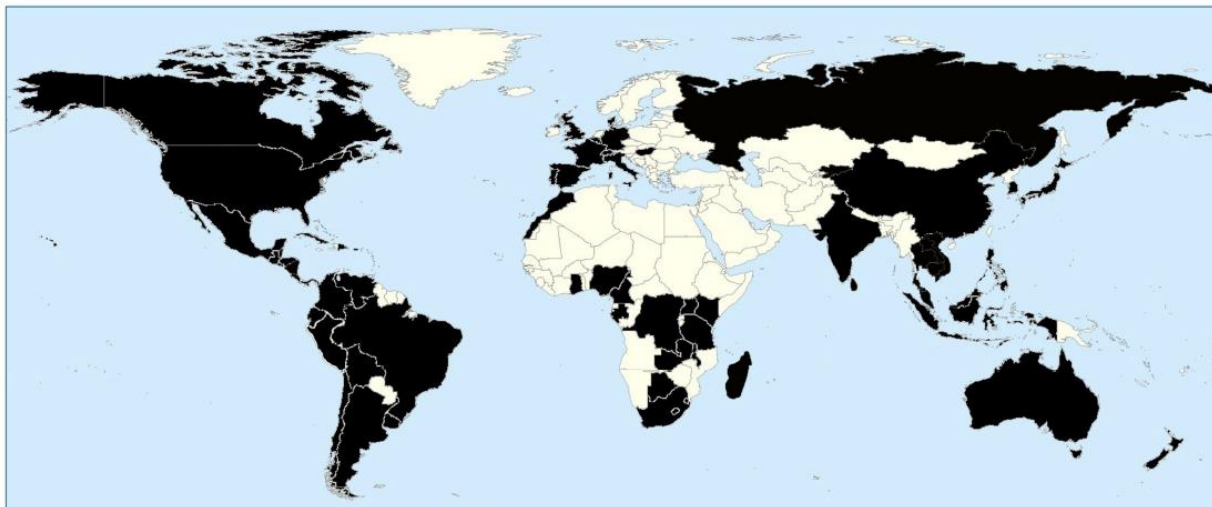
Chytridiomycota



Xenopus laevis



before 1935



2015

Worldwide detections of *Batrachochytrium dendrobatidis*

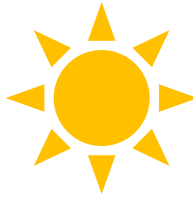


Zygomycota

- Der Stamm (Phylum, Abteilung) Zygomycota umfasst etwa 1350* heute bekannte Spezies
- Zu den Zygomycota gehören vor allem schnellwachsende Schimmelpilze, aber auch Parasiten und symbiotisch-lebende Organismen
- Typisch für die Zygomycota sind Sporangien und Zygosporen



Zygomycota



Phycomyces blakesleeanus
(auf Hundekot)



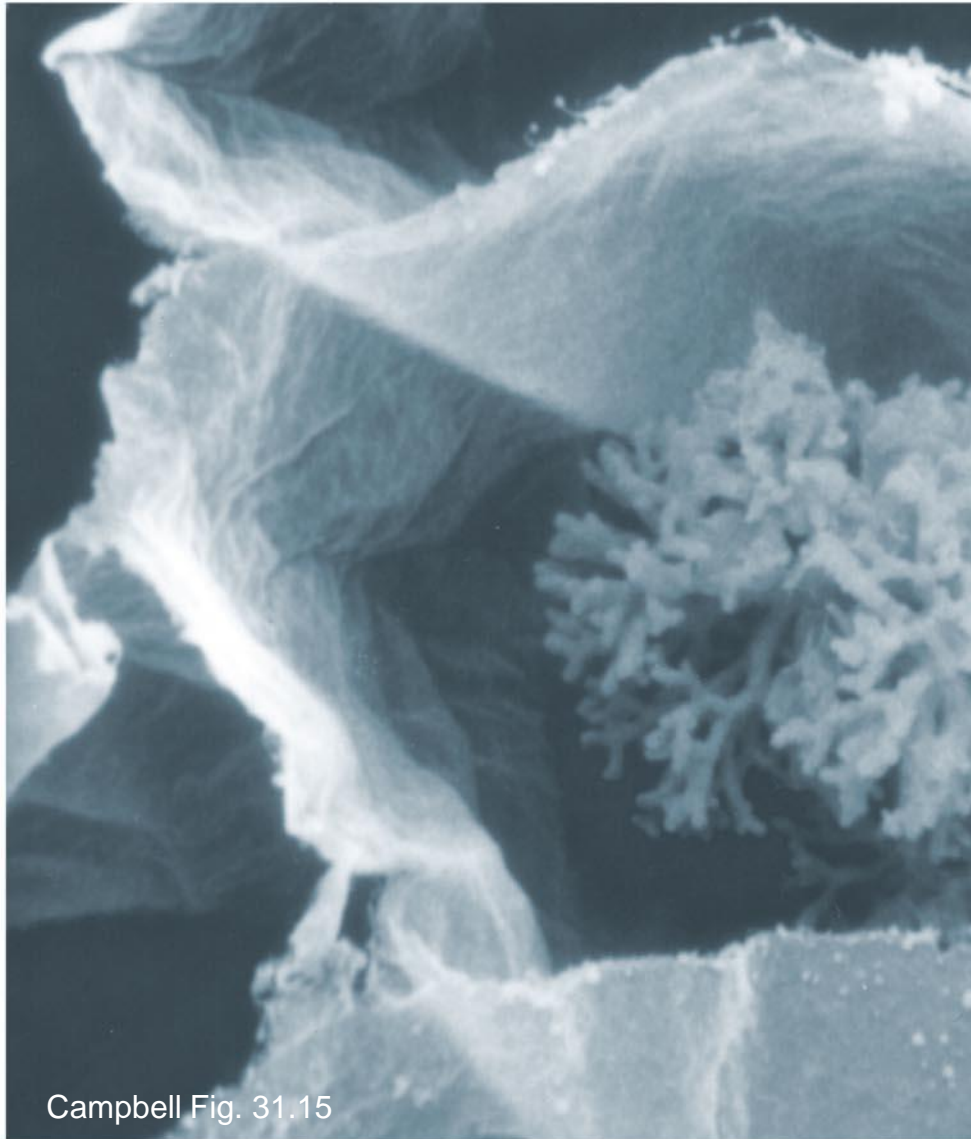
Glomeromycota

- Die Glomeromycota bilden einen kleinen Stamm (Abteilung, Phylum) mit heute etwa 275* bekannten Spezies
- Sie sind symbiotisch wachsende Organismen und sind für die vesikuläre-arbuskuläre Mykorrhiza (VAM- oder AM-Pilze) verantwortlich



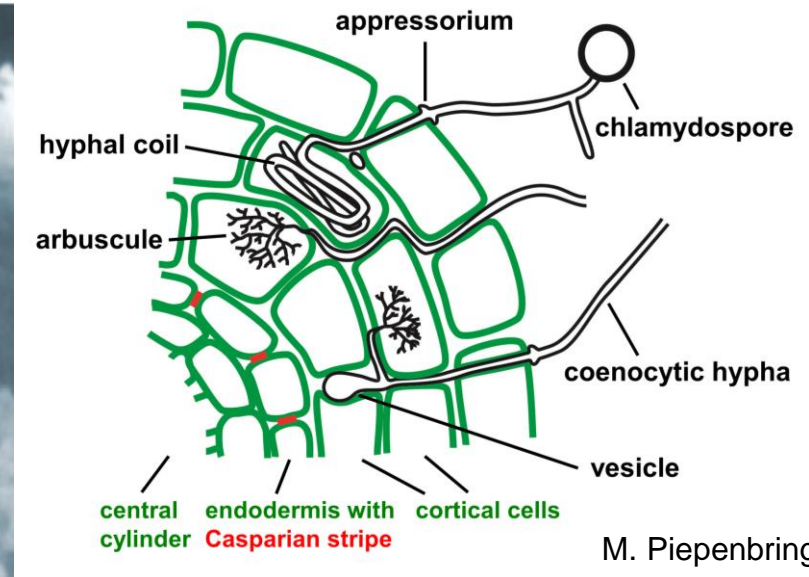
*gemäss catalogueoflife.org Sept. 2017

Glomeromycota

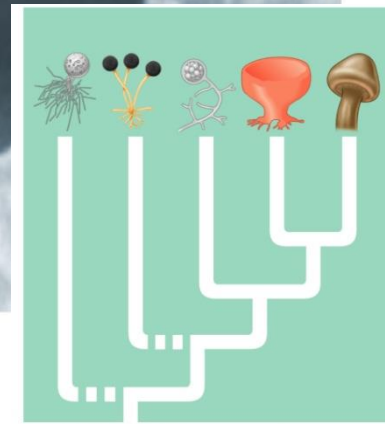


Campbell Fig. 31.15

2.5 μm



M. Piepenbring



Ascomycota

- Der Stamm der Ascomycota lebt im Wasser und auf dem Land
- Mit etwa 87'000* bekannten Species bildet er den grössten Stamm (Abteilung, Phylum) der Pilze
- Charakteristisch für die Ascomycota ist die Bildung von sexuellen Sporen in einem Askus
- Ascomycota können sich auch durch asexuelle Sporen (Konidien) verbreiten
- Ascomycota haben unterschiedliche Grössen und Komplexität: einzellige Hefen gehören zu den Ascomycota ebenso wie Schimmelpilze und komplexe fruchtkörperbildende Arten



Ascomycota



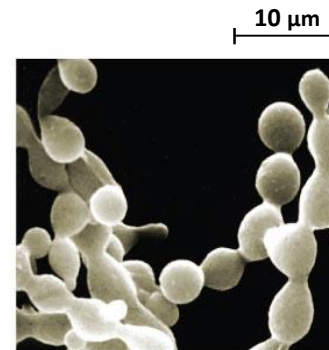
(a) The cup-shaped ascocarps (fruiting bodies) of *Aleuria aurantia* give this species its common name: orange peel fungus.



(b) The edible ascocarp of *Morchella esculenta*, the succulent morel is often found under trees in orchards.



(c) *Tuber melanosporum* is a truffle, an ascocarp that grows underground and emits strong odors. These ascocarps have been dug up and the middle one sliced open.



(d) *Neurospora crassa* feeds as a mold on bread and other food (SEM).

Ascomycota



Konidienbildung bei *Neurospora crassa*

Ascomycota



Ascosporenbildung bei *Ascobolus* sp.

Basidiomycota

- Zum Stamm der Basidiomycota gehören etwa 50'000* heute bekannte Spezies
- Viele Arten weisen komplexe Reproduktionszyklen z.T. mit Wirtswechseln auf
- Zu den Basidiomycota gehören die bekannten Hutpilze aber auch pflanzenpathogene Rost- und Brandpilze
- Charakteristisch für die Basidiomycota ist die Bildung von Basidiosporen im Rahmen des sexuellen Reproduktionszyklus



Basidiomycota



(a) Fly agaric (*Amanita muscaria*), a common species in conifer forests in the northern hemisphere



(b) Maiden veil fungus (*Dictyophora*), a fungus with an odor like rotting meat



(d) Puffballs emitting spores



(c) Shelf fungi, important decomposers of wood

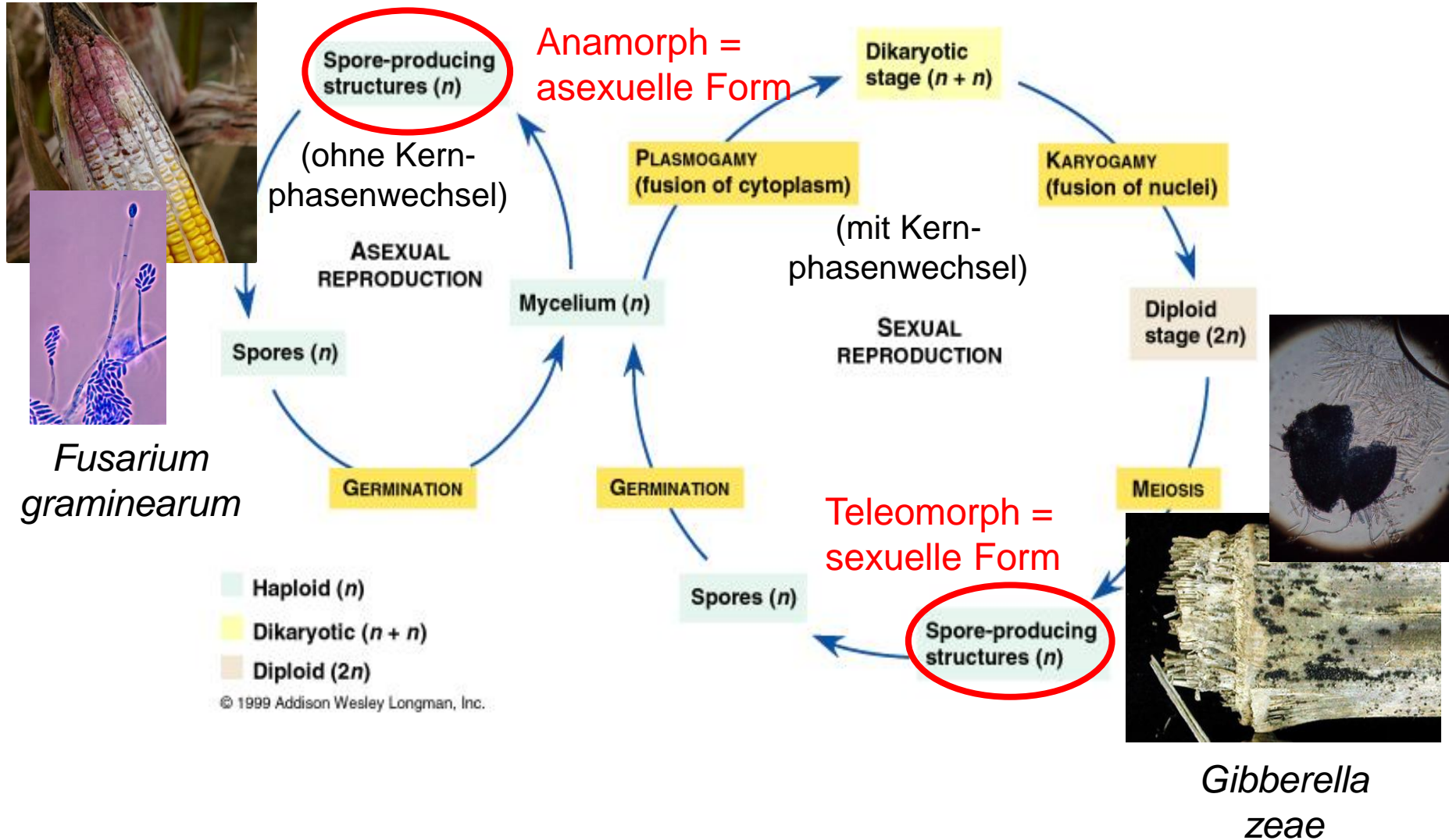
Basidiomycota



Basidiosporenbildung bei verschiedenen Hutpilzen

Deuteromycota

(Fungi imperfecti, Hyphomycota, anamorphe Pilze)

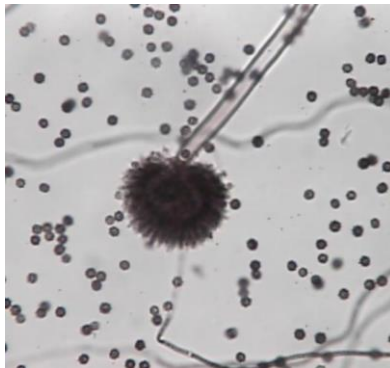


F. graminearum and *G. zeae* are two forms of the same fungus!

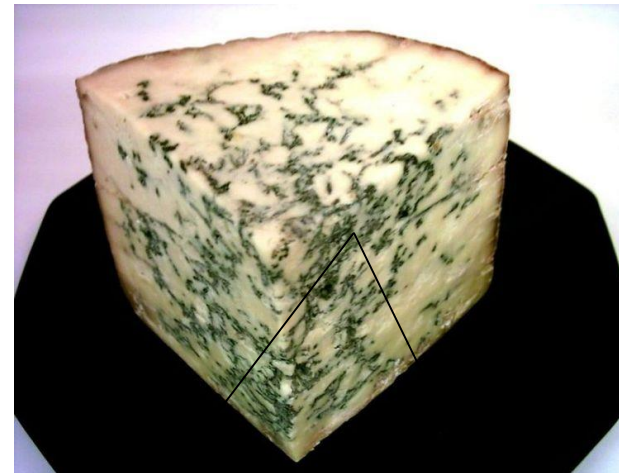
Deuteromycota

(Fungi imperfecti, Hyphomycota, anamorphe Pilze)

Aspergillus niger



Penicillium roqueforti



Take home messages

- Pilze bilden phylogenetisch ein eigenes Reich und sind näher verwandt mit den Tieren als den Pflanzen
- Pilze sind chemo-organo-heterotrophe Organismen, die sich durch Absorption (Osmotrophie) ernähren
- Pilze beziehen den reduzierten Kohlenstoff entweder als Saprophyten oder als (antagonistische oder mutualistische) Symbionten
- Pilze treten als einzellige Hefen oder als vielzellige Myzelien auf
- Pilze verbreiten und vermehren sich durch Sporen

Further information

Websites über Pilzgenome:

<http://genome.jgi.doe.gov/programs/fungi/index.jsf>

<http://1000.fungalgenomes.org/home/>

Filme über das Reich und den Lebensstil der Pilze:

<https://www.youtube.com/watch?v=VXhfRdqTnDg> (deutsch)

<https://www.youtube.com/watch?v=9nqbJ53-Eac> (englisch)

Further literature



What Defines the "Kingdom" Fungi?

THOMAS A. RICHARDS,^{1,2} GUY LEONARD,¹ and JEREMY G. WIDEMAN¹
¹Biosciences, College of Life and Environmental Sciences, University of Exeter, Exeter, United Kingdom; ²Integrated Microbial Biodiversity, Canadian Institute for Advanced Research



Fungal Diversity Revisited: 2.2 to 3.8 Million Species

DAVID L. HAWKSWORTH¹ and ROBERT LÜCKING²
¹Department of Life Sciences, The Natural History Museum, London SW7 5BD, United Kingdom; ²Plant and Fungal Biology, Royal Botanic Gardens, Kew, Richmond, Surrey TW9 3DS, United Kingdom; ³Botanisches Museum, Freie Universität Berlin, 14195 Berlin, Germany



The Fungal Tree of Life: from Molecular Systematics to Genome-Scale Phylogenies

JOSEPH W. SPATAFORA,¹ M. CATHERINE AIME,² IGOR V. GRIGORIEV,³ FRANCIS MARTIN,⁴ JASON E. STAJICH,⁵ and MEREDITH BLACKWELL⁶

¹Department of Botany and Plant Pathology, Oregon State University, Corvallis, OR 97331; ²Department of Botany and Plant Pathology, Purdue University, West Lafayette, IN 47907; ³U.S. Department of Energy Joint Genome Institute, Walnut Creek, CA 94598; ⁴Institut National de la Recherche Agronomique, Unité Mixte de Recherche 1136 Interactions Arbres/Microorganismes, Laboratoire d'Excellence Recherches Avancées sur la Biologie de l'Arbre et les Ecosystèmes Forestiers (ARBRE), Centre INRA-Lorraine, 54280 Champenoux, France; ⁵Department of Plant Pathology and Microbiology and Institute for Integrative Genome Biology, University of California–Riverside, Riverside, CA 92521; ⁶Department of Biological Sciences, Louisiana State University, Baton Rouge, LA 70803 and ⁷Department of Biological Sciences, University of South Carolina, Columbia, SC 29208