Biodiversität der Pflanzen

Einführung

Biodiversitätsforschung: dient als Oberbegriff für Forschung, die sich mit der Vielfalt der Organismen und ihren Beziehungen untereinander befasst: z.Z. bekannt etwa 1,5-1,8 Mio. Bakterien, Pflanzen und Tiere. Schätzungen über die tatsächlichen Artenzahlen schwanken zwischen 8 und 80 Millionen. Sie enthält eigenständige Teilgebiete, wie z.B.:

- **Taxonomie**: befasst sich mit der Namensgebung (Nomenklatur) für Organismen und den damit verbundenen Regeln,
- **Systematik**: widmet sich dem Ordnen und Klassifizieren von Organismen. Das müssen nicht notwendigerweise natürliche Gruppen sein, es ist aber erwünscht,
- **Phylogenie**: hat zum Ziel die natürlichen Gruppen der Organismen zu erarbeiten und ihre Abstammungsgeschichte zurück zu verfolgen,

umfasst aber auch andere Disziplinen wie z.B. die Ökologie.

Erklärung von Begriffen aus Systematik und Phylogenie

- **Monophyletisch**: Eine Gruppe, die auf einen gemeinsamen Vorfahren zurückgeführt werden kann (z.B. die Angiospermen oder die einkeimblättrigen Pflanzen innerhalb der Angiospermen).
- **Paraphyletisch**: Ein Gruppe, die nicht alle Nachkommen eines gemeinsamen Vorfahrens beinhaltet (z. B. die Gräser ohne Berücksichtigung des Bambus oder die Monocotylen ohne die Palmen).
- **Polyphyletisch**: Eine künstliche Guppe, die keinen gemeinsamen Vorfahren hat und nur aufgrund von Ähnlichkeiten zusammengefasst wird (z.B. alle Wasserpflanzen).
- **Apomorphie**: Ein Merkmal, daß eine Pflanze bzw. Pflanzenart von allen anderen unterscheidet.
- **Synapomorphie**: Ein Merkmal, welches mehrere Pflanzen miteinander teilen und sie als Gruppe charakterisiert und von einer anderen Gruppe unterscheidet.
- **Plesiomorphie**: Ein Merkmal, daß eine Gruppe von Pflanzen charakterisiert aber innerhalb der Gruppe nicht zur Untergliederung verwendet werden kann (z.B. die doppelte Befruchtung ist innerhalb der Angiospermen ein plesiomorphes Merkmal).

Kurzer Abriß der Systematik

Wahrscheinlich eine der Ältesten „Wissenschaften“ des Menschen. Das Wiedererkennen und eindeutige Abgrenzen der Pflanzen voneinander, ist Grundvoraussetzung für das Überleben. Die Ordnung erfolgt zunächst nach einfachsten Kriterien (so z.B.: Baum<->Kraut, Blüte vorhanden<->Blüte fehlend, etc.) und wurde mündlich überliefert. Später erfolgten Aufzeichnungen in schriftlicher Form, heute noch erhalten als sogenannte „Kräuterbücher“. Eine grundlegende Neuorientierung erfuhr die Systematik durch Carl von Linné, der 1753 die binäre Nomenklatur konsequent durchsetzte und eine Gliederung auf der Basis von Blütenmerkmalen einführte (Systema Sexuale). Die heutige Namensgebung beruht auf dieser Arbeit. Seit etwa 20 Jahren werden Sequenzen der verschiedenen Genome und der unterschiedlichsten Genomabschnitte zu Rekonstruktiuon der Stammesgeschichte verwendet. Dies hat zu einer Revolution innerhalb der Systematik geführt, die bis heute anhält und die Systematik zu einer sich dynamisch entwickelnden Disziplin gemacht hat.

Erstes Leben: Bakterien

Prokaryotische Organismen: entstanden vor etwa 3-3,5 Milliarden Jahren. Theorien gehen unter anderem von einer Entstehung in flachen warmen Meeresküstenbecken, wahrscheinlich in enger Assoziation mit Gesteinen aus oder z.B. in hydrothermalen Tiefseequellen.
Charakteristika von Bakterien: es fehlen Zellkern, Mitochondrien, Lysosomen, ER, Chloroplasten, Zellkern und Vakuolen; keine Mitose oder Meiose; dafür Fähigkeit zur Stickstofffixierung; Zellwand aus Murein, einem einzigen Riesenmolekül; Geißelschlag basierend auf rotierender Achse; viele anaerobe Arten, einige autotroph mit Bakteriochlorophyll als Pigment (Rhodospirillaceae).

Cyanobacteriota: Blaualgen ---> Bakterien !!!

Sehr homogene eigenständige Gruppe. Früheste bekannte Formen sind Stromatholithen (ca. 2,7 Milliarden Jahre), die auch heute noch an wenigen Stellen in Australien existieren.
Photosynthese treibende Bakterien, besitzen kein Bakteriochlorophyll, dafür Chlorophyll a, gebunden an Thylakoide, aber keine membranumgrenzten Chloroplasten.
Sie sind etwa 5-10 mal größer als eine durchschnittliche Bakterienzelle und sind zur Stickstofffixierung in spezialisierten Zellen, den Heterozysten, in der Lage. Diese besitzen als Besonderheit Zellulosewände.
Vermehrung der Blaualgen: keine geschlechtliche Fortpflanzung bekannt, Teilung beliebiger Zellen im Verband unter irisartiger Einschnürung der Wand. Des weiteren: Fadenfragmentation, Abschnüren wenigzelliger Abschnitte, den Hormogonien; Endosporenbildung, selten werden Exosporen abgeschnürt.
Dauerstadien: Akineten mit dicken Zellwänden

Organisationsformen der Blaualgen

Alle Cyanobakterien sind Einzeller, die aber meist in einer Gallertscheide verbunden sind (Coenobien). Fast alle Arten sind durch gerichtete Schleimabsonderungen in der Lage zu kriechen. Echte Verzweigungen entstehen durch Änderung der Teilungsebene, z.B. *Haplosiphon*, *Stigonema*, *Fischerella*.

Wichtige Gruppen:
Coccogoneae: ein- bis wenigzellige Formen, z.B. *Chroococcus*
- Chroococcales: einzellige Formen oder kurze unverzweigte Fäden

Hormogoneae: vielzellige Coenobien oder Fäden, Z.B. *Nostoc*, *Rivularia*, *Scytonema*,
- unechte Verzweigungen können durch durch Brechen des Fadens und Durchstoßen der Gallerthülle entstehen.
- Oscillatoriales: Faden bildende Formen ohne Heterocysten und Verzweigungen. Vermehrung durch Teilung und Hormogonien. Vertreter der Oscillatoriaceae bewegen sich auf besondere Weise fort, sie besitzen spiralig um die Zelle verlaufende Mikrofibrillen auf der Oberfläche, die im Verbund mit festem Substrat und ausgeschiedenem Schleim eine rotierende Bewegung verursachen, z.B. *Oscillatoria*, *Phormidium*, *Spirulina*
- Nostocales: Unecht verzweigte Fäden mit Heterocysten und Akineten. Vermehrung durch Teilung und Hormogonien, z.B. *Anabaena*, *Nostoc*, *Rivularia*, *Scytonema*, *Tolypothrix*.
- Stigonematales: Am stärksten differenzierte Formen mit echten Verzweigungen, vielreihige Fäden charakteristisch (Pseudoparenchym), Gliederung in Basis und Spitze, z.B. *Fischerella*, *Stigonema*, *Haplosiphon*.

Ökologie von Blaualgen

weltweit etwa 2000 Arten bekannt

- kosmoplotisch in allen Klimazonen, Artktis und Antarktis, oder in bis zu 75°C heißen Quellen.
- viele Arten leben in Gestein (endolithisch) und gehören zu den wichtigsten Gesteinszersetzern.
- einige Arten lagern demgegenüber in den Gallertscheiden Kalk ab und bilden so Seekreide und Kalktuff: z.B. Rivularia.
- Andere bilden Stromatholithen (gehören zu den ältesten bekannten Lebensformen, ca. 2,7 Milliarden Jahre) in den Gezeitenzonen warmer Meere (Australien)
- etliche Arten, wie die rote Oscillatoria rubescens (Burgunderblüte) verursachen Wasserblüte, andere produzieren giftige Peptide (Microcystis aeruginosa, Aphanizomenon flos-aquae) und verusachen Fischsterben. Wasserblüte von Spirulina platensis in Sodaseen ernährt den kleinen Flamingo
- Anabaena und Nostoc sind wichtige Symbionten in Azolla oder Gunnera oder manchen Lebermoosen (Blasia, Anthoceros). Anabaena<->Azolla Symbiose bringt bis zu 95 kg N_2 pro Hektar und Jahr.

Prochlorophyta

Einzellige in Symbiose mit marinen Seescheiden lebende Algen, denen Phycobiline fehlen, die aber Chlorophyll a und b besitzen. Ansonsten alle Charakteristika der Bakterien aufweisen.

Was ist eine Pflanze

Besonderheiten im zellulären Aufbau

- feste Zellwand aus Cellulose
- Vakuole mit einfacher Membran: Tonoplast
- Plastiden als spezieller Organellentyp mit eigenem Genom und doppelter oder dreifacher Membranhülle:
    - Chloroplasten
    - Chromoplasten
    - Leucoplasten

Endosymbiontentheorie

Aufnahme prokaryotischer Einzeller in einen Ureukaryonten (nach neueren Ergebnissen wohl eher spezielee Archaebakterien) durch Endocytose und anschließende Umwandlung der aufgenommenen Endoysmbionten in Organellen (Rotalgen, Grünalgen). Nach neueren Hypothesen haben einige dieser Ureukaryonten die primären Endosymbionten wieder verloren (Heterokontophyta) und teilweise Photosynthese treibende Eukaryonten aufgenommen (sekundäre Endocytobiose).

Hier einige interessante links zu Internetseiten mit botanischem Inhalt:

www.rbgkew.org.uk/data/genlist.html

www.sp2000.org/

www.mobot.org/MOBOT/Research/APweb/welcome.html

www.tropicos.org/

http://www.floraweb.de/

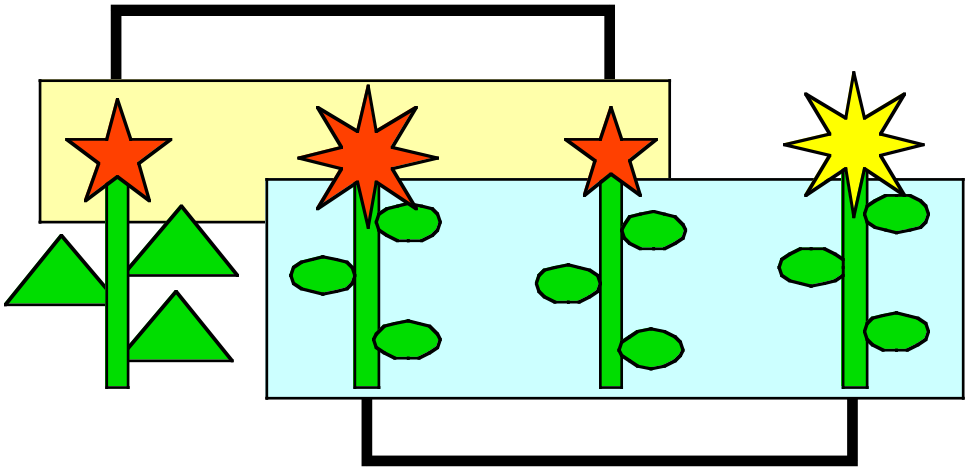
Sonderheft des American Journal of Botany unter dem Titel: The tree of life

http://www.amjbot.org/content/vol91/issue10

Systematik

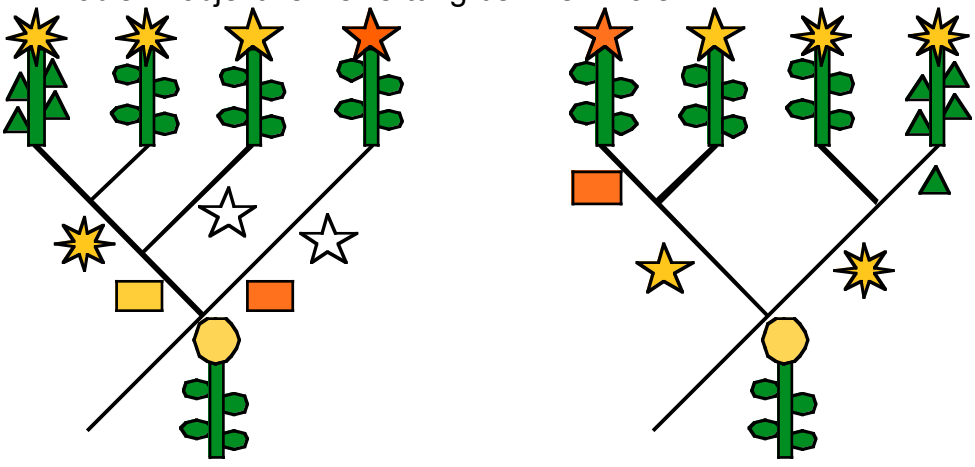
Ordnen einer Gruppe aufgrund unterschiedlicher Merkmale

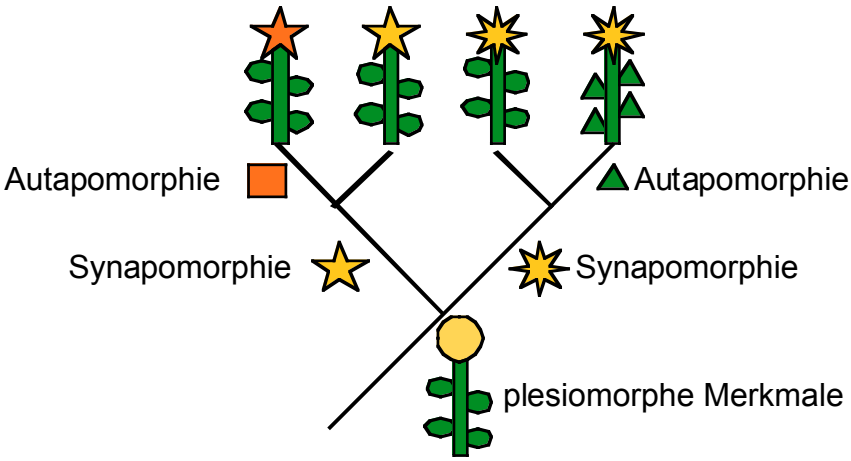
- Vorteil: einfach durchzuführen
- Problem: viele gleichberechtigte Systeme



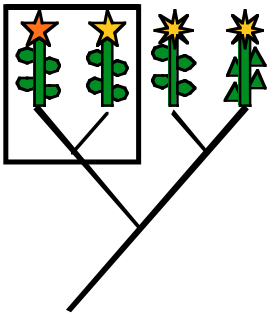
Phylogenie

Rekonstruktion der Abstammungsverhältnisse in einer Gruppe
Vorteil: Bildung natürlicher Gruppen
Problem: objektive Bewertung der Merkmale



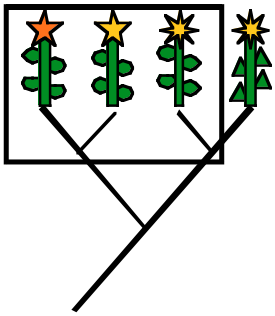


monophyletisch



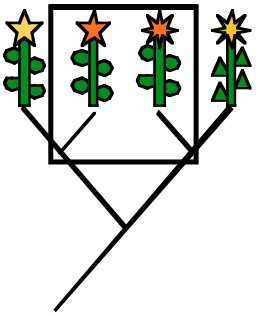
monophyletische Gruppen haben einen gemeinsamen Vorfahren und enthalten alle seine Nachkommen

paraphyletisch



paraphyletische Gruppen haben einen gemeinsamen Vorfahren enthalten aber nicht alle seine Nachkommen

polyphyletisch



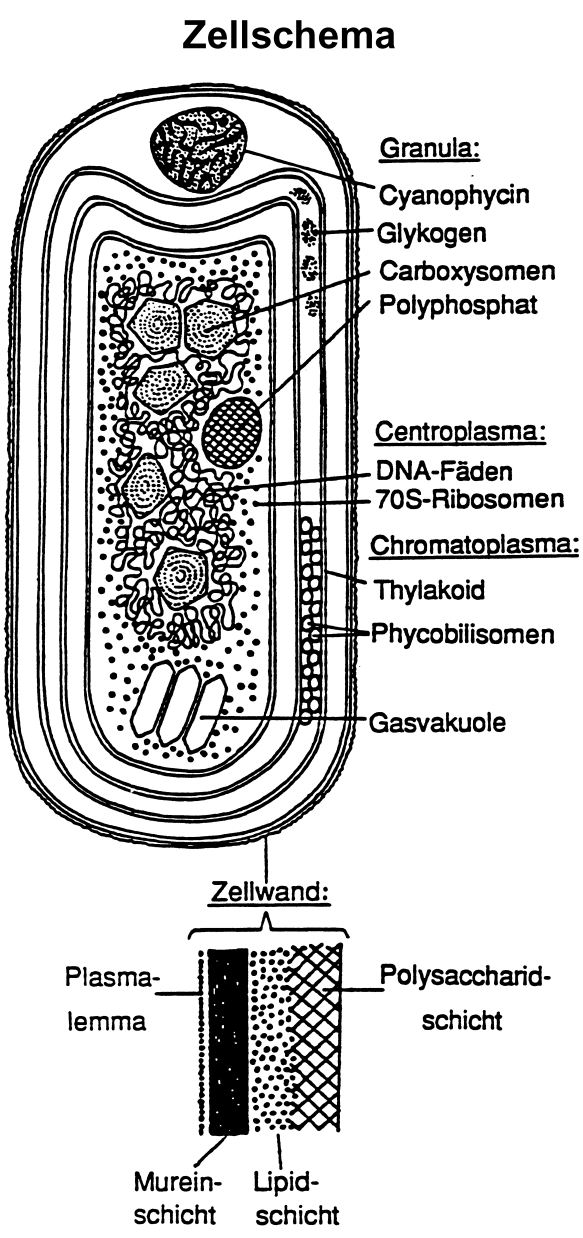
polyphyletische Gruppen haben keinen gemeinsamen Vorfahren und werden aufgelöst

Cyanobacteriota inklusive Prochlorobacteriota
Synonym: Cyanophyta oder Prochlorophyta.
Umgangssprachlich: Blaualgen

Coccogoneae
Chroococcales: *Chroococcus, Gloeocapsa, Merismopedia*
Hormogoneae
Oscillatoriales: *Lyngbia, Oscillatoria, Plectonema, Spirulina*
Nostocales: *Anabaena, Nostoc, Rivularia, Scytonema, Tolypothrix*
Stigonematales: *Stigonema*

Prochlorobacteriota (= Prochlorophyta): *Prochloron, Prochlorococcus, Prochlorothrix*

Lebensweise: Meist als Plankton oder als Überzug höherer Pflanzen und des Bodens im Süßwasser; **meist photoautotroph**, selten heterotroph.
Organisationsform: Prokaryot. Einzeller, häufig in **Coenobien.**
Cytologie: Gramnegativ, keine Geißeln. Bildung von **Exosporen, Endosporen, Dauerzellen** (Cysten oder Akineten) und farblosen **Heterocysten** (diese mit Cellulosewand).
Photosynthese Pigmente: Chl a, Carotinoide u. **Phycobiline** in Phycobilisomen (bei Prochlorobacteriota keine Phycobiline, aber erstmals Chl b).
Keine Chromatophoren.
Speicherstoffe: Cyanophyceenstärke (ähnl. Glykogen), **Polyphosphat** (= Volutingranula), **Cyanophycin** (Polypeptid aus Asparagin u. Arginin).
Keine sexuelle Fortpflanzung.
Ökologische Bedeutung: Bindung von Luftstickstoff (*Anabaena, Nostoc*) in Heterocysten. Viele **Flechtensymbionten. Endosymbionten in farblosen Flagellaten (=Cyanellen). Symbionten in einigen Gefäßpflanzen:** *Anabaena* in *Azolla, Nostoc* in *Gunnera* u. *Cycas*.
Durch periodische Kalkablagerungen in Gallertscheiden entstand Bänderung der **Stromatolithen** (Präkambrische Gesteinsformationen). **Tintenstriche**: schwarze Striche, von Kalkfelsbewohnern gebildet.



Cyanobacteriota

Coccogoneae
Rundliche Zellen; häufig als gallertartige Überzüge an Steinen. Nach der Teilung oft in **Gallerthüllen, zu Coenobien vereint** bleibend.
Hormogoneae
Zellfäden, meist mit **interkalarem Wachstum**, selten mit Scheitelzelle; unverzweigt, mit echter oder unechter Verzweigung. **Besitz von Heterocysten** (farblose Zellen mit **N_2-Fixierung** und Cellulosewand).

Vermehrung: durch **unspezifische Fadenfragmentation** oder Bildung von **Hormogonien** (bewegliche Zellreihen ohne Gallertscheide).

Prochlorobacteriota

Einzellige, in **marinen Seescheiden** lebende **prokaryotische Algen**, die **Chl a** und **b**, aber **keine Phycobiline** enthalten.

2. Vorlesung

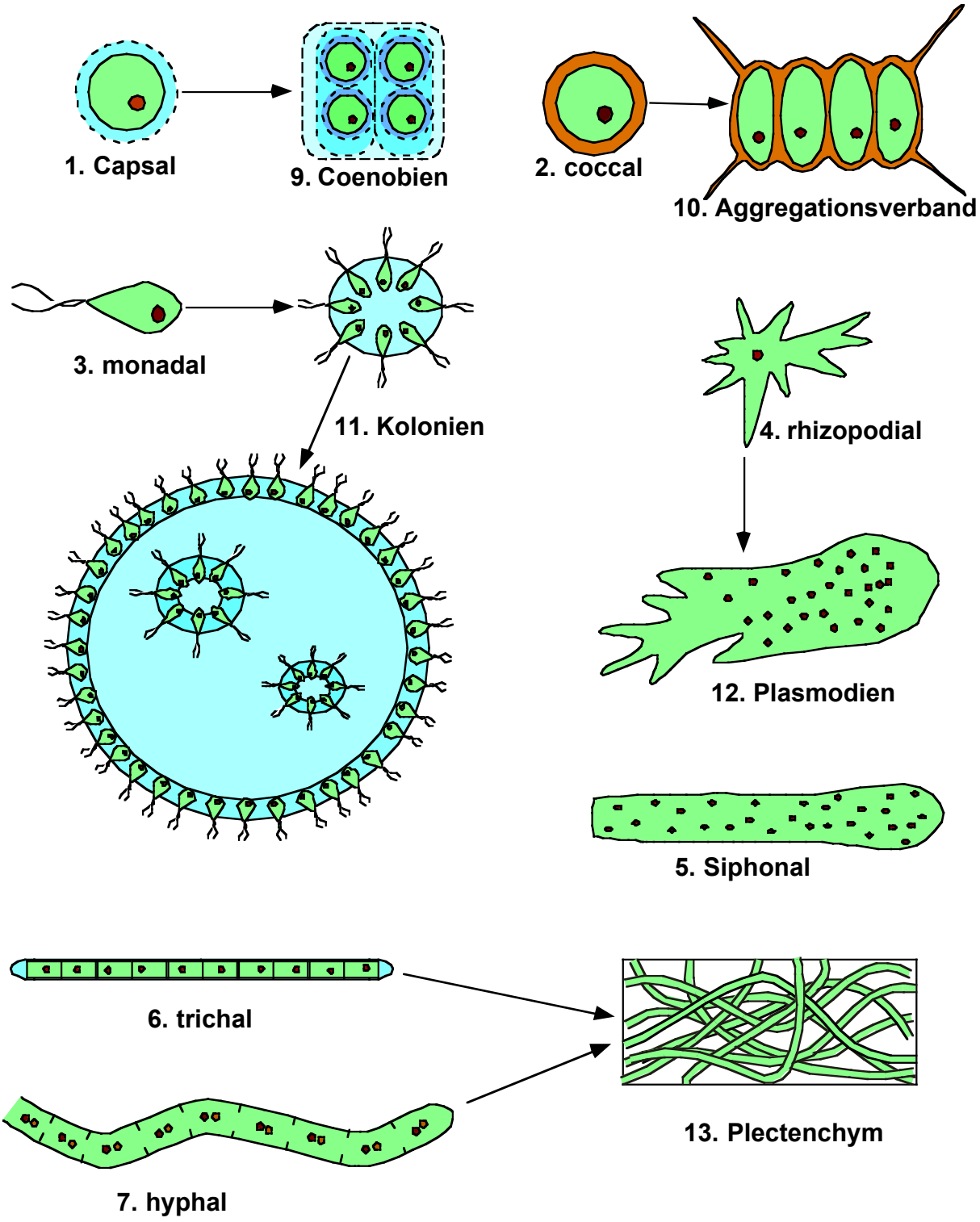
Organisationsstufen der Pflanzen

Bei allen im folgenden Gruppen handelt es sich um Eukaryonten, die einen klar abgegrenzten Zellkern und zumindest Mitochondrien besitzen. Plastiden können bei einigen basalen „Algen"-Gruppen fehlen oder fakultativ vorhanden sein (z.B: Euglenophyta). Etliche dieser einzelligen Gruppen lassen daher sich nicht eindeutig den Planzen oder Tieren zuordnen. Bei den Pilzen fehlen sie vollständig, wie auch eine Vakuole. Sie werden daher als eigenständiges Reich abgetrennt und gleichberechtigt den Bakterien, Tieren und Pflanzen gegenübergestellt.

Organisationsstufen stellen Hilfsmittel zur Ordnung der vielgestaltigen Algen dar, sind aber keine systematischen Begriffe. Innerhalb eines Verwandtschaftskreises können unterschiedliche Organisationsstufen bei nahe verandten Arten vorkommen.

1. **capsal**: nackte, geißellose Einzeller in Gallerthülle
2. **coccal**: dickwandige unbewegliche Einzeller.
3. **monadal**: begeißelte Einzeller (Flagellaten) mit Augenfleck
4. **rhizopodial**: nackte Einzeller durch Pseudopodien beweglich (Amöben)
5. **siphonal**: schlauchförmiger „Einzeller" mit vielen Zellkernen
6. **trichal**: fadenförmiger Vielzeller mit hintereinander liegenden Zellen
7. **hyphal**: fadenförmiger Vielzeller ohne echte durchgehende Zellwände
8. **parenchymal**: Vielzeller mit echten 3- oder 3-dimensionalen Körpern
9. **Coenobien**: Viele capsale Einzeller in gemeinsamer Gallerthülle
10. **Aggregationsverband** aus aneinanderliegenden coccalen Organismen
11. **Kolonien** aus monadalen Einzellern
12. **Plasmodien**: nackte vielkernige Plasmamassen aus rhizopodial-amöboiden Vorstufen
13. **Plektenchyme**: „Flechtgewebe" aus fädigen (trichal oder hyphal) Elementen

Organisationsstufen der Pflanzen



Fortpflanzung und Vermehrung

Fortpflanzung ist nicht synonym mit Vermehrung: ein Ehepaar mit 1 Kind hat sich fortgepflanzt, aber nicht vermehrt, sondern vermindert (aus 2 wird 1!).

Fortpflanzungstypen

Vegetative Vermehrung (nicht-sexuell, ohne Gen-Austausch)
Vegetative Vermehrung im engeren Sinne:
- Zweiteilung: vor allem bei Einzellern: Schizotomie
- Vielfachteilung bei Einzellern: Schizogonie
- Zerfall (Fragmentation) eines vielzelligen Individuums
- Ausläufer-Bildung bei höheren Pflanzen (Erdbeere, Grünlilie)
- Brutkörper (Bulbillen) bei Algen, Moosen und höheren Pflanzen

Ungeschlechtliche (asexuelle) Vermehrung:

Im Prinzip ein Sonderfall der vegetativen Vermehrung: es bilden sich somatisch einzellige Vermehrungseinheiten durch einfache Mitose („Sporen", „Mitosporen", „Endosporen", „Exosporen", „Konidien"). Da keine Reduktion oder Rekombination von Chromosomen involviert ist, sind die asexuell entstandenen Tochterindividuen identisch mit der Mutterpflanze (Klone).

Sexuelle Fortpflanzung

Charakterisiert durch die **Verschmelzung (Kopulation, Befruchtung)** zweier geschlechtsverschiedener Einzelzellen **(Gameten)**, deren Bildung eine Reifeteilung **(Meiose)** vorausgegangen ist. Zwischen Meiose und Bildung der Gameten können zahlreiche Mitosen liegen. Zwischen der Verschmelzung der Gameten und der Meiose eine weitere Generation (= heterophasischer Generationswechsel) oder sogar 2 Generationen (z. B. bei Rotalgen) liegen.
Die beiden haploiden Gameten verschmelzen zur diploiden **Zygote**.

Apomixis

Ein Sonderfall der Fortpflanzung, häufig bei manchen Gruppen höherer Pflanzen. Es ist eine Form **„degenerierter sexueller Fortpflanzung"**, bei der z. B. unter Wegfall der Meiose diploide Eizellen gebildet werden („Parthenogenese"). Es handelt sich um eine zur vegetativen Vermehrung sekundär reduzierte Sexualität.

Sexuelle Fortpflanzung

R! = Reduktionsteilung = Meiose
K! = Karyogamie, Verschelzung zweier Gameten
doppelter Chromosomensatz = diploid = 2n = Diplont = Sporophyt
einfacher Chromosomensatz = haploid = 1n = Haplont = Gametophyt

Gameten

Durch eine im Lebenslauf vorgeschaltete Meiose haploide, in einem Gametangium gebildete Fortpflanzungszellen, die miteinander zur diploiden Zygote verschmelzen. Die Zygote ist also das diploide Verschmelzungsprodukt zweier haploider Gameten.

Isogamie: Gameten sind morphologisch gleichartig, beweglich, höchstens physiologisch als + und – Gameten unterschieden (= physiologische Anisogamie).

Anisogamie: Je ein kleinerer („männlicher“) und größerer („weiblicher“ beweglicher Gamet.

Oogamie: Ein kleiner „männlicher“ Gamet (= Spermatozoid) und ein großer, unbeweglich im Mutterorganismus sitzender, „weiblicher“ Gamet (= Eizelle).

Sporen

Zur Fortpflanzung oder als Ruhestadium gebildete einzelne Zellen, die verschieden sind von den übrigen Zellen. Die Bildung erfolgt in einem Sporangium. Sie sind nicht befähigt zur sexuellen Verschmelzung, können aber innerhalb eines sexuellen Fortpflanzungszyklus notwendigerweise eingeschaltet sein.

Mitosporen: entstehen durch einfache Mitose.

Meiosporen: entstehen nach Reduktionsteilung (Meiose).

Exosporen: nach außen abgeschnürte Sporen (z.B. Konidien der Pilze).

Endosporen: im Zellinneren entstandene Sporen.

Zoosporen: begeißelte, daher bewegliche Schwärmersporen.

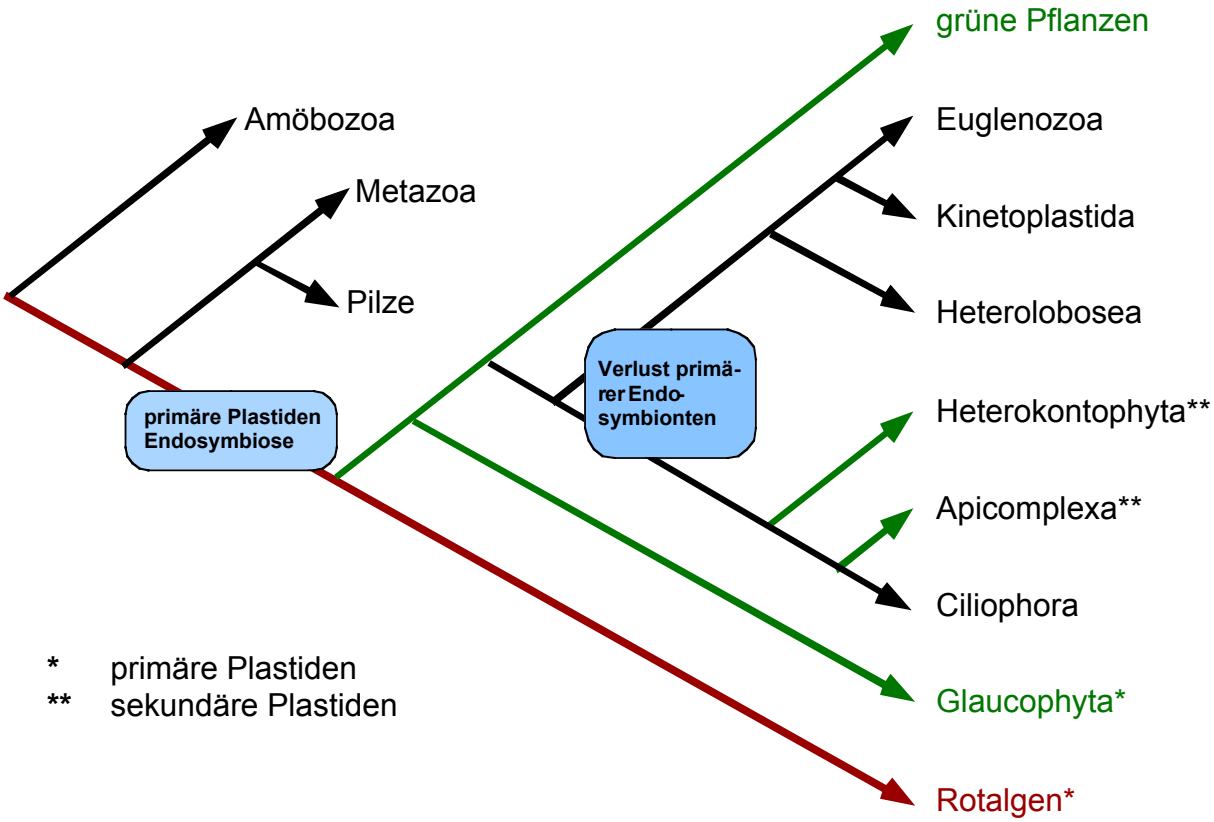
Isosporie: alle Sporen sind morphologisch gleichartig, höchstens physiologisch als + und – Sporen zu unterscheiden.

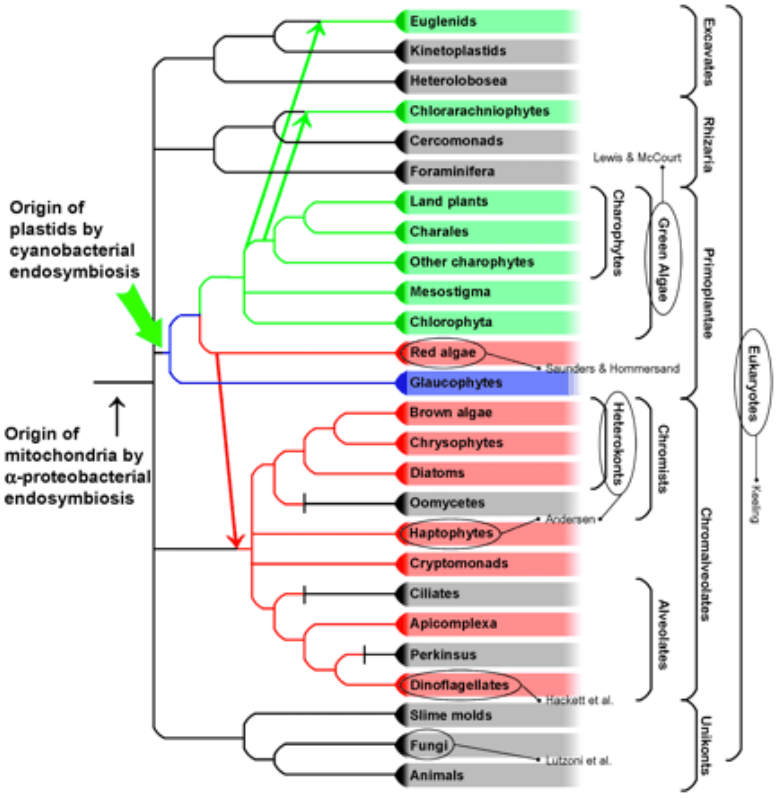
Heterosporie: Differenzierung in kleine „männliche“ Sporen (Mikrosporen) und große „weibliche“ Sporen (Megasporen).

Kernphasenwechsel: Wechsel zwischen Diplo- und Haplo-Phase.

Generationswechsel: Regelmäßiger Wechsel zweier oder mehrerer Generationen, die sich auf verschiedene Weise fortpflanzen, z.B. Wechsel von Sporo- und Gametophyt (nicht immer mit Kernphasenwechsel verbunden!).

Phylogenie der eukryotischen Organismen basierend auf Aminsosäure-sequenzen des α-und β-Tubulins (nach Nozaki et al. 2003, J. Mol. Evol.)





Phylogenie der Eukariotischen Organismen aus dem Sonderheft des American Journal of Botany (VOl. 91: The tree of life.

Eucarya, Eukaryoten

Alle Zellen besitzen echten Zellkern, umgeben von doppelter Membran mit Kernporen (Kernhülle), unterschiedliche Zellorganellen, (z.B. Mitochondrien, endoplasmatisches Reticulum, Dictyosomen)

Acrasiobionta

Schleimpilze denen begeißelte Stadien fehlen. Aggregationsplasmodien entstehen ohne Verschmelzung der Zellen.

Acrasiomycota: zelluläre Schleimpilze

- Amöben, teilen sich solange genügend Nährstoffe vorhanden sind, leben phagotroph von Bakterien. Zellwand besteht aus Zellulose.
- Bei Nahrungsmangel Bildung eines Aggregationsplasmodiums, das sich kriechend fortbewegen kann.
- Bildung eines gestielten Sporokarps in dem sich die periphären Zellen zu einer Rinde die inneren zu haploiden Sporen umbilden, im innernen entsteht eine Columella.
- Stiel- und Rindenzellen sterben ab.

Myxobionta

Kennzeichnend sind Fusionsplasmodien, d.h. Zellen verschmelzen zu einem vielkernigen einzelligen Plsamodium oder es entsteht durch Kernteilungen ohne folgende Zellteilungen. Es kommen begeißelte Myxoflagellaten vor.

Myxomycota

- Hauptphase ist ein diploides Aggregationsplasmodium mit phagotropher Ernährungsweise. Zellwand besteht aus Galactosamin, Speicherstoff Glycogen.
- Nach der Keimung bilden sich begeißelte Myxoflagellaten oder nackte Myxamöben. Je zwei verschmelzen zu Myxozygoten, die sich unter Teilung zum Plasmodium erweitern. Kernteilung intranucleär und im ganzen Plasmodium synchron.
- Das Plasmodium zeigt eine auffällige starke Plasmaströmung und macht den Pilz beweglich.
- Unter noch nicht geklärten Umweltbedingungen entstehen Fruchtkörper, nachdem das Plasmodium positiv phototaktisch reagiert
- Sporokarpe besitzen äußere oft kalkhaltige Peridie, im Zentrum eine Columella und oft eine feines Geflecht aus Fasern, dem Capillitium, das teilweise durch hygroskopische Bewegung bei der Ausbreitung der Sporen hilft
- Alle Kerne des Plasmodiums wandern in den Fruchtkörper und wandeln sich zunächst in diploide Sporen, dann nach Meiose in 4 haploide Kerne um, von denen drei absterben.

Plasmodiophoromycota

- Endoparasiten: z.B. Kohlhernie
- Dauersporen überwintern im Boden und keimen zu haploiden zweigeißeligen Zoosporen aus. Geißeln werden abgeworfen und daraus entstehende Amöben wandern durch Wurzelhaare in junge Kohlpflanzen ein.
- Bildung von haploiden vielkernigen Plasmodien, die sich unterteilen können und nach Auflösung von Zellwänden von Zelle zu Zelle weiterwandern. Plasmodien bilden sich

zu vielkernigen Gametangien um, die unter Freisetzung zweigeißeliger Gameten zerfallen.
- Durch Zerstörung des Wurzelgewebes gelangen sie in den Boden, wo sie zu diploiden Planozygoten kopulieren.
- Nach Abwurf der Geißeln dringen die Zygoten wieder in die jetzt größere Wirtspflanze ein, um dort diploide Plasmodien zu bilden.
- Die Pflanze reagiert mit Tumorbildung, dem "Kropf".
- Nach Meiose bidlen sich wieder dickwandige haploide Hypnosporen als Ruhestadium.

Heterokontobionta

Diese Gruppe umfasst sowohl pilzartige Gruppen (Cellulosepilze), als auch Algengruppen, die sich durch eine heterokonte Begeißelung auszeichnen, d.h. eine nach vorn gerichtete Flimmergeißel sowie eine nach hinten gerichtete glatte Geißel zur Steuerung.

Oomycota

Organismen mit pilzartigem Wuchs, aber grundlegend anderen Merkmalen: z.B. meist siphonaler Thallus, Cellulosewände, Begeißelung.

Saprolegniales:

- sparophytische Süßwasserpilze mit unseptiertem Mycel
- Abgetrennt werden nur keulenförmige Sporocysten zur vegetativen Vermehrung mit Mitosporen
- oder Oosphären mit haploiden Eizellen sowie Antheridien mit männlichen Kernen, die über Schläuche in die Oocyste einwandern und dort die Befruchtung vollziehen.
- Die entstehende Cystozygote umgibt sich mit einer derben resistenten Wand aus der nach einer Ruhephase ein vielkerniger Keimschlauch auswächst und eine Keimsporocyste bildet.

Peronosporales

- Pflanzenparasiten, falsche Mehltaupilze, Befall über Spaltöffnungen
- leben interzellulär im Gewebe und senden kurze Haustorien in die Zellen.
- Mycel wächst durch Spaltöffnungen wieder aus und bildet Sporocysten, die meist als ganzes verbreitet werden, teilweise aber auch begeißelte Schwärmsporen entlassen.
- Vermehrung über Oogonien und Antheridien, die im Wirtsorganismus gebildet werden. Auskeimen entweder direkt als Zoosporen oder über Keimschlauch und Sporozystenbildung
- wichtige Pflanzenschädlinge: *Pythium*, *Phytophtora*, *Plasmopara*, *Pseudoperonospora*
- *Phytophtora infestans*: bis zu 20% Ernteausfall bei Kartoffeln in nassen Jahren, 1845/46 Hungersnot in Irland, mehr als 1 Mio Tote, Einwohnerzahl (8 Mio.) durch Auswanderung dramatisch reduziert und nicht wieder erreicht.

Mycobionta, Chitinpilze

Einführung in die Pilze

- ca. 100000 bekannte Arten heterotropher Organismen, die vorwiegend auf dem Land leben, weniger als 2% im Wasser, geschätzt etwa 1,5 Mio. Arten. Näher mit den Tieren verwandt als mit den Pflanzen, daher eigenes Reich. Die Zellwände bestehen typischerweise aus Chitin. Speicherstoff ist Glycogen.
- kaum Fossilien, die Wenigen gehen ins Kambrium zurück (Chytridiomyceten), gefunden in Schalen von Meerestieren, aus dem Devon Hyphenfragmente und Mycorrhizza nachgewiesen.
- Pilze sind Saprophyten, d.h. sie leben von organischen Materialien, teilweise parasitisch oder in Symbiose (Mycorrhizza, Flechten).
- größter lebender Organismus ist möglicherweise ein Pilz. *Armillaria ostoyae*, Wurzelfäule, besiedelt ca. 600 ha in der Nähe des Mt. Adams (ca. 400-1000 Jahre alt) und *Armillaria gallica* in nördl. Michigan besiedelt ca 15 ha und wird auf 1500 Jahre geschätzt.
- Pilze können die verschiedensten organischen Stoffe abbauen und gehören damit zu den gefürchtesten Schadorganismen. Insbesondere der Holzabbau ist hervorzuheben. Daneben werden praktisch alle anderen Stoffe abgebaut bis hin zu Teer, Öl und Benzin. Pilze können z.T. in Treibstoffleitungen von Flugzeugen überleben und zur Beeinträchtigung des Flugbetriebs führen.
- Pilze sind ökologisch besonders nützlich, da Sie Nährstoffe wieder in den Kreislauf zurückführen. In den obersten 20 cm eines Ackerbodens leben ca. 5 Tonnen Bakerien und Pilze/ha.

Pilze als Krankheitserreger

- *Pneumocystis carinii*: Erreger der Lungenentzündung, 80% aller AIDS Toten erlagen zu Beginn der Epidemie diesem Ascomyceten
- *Candida albicans*: Schwächparasit

Pilze als Nutzorganismen

- *Saccharomyces cerevisiae*: alkoholische Gärung, CO_2-Produzent
- *Phanerochaete chrysosporium*: Abbau von giftigen organischen Molekülen
- *Tolyplocladium inflatum*: Aufheben der Abstoßungsreaktion bei Organtransplantationen durch “Wunderdroge” Cyclosporin.
- Viele Arten wichtige Organismen in der Biotechnologie, z.B. zur Herstellung von Enzymen.

Pilze als Symbionten

Viele Pflanzen gedeihen nur im Verbund mit Mycorrhizapilzen, die meist in den Wurzelrindenzellen leben --> Endomycorrhizza. Wichtigste Form die vesiculär-arbusculäre Mycorrhizza. Die Pflanzen gedeihen wesentlich besser, wenn sie ohne Pilz überhaupt wachsen können. Ektomycorrhizza umhüllt die Wurzel und dringt nur in den Interzellularraum der Wurzelrinde ein (Hartigsches Netz)--> weniger häufige Form der Mycorrhizza. Viele beliebte Speisepilze sind Ektomycorrhizapilze (z.B. Pfifferling, Steinpilz, Trüffel).

Aufbau der Pilze

Alle Pilze bestehen aus Hyphen, die entweder septiert oder unseptiert sind. Querwände haben einen Porus, der bei Ascomyceten oft nicht verschlossen ist, so daß Kerne von einem Kompartiment zum anderen wandern können.
Besonderheit: intranucleärer Kernteilungsmodus, Spindelapparat wird innerhalb der Kernmembran gebildet, die nicht abgebaut wird.

Hauptgruppen der Mycobionta

Mycobionta: Chitinpilze

kaum noch begeißelte Sporen und Gameten, Zellwände aus Chitin, Cellulose fehlt, teilweise aber andere Polysachcaride (z.B. Hefen)

Chytridiomycota

- einkernige Zellen oder vielkernige siphonale Thalli.
- Noch bewegliche Gameten und Zoosporen vorhanden.
- Meist wasserlebend (einige tierfangend), teilweise im Boden oder als Parasiten in Zellen höherer Pflanzen keine Landpflanzen mit Luftmycel
- *Synchytrium endobioticum*: Kartoffelkrebs
- *Polyphagus euglenae* fängt mit Rhizoidfortsätzen Euglenen, die ausgesaugt werden.

Zygomycota

Zygomycetes
- echte, unseptierte Mycelien, siphonale Organisation
- vorwiegend saprophytische Lebensweise, selten parasitisch.
- geschlechtliche Fortpflanzung durch Hyphen unterschiedlichen Kreuzungstyps. Die Hyphenenden schwellen keulenförmig an und berühren sich. Es werden vielkernige Gametangien abgetrennt, die Trennwand zwischen beiden wird aufgelöst und es entsteht eine Zygote mit derber Wand. Von den zahlreichen Kernen verschmelzen aber nur wenige, oft nur ein einziges Paar.
- Mucorales: *Mucor albicans*: weißer Köpfchenschimmel auf Brot und anderen organischen Materialien,
- *Pilobulus*, häufig auf Pferdemist, Sporangien endständig, werden durch Lichteinfall ausgerichtet und mit 10m/s abgeschossen. Reichweite 1,8 m hoch bis 2,5 m weit.
- Endogonales: viele Mycorrhiza Pilze

Olpidiomycetes
- *Olpidium brassicae*, Umfallkrankheit bei Kohlkeimlingen
- Entomophtorales: Parasiten wie *Entomophtora muscae*, der Fliegentöter
- Zoopagaceen sind obligate Tierfänger, die mit spezifischen Hyphen entweder Amöben (*Zoophagus thamnospira*) oder Nematoden fangen, in die dann Haustorien einwachsen.

Glomeromycota:

-früher in die Zygometen eingeschlossen, heute als eigene Abteilung abgetrennt
Keine geschlechtliche Vermehrung bekannt, leben alle Arten als Sympbionten zusammen mit Photosynthese treibenden Organismen.
Geosyphon pyrifomre ist eine Art, die in relativ rezenter Zeit eine Symbiose mit einem Nostoc-ähnlichen Cyanobakterium eingegangen ist.

Ascomyceten und Basidiomyceten

Alle jetzigen Gruppen sind in Form eines septierten Mycels organisiert auch wenn diese in Einzelfällen stark reduziert sein kann. Gut entwickelte Pilze können in 24 Stunden bis zu 1km neues Mycel bilden.

Ascomycota: ca 60.000 bekannt plus inlusive der Fungi imperfecti oder Deuteromycoten. Repräsentieren mehr als 60% der Pilzarten

Allgemeines

- Praktisch alle Arten terrestrisch, nur wenige kommen im Süßwasser oder im Meer vor. In der Regel saprophytisch oder parasitisch lebend, keine begeißelten Stadien mehr.
- Zellwände aus Chitin und Glucanan, bei Hefen Chitin stark reduziert oder fehlend
- Vermehrung in Form eines Ascus (Schlauch) ---> Schlauchpilze, dieser ist auch für die Systematik ein wichtiges Merkmal, wenn auch zunehmend umstritten.
- Sporen werden häufig ausgeschleudert, bei Dasyobolus bis 60 cm!

Taphrinomycetes

- Pflanzenparasiten, ohne Fruchtkörperbildung, die Asci liegen frei
- Hexenbesenkrankheit bei Birken und Hainbuchen
- *Taphrina deformans*: Kräuselkrankheit des Pfirsich
- *Taphrina pruni*: Narrentaschen der Pflaume

Saccharomycetes (Endomycetes): hefeartige Pilze

- Pilze die sich durch Knospung und Fragmentierung vermehren
- keine Fruchkörper, Ascusbildung direkt aus Zygoten
- Hefen, wichtige Mikroorganismen, die häufig auf zuckerhaltigen Medien wachsen und diesen unter CO_2-Bildung nutzen.

<u>wichtige Arten</u>

- *Saccharomyces ellipsoideus* (*S. vini*), Weinhefe, auch wild auf Weintrauben
- *S. cerevisiae*, *S. carlsbergiensis*, Bierhefen, nur aus Kultur bekannt

Euascomycetes

- Lebensweise hauptsächlich haploid, mit septierten Hyphen, die nur einen einfachen Porus aufweisen.
- Bei Zusammentrefen von + und – Hyphen erfolgt die Bildung von männlichen und weiblichen Gametangien. Das Männliche verschmilzt über die Emphängnishyphe (Trichogyne) mit dem Weiblichen. Die Kerne wandern in das weibliche nun Ascogon genannte Gametangium ein.
- Die zahlreichen Kerne lagern sich paarweise zusammen und je ein Paar wandert in ascogonen Hyphen ein. In der Dikaryophase erfolgen konjugierte Teilungen. Anschließend an die Zellteilung erfolgt die Hakenbildung mit der beide Tochterkerne gleichmäßig auf altes und neues Kompartiment verteilt werden. Das dikaryotisch Mycel ist ernährungsphysiologisch vom haploiden Macel abhängig.
- Durch Karyogamie in der Spitzenzelle wird Ascusbildung eingeleitet.
- Durch Meiose und anschließende Mitose entstehen 8 Kerne, die sich zu Ascosporen abkapseln.

Laboulbeniomycetidae

- rein parasitische Organismen mit stark reduziertem Thallus.

- leben auf Insekten, ohne diese jedoch nachhaltig zu schädigen. Sind meist mit Fußzelle im Chitinpanzer verankert
- Andere leben auf anderen Pilzen ---> Chitinwände!
- Bilden weibliche Gametangien (Ascogon) mit Trichogyne und männliche Spermatangien, die kleine Spermatien entlassen. Nach der Befruchtung entstehen zartwandige Asci, die ein- bis zweizellige Ascosporen enthalten

Eurotiomycetidae

Eurotiales

- oft unterdrückte Hauptfruchtform und damit keine geschlechtliche Vermehrung,
- Vermehrung in der Regel nur durch Konidien
- wichtigste "Gattungen": *Penicillium* (Pinselschimmel) und *Aspergillus* (Gießkannenschimmel), Schimmelpilze, wichtige Schadorganismen,
- *Penicillium notatum* und *P. chrysogenum* produzieren Penicillin
- *Penicillium camembertii*, *P. roquefortii*: Käseherstellung
- *Aspergillus wentii* produziert Amylasen und Proteasen
- *Aspergillus flavus* bildet giftige Aflatoxine und A. fumigatus verursacht Lungen- und Bronchialerkrankungen

Erysiphomycetidae

- Echte Mehltaupilze, leben auf Blattoberflächen und parasitieren die Epidermiszellen.
- Vermehrung hauptsächlich durch Konidien.
- Kleistothecienbildung im Spätsommer und Herbst, diese von Hüllhyphen umgeben. Sporen werden unter Druck bis zu 2 cm weit ausgeschleudert.

Pezizomycetidae

Pezizales

- artenreiche Gruppe mit mehr als 1000 bekannten Arten, darunter die wenigen Speisepilze der Ascomyceten
- Hauptfruchtform Apothecium, Asci palisadenartig dicht gedrängt, öffnen sich mit einem Decken (operculat) und sind umgeben von sterilen Paraphysen ---> beide bilden zusammen das Hymenium.
- Zahlreiche Abwandlungen des Fruchtkörpers zur Vergrößerung des Hymeniums.
- wichtige Nutzpilze: *Morchella esculenta*, *Tuber* (Trüffel)

Leotiomycetidae

Leotiales

- becher- bis schüsselförmige Apothecien, teilweise aber auch keulenförmige Fruchtkörper.
- Asci inoperculat

wichtige Arten

- Nebenfruchtformen wie Monilia (*Sclerotina fructigena*) verusachen Obstfäule.
- *Botrytis cinerea*, Nebenfruchtform von *Sclerotinia fuckeliana* verusacht Fäule von Weintrauben, kann bei Trockenheit aber auch die sogenannte Edelfäule und hohe Zuckergehalte herbeiführen ---> Beerenauslese.

Phacidiales:

- parasitische Pilze auf Pflanzen, z.B. Runzelschorf auf Ahornblättern

Lecanoromycetidae:

- Hauptteil der Flechtenpilze

Sordariomycetidae

Sordariales

- peritheciale Pilze, wichtige Pflanzenschädlinge
- *Nectria cinnabarina* mit roten pustelförmigen Stromata auf abgestorbenen Ästen erkennbar, wichtiger Baumparasit
- *Nectria galligena* verursacht Krebs bei Obstbäumen
- *Neurospora* Arten verursachen den "Roten Brotschimmel"
- *Giberella* schmarotzt auf Reispflanzen, aus ihr wurde das Pflanzenhormon Giberellinsäure isoliert.

Microascales

- Verursacher des Ulmensterbens. Der Baum bildet Thyllen um den Pilz, der im Leitgewebe lebt, abzukapseln und verstopft so die eigenen Leitbahnen.
- einige Arten bauen Horn ab

Diaporthales:

- hauptsächlich Pflanzenparasiten, keine Stromabildung
- *Endothia parasitica*, nach Nordamerika eingeschleppt, vernichtete er praktisch die gesamten heimischen Kastanienbestände (*Castanea dentata*).

Xylariales

- stromabildend, häufig auf Baumstümpfen anzutreffen. Stroma keulen oder geweihartig ausgebildet mit zahlreichen Perithecien im schwarz gefärbten unteren Teil und Koniden im weiß gefärbten oberen Teil.

Hypocreales (Clavicipitales):

- stromabildende Parasiten, vor allem *Claviceps pupurea* der Mutterkornpilz.
- Die Sporen infizieren junge Grasblüten wandern in den Fruchtknoten und bilden Konidien mit denen andere Pflanzen infiziert werden. Später wandeln sie den Fruchtknoten in ein hartes schwarzes Sklerotium (Mutterkorn) um, das im Boden überwintert und zur Zeit der Grasblüte wieder Stromata mit eingesenkten Perithecien bildet.
- Das Mutterkorn enthält giftige Toxine wie Ergotamin und Ergotoxin, die früher häufig zu Vergiftungen geführt haben (Ergotismus, Kribbelkrankheit, St. Antonius Feuer oder heiliges Feuer) mit der Folge von Spasmen, Wahnvorstellungen und Krämpfen.
- 994 starben in Frankreich etwa 40.000 Menschen und zuletzt kam es 1951 zu einer Vergiftung von 30 Menschen an der 5 starben. Sie glaubten von Dämonen oder Schlangen heimgesucht zu werden.
- 1772 vernichtete Ergotisums die Kavallerie Zar Peter des Großen kurz vor der Eroberung der Türkei und änderte so den Lauf der Geschichte.
- Einsatz dieser Toxine als wehenförderndes Mittel, daher Mutterkorn, wird heute biotechnologisch aus Mycelien gewonnen. Erhöhung der Muskelkontraktionen und blutungsstillend.
- Ergotamin und Ergotoxin sind Lysergsäurederivate aus denen LSD synthetisiert wurde.

Dothideales

- *Venturia*/*Fusicladium*: Parasiten auf Obst: Schorfbildung
- *Capnodium*: Rußtau durch Verwertung des Honigtaus von Blattläusen

Basidiomycetes

- etwa 300.000 Arten mit der **Basidie** als charakteristischer, sporenbildender Struktur.
- die Sporen werden nach Karyogamie und anschließender Meiose in stielartigen Auswüchsen (**Sterigmen**) nach außen abgeschnürt.
- Aus den Sporen keimen zunächst haploide Mycelien aus. Treffen zwei genetisch verschiedene Mycelien aufeinander, verschmelzen die Hyphen und wachsen mit je zwei Kernen pro Septum weiter (**Dikaryon**). Meist erfolgt das Wachstum unter Schnallenbildung. Die Schnallen nehmen während der Zellteilung einen der Tochterkerne auf, bevor er in das ursprüngliche Kompartiment zurückwandert. Bei den Basidiomycenten erfolgt die Schnallenbildung nicht wie bei den Ascomyceten erst im Fruchtkörper sonder bereits früher. Das Dikaryon stellt einen eigenen unabhängigen Typus des Mycels dar.
- Im Gegensatz zu den einfachen Tüpfeldurchbrechungen der Querwände der Ascomyceten, besitzen Basidiomyceten meist einen von tonnenförmiger Gestalt (**Doliporus**). Der ist zu beiden Seiten von einem **Parenthosom** bedeckt, das vom ER gebildet wird.
- Basidien können unterteilt (**Phragmobasidie**) oder keulenförmig und einzellig sein (**Holobasidie**).

Ustomycetidae, „Brandpilze“

- obligate Pflanzenparasiten, Basidien quergeteilt (Phragmobasidien), schwarze Sporenmassen geben befallen Teilen „verbranntes Aussehen“

Tilletiales

- Basidien ohne Querwände, nur Brandsporen werden durch Septen abgetrennt.
- *Tilletia caries* verursacht Stinkbrand am Weizen, *Urocystis tritici* den Blattstreifenbrand
- *Entoloma* Arten befallen vorwiegend Asteraceen.
- Brandpilze produzieren pro Pflanze mehrer Millionen Sproen und können bis zu 20% einer Getreideernte vernichten, in einzelfällen bis 60%.

Ustilaginales

- interzelluläre Parasiten höherer Pflanzen ohne Fruchtkörper. Wichtige Schädlinge sind *Ustilago maydis* (Maisbeulenbrand), der die Fruchtknoten von Mais befällt
- andere Arten verursachen den Flugbrand an Getreiden wie Gerste, Hafer, oder Weizen (*Ustilago hordi*, *U. avenae*, *U. tritici*)

Exobasidiales

- Parasitieren in Europa vorwiegend auf Ericaceen, bilden keine Fruchtkörper, aber gallenartige Deformationen des Wirtsgewebes.
- Unseptierte Basidien wachsen entweder durch die Stomata oder zwischen den Epidermiszellen nach außen.

Uredomycetidae

Parasiten, meist ohne Fruchtkörper, vieteilig quergeteilte Phragmobasidien, die aus kugeligen Probasidien hervorgehen.

Uredinales (Rostpilze)

- Parasiten in den Interzellularräumen der Pflanzen.
- komplizierter Lebenskreislauf mit mehrfachem Sporen- und Wirtswechsel
- Beispiel Getreiderost:
    - Diploide **Teleutosporen** keimen im Boden nach Meiose unter Bildung einer Phragmobasidie im Frühjahr.

- Die haploiden Basidiosporen landen auf dem Blatt einer Berberitze keimen aus und bilden auf der Blattoberseite **Spermogonien** bzw. **Pyknidien**. Die sehr kleinen **Spermatien** oder **Pyknidiosporen** (Microsporen) dienen der Neuinfektion von Berberitzen.
- Wenn bipolar determinierte Hyphen im Blatt aufeinandertreffen entstehen dikaryotische Hyphen und auf der Blattunterseite **Aecidien**, die dikaryotische **Aecidiopsporen** bilden.
- Diese dienen der Infektion von Gräsern, z.B. Weizen. Auf dem Weizen bilden sich dann rostrote **Uredosporenlager** mit einzelligen **Uredosporen**, zur Neuinfektion von Weizen im Sommer.
- Im Herbst werden statt Uredosporen dann wieder zweizellige **Teleutosporen** in schwarzen **Teleutosporenlagern** gebildet, die im Boden überwintern.

Hymenomycetidae

- Fast alle Arten bilden Fruchtköper, in denen die sporenbildenden Strukturen (**Basidien**) palisadenartig (in Hymenien) angelegt werden. Das Hymenium besteht neben den Basidien aus **Cystiden**, sterilen Endhyphen von mannigfaltiger Gestalt. Sie dienen dem Schutz der Basidien, als Ausscheidungsorgane oder verhindern das Verkleben von Lamellen
- Das Hymenium wird auf vielfältige Weise vergrößert, wobei Unterstrukturen als Hymenophore bezeichnet werden. Ein Champignon hat eine Hymeniumoberfläche von etwa 1200 cm^2, das etwa 1,8 Milliarden Sporen bildet, davon etwa 40 Millionen pro Stunde.
- Fruchtkörper heißen je nach Entwicklung **gymnocarp** (Hymenium liegt während der gesamten Entwicklung frei) oder als **hemiangiocarp**. Bei letzterem Typus ist das Hymenium zunächst von einem Schleier (**Cortina**) bedeckt (**Velum partiale**) oder der gesamte Fruchtkörper ist in eine Hülle eingeschlossen (**Velum universale**), das bei der Streckung des Fruchtkörpers aufreißt und das Hymenium freilegt. Reste des Velums bezeichnet man als **Volva** (an der Basis der Fruchtkörpers) oder **Manschette** (unterhalb des Hutes).
- bei gastroiden Fruchtkörperen bleiben die Sporen im Fruchtkörper eingeschlossen bis dieser entweder zerfällt, oder die Sporen werden durch sich streckende Elemente aus der Fruchtkörperhülle (**Peridie**) herausgehoben.

<u>Tremellales</u>, Zitterpilze

Phragmobasidien kreuzweise in 4 Kammern längsgeteilt. Leben auf abgestorbenem Holz. Tremella bildet gallertartige seitliche Auswüchse.

<u>Auriculariales</u>, Ohrlappenpilze

Querseptierte Phragmobasidien
häufigster Vertreter das Judasohr (*Auricularia auricula-judae*) auf Holunderstämmen
gallertartig ähnlich *Tremella*.

Alle folgenden Gruppen besitzen Holobasidien: Homobasidiomycetiodae

<u>Cantharellales</u>

- bekanntester Vertreter der Pfifferling (*Cantharellus cibarius*), einer der beliebtesten Speisepilze.

Geastrales, Erdsterne

- Typischerweise löst sich bei den Erdsternen die festere und dickere Exoperidie sternförmig von der dünnen kugeligen papierartigen Endoperidie, die die Sporen enthält.
- Die Sporen werden vielfach durch auftreffende Wassertropfen freigesetzt.

Phallales

- Bei dieser Gruppe ist der Fruchtkörper zunächst von einer Hülle (**Volva**) umschlossen (Hexenei).
- Die Volva gliedert sich in eine innere und äußere häutige Peride mit einer eingeschlossenen Gallertschicht. Durch streckungsfähige Achsenelemente (**Receptaculum**) durchstößt der Fruchtkörper die Volva, die als Becher zurückbleibt. Das Receptaculum kann unterschiedlich geformt und gefärbt sein, trägt aber die immer die schleimige stinkende Sporenmasse (**Gleba**). Sie lockt meist Fliegen an die die Sporen verbreiten.
- Unter den Phallales finden sich die heimische Stinkmorpchel (*Phallus impudicus*) oder die Hundsrute (*Mutinus caninus*) und einige der schönsten tropischen Pilze, z.b. Gitterpilz (*Clathrus ruber*), der Tintenfischpilz (*Anthurus archeri*) oder die Dame mit dem Schleier .

Russulales: Täublinge und Milchlinge

- Diese Ordnung weist einen spezifischen Sporentyp sowie Terpenoide enthaltende Exkretionsorgane (Milchsafthyphen) auf.
- Die Täublinge (*Russula*) enthalten wasserlösliche Farbstoffe (Russupteridine) die Milchlinge (*Lactarius*) scheiden bei Verletzung Milchsaft aus.

Polyporales

- *Polyporus* als namengebende Gattung besitzt gestielt hutförmige Fruchtköper mit Porenhymenium, das in der Lage ist Gegenstände zu umwachsen.

Poriales

- provisorische Ordnung, die dadurch gekennzeichnet ist, das der gesamte Fruchtkörper Gegenstände umwachsen kann und nicht nur das Porenhymenium.
- Viele Arten bilden vom Substrat abstehende Fruchtkörper.

Wichtige Gattungen:

- Zunderschwamm (*Fomes fomentarius*), Birkenporling (*Piptoporus betulinus*), Schmetterlingsporling (*Trametes versicolor*).

Schizophyllales

- Schizophyllum ist aufgrund seiner hygroskopisch beweglichen Lamellen ein beliebtes Untersuchungsobjekt.

Agaricales

- ebenfalls vorläufige Ordnung mit allein in Mitteleuropa etwa 2000 Arten. Zu den wichtigsten Vertretern gehört der Champignon (*Agaricus bisporus*), dessen Basidien nur zwei Sporen mit bereits je einem + und – Kern enthalten. Daher tritt keine haploide Mycelphase auf.
- Daneben wichtige Giftpilze wie der grüne und kegelhütige Knollenblätterpilz (*Amanita phalloides* und *A. virose*) deren Vergiftungserscheinungen erst 6-24 Stunden nach Verzehr einsetzen.

Boletales

- Viele holzbewohnende oder in Mycorrhiza lebende Pilze.
- Wichtige Arten sind der Steinpilz (*Boletus edulis*) einer der wertvollsten Speisepilze (Mycorrhizapilz) oder der Hausschwamm (*Serpula lacrymans*) der schwammartige Fruchtkörper von mehreren Quadratmetern Größe bildet und aufgrund der Gefahr für Bauwerke meldepflichtig ist.

Lycoperdales Stäublinge

- Fruchtkörper kugelig oder keulenförmig, entstehen unterirdisch und sind von Endo- und Exoperidie umhüllt. Die Exoperide reißt bei der Entwicklung auf und bleibt teilweise in Stücken auf der ledrigen Endoperidie erhalten.
- Die Sporen bilden zusammen mit sterilen Glebafasern eine pulverige Masse (**Gleba**) und werden in großer Menge im Inneren gebildet. Unter Druck werden bei einigen Arten (z.B. Hasenstäubling) Sporenwolken aus einer terminalen Öffnung ausgeschleudert.
- Der Riesenbovist (*Langermannia gigantea*) bildet bis zu 7,5 Billionen Sporen. Würden sich alle entwickeln würde bereits die 21.Tochtergeneration die 800fache Erdmasse besitzen.

Nidulariales Becherlinge

- Sie kapseln in ihrem Inneren Glebabereiche ab die als ganze Ausbreitungseinheiten (**Peridiolen**) verbreitet werden.
- Bei Cyathus liegen die scheibenförmigen Peridiolen in einer becherförmigen Peridie und werden bei Regen durch auftreffende Wassertropfen ausgeschleudert.
- Sphaerobulus schleudert die einzige Peridiole durch plötzliche Umstülpen der inneren Exoperidienschicht bis zu einem Meter weit.

Fungi imperfecti, Deuteromycetes (ca. 30.000)

- Pilze von denen nur die Nebenfruchtform und die Vermehrung durch Konidien bekannt ist. Es kann dabei entweder sein, daß die Hauptfruchtform noch nicht entdeckt wurde, oder der Pilz die Fähigkeit verloren hat sie zu bilden.
- Wichtige vorläufige Gattungen mit zahlreichen Arten: *Penicillium*, *Aspergillus*, *Monilia*, *Candida*, *Fusarium oysporum f. lycopersi* (Tomatenfäule).
- Nematodenfangend: *Dactyella*, bildet klebrige Hyphen an denen Nematoden kleben bleiben und Dactylium mit schlingenförmige Hyphen in die die Nematoden kriechen und die dann anschwellen und das Tier festhalten. Anschließend wachsen Haustorien in die Nematoden ein und saugen sie aus.

Flechten

Allgemeines

- Symbiosen aus Pilzen (Mycobiont) und Algen (Phycobiont), fossil seit dem Devon nachgewiesen.
- Etwa 13.000 Arten bekannt (20.000), polyphyletische Gruppe von Organismen, mindestens 5 mal unabhängig entstanden, wahrscheinlich öfter.
- Wichtigste Pilzsymbionten sind Ascomyceten mit etwa 99%, Rest Basidiomyceten.
- Etwa 40 Algen und Cyanobakterian-Arten treten als Phycobionten auf. Häufigste sind:
- Trebouxia, Pseudotribouxia, Trentepholia oder Nostoc.
- Zusammensetzung der Flechten kann variieren, oft mehrere Algenarten in einer Flechte.
- Grundsätzlich scheint der Pilz der wichtigere Partner zu sein, der die Gestalt der Flechte bestimmt und meist auch massemäßig überwiegt.
- Die Algen können über den ganzen Thallus verteilt sein (Gallertflechten) oder abgegrenzte Schichten bilden.
- Pilzhyphen umspinnen die Algen und dringen mit einem Appressorium in die Zelle ein. So nimmt der Pilz organische Verbindungen auf, bietet im Gegenzug dafür günstige Wachstumsbedingungen.

- Der Pilz kontrolliert ebenfalls die Teilungsrate der Algen, deren Zellen oft größer sind als bei freilebenden Individuen.

Vermehrung

vegetativ

- Fragmentation
- **Soredien**: kleine Knäuel hyphenumspannter Algen, die durch den Wind oder Wasser ausgebreitet werden.
- **Isidien**: Spezielle Thallusfragmente, die abbrechen.
- Konidien des Pilzes

generativ

- Sporen des Pilzes, oft auf kleinen Fruchtkörpern gebildet, die mehrere Jahre langsam weiterwachsen und Sporen bilden. Jede Spore kann wiederum mit passender Alge eine neue Flechte bilden. Gelegentlich gemeinsame Ausbreitung

Ökologie

- Flechten gehören zu den widerstandsfähigsten Organismen, die härtesten Umweltbedingungen trotzen. Von Wüsten bis zur Antarktis wo 350 Flechtenarten vorkommen aber nur 2 Gefäßpflanzen.
- viele Flechten leben in Felsen endolithisch (Inselberge), eine Art: *Verrucaria serpuloides* submers marin.
- Flechten gehören zu den Erstbesiedlern vieler Standorte, besonders Felsen und besitzen hohe Temperaturtoleranz: bis -190° oder +70°C lebensfähig, können bei -24°C CO2 fixieren.
- Hintergrund ist die hohe Austrocknungstoleranz: poikilohydrische Organismen. Photosynthese wird beim Austrocken eingestellt. Im Wesentlichen durch die lichtundurchlässige obere Rinde.
- Flechten bilden das Substrat für die weitere Besiedelung. Wichtig hier auch die Stickstofffixierung der Cyanobakterien, die auch in feuchtkühlen Wäldern sehr bedeutsam sein kann.
- höchste Photosyntheserate nach Quellung bei beginnender Abtrockung. Photosysnthese daher oft zeitlich begrenzt je nach Feuchtegrad (z.B. morgens nach Nebel oder Tau).
- Flechte wachsen sehr langsam, 0,1 -10 mm pro Jahr, geschätztes Alter bis 4500 Jahre.
- Flechtendominierte Standorte: z.B. Tundren oder Nebelwüsten
- freilebende Felchten: Xanthomaculata

Wuchsformen

Krustenflechten
Rhizocarpon
Blattflechten
Hypogymnia
Lobaria
Cora pavonia
Nabelflechte
Umbilicaria
Bartflechten
Usnea
Strauchflechten
Cladonia
Cladia

Gallertflechten

Nutzung

- Flechten dienen als Bioindikatoren, da sie sehr empfindlich auf toxische Substanzen reagieren, insbesondere reagieren Flechten mit Cyanobakterien stark auf Schwefeldioxid.
- Flechten werden zum Monitoring von radioktivem Fallout eingesetzt, da sie die Substanzen anreichern, gleichzeitig aber auch weitergeben, da sie als Nahrungsgrundlage für viele Tiere dienen, wie z.B. *Cladonia rangifera* im Winter für Karibus und Rentiere.
- *Cetraria islandica*, isländisches Moos findet als schleimlösendes Medikament Verwendung
- *Rocella*-Arten liefern Lackmus-Farbstoff
- *Letharia vulpina*, zur Wolfsvergiftung verwendet.

Eukaryotische Algen

Glaucobionta

Glaucophyta

Eine kleine Gruppe monadaler, für das Verständnis der Evolution der photoautotrophen Eukaryoten wichtiger Süßwasseralgen mit sehr ursprünglichen Chloroplasten (Cyanellen), die noch eine Petidoglycanwand, besitzen. Kein Chlorophyll b, aber Phycocyanin in Phycobilisomen. Thylakoide nicht zu Stapeln zusammengefasst. Nur drei Gattungen mit je einer Art, z.B. *Glaucocystis* und *Cyanophora*.

Rhodobionta

Rhodophyta (Rotalgen) (4.000)

Lebensweise: Überwiegend marine Organismen, in Tiefen bis 200 m vorkommend. **Benthische** Algen mit Schwerpunkt in wärmeren Meeren. Nur selten in Süßwasser vor kommend (z.B. *Batrachospermum*). Rotalgen sind meist vielzellig mit trichalem oder pseudo-parenchymatischem **(Plektenchym)** Thallus**.** Es gibt keine echten Gewebe. Einzellige Vertreter sind die Ausnahme (z.T. in Bangiophycidae). Im Thallusbau unterscheidet man den uniaxialem Zentralfaden- oder den multiaxialem Springbrunnentyp**.** Die Zellwand besteht aus filzartig verflochtenen Cellulosefibrillen und verschleimenden Galactanen. Ein Verkleben der Fäden im Rindenbereich führt zu 3-dimensionalen Thalli.
Plastiden (**Chromatophoren**): Rotalgen besitzen **nur Chlorophyll a** als Photosynthese-pigmente (vergl. Cyanobacterien), daneben **Carotinoide** sowie die wasserlöslichen **Phycobiline Phycocyanin und Phycoerythrin**. Durch diese Pigmente sind sie in der Regel rotviolett gefärbt. Sie befinden sich in **Phycobilisomen**, scheibenförmigen Körpern in den Plastiden**,** die auf den Thylakoiden liegen. Thylakoide einzeln, nicht in Stapeln.
Speicherstoff: Florideenstärke, Zwischenform zwischen Glykogen und Stärke. Sie wird auf der Oberfläche der Chromatophoren und im Cytoplasma als Körnchen abgelagert.
Besonderheit: Rotalgen bilden keine begeißelten Fortpflanzungszellen, was sonst nur bei Cyanobakterien, Angiospermen und Eumycota vorkommt.
Ökologische Bedeutung: Etliche Polysaccharide der Rotalgen sind für pharmazeutische und technische Zwecke wirtschaftlich bedeutend, z.B. **„Agar-Agar“** aus *Gelidium*- und *Gracilaria*-Arten, **„Carrageen“** (getrocknet „Irländisch Moos“) aus *Chondrus crispus*. Als **Nahrungsmittel** in Ostasien (in Algengärten kultiviert) dient *Porphyra* (**„Nori“**). Viele Arten weisen eine starke Inkrustation der Zellwände mit $CaCO_3$. *Corallina* oder *Lithamnion* Arten spielen bei der Gesteinsbildung eine Rolle (**„Leithakalk“ = fossile Rotalgenkalke; rezente Korallenriffbildung zu 50% durch Rotalgen!**).

Vermehrung: Vegetativ über Monosporen.
Sexuelle Fortpflanzung: Rotalgen weisen einen sehr komplizierten, dreigliedrigen, heterophasischen, meist heteromorphen Generationswechsel auf. Auf einen haploiden **Gametophyten** folgt erst ein parasitischer, diploider **Karposporophyt** und dann ein diploider **Tetrasporophyt**. Die Entwicklung der 3 Generationen erfolgt meist auf 2 Vegetationskörpern (diplobiontisch), selten (*Batrachospermum*) auf 1 Vegetationskörper (haplobiontisch). Der Gametophyt bildet im weiblichen Gametangium (= **Karpogon**), das an seiner Spitze zu einem hyphenartigen Empfängnisorgan (**Trichogyne**) ausgezogen ist, eine Eizelle. Im männlichen Gametangium (=**Spermatangium**) (es gibt monözische und

diözische Formen) entsteht ein unbewegliches **Spermatium**. Passiv werden die Spermatien zur Trichogyne getragen, wo sie zur Befruchtung festhaften (**Oogamie**). Die Trichogyne wird mit Bildung der Zygote vom Karpogon abgetrennt. Die Zygote keimt im Normalfall zum mikroskopisch kleinen, diploiden **Karposporophyten** aus und entwickelt in Karposporangien nackte **Karposporen** (Mitosporen). Der Karposporophyt ist oft von einem Schutzgewebe des Gametophyten, dem **Cystokarp**, umhüllt. Aus den Karposporen entsteht der ebenfalls diploide Tetrasporophyt, der unter Meiose Tetrasporen bildet, aus denen der Gametophyt hervorgeht.

Bangiophycidae

Recht einfach gebaute einzellige, fädige oder blattartige Algen. Karposporen keimen zu einem fädigen, wohl diploiden Gebilde aus und bohrt sich in Kalkgehäuse von Muscheln und Seepocken ein. Diese Form ist an europäischen Küsten weit verbreitet.

Florideophycidae

Deutlich höher entwickelte Algen, ohne einzellige Vertreter. Schon einfache Vertreter mit heterotricher Organisation, d.h. Untergliederung in eine basale Haftscheibe und aufrechte Fäden. Reich gelgiedert z.b. die Gattung *Delesseria*.

Cryptophyta (Schlundgeißler) (120)

Lebensweise: Weltweit planktisch in Süß- und Salzwasser lebend. Wichtigste Gattung: *cryptomonas*.

Organisationsstufen: In der Regel monadale Einzeller, selten capsal oder trichal. Zwei leicht ungleiche Geißeln mit Flimmerhaaren.

Cytologie: Keine Zellwand, sondern eine **Pellicula** (Periplast) aus rechteckigen oder polygonalen Protein-Platten; Schlund mit reizempfindlichen Ejectosomen besetzt.

Photosynthesepigmente: Chlorophyll a und c, Carotinoide, das Xanthophyll Diatoxanthin und z.T. die Phycobiline Phycocyanin u. Phycoerythrin (nicht in Phycobilisomen, sondern in Plastiden).

Chromatophoren: sind von einer ER-Falte umhüllt, zusammen mit einem verkümmertem Kern (**Nucleomorph**). Sie entsprechen stark reduzierten endosymbiontischen Rotalgen.

Speicherstoff: Stärke, die an Pyrenoiden gebildet wird.

Vermehrung: Durch Teilung. Sexuelle Fortpflanzung nicht sicher bekannt.

Dinophyta (Panzergeißler) (1.000)

Eine heterogene Gruppe eukaryotischer Algen, die zur Phagocytose befähigt sind und mit tierischen Einzellern (Ciliaten, Sporozooen, Apicomplexa) verwandt sind. Im Malariaerreger *Plasmodium falciparum* wurden Reste komplexer Plastiden gefunden die Verwandschaft zu Dinophyten belegen.

Lebensweise: zusammen mit Diatomeen bilden sie Hauptmasse des marinen Planktons, selten im Süßwasser. Viele nackt, plastidenlos, heterotroph (z.B. *Noctiluca miliaris*), symbiontisch in allen Riffkorallen (ohne Dinophyten keine Kalkbildung) oder in einigen Meerestieren (Zooxanthellen). In Hochgebirgsseen können sie 50% der Biomasse stellen.

Organisationsstufe: Meist monadale Einzeller (d.h. einzellige Flagellaten), wenige coccal, capsal, trichal oder amöboid, teilweise mit langen Schwebefortsätzen.

Cytologie: Die Zellwand besteht aus polygonalen Cellulose-Platten. Sie bilden innerhalb des Plasmalemmas einen Panzer mit einer Längs- und einer Querfurche. Darin verlaufen 2 am Kreuzungspunkt entspringende, fein beflimmerte Geißeln. Geißel der Querfurche verursacht Drehung der Zelle, Geißel der Längsfurche erzeugt Vortrieb. Die Chromosomen sind auch im Interphasekern kontrahiert („Dinokaryon“) und sichtbar.

Photosynthesepigmente: Chlorophyll a u. c, β-Carotin u. Xanthophylle, besonders Peridinin.

Chromatophoren: Von 3 Membranen umhüllt, die nicht mit dem ER des Kerns in Verbindung stehen. Nach cytologischen Merkmalen mindestens 4 versch. Typen, daher vermutlich multiple Entstehung durch Aufnahme verschiedener, stark reduzierter Chromatophyten-ähnlicher Endosymbionten. Bei einigen Arten konnte ein stark reduzierter primärer Endosymbiont nachgewiesen werden.
Speicherstoff: Stärke, außerhalb der Chloroplasten und selten Öl.
Vermehrung: Schrägteilung. Nackte Hälfte bildet Panzerteil und Geißeln neu.
Sexuelle Fortpflanzung: Haplont mit zygotischem Kernphasenwechsel (Iso- oder Anisogamie).
Besonderheiten: *Noctiluca miliaris* und andere Gattungen bewirken das „Meeresleuchten". Massenentwicklungen können Wasserblüten (**Red Tides**), ihre Nervengifte Massensterben mariner Organismen verursachen. Nackte Dinophyten der Art *Gymnodinium microadriaticum* (= Zooxanthellen) als Symbionten aller Riffkorallen (Ectoderm) und massiven Muscheln (Kalkbildner).

Haptophyta

Lebensweise: Meist marine Plankter.
Organisationsstufe: Meist monadale Einzeller, selten capsal, coccal, trichal, außen mit Polysaccharid-Schuppen besetzt.
Cytologie: Zelle mit 2 isokonten Geißeln und 1 fadenförmiges Anhängsel zur Anheftung (**Haptonema**), das anders als die Geißeln keine 9+2-Struktur aufweist!
Photosynthesepigmente: Chlorophyll a und c, β-Carotin, Xanthophylle, u.a. Fucoxanthin.
Chromatophoren: Von ER-Falte umhüllt; Thylakoide in Stapeln zu je drei geordnet.
Speicherstoff:Chrysolaminarin und Paramylon, in Vakuolen im Cytoplasma.
Vermehrung: Durch Teilung, selten sexuell über heteromorphen Generationswechsel.
Besonderheiten: die Zelloberfläche ist bei der Ordnung der Coccolithophorales mit verkalten Celluloseplättchen („**Coccolithen**")besetzt. Es ahndelt sich um Leitfossilien und Bildner von Kalksedimenten (Schreibkreide: 800 Mio. Coccolithen/1 cm^3).

Heterokontophyta

Organisationsstufen: Es sind alle Organisationsstufen vertreten (monadale Einzeller bis zu riesigen echten Gewebethalli). Strukturelle Merkmalle belegen die enge verwandtschaft zu den Oomycota.
Cytologie: Bewegliche Stadien **heterokont begeißelt** (= Heterokontophyta), d.h. mit 1 langen, nach vorne gerichteten, mit Flimmerhaaren besetzten Zuggeißel und 1 kürzeren, nach hinten gerichteten, glatten Schleppgeißel, diese mit einer Anschwellung (Photorezeptor) an der Basis. In Nähe der Geißelbasis innerhalb der Chromatophoren Augenfleck (Stigma) liegend.
Photosynthesepigmente: Chlorophyll a und c (Xanthophyceae nur Chlorophyll a), β-Carotin u.a. versch. Carotine, von verschiedenen **spezifischen Xanthophyllen** (darunter immer **Fucoxanthin** außer bei Xanthophyceae) überdeckt, daher grün-gelbes-braunes Aussehen.
Chromatophoren: Von **ER-Falte** (s. Cryptophyta) umhüllt. Thylakoide in dreier Stapeln (s. Euglenophyta, Dinophyta) und als **„Gürtellamelle"** parallel zur Membran. Bau der Plastiden begründet gemeinsamen Ursprung mit denen der Rotalgen.
Speicherstoffe: Chrysolaminarin (β-1,3-Glucan), außerhalb der Chloroplasten, oft an **Pyrenoiden** gebildet und in besonderen Vakuolen gespeichert. Daneben z.T. Laminarin und Mannit, häufig Öl in Tropfen.

Chloromonadophyceae:

Meist im Süßwasser vorkommende, monadale Vertreter. Lediglich 10 Arten bekannt. Zellwand besteht aus Pellicula, nur Fett als Speicherstoff.

Xanthophyceae (Gelbgrünalgen) (400)

Lebensweise: In Süß- und Brackwasser sowie in feuchten Böden.
Organisationsstufe: Meist coccal oder siphonal (*Vaucheria*), seltener monadal oder trichal (*Tribonema*).
Cytologie: Zellwand häufig aus 2 ineinander greifenden Hälften aufgebaut (überwiegend aus Cellulose, oft mit Kieselsäure imprägniert); z.T. mit verkieselten Cysten (Dose mit Deckel und Boden, an Diatomeen-Schalen erinnernd).
Photosynthesepigmente: Chlorophyll a, wenig Chlorophyll c, β-Carotin, kaum Xanthophylle (Hetero- und Vaucheriaxanthin, Fucoxanthin fehlt).
Vermehrung: meist vegetativ durch Teilung, bei *Vaucheria* Bildung von Zoosporen, die als Gesamtheit (Synzoospore) aus Sporangium entlassen werden.
Sexuelle Fortpflanzung: nur bei *Vaucheria* (Diplont mit gametischem Kernphasenwechsel).

Chrysophyceae (Goldalgen) (1.000)

Lebensweise: Meist planktisch in hellem, kühlem Süßwasser, besonders in Gebirgsflüssen und –seen, selten marin (*Dictyocha*). Autotroph oder heterotroph (saprophytisch oder phagotroph).
Organisationsstufe: Meist einzellige oder Kolonien bildende Flagellaten, diese z.T. in beweglichen, strahlig angeordneten Kolonien (*Synura*) oder in festsitzenden, verzweigten Cellulosegehäusen (*Dinobryon*). Capsale Formen (*Hydrurus*) in unbeweglichen gemeinsamen **Gallertcoenobien**. Selten coccal, amöboid (*Rhizochrysis*), trichal oder mit Gewebethallus.
Cytologie: Zellwand meist fehlend, aber Zellmembran zuweilen (*Synura*) mit charakteristischen Kieselschüppchen (Bildung in Vesikeln innerhalb der Zelle) bedeckt. Verkieselte, endogene Cysten in Form einer Urne mit Pfropf und intrazelluläre Kieselskelette (*Dictyocha*) kommen vor.
Vermehrung: Durch Teilung.
Sexuelle Fortpflanzung: Selten, dann Isogamie (Haplonten mit zygotischem Kernphasenwechsel).
Besonderheiten: Möglicherweise als Nanoplankton (5-20 μm), wichtigere Primär-produzenten als bisher vermutet, besonders im Winter. Craspedomonadaceae sind heterotroph und führen sich mit Geißelschlag Nahrung zu einem plasmatischen Kragen zu. Hydrurus bildet moosartige Lager in kalten Gebirgsbächen.

Bacillariophyceae= Diatomeae (Kieselalgen) (> 10.000)

Artenreichste Algengruppe!
Lebensweise: Marine Plankter (Centrales) oder im Süßwasser-Benthos (Pennales), im Moos und im Boden. Überwiegend autotroph, selten heterotroph.
Organisationsstufe: Coccale Einzeller, z.T. in Coenobien.
Cytologie: Zellwand überwiegend aus Kieselsäure (Verwandtschaft mit verkieselten Cystenwänden der Chrysophyceae) in Form einer Schachtel (Hypotheka) mit passendem Deckel (Epitheka). Seitenflächen = Gürtel (Pleuren), Überlappungsbereich der Pleuren = Gürtelband.
Vermehrung: Vegetativ durch Teilung (stets nur Neubildung der Hypotheka!) bis zur kritischen Mindestgröße, dann sexuelle Fortpflanzung über gametischen Kernphasen-

wechsel (reine Diplonten). Nur männliche Gameten einiger Centrales weisen eine nach vorn schlagende Flimmergeißel auf.
Besonderheiten und ökologische Bedeutung: Fossile Schalenablagerungen bilden Kieselgur. Tertiäre Kieselgurlager (USA, Russland) bis 1 km mächtig (bis zu 5 Mio. Diatomeen/1cm^3, Kieselgur für Filter, Scheuermittel, Zahnpasta). Heterotrophe Diatomeen in Tiefsee bis über 3.000 m tief lebend. Zusammen mit Dinophyta und Haptophyta (Coccolithophorales) wichtigste marine Primärproduzenten. In der Gruppe Centrales einige mit feinen Chitin-Fibrillen (z.B. *Thalassiosira*) als zusätzliche Schalenstruktur.

Centrales: meist marin, bedeutender Teil des Planktons
Cytologie: Zellen radiärsymmetrisch (meist rund). Vegetative Zellen unbeweglich.
Sexuelle Fortpflanzung: Oogamie (Spermatozoide mit 1 Flimmergeißel).
Wichtige Gattungen: *Biddulphia, Chaetoceras, Coscinodiscus, Melosira, Stephano-discus, Stephanolyxis, Thalassiosira*

Pennales: meist Süßwasser am Boden und auf Pflanzen lebend.
Cytologie: Zellen bilateral oder drehsymmetrisch (oft schiffchenförmig). Häufig mit Spalt entlang der Apikalachse (Raphe) und kriechend beweglich (Bewegung des Plasmalemmas und Schleimabsonderung entlang der Raphe).
Sexuelle Fortpflanzung: Isogamie (begeißelte Gameten fehlen!).
Wichtige Gattungen: Cocconeis, Cymbella, Gomphonema, Navicula, Nitzschia, Pinnularia, Pleurosigma, Tabellaria

<u>Phaeophyceae (Braunalgen) (2.000)</u>
Ectocarpales: Ectocarpus, Pylaiella
Cutleriales: Cutleria
Dictyonales: Dictyota, Padina
Laminariales: Laminaria, Lessonia, Macrocystis, Nererocystis
Fucales: Ascophyllum, Fucus, Himanthalia, Pelvetia, Sargassum

Lebensweise: Fast ausschließlich marine, an Felsküsten (**Benthos**) festsitzende Bewohner aller kalten Meere vor allem der Südhalbkugel; dort beindet sich die größte Mannigfaltigkeit (**„Tangwälder“**); z.T. bis in große Tiefe vordringend.
Organisationsstufe: Keine Einzeller! Wenige trichal und plektenchymatisch, meist **echte Gewebethalli** (Tange) mit Scheitelzelle oder –meristem und gegliedert in **Haftkrallen, Cauloid und Phylloid** (analog Kormophytenorganen). Hierzu gehören große Pflanzen (bis über 60 m) mit den höchsten Wachstumsraten (1 m /Tag).
Cytologie: Feste, quellbare Zellwand aus **Cellulose und Alginat** (Salze der Alginsäure), schleimiger Teil aus Alginat und Fucoidin (Austrocknungsschutz).
Photosynthesepigmente: Chlorophyll a und c**,** β-Carotin, verschiedene Xanthophylle, vor allem **Fucoxanthin**, daher Chromatophoren (= **Phaeoplasten**) **braun** gefärbt.
Vermehrung: Vegetativ durch Thalluszerfall, ungeschlechtlich über Zoosporen, sexuell über **heterophasischen Kernphasenwechsel**, gekoppelt mit **isomorphem** bis zunehmend **heteromorphem Generationswechsel** (zunehmende Reduktion der Gametophyten). Die **Fucales** (Endglied) sind reine Diplonten mit gamet. Kernphasenwechsel. Progression von Iso-, Aniso- zur Oogamie. Bildung der Meiosporen stets in **unilokulären Sporangien** (daran Sporophyt leicht erkennbar). Gametenbildung in pluri-, selten unilokulären Gametangien.

Besonderheiten und ökologische Bedeutung: **Alginate werden industriell vielfältig genutzt (z.B. Klebe-/Geliermittel). Im Thallus erfolgt eine** Jod-

Anreicherung **deutlich über die Konzentration des Meerwassers! (Laminaria-Frischgewicht bis 0,3% Kaliumjodid). Sog.** Phaeophyceenhaare **(Dictyonales) zw. Tetrasporangien.**

Ectocarpales

Lebensweise: Weltweit, z.T. epiphytisch auf größeren Braunalgen.
Organisationsstufe: Relativ klein, heterotrich, büschelig verzweigte Fadenthalli mit interkalarem Wachstum [Aggregate z.T. pseudoparenchymatisch. Ectocarpus mit ähnlichem Habitus wie Cladophora (Chlorophyta)].
Vermehrung: Vegetativ durch **Zoosporen**, die in uni- oder plurilokularen Sporangien gebildet werden.
Sexuelle Fortpflanzung: Weitgehend isomorpher oder schwach heteromorpher Generationswechsel mit vielen Nebenkreisläufen. Progression von morphologischer Isogamie über physiologische Anisogamie zu morphologischen Anisogamie. Chemotaktische Anlockung der männlichen Gameten durch **Ectocarpen**. Isogameten im Aussehen wie Zoosporen. Diploider Sporophyt bildet temperaturabhängig in unilokulären Meiosporangien Meiosporen (1n) (daraus entsteht haploider Gametophyt IV). Haploider Gametophyt bildet in **plurilokuläen Gametangien Gameten (1n)**, die kopulieren (I) und in gleich aussehenden plurilokul. Sporangien zu **Mitosporen** (1n), die den Gametophyten erneuern (III) oder zu haploiden Sporophyten werden (IV). Wechsel zwischen 2 Generationen (z.B. Sporophyt-Gametophyt, Sporophyt-Sporophyt), nicht immer mit Kernphasenwechsel (Ploidiephasen 1n/2n) korreliert. Jede Generation kann sich unmittelbar wieder selbst erzeugen.

Dictyotales
Lebensweise: Meist benthisch**,** kosmopolitisch, v.a. in wärmeren bis tropischen, aber auch gemäßigten Meeren.
Organisationsstufe: Gewebethallus (Sporophyt gleich Gametophyt).
Thallusbau: Bandförmig oder fächerförmig, meist mit Hilfe einer großen, linsenförmigen, sich **dichotom teilenden Scheitelzelle** zu regelmäßig dichotom verzweigten Thalli auswachsend (Dictyota dichotoma klass. Beispiel für Dichotomie). **Gametophyt heterothallisch**, d.h. Gametophyt besteht aus äußerlich gleich aussehenden, aber männlichen und weiblichen Pflanzen. Farblose sog. **Phaeophyceenhaare** zwischen Tetrasporangien.
Sexuelle Fortpflanzung: Isomorpher, heterophasischer Generationswechsel mit Oogamie. Antheridien und Oogonien stehen auf Thallusoberfläche zusammen in Gruppen (**Sori**). Sporophyt bildet in unilokulären Tetrasporangien nur 4 Tetrasporen (Reduktion der Sporenzahl), die durch gleichzeitigen Geißelverlust unbeweglich sind.
Dictyota: isomorpher Generationswechsel mit Oogamie.

Laminariales
Lebensweise: Benthisch an Küsten kalter Meere: Nereocystis nordamerikanische Pazifikküste, Lessonia: antarktische Meere, Macrocystis: südhemisphärische Meere, Laminaria: Nordatlantikküste.
Organisationsstufe: Gametophyt mikroskopisch klein und trichal, Sporophyt dagegen morphologisch hoch differenziert **(echte Gewebe!)** und mit enormen Ausmaßen. Alle großen Tange gehören hierher (Macrocystis pyrifera größte Pflanze mit höchster Wachstumsrate: im Extremfall 1 m /Tag und bis 60 m langer Thallus).
Thallusbau: Cauloid (von außen nach innen) differenziert in Abschlussgewebe (= **Meristoderm**), Rinde (= **Cortex**) und Mark (= **Medulla**), das der Speicherung und

Leitung von Stoffen dient und aus Zellfäden besteht, die an Querwänden angeschwollen oder sogar siebartig durchbrochen sind (Macrocystis, Nereocystis). Die an Küsten des Nordatlantiks verbreitete bis 5 m lange Laminaria trägt auf perenierendem Stiel mit Haftkrallen (= Hapteren, mit Rhizoiden) einen blattartigen Thalluslappen, der gegen Ende jeden Winters mit Hilfe einer **interkalaren Wachstumszone** erneuert wird; altes Phylloid wird dabei vorgeschoben und stirbt ab.
Sexuelle Fortpflanzung: Heteromorpher Generationswechsel mit starker Förderung des diploiden Sporophyten (**Oogamie**). Unilokuläre Zoosporangien werden in großflächigen Sori auf der Oberfläche des Phylloids angelegt.

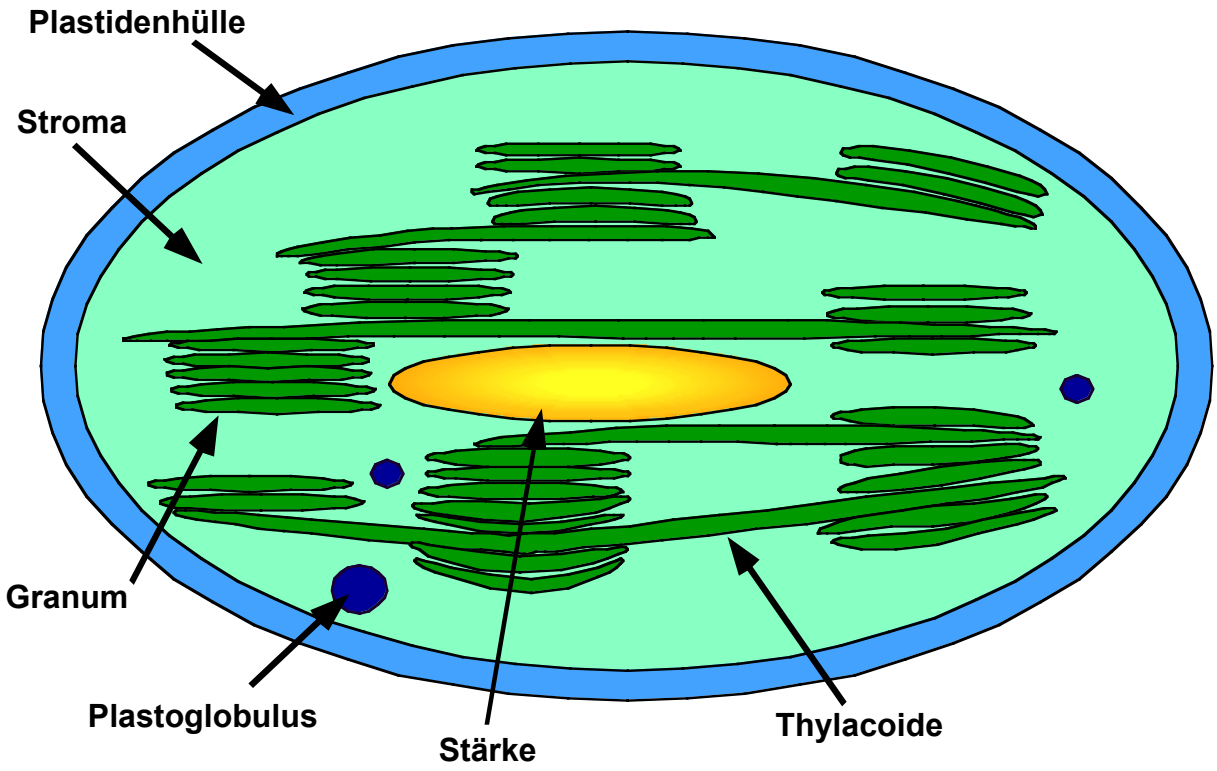
Fucales: Ascophyllum, Fucus, Himanthalia, Pelvetia, Sargassum

Lebensweise: Überwiegend **benthisch in kälteren Meeren**, selten frei (Sargassum).
Organisationsstufe: Bandartiger Gewebethallus.
Thallusbau: Mehrjährige Fucus-Arten sind in Haftscheibe (Rhizoid), kurzes Cauloid und bandförmigen (bis über 1 m lang), dichotom verzweigten Thalluslappen mit „Mittelrippe“ gegliedert. Wachstum mit 3-, später 4-schneidiger Scheitelzelle. Enden der Thalluszweige (**Rezeptakel**) tragen dicht stehende, krugförmige Einsenkungen (**Conzeptakeln**), in denen zwischen sterilen Haaren (**Paraphysen**), monözisch (Fucus spiralis) oder diözisch (F. vesiculosus, F. serratus) verteilt, **Antheridien** (zahlreich in verzweigten Ständen) und **Oogonien** (einzeln) stehen.
Vermehrung: Reine Diplonten mit gametischem Kernphasenwechsel (Oogamie), d.h. diploider Sporophyt stellt einzigen Vegetationskörper dar.
Besonderheiten: Einige Arten mit **gasführenden Schwimmblasen** (Ascophyllum, Sargassum, Fucus vesiculosus), die Auftrieb geben.

Chlorobionta

Rein grüne Plastiden mit mit doppelter Membran, keine zusätzliche ER Hülle. Thylakoide in Stapeln, Chlorophyll a und b (ähnlich nur Prochlorophyten, Chlorarachniophyten und Euglenophyten); Reservepolysaccharid: Stärke; Pyrenoide, wenn vorhanden, in den Chloroplasten; Zellwand: Polysaccharide (vorwiegend Cellulose). Vorkommen von Sporopollenin z.T. bei Landalgen, sonst zur Umhüllung von Sporen und Pollen.

Chloroplastenbau aller Chlorobionta



Chlorophyta

Lebensweise: > 90% im **Plankton** oder **Benthos** des Süßwassers, viele Landalgen, wenige marin. Einige symbiontisch, epiphytisch oder heterotroph.
Organisationsstufe: Alle Organisationsstufen, von **monadal** bis **Gewebethallus** (*Ulva*). Thallus z.T. blattartig (analog Kormophytenorgan).
Cytologie: Terminal inserierte isokonte flimmerlose Geißeln (beweglische Stadien aller Chlorobionta) bei monadalen Formen (Ordn. Volvocales) und Zoosporen (2 oder 4) sowie Gameten (stets 2). Basalkörper des Geißelapparates sind für die Unterteilung der Algengruppen von großer Bedeutung. Bewegliche Stadien mit Augenfleck und z.T. pulsierenden Vakuolen. Zellwand aus Cellulose und Pektin (bei Gameten, Zoosporen und monadalen Formen fehlend), selten zusätzlich Chitin (*Cladophora, Oedogonium*).
Photosynthetische Pigmente: Chl a und b, α- und β-Carotin, Xanthophylle, v.a. Lutein, keine Phycobiline.
Chloroplasten: Nur von doppelter Plastidenmembran umhüllt. Meist mit **Pyrenoiden** und stets rein grün (Grünalgen). Thylakiode in Stapeln oder einzeln. **Abstammung** vermutl. von **endosymbiontischen Cyanobakterien**.

Speicherstoff: Stärke, körnerförmig, **intraplastidisch**, meist an **Pyrenoiden** gebildet. Selten Fructan (Dasycladophyceae).
Vermehrung: Praktisch alle Arten der vegetativen Vermehrung.
Sexuelle Fortpflanzung: Meist Haplonten mit begeißelten Gameten, aber auch Diplo-Haplonten, selten Diplonten.
Besonderheiten: Manche **Flechtensymbionten** oder **intrazelluläre Symbionten** in niederen Tieren (**„Zoochlorellen“** z.B. in *Hydra, Paramecium bursaria*).

Chlorophyta (Grünalgen) (> 8.000)

Prasinophyceae:

Monadale, capsale oder coccale Algen des Meeresplanktons, mit eigentümlichen Schüppchen auf der Zelloberfläche und 2-4 Geißeln, z.B. *Pedinomonas*, *Pyramimonas* oder *Platymonas convolutae*, die als Endosymbiont in einem marinen Plattwurm lebt.

Ulvophyceae (270)

Codiolales: Monostroma, Ulothrix
Ulvales: Enteromorpha, Ulva
Acrosiphonales: Urospora

Trebouxiophyceae: Trebouxia

Luftalgen und Symbionten von Flechten. Coccale oder trichale Organisationsform.

Cladophorophyceae (> 400)

Ausschließlich siphonale Algen (Schlauchalgen). Thalli unverzweigt oder verzweigt.
Cladophorales: Cladophora, Valonia
Vielzellige, vielkernige Algen, oft stark verzweigt. Cladophora vermehrt sich teilweise nur vegetativ.

Bryopsidophyceae (150)

Besonders in warmen Meeren vorkommende siphonale Algen. Zellen werden über balkenartige Verstärkungen stabilisiert.
Bryopsidales: Bryopsis, Derbesia (= Halicystis)
Halimedales: Caulerpa, Codium, Halimeda

Dasycladophyceae (50): Acetabularia, Dasycladus

Siphonale, im Gegensatz zur vorigen Gruppe radiärsymmetrische Algen, z.T. mit haarartigen Forsätzen. *Acetabularia* ist ein wichtiges Untersuchungsobjekt in der Zellbiologie, zur Bedeutgung und Funktion des Cytoskeletts.

Trentepohliophyceae: Trentepohlia

Luftalgen auf Rinde, Mauern und Felsen mit heterotrichen Thalli (kriechende und aufrechtäe Fäden). In der Zellwand kann Sporopollenin vorkommen.

Chlorophyceae (Grünalgen i.e.S.) (2.700)

Volvocales: Chlamydomonas, Eudorina, Gonium, Haematococcus, Palmella, Pandorina, Pleodorina, Sphaerocystis, Tetraspora, Volvox
Einzeller oder Kolonien bildende begeißelte Algen. Die komplexeste Form bildet *Volvox* mit Zelldifferenzierung und Polarität der Kolonie (bis 16.000 Zellen). Zellen mit

Plasmodesmen untereinander verbunden, daher eher ein Individuum als ein Kolonie. Nicht alle Zellen sind teilungsfähig, der größte Teil stirbt nach Bildung und Freisetzung der Tochterkugeln ab, daher erste „Leiche“ im Pflanzenreich.

Chlorococcales: Chlorella, Hydrodiction, Pediastrum, Scenedesmus
Unbewegliche Einzeller oder kleine Kolonien bildende Algen, meist im Plankton des Süßwassers. Gelegentlich eipphytisch, auf Steinen oder Boden lebende Luftalgen.
Chaetophorales: Chaetophora, Draparnaldia, Stigeoclonium, Fritschiella
Heterotriche Algen, gewöhlich am Substrat verankert. Mit aufrechten stark verzweigten aufrechten Fäden, die die Reproduktionsorgane tragen. *Fritschiella* ist eine Bodenalge, die aufrechte verzeigte Fäden in den Luftraum hinein bildet.
Oedogoniales: Oedogonium, Pleurococcus
Vermehrung: Vegetativ über Teilung oder Thallusfragmentation, ungeschlechtlich über Zoosporen oder unbewegliche Aplanosporen.
Sexuelle Fortpflanzung: Meist Haplonten mit zygotischem Kernphasenwechsel. Alle Fortpflanzungstypen von Haplonten über Diplo-Haplonten mit meist isomorphem, selten heteromorphem Generationswechsel bis zu Diplonten mit gametischem Kernphasenwechsel (Siphonales). Progression von Iso- über Aniso- und Oogamie bis Gametangiogamie.

Streptophyta

Mesostigmatophyceae: *Mesostigma*

Zygnematophyceae (Jochalgen) (5.000): *Closterium, Cosmarium, Eucastrum, Micrasterias, Mougeotia, Spirogyra, Staurastrum, Zygnema*

Coccale oder trichale reine Haplonten, ohne begeißelte Stadien, Vermehrung durch Jochbildung, bei der zwei Protoplasten miteinander verschmelzen. Zygote keimt unter Meiose, teils nach längerer Ruhephase.

Klebsormidiophyceae: *Coleochaete*

Trichale Algen, verzweigt oder unverzweigt, im Süßwasser oder an luftfeuchten Standorten. Gegliedert in Sohle und aufrechte Fäden. Zusammen mit den folgenden Charophyceen den Landpflanzen am nächsten verwandt.

Charophyceae (Armleuchteralgen): *Chara, Nitella*

Hoch entwickelte Grünalgen in Süß- und Brackwasser, z.T. Unterwasserwiesen bildend. Zellwände sind mit Kalk inkrustiert wodurch sie rauh und spröde wirken. Sie gehören zu den wirchtigsten Kalktuffbildnern. Wachstum erfolgt durch einschneidige Scheitelzellen, die abwechselnd lange Internodein- und kurze Nodienzellen abgliedert. Interndienzellen können mehrere Zentimeter lang werden. An den Knotenzellen entstehen Seitenäste und rindenzellen, die die internodienzellen bei *Chara* wie ein Mantel umgeben. *Nitella* und anderen Gattungen fehlt diese Rinde. Die Pflanzen sind mit farblosen Rhizoiden im Boden verankert.

Chlorarachniophyta

Kleine Abteilung mit nur 2 Gattungen und je eine Art. Sie leben mit siphonalen Meeresalgen als nackte, amöboide Zellen, die in netzartigen Plasmodien verbunden sind. Plastiden von 4 Membranen umgeben, die je ein Nucleomorph umschließen, sie enthalten Chlorophyll a und b und die Thylakoide bilden Stapel von 2-6.

Euglenophyta (Augentierchen) (> 800)

Meist **autotroph**, selten **heterotroph, dann saprophytisch:** *Astasia, Colacium, Euglena, Phacus, Trachelomonas*.
Meist **heterotroph, dann phagotroph:** *Peranema*

Lebensweise: Meist **planktisch** in **eutrophem Süßwasser**, selten terrestrisch od. marin; **auto-, mixo-** oder durch Plastidenverlust **heterotroph**, dann saprophytisch oder phagotroph z.T. mit Cytostom (= Zellmund, z.B. *Peranema*).
Organisationsstufe: Nackte, einzellige Flagellaten („monadale Organisationsstufe").
Cytologie: Keine Zellwand (keine Cellulose), nur feste, protoplasmatische Hülle (**„Pellicula"**) innerhalb des Plasmalemmas aus Proteinen, **pulsierende Vakuole** (Osmoregulation). An Basis der **Ampulle** entspringen **1 lange**, hervortretende und **1 kurze**, mit dieser verschmelzenden Geißel (9+2-Struktur/Zuggeißel). Am Verschmelzungspunkt liegt ein **lichtempfindlicher Photorezeptor**. Schattenwurf eines Stigmas (= **„Augenfleck"**) aus membranumhüllten Lipidtropfen (Carotinoide) auf Photorezeptor ermöglicht eine **Lichtorientierung**. Bei ungünstigen Bedingungen Abwurf der Geißeln und Bildung einer Gallerthülle.
Photosynthetische Pigmente: Chl a und b, β-Carotin, Lutein (ähnlich Chlorophyta) und ein bei Pflanzen sonst unbekanntes Xanthophyll.
Chromatophoren (= Chloroplasten): Von **3 Membranen** umhüllt: **Abstammung** vermutlich von **eukaryotischen Endosymbionten**, evtl. Grünalgen Vorfahren oder deren Plastiden (**sekundäre Endosymbiose**).
Speicherstoff: Paramylon (β-1,3-Glucan; körnerförmig im Protoplasma), **Öle**.
Fortpflanzung: Vermutlich reine **Haplonten**, Vermehrung durch **Teilung, Sexualität unbekannt.**
Besonderheiten: *Euglena* im Dunkeln bei Kohlenhydratzugabe kultivierbar, dabei reversibler Verlust von Chlorophyll oder durch Mutation irreversibler Plastidenverlust (**Transformation von Pflanze in Tier**).

Bryophytina, Moose

Ökologie der Moose

- Landpflanzen, deren geschlechtliche Vermehrung an Wasser gebunden ist, da begeißelte Spermatozoiden gebildet werden.
- oft kleine Pflanzen, die aber vielfach große Polster bilden können
- sie sind sehr anpassungsfähig, können extremen klimatischen Bedingungen trotzen (bis 70° C auf dem Boden und im Experiment bis 110° C), da sie austrocknungstolerant sind (poikilohydrisch), bei *Tortula muralis* bis 14 Jahre!
- unter geeigneten Bedingungen warten sie mit großen Artenzahlen und hoher Biomasse auf, z.B. in feuchtkühlen und warmen Regenwälder, insbesondere in den Höhenstufen
- zahlreiche epiphytische Arten, die für den Wasserhaushalt von tropischen Wäldern von großer Bedeutung sind
- Torfmoose als Torfbildner sind von globaler Bedeutung für das Klima.

Morphologie und Anatomie der Moose

- Es sind keine Kormophyten, Laubmoose haben aber oft eine den Kormophyten ähnlich gegliederten Thallus mit Rhizoiden, Stämmchen und Blättchen
- bei etlichen Laubmoosen finden sich erste Ansätze zu Leitgeweben (Hydroiden und Leptoiden)
- Ausbildung einer Cuticula als Anpassung an das Landleben, diese hat aber keine große Bedeutung als Austrocknungsschutz
- Geschlechtszellen werden von Hüllen umgeben, den Antheridien und Archegonien
- Sporen besitzen Wände aus Sporopollenin

Vermehrung

- vegetativ durch Fragmentierung oder über Brutkörper
- oder in Form eines heterophasischen, heteromorphen Generationswechsels

Generationswechsel der Moose

- Bei den Moosen stellt die gametophytische Phase die dominante Lebensform dar.
- Die Spore keimt zum fädigen Protonema aus, an dem Brutknospen gebildet werden, aus denen dann erst der eigentliche Gametophyt auswächst.
- auf dem Gametophyten enstehen die Gametangien (Antheridien, Archegonien)
- die Befruchtung erfolgt durch begeißelte Spermatozoiden, die in den kugeligen Antheridien gebildet werden
- die Archegonien bestehen aus einer basalen Eizelle, der Bauchkanalzelle und den darüberliegenden Halskanalzellen. Die letzteren verschleimen und geben den Weg für die Spermatozoiden frei. Letztere schwimmen in einem Wasserfilm, chemisch angelockt, zu den Archegonien.
- befruchtete Eizelle wächst zum Sporophyt aus, der zeitlebens auf dem Gametophten parasitierend lebt. Er wird über eine sogenannte „Plazenta“ ernährt.

Gliederung der Moose

Die Moose gehören zu den phylogenetisch ältesten Landpflanzen und sind wahrschienlich im oberen Silur oder unteren Devon entstanden. Die Stellung der drei Hauptgruppen zueinander ist aber bisher nicht abschließend geklärt.

Anthocerotopsida: Hornmoose

aufgrund ihrer Merkmale sehr eigenständige Gruppe, deren phylogenetische Einordnung noch stark diskutiert wird. Einige morphologische Merkmale trennen sie deutlich von den morphologisch ähnlichen Lebermoosen ab. Beherbergen symobiontische Blaualgen der Gattung *Nostoc*.

- Keine Ölkörper vorhanden
- nur ein Chloroplast pro Zelle, wie bei Algen mit Pyrenoiden
- außergewöhlicher Sporophyt der durch basales Meristem wächst und an der Spitze durch Öffnen zweier Klappen die Sporen entläßt
- Hapteren mit anderer Entstehung
- Spaltöffnungen auf Gametophyten und Sporophyten

Marchantiopsida:Lebermoose

Sphaerocarpales

- eigenständige Gruppe, wichtiges Objekt der Genetik, bei Sphaerocarpus wurde erstmals ein Geschlechtschromosom bei Pflanzen nachgewiesen.
- rosettenbildende Bodenmoose (*Spherocarpus*) oder im Wasser lebende geflügelte Achsen (*Riella*)

Marchantiales

- hochdifferenzierter Thallus mit bis zu 30 Zellagen Dicke
- Atemporen zum Gasaustausch
- Brutbecher mit Brutkörpern
- Spezielle männliche und weibliche Gametangiophoren
- Kapseln mit Sporen und Elateren
- Gabelig verzweigte Thalli
- wichtigste Gattungen *Marchantia*, *Lunularia*, *Riccia*, *Ricciocarpus*

Jungermanniopsida

Metzgeriales

- einfache thallöse Lebermoose
- Archegonien auf dem Thallus oder an kurzen Seitenästen umgeben von Perichaetial-blättern.

Jungermanniales (ca. 9000 Arten)

- foliose Lebermoose, Blätter überdecken sich und sind sehr vielgestaltig.
- Archegonien endständig, von drei Blättern umgeben (Perianth).

Bryopsida: Laubmoose

Sphagnidae

- ökologisch extrem wichtig, Moore bedecken ca 1% der Erdoberfläche, eine Fläche größer als Europa und binden ca. 400 Gigatonnen Torf.
- Besondere Thallusstruktur aus toten luftgefüllten Hyalocyten und chlorophyllhaltigen Chlorocyten. Speichern in Hyalocyten bis zum 23-fachen des Eigengewichtes an Wasser.
- Säuern durch Protonenfreisetzung Wasser an, bis pH 3,5
- Kapseln auf Kapselträger des Gametophyten, ziehen sich beim Trockenen zusammen, schleudern durch etwa 5 bar Überdruck Deckel ab und Sporen bis 20 cm hoch aus

Andraeidae

- Nur drei Gattungen arktischer oder hochalpiner Moose auf Silikatfelsen
- Kapsel öffnet sich im Trockenen durch Zusammenziehen mit 4 Längsrissen und bleibt an der Spitze verbunden.

- im Feuchten schließt sich die Kapsel wieder.

Bryidae

- Artenreichste Untergruppe der Moose
- Gliederung noch nicht entgültig sicher
    - Polytrichales
    - Dicranales
    - Fissidentales
    - Pottiales
    - Grimmiales
    - Bartramiales
    - Funariales
    - Bryales
    - Neckerales
    - Hookeriales
    - Hypnales
    - Buxbaumiales
    - Tetraphidales
    - Schistostegales

Nutzung

- wie Flechten, dienen auch Moose als Bioindikatoren
- viele sekundäre Pflanzenstoffe werden untersucht, z.T. schon als Pflanzenschutzmittel angewendet.

Pteridophyten, Farngewächse

Allgemeines

- Alte Gruppe, die zu den ersten Landpflanzen gehört
- Fossil bis ins Devon (Silur?) nachweisbar.
- Wahrscheinlich aus Psilophyten hervorgegangen

Link zur Phylogenie in „Tree of Life“.
http://www.amjbot.org/content/vol91/issue10/images/large/abot-91-09-08-f03.jpeg

Morphologie der Farne

- Kormophyten mit Gliederung in Wurzel, Blatt und Sproß. Der Sporophyt ist die dominierende Generation
- Alle Organe sind durch den Besitz von Leitbündeln gekennzeichnet, deren Gestaltung unterschiedlich sein kann (z.B. unterschiedliche Stelentypen im Sproß).
- Lignin kommt sowohl in Leitgewebe, als auch außerhalb der Leitbündel vor.
- Die Befruchtung ist, wie bei den Moosen an Wasser gebunden und findet durch begeißelte Spermatozoiden statt.
- Der junge Sporophyt wird zunächst durch den Gametophyt ernährt, wird aber bald unabhängig und wächst zu einer kräftigen Pflanze heran. Alle Teile sind von einer Cuticula überzogen und mit Spaltöffnungen versehen.
- Das Wachstum erfolgt durch Scheitelzellen an je einem Sproß-, Blatt- und Wurzelscheitel. Die Wurzeln entstehen aber alle endogen, als sproßbürtige Wurzeln (primäre Homorrhizie).
- Verzweigung ist möglich, aber nie in den Achseln eines Blattes, wie bei den folgenden Samenpflanzen.
- Wurzeln bilden dichten Filz, bei Baumfarnen tragen sie maßgeblich zur Stammbildung bei.

Allgemeiner Generationswechsel der Farne

- immer noch zwei unabhängige Generationen mit dominantem Sporophyt.
- Gametophyt (**Prothallium**) klein (meist nur Daumennagelgröße), teilweise ohne Chlorophyll und von einem Pilz abhängig (Lycopodiales). Oft auf wenige Wochen Lebenszeit beschränkt, teilweise jedoch bis zu 20 Jahre alt werdend (Lycopodiales). Bei den Selaginellales die Sporenhülle nicht verlassend.
- im Aussehen oft unregelmäßig gestaltet, bei echten Farnen an ein thalloses Lebermoos erinnernd und mit Rhizoiden am Boden befestigt.
- Auf der Unterseite oder über den Thallus verteilt entstehen Antheridien und Archegonien. Letztere werden teilweise nur bei hinreichend guten Umweltbedingungen gebildet. Spermatozoiden schwimmen im Wasserfilm zu Archegonien. Nach der Befruchtung wächst ein neuer Sporophyt heran.
- Auf den Laubblättern oder speziellen Sporophyllen werden in Sporangien Meisporen gebildet. Die Sporangien sind teilweise in Gruppen zusammengefaßt (**Sori**) und von einem Schleier (**Indusium**) bedeckt. Sporen entweder gleichgestaltet (**isospor**) oder in Mikro- und Megasporen unterschieden (**heterospor**)

Systematische Übersicht über die Farne

Psilophyten

Die ursprünglichste Farngruppe, aus der alle heutigen Arten hervorgingen. Sind im Devon (Silur?) entstanden und mit Ausnahme der Bärlappgewächse auch wieder ausgestorben. Letztere stellen die ürsprünglichste rezente Farngruppe dar und gleichzeitig eine der frühesten Linien der Gefäßpflanzen.

Lycopodiophytina, Lycopodiaopsida, Bärlappgewächse

Lycopodiales: ca. 400 Arten, 9 davon heimisch

- Oft gabelig verzweigte Sprosse mit kleinen schuppenartigen Blättern (**Mikrophylle**).
- Sporangientragende Blätter (**Sporophylle**) sind oft an den Sproßspitzen konzentriert
- Leitgewebe besteht aus einer **Plectostele**.
- Die Sporen sind alle gleichgestaltet (**Isosporie**) und keimen in der Natur oft erst nach 5-7 Jahren aus.
- Der Gametophyt benötigt Mycorrhizapilze zur Ernährung, da er meist chlorophyllfrei ist. Er braucht 10-12 Jahre bis zur Geschlechtgsreife und kann etwa 20 Jahre alt werden.

Ökologie:

- meist weltweit verbreitete am Boden kriechende oder epiphytische Pflanzen mit Schwerpunkt in den Tropen
- *Lycopodium clavatum*, *L. annotinum* heimisch
- *Lycopodiella inundata*, der heimische Sumpfbärlapp
- *Huperzia selgao*
- *Diphasiastrum alpinum, D. complanatum*

Selaginellales: Moosfarne

- kleine immergrüne am Boden kriechende Kräuter, z.T. kletternd oder rosettenbildend.
- Charakteristisch sind je zwei Reihen größerer Oberblätter im Wechsel mit kleineren Unterblättern (**Anisophyllie**). Alle Blätter besitzen an der Basis ein chlorophyllfreies Schüppchen, die **Ligula**, die der raschen Wasseraufahme dient.
- Im Sproß findet sich entweder eine einfache **Proto-** oder **Aktinostele**.
- Die Sporen sind unterschiedlich groß (**Heterosporie**) und entstehen an einem Sporophyllstand. Typischerweise unten die großen weiblichen Megasporen und darüber die kleineren männlichen Mikrosporen
- Die Mikrosporen bilden einen stark reduzierten Gametophyten, der aus einem Antheridium und wenigen Begleitzellen besteht, die Sporenhülle nicht mehr verläßt und nur noch begeißelte Spermatozoiden freisetzt.
- Die Megasporen bilden ein Megaprothallium mit wenigen Archegonien, das ebenfalls in der Sporenhülle eingeschlossen bleibt. Letzte reißt nur noch auf, um die Befruchtung zu erlauben.

Ökologie:

- Die meisten Arten leben als Bodendecker oder Epiphyten in tropischen Regenwäldern.
- Die heimische *Selaginella selaginoides* unter feuchten Felsen im Gebirge
- *Selaginella lepidophylla* ist an Trockenheit angepaßt und poikilohydrisch („Falsche Rose von Jericho“)

Isoëtales: Brachsenkräuter

- Brachsenkräuter besitzen eine Blattrosette aus langen schmalen Blättern, die an der Oberseite der Basis eine Vertiefung (**Fovea**) besitzen. Innerhalb der Fovea befinden sich bei den äußeren Blättern die Sporangien. Wiederum die äußeren Blätter enthalten Megasporangien, die Inneren Mikrosporangien.
- Die Wurzeln sind dichotom verzweigt und entspringen 2-3 Längsfurchen am Sproß.

Ökologie

- überwiegend wasserlebende Stauden. In der Regel auf oligotrophe Standorte angewiesen; in Mitteleuropa am Grunde von Gebirgsseen, schon im Mittelmeergebiet und vor allem in den Tropen auch Landformen
- morphologisch mit baumförmigen Arten des frühen Mesophytikums wie *Pleuromeia* verknüpft, die sich von den karbonischen Siegelbäumen ableiten lassen.
- wichtige Arten: *Isoetes lacustris, I. hystrix*.

Psilotophytina, Gabelblattgewächse

Plilotales, (2 Gattungen, 4 Arten)

- Gabelig (dichasial) verzweigte Sprosse ohne Wurzeln, mit schuppenartigen Blättern.
- Sproß mit einfacher Aktinostele
- 3 seitenständige Sporangien zu Synangien verwachsen.
- Gametophyt walzenförmig, verzweigt und mit Ansätzen von Leitgewebe. Farblos mit Hilfe von Mycorrhizapilzen lebend.
- nur zwei Gattungen, tropischen Ursprungs, meist epiphytisch lebend: *Psilotum, Tmesipteris* mit je zwei Arten.

Ophioglossales, etwa 80 Arten

- Wedel mit assimilierenden grünen und einem fertilen gelblichen Teil. Wachstum mit Initialzellen, die einen Vegetationspunkt bilden.
- Sporangien im ausdifferenzierten Zustand mit 2-mehrschichtiger Wand, isospor.
- Zwei Gattungen: Ophioglossum (Natternzunge) und Botrychium (Mondraute), beide mit heimischen Vertretern

Equisetophytina; Equisetopsida, Schachtelhalme

Allgemeines

- Rezent nur eine Gattung (*Equisetum*, Schachtelhalm) mit 15 Arten, kosmopolitisch.
- Größte Mannigfaltigkeit der Gruppe in Form der Calamiten im Karbon. Diese ausgestorbenen Arten konnten bis über 20 m hoch werden und gehörten zu den wichtigsten Vertretern der Steinkohlewälder.

Morphologie

- Kormophyten mit kriechendem, tief im Boden steckendem Erdsproß und davon senkrecht auftstrebenden Luftsprossen. Diese oft auf mehreren Ebenen wirtelig verzweigt.
- Der Sproß ist deutlich in Nodien und Internodien gegliedert. Im Zentrum mit Zentralkanal ---> Hohlrohrkonstruktion, mechanisch sehr stabil.
- Sprosse im Internodialbereich mit **Eustele** (isolierte Leitbündel in ringförmiger Anordnung) in den Knoten **Siphonostele**. In der Rinde **Vallecular**- und innerhalb des Leitbündels **Carinalkanäle**, die durch das Zerreißen des primären Xylems entstehen.

- Blätter wirtelig den Spross umgebend, schuppenartig reduziert (**Mikrophylle**).
- Sporophylle stark umgewandelt, tischchenförmig in dichten endständigen Sporophyll-ständen zusammengefasst (Blüten).
- Sporangienwand mehrschichtig (**eusporangiat**). Sporen (**isospor)** mit hydroskopisch beweglichen Bändern (**Hapteren**), die als Flugorgane und zum Zusammenhalt mehrerer Sporen dienen. Gametophyten meist entweder männlich oder weiblich (bedingt durch Umwelt- oder Ernährungsbedingungen, „physiologische Heterosporie").
- Teilweise Differenzierung in rein assimilierende grüne und rein sporangienbildende chlorophyllfreie Sprosse
- Kieselsäureeinlagerungen in der Epidermis („**Zinnkraut**"), Hyperakkumulation von Mineralen im Spross, z.B. Gold-Zeigerpflanze für Goldvorkommen

wichtige Vertreter:

- *Equisetum arvense* (Ackerschachtelhalm), *Equisetum telmateia* (Riesenschachtelhalm) heimisch, bis 2 m hoch.
- Blüten an assimilierenden Sprossen: *Equisetum hyemale* (Winterschachtelhalm), *Equisetum giganteum* (S-Amerika) bis 15 m hoch

Marratiophytina; Marratiopsida

- sehr ursprüngliche Farngruppe mit Fossilbelegen die ins Karbon zurückreichen
- etwa 200 Arten in tropischen Wäldern
- Angiopteris mit Wedellängen von über 5 m.

Filicophytina, Filicopsida, Leptosporangiate Farne (9.500)

Vorkommen

- Kosmopolitisch mit größter Artenvielfalt in den tropischen Bergwäldern.

Morphologie:

- Echte Kormophyten mit Gliederung in Wurzel, Spross und Blatt
- Die Blätter (**Wedel**) wachsen meist mit Scheitelzellen, und sind im jungen Stadium bischofstabartigdurch vorauseilendes Wachstum der Blattunterseite eingerollt
- sie tragen meist auf der Unterseite Sporangien an besonderen Orten, den **Sori**, die unterschiedlich gestaltet sein können und teilweise von einem Häutchen (**Indusium**) überdeckt sind.
- Sporangien im ausdifferenzierten Zustand einschichtig und weisen meist eine besondere Reihe besonderer Zellen auf, deren Wände ungleichmäßig verdickt sind (**Anulus**). Der Anulus öffnet über Kohäsionskräfte das Sporangium, in dem es die parenchymatischen Wandzellen zerreißt.
- Teilweise sind die Blätter in rein assimilierende (**Trophophylle**) und rein sporulierende Wedel (**Sporophylle**) unterschieden, meist erfüllen sie aber beide Funktionen (Tropho-Sporophylle).
- Bewurzelung grundsätzlich sprossbürtig (**primäre Homorrhizie**).

Vermehrung und Fortpflanzung:

- Vegetativ durch Ausläufer und blattbürtige Sprosse.
- Heteromorpher Generationswechsel. Gametophyt meist als flächiges Prothallium mit Antheridien und Archegonien.

Ökologische Bedeutung:

- **Poikilohydrische** Arten als **Pioniere** auf nacktem Gestein,

- **Epiphyten** in tropischen Feuchtwäldern (Humussammler: Nestfarn, Geweihfarn).

Systematische Übersicht

Die Farnsystematik ist schwierig und wird je nach Autor verschieden gehandhabt. Bei den Leptosporangiatae handelt es sich um eine natürliche Gruppe. Neuere Forschungen zeigen, dass dagegen die Eusporangiatae vermutlich aufgrund zu weniger Gemeinsamkeiten ihrer beiden Gruppen (Ophioglossales und Marattiales) nicht haltbar sind. Blätter können als Tropho- und Sporophylle ausgebildet sein.

- Osmundales: Seit dem Oberkarbon bekannt, Sporangien auf spezifischen Sporophyllen, oder bestimmten Abschnitten der Trophophylle, nicht in Sori und ohne Anulus. Heimischer Vertreter: *Osmunda regalis* in Bruchwäldern.
- Hymenophyllales (Hautfarne): Blätter sehr zart mit oft einschichter Spreite. Angepasst an sehr feuchte schattige Wälder. Heimische Arten stark bedroht.
- Gleicheniales: In den Tropen weit verbreitete Farne mit dichotom gegabelten Wedeln. Seit dem Oberkarbon bekannt.
- Schizaeales: *Lygodium* vermag mit Wedeln lianenartig auf Bäume zu klettern
- Matoniales: Nur noch drei Arten in Malaysia, im Mesozoikum weit verbreitet.
- Cyatheales: Baumfarne mit bis zu 15 (20) m hohen Stämmen aus Blattbasen und Wurzelfilz.
- Polypodiales:
    - Sori auf der Blattunterseite ohne Indusium. Weit verbreitete Ordnung. *Polypodium vulgare*, der einzige heimische Gefäßpflanzenepiphyt, weitere Gattung *Platycerium* (Geweihfarn)
    - Sori an den Blatträndern. Häufigste Art ist der kosmopolitische Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*), daneben *Adiantum*, *Ceratopteris* (Schwimmfarn), *Cheilanthes* oder *Notholaena*.
    - weitere heimische Gattungen: Wurmfarn (*Drypteris filix-mas*), Frauhenhaarfarn (*Athyrium filix-femina*), der Straußfarn (*Mattheucia struthiopteris*) oder Rippenfarn (*Blechnum spicant*) bei dem in einer Rosette aus grünen Trophophyllen die braunen Sporophylle stehen.

- Slaviniales: (Hydropterides), Wasserfarne
  Kosmopolitische Farngruppe, mit Schwerpunkt in den Tropen. Heterospore Farne mit Sporangien an speziell umgewandelten Blättern.
    - Salviniaceae:
      Salvinia: Schwimmfarne ohne Wurzeln, Je Knoten drei Blätter, davon zwei Schwimmblätter und ein wurzelähnliches Unterwasserblatt. Daran entsehen auch die kugeligen Sporangien. Die Blattoberseite der Schwimmblätter trägt komplizierte Krönchenhaare, die das Blatt unbenetzbar machen und so die Schwimmfähigkeit gewährleisten.
      Azolla: Kleine Wasserfaren mit schuppenartigen Blättern, stark unbenetzbar und auf dem Wasser schwimmend. Lebt in Symbiose mit Blaualgen.
    - Marsileaceaae
      Marsilea: Kleeblattfarne. Mit kriechendem Sproß in feuchtem Substrat oder Wasser wachsend. Sporangien in speziell umgewandelte Blätter eingeschlossen.
      Regnellidium: Monotypische Gattung aus Brasilien, mit reduzierten Fiedern, Pilularia, der Pillenfarn, nur noch aus unverzweigtem Stil bestehend. Seltene heimische Art offener Erde- und Schlammflächen.

Spermatophytina: Samenpflanzen

Großgruppen der Pflanzen

Embryophyten: Moose, Farne und Samenpflanzen
Kormophyten/Tracheophyten: Farne und Samenpflanzen
Samenpflanzen: Gymnospermen (Nacktsamer) und Angiospermen (Bedecktsamer)

Homologieverhältnisse im Generationswechsel zwischen Farnen und Samenpflanzen (heterosporer und heteropmorpher Generationswechsel)

Megasporangium: ⇒ **Nucellus**
enthält meist nur eine
Megasporenmutterzelle: ⇒ **Embryosackmutterzelle**
die bildet nach Meiose 4
Megasporen ⇒ **einkernige Embryosackzellen**
meist entwickelt sich nur eine der Zellen zum
Megagametophyten (weiblicher Gametophyt) ⇒ **Embryosack**
dieser bildet in einer Hülle
Integument
reduzierte Archegonien mit Eizelle, die zusammen mit dem Integument als
Samenanlage
bezeichnet werden.

Im
Mikrosporangium ⇒ **Pollensack**
entstehen
Mikrosporenmutterzellen ⇒ **Pollenkornmutterzellen**
die nach Meiose 4
Mikrosporen ⇒ **einkernige Pollenkörner**
bilden. Der
männliche Gametophyt ⇒ **mehrzelliges Pollenkorn**
entsteht innerhalb der Pollenwand.

Der männliche Gametophyt keimt als Pollenschlauch aus und bildet entweder noch begeißelte Spermatozoiden oder unbegeißelte Spermazellen.
Die befruchtete Eizelle (Zygote), entwickelt sich zum **Embryo** (junger Sporophyt) weiter. Er bleibt im **Integument** eingeschlossen, aus der die Samenschale (**Testa)** hervorgeht. Testa, Embryo und Nährgewebe (**Endosperm**) bilden zusammen den **Samen**. Der Samen löst die Sporen als Ausbreitungs- und Überdauerungseinheit ab.

Die Samenanlagen und Pollensäcke werden von umgewandelten Blättern (**Sporophylle**) gebildet, die fast immer an seitlichen Kurzsprossen mit begrenztem Wachstum entstehen. Man kann daher formal von Blüten sprechen

Blüte: Sproß begrenzten Wachstums besetzt mit Sporophyllen. Die Blüten können sowohl eingeschlechtlich (alle Gymnospermen) als auch zwittrig (die meisten Angiospermen) sein. Gegebenenfalls treten unterschiedliche Hüllorgane auf (z.B. **Brakteen**).

Morphologie

Alle Samenpflanzen sind Kormophyten mit bipolarem Wachstum. Der Embryo besitzt einen Wurzel- und einen Sproßpol, wobei die Hauptwurzel sekundär verloren gehen kann. Es tritt nur axilläre Verzweigung auf.

Gymnospermen

Allgemeines

- Fossil lassen sich Gymnospermen auf die Progymnospermen des Oberen Devons zurückführen, heterospore Farne mit Tracheidenholz: z.B. Archaeopteris, Vorläufer wahrscheinlich Trimerophyta
- Hauptblütezeit im Mesozoikum, heute stark verarmt mit nur noch etwa 800 Arten, aber die größten Wälder der Erde bildend (Sibirien, Nordamerika)
- Weitgehend auf bestimmte Standorte beschränkt, oft an Trockenheit angepasst oder in subarktischen Regionen.

Generationswechsel und Befruchtung

- Stark heteromorpher Generationswechsel, mit extrem reduzierten Gametophyten
- Weiblicher Gametophyt zur Samenanlage reduziert, die den Sporophyten nicht mehr verläßt, Archegonien bestehen nur noch aus Eizelle und zwei Halskanalzellen.
- männlicher Gametophyt zum Pollenkorn reduziert, teilweise noch begeißelte Spermatozoiden freisetzend (Palmfarne, Ginkgo)
- Nach der Bestäubung und Befruchtung, die zeitlich weit auseinanderliegend können, entwickelt sich der junge Sporophyt (**Embryo**) auf der Mutterpflanze und wird zusammen mit Nährgewebe in eine Ausbreitungsstruktur eingebettet ---> **Samen**

Systematik:

Cycadopsida: Palmfarne

Vorkommen

- Überwiegend in der Südhemisphäre (Tropen und Subtropen der Neuen und Alten Welt), rezent nur ca. 100 Arten,
- größte Artenvielfalt im Mesophytikum.

Morphologie

- Meist an Palmen erinnernde, bis 15 m hohe **Schopfbäume** mit **farnartig gefiederten Blättern**.
- Blätter mit ausgeprägt xerophyllem Bau, dicker Cuticula und tief eingesenten Stomata.
- Pflanzen zweihäusig (diözisch). Sporophylle zapfenartig zu Blüten aggregiert, diese endständig, die mit Ausnahme von *Cycas* von einer Seitenknospe überwachsen werden (sympodialer Bau). Bei „weiblichen“ Zapfen von *Cycas* setzt der Sporophyllstand das Wachstum fort (**keine echte Blüte**).
- Megasporophylle bei *Cycas* noch blattartig gefiedert, bei anderen Gattungen (*Zamia, Ceratozamia*) nicht wie Blattorgane aussehend. **Bestäubung** durch **Wind** oder gelegentlich durch **Käfer**.

Vermehrung und Fortpflanzung

- Stark **heteromorpher Generationswechsel**. Samenanlagen häufig auf 2 pro Megasporophyll reduziert, meist mit je 2-6 (bei Microcycas bis zu 100) **Archegonien**, die durch die vom Integument gebildete Mikropyle einen Bestäubungstropfen als Pollen einfangende Einrichtung sezernieren.
- Die Eizellen werden bis zu 6 mm groß.

- Der Pollenschlauch verankert sich mit Haustorium (Saugorgan) im Nucellus. Je eine spermatogene Zelle setzt 2 spiralig begeißelte Spermatozoide frei. Letztere sind mit 400μm Durchmesser die größten im Pflanzenreich.
- Bestäubung und Befruchtung liegen zeitlich weit auseinander (mehrere Monate).
- Reifer Samen mit einer harten inneren (**Sklerotesta**) und fleischigen äußeren Samenschale (**Sarkotesta**), die oft orange oder rot gefärbt ist und der **Tierausbreitung** dient. Bildung von **primärem Endosperm**.

Besonderheiten

- *Cycas*-Blätter als Sargdekoration. Auch „Palmenblätter" in Todesanzeigen sind *Cycas circinalis*.
- *Encephalartos* u.a. liefern Sago-Mehl.

Wichtige Gattungen

- *Ceratozamia* (M-Amerika), *Cycas* (SO-Asien), *Dioon* (Mexiko), *Encephalartos* (Afrika), *Macrozamia* (Australien), *Microcycas* (Kuba), *Stangeria* (Afrika), *Zamia* (M-/S-Amerika).

Ginkgopsida

- Sehr alte Gruppe, sicher bis ins Perm nachweisbar, möglicherweise bis ins Devon.
- Samenanlagen meist zu zweit an nicht blattartigen Stielen
- Staubblätter entstehen entlang der Achse einer kätzchenartigen Blüte.
- Heute nur noch *Ginkgo biloba*, als lebendes Fossil aus China stammend vorhanden.
- Blätter mit ursprünglicher dichotom gegabelter Nervatur.
- Bestäubung und Befruchtung liegen mehrere Monate auseinander. Pollenschläuche verankern sich mit einer Art Haustorium im Nucellus, das andere Ende wächst auf die Archegonien zu und setzt noch begeißelte Spermatozoide frei. Je zwei Spermatozoide gehen aus einer spermatogenen Zelle der männlichen Gametophyten hervor.
- beide Gametophyten noch relativ vielzellig, weiblicher durch Chlorophyll grün gefärbt.
- Samen mit harter innerer Sklerotesta und äußerer fleischiger, intensiv nach Buttersäure stinkender, gelblicher Sarcotesta.

Coniferopsida

- Auf Cordaiten des Mesozoikums bzw. Voltziales des Karbons zurückzuführen
- weibliche Blüten zu Samenschuppen reduziert, mit ihren Tragblättern (Deckschuppen) verwachsen, letztere of kaum erkennbar.
- Bestäubung durch Pollen, keine Spermatozoide ---> Siphonogamie, einer der beiden Spermakerne geht zugrunde und oft wird nur eine Samenanlage befruchtet
- Archegonien stark reduziert
- Entwicklung eines Proembryos, der mehrere Embryonen bildet, von denen aber nur einer überlebt.

Gnetales

- kleine Gruppe hochspezialisierter Gymnospermen, teilweise mit Tracheen und doppelter Befruchtung, daher als nächste Verwandte der Angiospermen diskutiert.

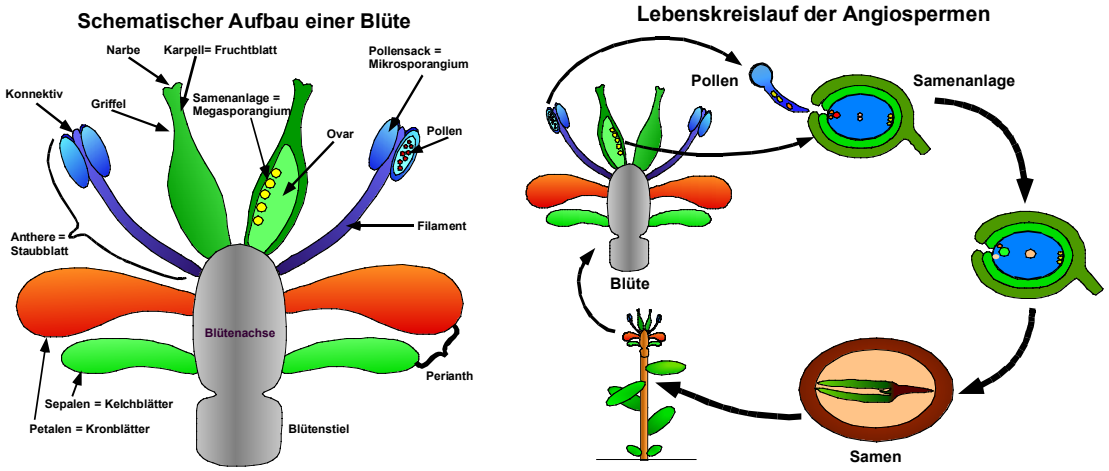
<u>Drei Gattungen</u>

- Gnetum
- Ephedra
- Welwitschia

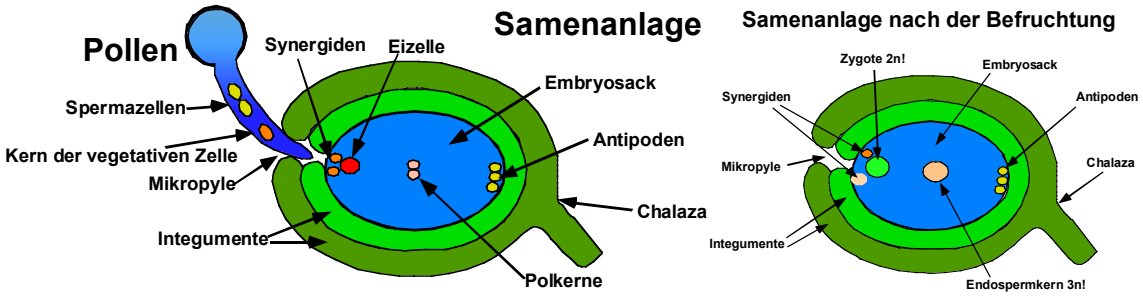
Die bedecktsamigen Pflanzen = Angiospermen

Die Angiospermen stellen die größte und erfolgreichste Pflanzengruppe mit über 250.000 Arten dar, die alle Kontinente besiedeln, bis hin zu der Antarktis mit zwei Arten.
Eine aktuelle Übersicht über die gegenwärtige Gliederung der Angiospermen, sowie Informationen zu Merkmalen und zur Biologie finden sich auf der Internetseite:
www.mobot.org/MOBOT/research/APWeb/

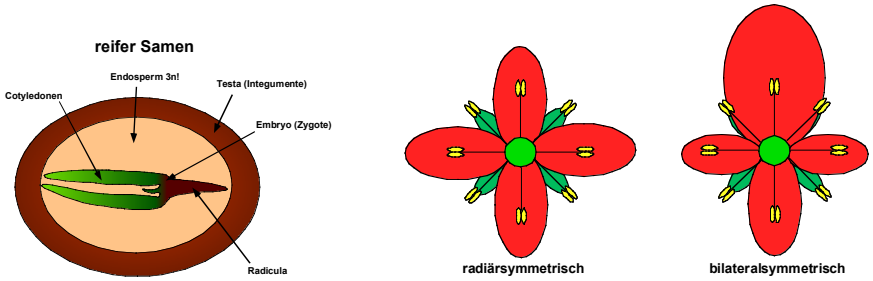
Allgemeine Merkmale:
Es sind überwiegend krautige Pflanzen.
Die Blüten sind zwittrig
Sie besitzen echte Tracheen
Phloem mit Siebröhren und Geleitzellen
Die Samenanlagen sind in Fruchtblätter (**Karpelle**) eingeschlossen ---> Bedecktsamer (**Angiospermen**)
Die „doppelte Befruchtung“
Weiblicher Gametophyt ohne Archegonien, er ist meist auf ein 8-zelliges Gebilde reduziert.



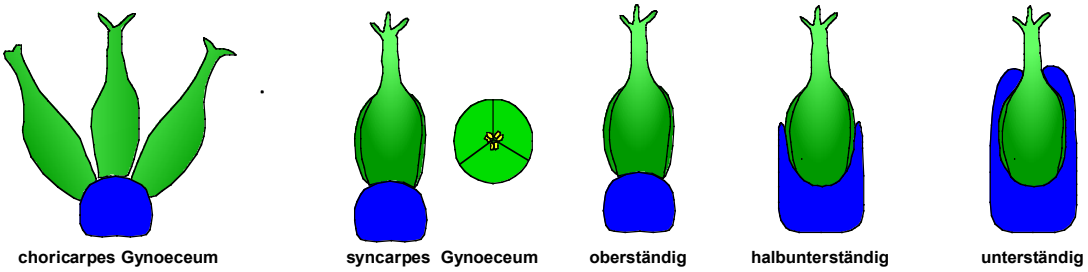
Angiospermen: Blütenaufabau und Lebenskreislauf



Angiospermen: Samenanlage vor und nach der Befruchtung



Angiospermen: Ausdifferenzierter Samen, Blütensymmetrienen



Angiospermen: Fruchtknotentypen und Fruchtknotenstellung

Die Angiospermen stellen die wichtigsten Nutzpfalnzen der Erde dar und damit die Grundlage der Ernährung der Weltbevölkerung.

Was nutzen wir?

1. Ganze Pflanzen
    a. Sprossen von Soja-, Mung- oder anderen Bohnen, Moose wie z.B. Weißmoos oder Torfmoos
2. Einzelne Organe
    a. Wurzeln wie Karotten, Rettich, Topinambur…
    b. Sprosse wie Kohlrabi, Ingwer, Zuckerrohr…
    c. Blätter wie Salate, Wirsing, Quat…
3. Gewebe
    a. Speicherparenchym z.B. Primäre Rinde von Zuckerrübe oder Kartoffel
    b. Holz, z.B. Eiche, Buche, Mahagoni ...
    c. Periderme, z.B. Birkenrinde, Kork
    d. Mark, z.B. Sago, Papyrus
4. Einzelzellen
    a. Fasern, z.B. Blattfasern, Samenfasern, Bastfasern
5. Inhaltstoffe
    a. Harze
    b. Polymere
    c. Ätherische Öle
    d. Alkaloide
    e. Glykoside
    f. Fette, Öle
    g. Zucker
    h. …
6. Blüten
    a. Zierpflanzen
    b. Salate, z.B. Kapuzinerkresse, Gänseblümchen
    c. Gewürze, z.B. Kapern, Gewürznelken, Safran
7. Samen
    a. Überdauerungs- und Ausbreitungsorgane die Embryo und Nährgewebe enthalten. Nährgewebe kann als Endosperm, Perisperm oder in Form der Keimblätter vorliegen.
    b. Der Samen ist lückenlos von der Samenschale (Testa) umgeben.

Fruchttypen

1. Öffnungsfrüchte
    a. z.B: Balgfrüchte, Hülsen, Schoten, Kapseln,
2. Schließfrüchte
    a. Z.B. Nussfrüchte, Beeren, Steinfrüchte, Apfelfrüchte

3. Spaltfrüchte
    a. z.B: Ahorn, Malven, Doppelachänen der Apiaceen, Klausen, Gliederhülsen, Gliederschoten,
4. Sammelfrüchte:
    a. z.B. Sammelbalgfrucht, Sammelsteinfrucht, Sammelnussfrucht
5. Fruchtstände:
    a. z.B. Feigen, Kletten, Apiaceen, Nachtkerzen, Grasähren, Ananas

Basale Ordnungen, basale Angiospermen

Viele Arten besitzen sehr ursprüngliche Blütenmerkmale. So sind die Blütenorgane oft spiralig angeordnet und in ihrer Anzahl nicht festgelegt. Staubblätter bei einigen Arten noch blattartig und Fruchtblätter teilweise noch nicht geschlossen.

Amborellales, Amborellaceae, Amborella trichopoda:

Endemit der Insel Neukaledonien, wird als ursprünglichste Angiosperme angesehen.

Nymphaeales, Nymphaeaceae: Seerosengewächse

Weltweit verbreitete Wasserpflanzen mit sehr ursprünglichen Blütenmerkmalen. Am auffälligsten die Riesenseerose Victoria, deren Blätter bis zu 2,5 m im Durchmesser erreichen und bis 80 kg tragen können. Nach dem Konstruktionsprinzip der Victoriablätter wurden im 19. Jahrhundert Gewächshäuser konstruiert.

Illiciales: Austrobaileyaceae, Schisandraceae, Illiciaceae

Kleine Familien ursprünglicher Holzpflanzen, bei Austrobaileya noch blattartige Staubblätter. Früchte von Illicium anisatum werden als Sternanis zum Würzen verwendet.

Piperales: Piperaceae, Aristolochiaceae, Hydnoraceae

Krautige bis baumförmige Pflanzen. Piperaceae mit etwa 3000 Arten sehr große Familie. Piper nigrum liefert schwarzen Pfeffer, das wichtigste Gewürz weltweit. Aristolochiaceae besitzen sehr hochentwickelte Blüten. Viele imitieren, Aas, Kot oder Pilze. Aristolochia arborea mit perfekter Pilzatrappe, die als Gattung Marasmius identifiziert werden kann. A. grandiflora und Pararistolochia goldieana bilden mit die größten Blüten. Die vollparasitischen Hydnoraceae werden neuerdings zu den Aristolochien gestellt.

Magnoliales: Magnoliaceae, Annonaceae, Myristicaceae

Ursprüngliche holzige Pflanzen, teilweise Wälder bildend.

Wichtige Zierpflanzen mit auffälligen, spiralig organisierten Blüten. Wichtige Gattungen, Magnolia, Liriodendron (Tulpenbaum). Annonaceae sind eine große Familie tropischer Bäume mit durchweg dreizähligen Blüten und einigen interessanten Nutzpflanzen, z.B. Annona cherimoya. Myristica fragrans liefert die Muskatnuß, ein in höheren Dosen giftiges Gewürz. Der Genuss eines Samens ist tödlich.

Laurales, Lauraceae

Große Familie tropischer bis subtropischer Bäume und Sträucher. Auf den kanarischen Inseln ausgedehnte Lorbeerwälder im Stau der Passatwolken. Blüten klein und unscheinbar. Viele Arten durch Inhaltsstoffe aromatisch riechend. Wichtige Nutzpflanzen: Sassafras, Lorbeer, Avocado, Kampfer, Zimt.

Monocotyle: einkeimblättrige Pflanzen

Von den zweikeimblättrigen Pflanzen (Dicotyledoneae) durch eine Reihe von morphologischen, anatomischen und biochemischen Merkmalen klar abgegrenzt.

Acorales, Acoraceae

Kleine an der Basis stehende Familie mit 3 Arten, an Aronstabgewächse erinnernd. Aromatisch riechend, lange Zeit als Bodenstreu in Wohnungen und Kirchen zur Luftverbesserung verwendet.

Alismatales: Butomaceae, Alismataceae, Hydrocharitaceae, Potamogetonaceae, Posidoniaceae, Zosteraceae

Eine kleine Gruppe von überwiegend krautigen Familien, die am oder im Wasser leben. Blüten einfach dreizählig, teilweise stark reduziert und an die Bestäubung im Wasser angepasst. Posidoniaceae und Zosteraceae gehören zu den wenigen Angiospermen, die im Salzwasser leben. Hydrocharitaceae mit komplizierter Bestäubungsbiologie.

Araceae, Lemnaceae

Die Araceae sind eine kosmopolitische Familie von Stauden oder knollenbildenden Geophyten mit Schwerpunkt in den Tropen. Blüten stark reduziert, eingeschlechtlich, an der Blütenstandsachse in Zonen angeordnet und oft von einem Hochblatt (Spatha) umschlossen. Die Blütenstandsachse setzt sich oft in Form eines Kolbens (Spadix) fort und kann sich durch Stärkeverbrennung erwärmen. „Blüten" sind oft unangenehm riechend und von Fliegen bestäubt. In der Gattung Amorphophallus finden sich die größten Blütenstände bei Pflanzen (über 2m!). Die Lemnaceen (Wasserlinsen) stellen stark reduzierte Pflanzen dar, die mit wenigen Wurzeln oder wurzellos auf dem Wasser schwimmen. Wolffia arhizza kleinste Blütenpflanze (ca. 1 mm!)

Arecales: Arecaceae (Palmen)

Die Palmen sind weltweit in den Tropen und Subtropen zu finden, und fehlen in den temperaten Bereichen fast völlig. Die meisten Arten sind baumförmige Organismen, die ausschließlich ein primäres Dickenwachstum aufweisen. An der Spitze des Stamms finden sich die Blätter schopfartig gehäuft. Es handelt sich immer um ganzrandige Blätter, die sekundär durch Zerreißen Fiedern bilden. Wichtige Nutzpflanzen sind die Kokospalme, die Ölpalme, die Dattelpalme, Rotangpalmen, daneben zahlreiche Zierpflanzen, z.B. die Berg- und Kentiapalme. Lodoicea maldivica, die Seychellennuss bildet den größten Samen, mit über 20 kg Gewicht.

Zingiberales: Musaceae, Heliconiaceae, Strelitziaceae, Zingiberaceae, Cannaceae

Die Zingiberales stellen einen Zusammenschluss tropischer Kräuter und Stauden dar, einige wenige davon baumförmig. Beiden Musaceen besteht der Stamm aus Blattscheiden, der Spross tritt nur als Blütenstand in Erscheinung. Viele tropische Sorten liefern Bananen als Obst, von denen nur wenige exportiert werden. Heliconiaceen und Strelitziaceen sind wichtige tropische und subtropische Zierpflanzen, einige werden als Schnittblumen angeboten (Paradiesvogelblume). Der Baum der Reisenden (Ravenala madagascariensis) bildet kräftigen Stamm mit zweizeilig stehenden Blättern. Die Zingiberaceen stellen tropische Rhizomstauden mit kompliziertem Blütenbau dar. Rhizome enthalten aromatische Inhaltstoffe die Ingwer (Zingiber), oder Bestandteile des Currys liefern (Curcuma). Canna gehört zu den wenigen Pflanzen mit asymmetrischen Blüten, deren einzelne Organe alle petaloid gestaltet sind, incl. der Narbe.

Poales: Poaceae (Süßgräser)

Die Poaceae stellen eine der größten (10.000 Arten) und eine der wichtigsten Pflanzenfamilien dar. Die Blüten sind stark reduziert und ihre Organe tragen eigenen Namen (Hüll-, Vor- und Deckspelzen). Die Sprosse sind deutlich in Knoten (Nodien) und hohle Zwischenbereiche (Internodien) gegliedert. Durch die Hohlrohrkonstruktion können Gräser bei kleinen Stammdurchmessern sehr hoch werden (Bambus bis 30m) und sind trotzdem sehr stabil (Gerüste bis 90 m Höhe). Bei Bambus Wachstumsgeschwindigkeiten bis zu 1 m am Tag. Wichtigste Nutzpflanzen: Weidegräser, Zuckerrohr, Getreide (Roggen, Hafer, Weizen, Gerste, Reis, Mais, Hirse). Weizen ist die wichtigste Kulturpflanze weltweit.

Bromeliaceae

Die Bromelien sind eine tropisch-subtropische, amerikanische Pflanzenfamilie, Neben großen terrestrischen Arten (z.B. Puya), finden sich kleine Arten mit stark reduzierten oder fehlenden Wurzeln (Tillandsia). Diese Arten nehmen Wasser und Nährstoffe über spezielle Saugschuppen auf. Die Familie enthält zahlreiche Epiphyten. Die meisten Arten sind hapaxanth, d.h. sie sterben nach der Blüte ab. Wichtige Nutzpflanze: Ananas. Zahlreiche Zierpflanzen: Aechmea, Vriesea, Tillandsia, Guzmania.

Juncaceae (Binsengewächse), Cyperaceae (Sauergräser)

Beide Familien sind schwerpunktmäßig in Feuchtgebieten zu finden und bevorzugen saure bis moorige Standorte. Die Blüten sind klein und unscheinbar (Juncaceae), teilweise stark reduziert oder eingeschlechtlich (Cyperaceae).

Liliales: Liliaceae

Stark verkleinerte Familie von Zwiebelpflanzen mit wichtigen Zierpflanzen: Tulipa, Fritillaria, Lilium, Gagea. Zahlreiche Gattungen der Liliaceen sind aufgrund neuerer Daten aus den Liliaceen ausgeschlossen worden: Bestimmungsbücher in dieser Hinsicht oft fehlerhaft.

Asparagales: Hyacinthaceae, Alliaceae, Amaryllidaceae, Iridaceae, Apsaragaceae, Asphodelaceae, Agavaceae, Orchidaceae

Die Asparagales stellen die größte Ordnung der Monocotylen dar. Sie enthält einige Familien, die aus den Liliaceen hervorgegangen sind. Aus den Hayacinthaceen, Amaryllidaceen und Iridaceen rekrutieren sich wichtige Zierpflanzen wie: Hyacinthus, Muscari, Ornithogalum, Scilla (Hyacinthaceae); Amaryllis, Clivia, Galanthus, Hippeastrum, Leucojum, Narcissus (Amaryllidaceae), Crocus, Fressia, Gladiolus, Iris (Iridaceae). Alle drei Familien haben einen Schwerpunkt im Mittelmeergebiet, sowie in den Trockengebieten des südlichen Afrika und Südamerika.

Asphodelaceae und Agavaceae enthalten ebenfalls wichtige Zierpflanzen stellen aber acuh einen wichtigen Teil der Sukkulentenflora der Trockengebiete Afrikas und Amerikas. In beiden Gebieten sind ähnliche Wuchsformen als Anpassung an ähnliches Klima entstanden. Amerika: Agave, Dasyliron, Furcraea, Yucca; Afrika: Aloe, Haworthia. Nutzung: Sisalhanf aus Agave sisaliana, Tequila aus Agave-Arten.

Die Orchideen stellen die größte Pflanzenfamilie mit etwa 20-25.000 Arten dar. Sehr viele Arten sind tropische Epiphyten. Als Anpassung besitzen Orchideen speziell gestaltete Gewebe in den Wurzeln (Velamen radicum) zur Aufnahme von Wasser und Nährstoffen. Die Blüten sind stark umgestaltet und weisen vielfach eine sehr enge Kopplung zum Bestäuber auf. Die Antheren sind auf zwei oder eines reduziert und mit der Narbe zu einem Gynostemium verwachsen. Alle Pollen sind zu einem Paket zusammengefasst (Pollinium) und werden als ganzes vom Bestäuber mitgenommen. In der Kapsel reifen z.T. mehrere Millionen mikroskopisch kleiner Samen heran. Der Embryo ist stark reduziert, besitzt kein Endosperm und bedarf zur Keimung eines Pilzes, von dem er ernährt wird. Viele Arten sind zeitlebens auf den Pilz zur Unterstützung angewiesen, z.T. chlorophyllfrei auf dem Pilz parasitierend. Nutzung: Vanilla planifolia.

Eudicotyle

Alle Arten sind durch tricolpate Pollen, oder davon abgeleitete Typen gekennzeichnet. Die basalen Linien besitzen monocolpate oder monosulcate Pollen

Ranunculales: Ranunculaceae, Papaveraceae, Berberidaceae,

Die Ranunculales stellen eine ursprünglich Gruppe innerhalb des großen Verwandtschaftskreises der sogenannten eudicotylen Pflanzen dar, die durch tricolpate Pollen charakterisiert sind. Allgemeine Merkmale sind die noch nicht streng festgelegte Anzahl der Blütenorgane, Nektarblätter sowie Alkaloide vom Benzylisochinolin-Typus.

Die Ranunculaceae sind eine Familie die vorwiegend aus krautigen Vertretern besteht. Fast alle Pflanzen sind aufgrund ihrer Alkaloide giftig. Die Blüten sind oft 5-zählig, mit freien Fruchtblättern und teilweise übernehmen Nektarblätter die Schaufunktion. Innerhalb der Familie finden sich viele Zierpflanzen. Wichtige Vertreter sind: Hahnenfuß (Ranunculus), Anemone, Rittersporn (Delphinium), Akelei (Aquilegia), Trollblume (Trollius), Sumpfdotterblume (Caltha), Clematis. Die Papaveraceae bestehen aus einjährigen Kräutern oder Stauden, die durch oft Blüten mit hinfälligen Blütenblättern, zahlreichen Staubgefäßen, sowie verwachsenen Fruchtblättern, die zu einer Kapsel heranreifen, charakterisiert sind. Daneben gibt es Milchröhren, die einen farbigen Milchsaft enthalten, der bei Verletzung austritt. Innerhalb der Familie finden sich zahlreiche Zierpflanzen, wie Mohn (Papaver-Arten), Goldmohn (Eschscholtzia), Tränendes Herz (Dicentra), Lerchensporn (Corydalis) sowie der ökonomisch wichtige Schlafmohn (Papaver somniferum), der Morphinalkaloide enthält. Die Berberidaceae sind eine kleine Familie von Stauden und Sträuchern, die durch ein gelb gefärbtes Holz gekennzeichnet sind. Viele Arten sind durch Alkaloide extrem giftig. Etliche Arten werden als Zierpflanzen verwendet.

Proteales: Proteaceae, Platanaceae, Nelumbonaceae

Die Proteaceae sind eine südhemisphärische Familie von Sträuchern und Bäumen. Ihr Verbreitungsgebiet repräsentiert den ehemaligen Südkontinent Gondwana. Zahlreiche Arten sind an Feuer angepasst (Samen werden erst nach Abbrennen ausgestreut. Wichtige Gattungen: Protea, Leucadendron (Afrika), Banksia, Hakea, Grevillea (Australien), Embotrium (S-Amerika). Nutzpflanze: Macadamia. Die Platanen und die Lotusblume sind untereinander nahe verwandt, obwohl sie äußerlich keine Gemeinsamkeiten aufweisen. An den Blättern von Lotusblumen wurden selbstreinigende Eigenschaften mikrostrukturierter Oberflächen erforscht.

Santalales: Viscaceae, Loranthaceae, Balanophoraceae.

Diese Ordnung in ihrer ursprünglichen Umschreibung enthielt Familien mit einer starken Tendenz zum Parasitismus. Neuere molekulargenetische Untersuchungen haben aber gezeigt, dass die Familien nicht näher miteinander verwandt sind. Die Santalaceae stellen vielfach Bäume und Sträucher dar, die nur auf den Wurzeln ihrer Wirte parasitieren indem Sie Wasser und Nährsalze aus dem Xylem aufnehmen. Viscaceae und Loranthaceae leben auf den Zweigen ihrer Wirte, teilweise stark reduziert, so daß oft nicht viel mehr als die Blüten in Erscheinung treten. Balanophoraceae und Cynomoriaceae sind Vollparasiten im Inneren der Wirte, die kein Chlorophyll mehr besitzen.

Cynomoriaceae; Rafflesiaceae

Die Rafflesiaceae sind ebenfalls Vollparasiten unter denen sich die größte Einzelblüte bei Pflanzen findet (Rafflesia arnoldii). Diese Familie gehört heute zu den Malpighiales in die enge Verwandtschaft der Euphorbiaceae.

Im Mittelmeergebiet findet sich der Cistrosenwürger: Cytinus hypocystis, der nach neueren Untersuchgunen eng mit seinem Wirt den Cistrosen verwandt ist und in die Ordnung Malvales gestellt wurde.

Caryophyllales

Die Caryophyllidae sind eine Gruppe von Pflanzenfamilien, die eine gemeinsame Tendenz auszeichnet: Sie alle wachsen eher auf trockenen, oft nährstoffarmen oder versalzten Böden. Einige Familien sind auf Salzstandorte spezialisiert. Die Anthocyane als typische rote Farbstoffe werden bei vielen Familien durch stickstoffhaltige Betacyanine (Betalainfarbstoffe) ersetzt.

Tamaricaceae, Simmondsiaceae

Die Tamarisken (Tamarix) sind Sträucher oder Bäume mit stark reduzierten Blättern und grünen, Photosynthese treibenden Sprossen. Als Anpassung an salzhaltige Böden besitzen sie Salzdrüsen (Hydathoden), mit denen sie aktiv Salz und andere Ionen abgeben können. Simmondsia chinensis (aus Amerika!) liefert das wertvolle Jojobaöl.

Nepenthaceae, Dioncophyllaceae, Droseraceae

Die Ordnung enthält, mit wenigen Ausnahmen, Pflanzen die auf verschiedene Weise Insekten fangen und verdauen. Die Kannenpflanzen (Nepenthaceae), stammen aus Asien und besitzen zu Kannen umgewandelte Blätter, die eine Verdauungsflüssigkeit enthalten und sehr effektiv Insekten fangen. Die Dioncophyllaceae stammen aus Westafrika, sind in ihrer Jugend carnivor, entwickeln sich zu kleinen Bäumchen, bevor sie im Alter zu Lianen werden. Typisch sind die Blätter mit Doppelhaken an der Spitze. Die Sonnentaue (Droseraceae) besitzen auf ihren Blättern kleine Drüsen, die eine klebrige Flüssigkeit produzieren, an denen Insekten kleben bleiben und die zusätzlich Verdauungsenzyme produzieren. Sonnentaue kommen weltweit vor, mit Schwerpunkt in Westaustralien. Heimische Arten sind z.B. der rundblättrige und der mittlere Sonnentau. Zu der Familie gehört auch die Venusfliegenfalle (Dionea muscipula) und die Wasserfalle (Aldrovanda vesiculosa).

Polygonaceae, Plumbaginaceae

Die Knöterichgewächse bestehen im Wesentlichen aus Stauden, teilweise Sträucher und Lianen. Die Blüten sind dreizählig, oft klein und unscheinbar, selten auffällig. Typisch ist die dreikantige Frucht (Nuss) und die aus Nebenblättern bestehende Blattscheide (Ochrea), sowie der teilweise hohe Gehalt an Oxalsäure (Sauerampfer, Rhabarber!). Wichtige Gattungen sind: Knöterich (Polygonum), Ampfer (Rumex), Rhabarber (Rheum), Buchweizen (Fagopyrum). Etliche Knöterich-Arten stellen hartnäckige Unkräuter dar.

Die Plumbaginaceae sind eine stark an salzhaltige oder schwermetallhaltige Böden angepasste Familie. Sie finden sich oft an Stränden, im Watt oder in Wüstengebieten. Wichtige Vertreter: Grasnelke (Armeria), Statice (Limonium).

Caryophyllaceae, Phytolaccaceae, Amaranthaceae, Aizoaceae, Cactaceae

Die Nelkengewächse (Caryophyllaceae) sind eine große, weltweit verbreitete Familie von Kräutern und Stauden. Enthalten Anthocyanin. Blätter gegenständig, mit paralleler Nerva-

tur und oft ohne Blattstiel. Blütenstand (Infloreszenz) ein Dichasium. „Blütenblätter“ bestehen aus umgewandelten Staubblättern. Wichtige Gattungen: Nelken (Dianthus), Lichtnelken (Silene, Lychnis), darunter viele Zierpflanzen. Die Kermesbeeren (Phytolaccaceae) stammen aus Amerika und sind in allen Teilen durch Akaloide teilweise stark giftig. Sie werden medizinisch genutzt (z.B. gegen Leukämie), dienen als Molluscizide (gegen Schnecken), Phytolacca americana gezielt gegen solche Schnecken, die Billharzioose in sich tragen, die Beeren der gleichen Art dienen als roter Farbstoff für Süßigkeiten oder Wein (Rioja). Die Amaranthaceae sind eine Familie mit Schwerpunkt in trockenen, gestörten und salzigen Habitaten (Salsola, Suaeda). Meist unscheinbare Blüten, wenige auffällige Arten, darunter aber einige Zierpflanzen (Amaranthus, Celosia). Etliche Nutzpflanzen: Spinat (Spinacia), Samen von Amaranthus (Amaranth) und Chenopodium quinoa (Quinoa) gehören zum wertvollsten Getreide durch hohen Gehalt an Aminosäuren. Einige Amaranthus Arten stellen problematische Unkräuter dar. Die Mittagsblumengewächse (Aizoaceae) sind weitgehend auf Südafrikas Trockengebiete beschränkte Sukkulente, wenige Arten sind weit verbreitet (Sesuvium portulacastrum), nur wenige Nutzpflanzen wie der neuseeländische Spinat (Tetragonia). Viele attraktive Sukkulente mit hohem Sammelwert (z.B. lebende Steine) und interessanter Ökologie. Ähnliches läßt sich von den Kakteen sagen. Eine große Familie, die weitgehend auf Amerika beschränkt ist (nur eine Art in Afrika und Madagaskar bis Ceylon). Von kleinen Kugelsukkulenten bis zu großen Säulenkakteen wird ein großes Wuchsformspektrum abgedeckt. Blätter sind nur bei der ursprünglichen Gattung Pereskia vorhanden und rudimentär bei den Feigenkakteen (Opuntia). Alle andere besitzen zu Dornen umgewandelte Blätter. Beliebte Zierpflanzen wie z.B. Weihnachts- und Osterkaktus (Schlumbergera) oder die „Königin der Nacht“ (Selenicereus). In einige Ländern wird „Holz“ der Kakteen zum Bauen oder als Instrument (Rainstick) verwendet.

Saxifragales: Saxifragaceae, Crassulaceae, Hamamelidaceae, Paeoniaceae

Die Saxifragaceae repräsentieren etwa 500 Arten von Stauden, Sträuchern oder teilweise sukkulenten Rosettenpflanzen. Viele Arten sind beliebte Zierpflanzen, vor allem Astilbe, Bergenia, Heuchera oder Saxifraga. Die Crassulaceae umfassen etwa 1500 Arten, vorwiegend blattsukkulenter Stauden mit Schwerpunkt in den Trockengebieten der Welt, besonders Südafrika. Nach der Familie ist der Crassulaceen-Säure-Metabolismus (CAM), eine spezielle Form der Photosynthese, benannt. Die Hamamelidaceae (Zaubernussgewächse) sind beliebte Ziersträucher und stammen sowohl aus den süd-östlichen USA als auch aus dem südöstlichen Asien, wo sie die Eiszeiten überlebt haben. Die Paeoniaceae sind vorwiegend temperate Stauden oder Sträucher mit großen, auffälligen Blüten.

Rosidae

Geraniales: Geraniaceae

Die Geraniaceen sind vorwiegend Stauden der gemäßigten Breiten mit großen oft rötlichen Blüten (insbesondere Geranium, Erodium). Wenige Arten tropisch, besonders südliches Afrika (Pelargonium). Einige stammsukkulente Arten (Sarcocaulon). Viele Pelargonien mit aromatischen Ölen in Drüsenköpfchen (Duftgeranien). Die „Geranien“ der Balkonkästen stammen aus Südafrika und gehören ebenfalls zur Gattung Pelargonium.

Myrtales: Myrtaceae, Melastomataceae, Onagraceae

Die gesamte Ordnung besteht meist aus Sträuchern oder Bäumen und weist eine Tendenz zur Ausbildung eines Hypanthiums auf, d.h. Blütenblätter und Antheren sind zu einer Röhre verwachsen, sodass der Fruchtknoten tief unterständig ist. Die größte Gattung ist Eucalyptus mit etwa 800 Arten. Sie ist praktisch auf Australien beschränkt und stellt mit E. regnans eine der größten Baumarten (bis über 130 m). Bei den vielen Myrtaceen treten die Blütenblätter in den Hintergrund und die Staubblätter übernehmen die Schaufunktion. Viele Arten enthalten ätherische Öle und werden vielfach genutzt: Eucalyptusöl, Teebaumöl (Melaleuca), Myrte (Myrtus communis). Die Familie der Melastomataceen umasst ebenfalls über 4000 Arten, vorwiegend tropischen Ursprungs, mit Schwerpunkt in Südamerika. Meist Sträucher oder Bäume mit auffälligen Blüten, deren charakteristisches Merkmal die geknickten Antheren sind. Die Onagraceae stellen vorwiegend Kräuter und Stauden dar. Heimische Vertreter sind die Weidenröschen (Epilobium), eingebürgert die aus den USA stammenden Nachtkerzen (Oenothera), die lange Zeit Hauptuntersuchungsobjekte der Pflanzengenetik waren. Die mittel- und südamerikanische Gattung Fuchsia enthält viele wichtige Zierpflanzen.

Brassicales: Brassicaceae

Die Ordnung der Capparales ist durch den Besitz von Glycosinulaten (Senfölglycoside) und dem Enzym Myrosinase gekennzeichnet. Dadurch schmecken viele Arten scharf, insbesondere Vertreter der Brassicaceae. Die Familie hat vierzählige Blüten, mit sechs Staubblättern und der charakteristischen Schote als Frucht. Zahlreiche Zierpflanzen (Goldlack, Schleifenblume, Judassilber, Blaukissen) und Nutzpflanzen (Kohl, Senf, Raps, Färberwaid). Das Genom von Arabidopsis thaliana, dem wichtigsten Untersuchungsobjekt der aktuellen Pflanzenmolekulargenetik, wurde 2001 vollständig sequenziert.

Sapindales: Burseraceae, Anacardiaceae, Rutaceae, Sapindaceae

Die gesamte Ordnung zeichnet sich durch den Besitz von aromatischen Harzen oder ätherischen Ölen aus. Die kleine Familie der Burseraceae ist in den Trockengebieten Amerikas,

Afrikas und Arabiens beheimatet und durch Harzkanäle gekennzeichnet. Die Gattungen Commiphora und Boswellia liefern Myrrhe und Weihrauch, die teilweise mit Gold aufgewogen wurden. Die Anacardiaceae umfassen etwa 800 Arten kleiner Bäume. Lianen und Sträucher. Die Harze können allergische Reaktionen bis zum anaphylaktischen Schock hervorrufen (poisen ivy, Giftsumach). Daher kann der Genuss von Mango bei empfindlichen Personen Probleme bereiten. Weitere Nutzpflanzen sind Pfefferbaum, (Schinus molle), Cashew (Anacardium occidentale) oder Pistazien (Pistacia vera). Die Rutaceen enthalten ätherische Öle in ihren Blättern, die teilweise entzündlich sind (Diptam). Wichtige Nutzpflanzen aus der Gattung Citrus (Apfelsinen, Zitronen, Pampelmusen etc.). Die Sapindaceae enthalten wichtige Baumarten, die als Nutzhölzer oder Zierpflanzen große Bedeutung haben: Ahorn (Acer), Rosskastanie (Aesculus). Daneben den obstliefernden Baum Litchi sinensis (Litschi).

Malvales: Malvaceae, Tiliaceae, Bombacaceae, Sterculiaceae

Die Malvales sind eine Gruppe von Familien mit Schwerpunkt in den Tropen. In den temperaten Gebieten eher einjährige Kräuter oder Stauden (Malva, Lavatera), sind die Malvaceae in den Tropen meist Sträucher oder Bäume (Hibiscus, Abutilon). Wichtige Nutzpflanze: Gossypium herbaceum (Baumwolle). Die Tiliaceae sind überwiegend Bäume der Tropen, nur wenige temperate Vertreter, wie die Linden (Tilia). Die Gattung Corchorus liefert die Fasern für Jute (Phloemfasern). Die Bombacaceae sind große Bäume mit oft mächtigen Stämmen, die aus sehr leichtem Holz bestehen. Zu Ihnen gehört der Affenbrotbaum (Adansonia), Kapok (Ceiba) oder der Balsaholzbaum (Ochroma). Charakteristisch sind die großen fledermausbestäubten Blüten. Die Sterculiaceae sind vorwiegend tropische Bäume wobei zwei als Nutzpflanzen große Bedeutung haben: Cola acuminata (Kolanuss) und Theobroma cacao (Kakao).

Malpighiales: Euphorbiaceae

Die Wolfsmilchgewächse (Euphorbiaceae) umfassen etwa 8000 Arten, die durch reduzierte oft eingeschlechtliche Blüten und teilweise durch einen oftmals hochgiftigen Milchsaft gekennzeichnet sind. Viele Kräuter und Stauden, einige Sträucher, wenige Bäume. Insbesondere in Afrika zahlreiche sukkulente Arten in den Wüsten. Wichtige Nutzpflanzen: Weihnachtsstern (E. pulcherrima), Rizinus, Maniok (Manihot esculenta) und Kautschuk (Hevea brasiliensis). In die enge Verwandtschaft der Euphorbiaceen gehören die vollparasitischen Rafflesiaceae (siehe Santalales)

Fabales: Fabaceae

Die Leguminosen gehören mit etwa 18000 Arten zu den größten Pflanzenfamilien. Sie sind ökologisch außerordentlich wichtig, da sie durch die Symbiose mit stickstoffixierenden Bakterien der Gattung Rhizobium sehr schlechte Böden besiedeln können und oft zur Bodenverbesserung beitragen (Gründüngung). Die Samen enthalten kein Endosperm, sondern speichern Nährstoffe in den Keimblättern des Embryos. Viele Arten enthalten viel Protein (Soja), Fett (Erdnuss) und zählen damit zu den wichtigsten Futterpflanzen (Klee, Luzerne, Lupine) und Nahrungsmittellieferanten (Erbsen, Bohnen, Linsen, Kichererbsen, Süßholz etc.). Neben Kräutern und Stauden gibt es zahlreiche baumförmige Arten (z.B. Akazien, Robinien).

Rosales: Rosaceae, Moraceae

Die Rosaceen sind eine vorwiegend temperate Pflanzenfamilie mit etwa 2800 Arten. Die überwiegende Zahl der Arten sind Bäume und Sträucher. Zu ihnen gehören Nutzpflanzen, die zu den wichtigsten Obstlieferanten gehören: Apfel, Birne, Quitte, Kirsche, Pflaume,

Mandel, Aprikose, Erd-, Brom-, Himbeere. In den tropischen Hochgebirgen stellen Rosaceen teilweise die Waldgrenze (Polylepis in Amerika, Hagenia in Afrika). Die Moraceen sind vorwiegend tropisch warm verbreitet, wobei von den etwa 110 Arten annähernd 800 auf die Gattung Ficus entfallen. Letztere stellt wichtige Baumarten der Regenwälder dar, die teilweise als Würgefeigen beginnen. Wichtige Nutzpflanzen sind die Feige (Ficus carica), die Maulbeere (Morus alba, M. nigra, Futterpflanze der Seidenraupe) und der Brotfruchtbaum (Artocarpus altilis).

Fagales: Fagaceae, Betulaceae

Aus den Fagaceen und Betulaceen rekrutieren sich die wichtigsten heimischen Waldbaumarten. Die Blüten sind bei beiden Familien stark reduziert und eingeschlechtlich. Im Fall der Männlichen liegen Kätzchen vor, die weiblichen Blüten sind meist kaum zu erkennen und bestehen nur noch aus dem Fruchtknoten, der bei den Fagaceen während der Fruchtreife von einem Achsenbecher (Cupula) umwachsen wird. Die wichtigsten Vertreter der Fagaceen sind: Buchen (Fagus), Eichen (Quercus), Kastanien (Castanea). Bei den Betulaceen sind Birke (Betula), Hainbuche (Carpinus), Erle (Alnus) und Haselnuß (Corylus) zu nennen.

Asteridae

Ericales: Primulaceae, Theaceae, Sarraceniaceae, Ericaceae

Die Ericales stellen eine Ordnung heterogene Ordnung dar, die etwa 9500 Arten umfasst. Die Primulaceae sind vorwiegend Kräuter und Stauden, die in der heimischen Antur in den Alpen am artenreichsten sind. Viele zählen zu den Frühjahrsblühern und stellen beliebte Zierpflanzen dar. Charakteristische Merkmale sind die oft röhrenförmigen Blüten und eine Deckelkapsel. Die Familie ist weltweit verbreitet mit Schwerpunkt in den nordisch temperaten Gebieten und umfasst etwa 1000 Arten aus den Gattungen Primula, Androsace, Dodecatheon, Cyclamen, Hottonia. Die Theaceae sind meist tropische oder subtropische Holzpflanzen mit oft großen auffälligen Blüten. Charakteristisch sind die stark vermehrten Staubgefäße. Wichtig ist die Gattung Camellia, die sowohl den Teestrauch (C. sinensis) als auch die Kamelie (C. japonica) enthält. Die Kultur und Zucht der Kamelien hat in Dresden eine lange Tradition. Die Sarraceniaceen stellen eine kleine Familie insektenfangender Schlauchblattpflanzen dar. Sie sind mit drei Gattungen und 15 Arten auf Amerika beschränkt. Sarracenia und Darlingtonia stammen aus den USA, Heliamphora aus Südamerika. Die Ericaceen sind in der Regel Sträucher und teilweise Bäume. Kennzeichnend ist die Abhängigkeit von Mycorrhizzapilzen, die bis zum Parasitismus (Monotropa, Fichtenspargel) führt. Die Blüten sind in der Regel krugförmig gestaltet. Viele Arten stellen beliebte Zierpflanzen dar (z.B. Rhododenron, Erica, Calluna), einige liefern Obst (z.B. Vaccinium-Arten, Heidelbeere, Preiselbeere, Moosbeere).

Gentianales: Gentianaceae, Apocynaceae

In der Ordnung der Gentianales finden sich vorwiegend Kräuter und Stauden, nur wenige Sträucher oder Bäume. Die Gentianaceae sind mit etwa 1000 Arten weltweit verbreitet, haben ihren Schwerpunkt aber in den temperaten Gebieten. In der heimischen Natur finden sich die meisten Arten in den Alpen. Wichtig ist die Gattung Gentiana (Enziane) die viele Zeirpflanzen enthält. Die Gattung Voyria stellt tropische Parasiten dar. Die Hundsgiftgewächse (Apocynaceae) enthalten einen durch den Gehalt an Glycosiden und Alkaloiden giftigen Milchsaft. Charakteristisch sind die oft propellerartig stehenden Blütenblätter, die in der Knospe gedreht vorliegen. Der innere Bau der Blüten ist teilweise sehr kompliziert (bei den früher abgetrennten Asclepiadaceen). Viele attraktive Zierpflanzen, besonders die Sukkulenten aus der Gattung Stapelia und Verwandte, sowie Allamanda, Oleander, Frangipani oder Immergrün. Das Madagaskarimmergrün (Catharanthus roseus) stellt eine der wichtigsten Quellen für Medikamente gegen Leukämie dar.

Solanales: Convolvulaceae, Solanaceae

Die Convolvulaceen sind hauptsächlich windende Kräuter mit auffälligen trichterförmigen Blüten. Sie sind im wesentlichen tropischen Ursprungs (Ipomoea, Evolvulus), mit einigen temperaten Vertretern (Convolvulus, Calystegia). Die Gattung Cuscuta stellt vollparasitische Windenpflanzen dar. Ipomoea batatas liefert die Batate, andere Arten attraktive Zierpflanzen. Die Solanaceae (Nachtschattengewächse) enthalten viele verschiedene Alkaloide, die als pharmazeutisch relevante Wirkstoffe oder Drogen genutzt werden. Wichtige Vertreter sind Tollkirsche (Atropa belladonna), Bilsenkraut (Hyoscyamus), Stechapfel (Datura), Alraune (Mandragora), Tabak (Nicotiana tabacum). Daneben wichtige Nutzpflanzen wie Tomate (Lycopersicon esculentum), Paprika (Capsicum annuum), Aubergine, Kartoffel (beides Solanum-Arten).

Lamiales: Boraginaceae, Scrophulariaceae, Gesneriaceae, Lentibulariaceae, Lamiaceae

Die Lamiales umfassen eine große Anzahl von Familien, deren Abgrenzung untereinander sehr unsicher ist. Daher wird hier ein eher klassisches Familienkonzept angewendet, das sich in Zukunft sicher stark verändern wird. Die Boraginaceae der temperaten Zonen sind krautige Stauden, auf den kanarischen Inseln teilweise Sträucher und in den Tropen gelegentlich Bäume. Kennzeichnend sind der wickelige Blütenstand, die Klausenfrucht und die steife Behaarung (Rauhblattgewächse!). Etliche heimische Arten werden offizinell verwendet, wie der Beinwell (Symphytum officinale). Die Scrophulariaceae in der klassischen Umschreibung sind sicher polyphyletisch und werden in Zukunft in mehrere Familien aufgespalten werden. Es sind im wesentlichen Kräuter und Stauden, selten Sträucher. Eine wichtige Nutzpflanze ist der Fingerhut aus dem Digitalis isoliert wurde, außerdem viele attraktive Zierpflanzen. Die Gesneriaceae haben ihren Schwerpunkt in den Tropen, wo sie entweder als Kräuter im Unterwuchs tropischer Wälder leben oder als Epiphyten in den Baumkronen. Bekannteste Vertreter die Gloxinien oder Usambaraveilchen. Die Lentibulariaceae sind eine auf Tierfang spezialisierte Familie. Am ursprünglichsten gelten die Fettkäuter (Pinguicula). Hoch spezialisierte Saugfallen finden sich bei den Wasserschläuchen (Utricularia) und komplizierte Reusenblätter, die auf Protozooenfang spezialisiert sind, bei der Gattung Genlisea. Die Lippenblütler (Lamiaceae) lassen sich durch die kreuzgegenständige Belätterung, die oft zweilippigen Blüten, den vierkantigen Stengel gut charakterisieren. Es sind im wesentlichen krautige Stauden und Sträucher, die einen hohen Gehalt an ätherischen Ölen aufweisen. Daher finden sich in der Familie etliche Nutzpflanzen, vor allem Gewürze wie: Pfefferminze, Majoran, Thymian, Rosmarin, Oregano, Bohnenkraut, Basilikum oder Lavendel.

Apiales: Apiaceae

Die Doldenblütler sind durch die Dolde oder Doppeldolde als Blütenstand, sowie den hohlen deutlich in Knoten und Zwischenkoten gliederten Sproß relativ gut zu charakterisieren. Es sind vorwiegend krautige Stauden, die einen hohen Gehalt an ätherischen Ölen aufweisen und wie die Lamiaceae viele Kräuter und Gewürze liefern: Dill, Fenchel, Anis, Kümmel, Petersilie oder Bärwurz. Einige Arten können allergische Hautreaktionen hervorrufen, wie z.B. der Riesenbärenklau (Heracleum mantegazzianum).

Asterales: Campanulaceae, Asteraceae

Die Glockenblumen (Campanulaceae) stellen vorwiegend Kräuter dar, mit oft glockigen Blütenkronen. Wie bei den nachfolgenden Asteraceen werden die Pollen mittels des behaarten Griffels aus den Antheren ausgekämmt (sekundäre Pollenpräsentation). Die Blüten sind oft blau und machen die Glockenblumen (Campanula) aber auch andere Gattungen wie die Teufelskrallen (Phyteuma) oder Lobelien zu beliebten Zierpflanzen. Die Asteraceen sind neben den Orchideen die größte Pflanzenfamilie mit etwa 23-25.000 Arten. Die Einzelblüten sind eher klein und unscheinbar, werden aber zu komplizierten Blütenständen zusammengefasst, so daß sie wie eine große Einzelblüte erscheinen (Korbblütler). Besonders wenn am Rand einzelne Blüten zungenförmig gestaltet sind. Die Familie läßt sich grob in drei Unterfamilien untergliedern. Die beiden größten sind die Cichorioideae, die nur Zungenblüten besitzen, sowie einen Milchsaft (z.B. Löwenzahn, oder Wegwarte), sowie die Asteroideae, die sowohl zungen- als auch Röhrenblüten besitzen und keinen Milchsaft aufweisen. In den tropischen Gebirgen können einige Asteraceen baumförmig werden (Senecio, Espeletia) und spekatukläre Landschaften prägen. Wichtigste Nutzpflanze ist die Sonnenblume (Helianthus annus) daneben hunderte von Zierpflanzen.