

Zusammenfassung
Botanik & Systematik der Pflanzen

Jeff Jonczyk

Sommersemester 2024

Einleitung

Dieses Dokument entstand (entsteht) während des Sommersemesters 2024 im Rahmen des BoK-Kurses *Einführung in LaTeX für Mathematiker/innen und Naturwissenschaftler/innen* des Zentrums für Schlüsselqualifikationen und des Moduls *Botanik und Evolution der Pflanzen* der Fakultät für Biologie. Es soll formell die Anforderungen für die Abgabe zum Erreichen der Studienleistung des BoK-Kurses erfüllen, und gleichzeitig durch die Auseinandersetzung mit den Inhalten des Botanik-Moduls dem Autor als während der Anfertigung als Lernhilfe und nach Fertigstellung als nützliches Handbuch dienen.

Seiner Natur als für den persönlichen Gebrauch bestimmte Zusammenfassung nachkommend ist dieses Dokument nicht zwingend in einer für Nicht-Autoren verständlichen Weise aufgebaut oder gar didaktisch wertvoll gestaltet; und übernimmt weitgehend, zum Teil auch komplett unverändert, fremde Inhalte aus den zur Verfügung gestellten Materialien aus den Veranstaltungen

- Einführung Morphologie und Evolution der Pflanzen (Vorlesung)
- Morphologie und Systematik der Pflanzen; Teil A: Algen bis Gymnospermen (Praktikum)
- Morphologie und Systematik der Pflanzen; Teil B: Angiospermen (Praktikum)

des Botanik-Moduls ohne diese als Zitate zu kennzeichnen. Gleichzeitig wurde versucht das Dokument aus schriftsetzerischer Sicht so weit aufzuarbeiten, dass es zur Abgabe des LATEX-Kurses taugt.

Hinweis zum Aufbau des Dokuments im Bezug auf phylogenetische Hierarchieebenen

Auf den ersten Blick mag es sinnvoll erscheinen, die Hierarchieebenen des phylogenetischen Systems mit der Überschriftenschachtelung des Dokuments gleichzusetzen, also Überschriften für z.B. Abteilungen, Unterüberschriften für Unterabteilungen, Unterunterüberschriften für Klassen usw. zu verwenden und so von selbst an einer relativ natürlichen Dokumentstruktur anzukommen. Gegen diesen Ansatz sprechen jedoch die folgende Punkte:

1. Das System der Phylogenetik ist zu vielschichtig, um es sinnvoll auf die Überschriftenebenen eines Dokuments übertragen zu können. Wie in Tabelle 1 dargestellt, umfasst es – selbst die, auf die hier nicht eingegangen wird ausgenommen – 7 Ebenen, würde also die Verwendung von (Unter)⁷Überschriften voraussetzen.
2. Im Gegensatz zur Überschriftenstruktur wird das phylogenetische System von unten nach oben aufgebaut, sprich Arten werden zu Gattungen, Gattungen zu (Unter-)Familien zusammengefasst usw., wodurch es vorkommen, dass Taxa verschiedener Hierarchiestufen (z.B. eine Unterabteilung und eine Klasse) auf gleicher Ebene landen.
3. Die Beschreibung von morphologischen oder funktionellen Merkmalen ist oft sinnvoller oder leichter nachvollziebar, wenn sie Anhand von para- oder polyphyletischen Gruppen erfolgt.

Folglich ist die inhaltliche Gliederung in diesem Dokument in den Hauptüberschriften anhand von signifikaten evolutionären Errungenschaften gewählt (z.B. Abschnitt 5 *Kormophyten*: Gefäßpflanzen ab Entwicklung echten Leitgewebes aber vor Entwicklung der Samenbildung (Spermatophyten)) und nach allgemein verständlichen Trivialnamen benannt (nicht-samenbildende Kormopythen ≡ sporenbildende Kormopythen = *Pteridophyten* = umgangssprachlich *Farnähnliche*). Die Unterüberschriften wurden weitgehend so gewählt, das möglichst sinnvoll allgemeingültige Merkmalsbeschreibungen gemacht werden können.

Inhaltsverzeichnis

I Spezieller Teil: Systematik der Pflanzen	1
1 Prokaryota, Eukaryota & Archea	1
2 Algen	1
2.1 Chlorophyta I	2
2.2 Chlorophyta II	2
3 Pilze	2
4 Embryophyten: Moose und Kormophyten	2
4.1 Marchantiophytina (Lebermoose)	3
4.2 Bryophytina (Laubmoose)	3
4.3 Anthocerotophytina (Hornmoose)	4
5 Kormophyten: Farnpflanzen und Spermatophyten	4
5.1 Lycopodiophytina (Bärlappgewächse)	5
5.2 Psilotophytina inkl. Ophioglossales (Gabelblattgewächse/Gabelfarne)	5
5.3 Equisetophytina (Schachtelhamlgewächse)	5
5.4 Marattiophytina (Eusporangiate Farne)	6
5.5 Filicophytina (Leptosporangiate Farne)	6
6 Spermatophyten: Gymnospermen und Angiospermen	6
7 Angiospermen: basale Dikotyle, Monokotyle und Eudikotyledonen	6
8 Dikotyledonen und Eudikotyledonen	6
9 Monokotyledonen	6
II Allgemeiner Teil: Phylogenetik	7
10 Begriffe der Phylogenetik	7

Teil I: Systematik der Pflanzen

1 Prokaryota, Eukaryota & Archea

2 Algen

Die Bezeichnung Alge bezieht sich nicht auf eine systematische Kategorie (Monophylum), sondern beschreibt eine Lebensform ausgehend von morphologischen und funktionalen Merkmalen. Unter dem Begriff Alge werden relativ einfach gebaute, primär aquatisch lebende, photoautotrophe Organismen zusammengefasst. Es gibt sowohl procariotische Algen, die den Bakterien zugeordnet werden, als auch eukaryotische Algen, die aus einem oder mehreren sequenziellen endosymbiotischen Ereignissen resultieren und sowohl ein- als auch mehrzellige Organisationsformen bilden.

Zu den Algen gehören die folgenden Gruppen:

- Cyanobacteria (reg. BACTERIA, prokaryotisch)
- durch primäre Endocytobiose zwischen einem Eukaryoten und einem Cyanobakterium entstanden:
 - Chlorophyta (Grünalgen)
 - Rhodophyta (Rotalgen)
 - Glaucophyta
- durch sekundäre Endocytobiose zwischen einem Eukaryoten und einer Grünalge entstanden:
 - Euglenophyta
 - Chlorarachniophyta
- durch sekundäre Endocytobiose zwischen einem Eukaryoten und einer Rotalge entstanden (gemeinsam Chromalveolatae):
 - Heterokontophyta
 - Haptophyta
 - Cryptophyta
 - Apicomplexa
 - Dinophyta

Aus der Linie der Chlorophyta entwickelten sich schließlich neben diversen weiteren Taxa, die weiterhin zu den Algen gehören (Chlorophyta I & II) auch die Embryophyten ("grüne Landpflanzen"). Alle lebenden Pflanzen sind also Resultat eines einzelnen, primären endosymbiotischen Ereignisses. Die Chlorophyta und alle ihre Nachkommen inklusive ihrer sekundären Endosymbiosen nennt man Chlorobionta.

Wuchsformen und Organisationstypen der Algen

monadal: freibewegliche, begeißelte Einzelzellen, können nach Teilung frei werden oder aneinander haften bleiben und vielzellige Kolonien bilden. In Kolonien können die Einzelzellen

Belege für die Endosymbiontentheorie

- Gemeinsame Merkmale von Plastiden und Cyanobakterien:
 - nicht kompartimentiert, kein Zellkern
 - zirkuläre Chromosomen ohne Histone oder Introns
 - Bakterienspezifische Proteine: 70S Ribosom, ABC-Transporter
 - bakterieller Teilungsmodus
- Plastiden können nie *de novo*, sondern immer nur durch Teilung vorhandener Plastide gebildet werden

gleichwertig oder bereits arbeitsteilig differenziert (in Assimilations-, Fortbewegungs- oder Fortpflanzungszellen), über Plasmodesmata verbunden und nicht mehr isoliert überlebensfähig sein.

capsal: einzellige Formen mit dünner oder fehlender Zellwand, deren gleichwertige Zellen nach der Teilung von einer gemeinsamen Gallerte umhüllt bleiben.

coccal: unbegeißelte, meißt nicht eigenbewegliche Zellen, die von einer Zellwand umgeben sind.

Bei einigen Arten Bildung von Cenoebien.

trichal: verzweigter oder unverzweigter Fadenthallus, der aus einkernigen Zellen aufgebaut ist.

Bei Arten mit nicht arbeitszeitig differenzierten Zellen kann die Zellteilung in beliebigen Zellen des Fades erfolgen (interkalares Wachstum). Bei Arten mit arbeitsteilig differenzierten Zellen erfolgt das Wachstum nur in den Spitzenzonen bzw. nur die Scheitelzelle bleibt teilungsfähig (apikales/merestimatisches Wachstum).

syphonocladal:

siphonal: Thallus besteht aus einer einzigen polyenergiden Zelle, die fädig oder kugelig strukturiert ist, aber auch durch Ausbildung von blattanalogen Phylloiden, stengelanalogen Kauloiden und wurzelanalogen Rhizoiden hochdifferenziert sein kann.

Flecht- oder Filzthallus (Plectenchym): dicht gebündelte, stark verzweigte Fadensysteme bilden durch Verflechtung Zellverbände, die morphologisch echten Geweben gleichen. Zusammenhalt der Fäden durch verquellen der Zellwände zu wasserunlöslichen Gallerten oder durch nachträgliche Verwachsung

Gewebethallus (Parenchym): Entstehung durch Zellteilung in zwei oder drei senkrechten Ebenen führt zu einschichtigen, flächigen oder mehrschichtigen, dreidimensionalen Thalli. Die Zellen bleiben untereinander durch Plasmodesmata verbunden.

2.1 Chlorophyta I

- ca. 7000 Arten
- nahezu alle Organisationstypen, z.T. morphologisch hochdifferenziert
- Vorkommen: meißt im Süßwasser, in feuchten Böden, epiphytisch
- begeißelte Zellen meißt birnenförmig, häufig mit kontraktilen Vakuolen
- Haplonten, Haplodiplonten oder fast reine Diplonten

2.2 Chlorophyta II

- ca. 4500 – 6500 Arten
- nahezu alle Organisationstypen, bei höher entwickelten Taxa arbeitsteilig differenzierte Gewebe und Fortpflanzungsorgane
- Vorkommen: meist Süßwasser, seltener Brackwasser und feuchte Festlandsbereiche

3 Pilze

4 Embryophyten: Moose und Kormophyten

Zu den Embryophyten gehört neben der Entwicklungslinie der Kormophyten oder Tracheophyten (Gefäßpflanzen) die Gruppen der paraphyletischen Einheit der "Bryophyten" (Moose):

- Marchantiophytina (Lebermoose); möglicherweise zwei unabhängige Entwicklungslinien: thallose und foliose Lebermoose
- Bryophytina (Laubmoose)

- Anthocerotophytina (Hornmoose)

Landgang der Pflanzen – Herausforderungen

- Schutz vor Austrocknung <vs> Gewährleistung von effizientem Gasaus tausch
- Wasser- und Nährstofftransport
- Stabilität
- Verbreitung und Vermehrung an Land
- Befruchtung unabhängig von Wasser

Synapomorphien der Embryophyten

- Sporophytenembryo wird von der Mutterpflanze ernährt
- vielzellige Gametangien (Archegonien und Antheridien), die von sterilen Zellen umhüllt sind
- Sporangien ebenfalls von sterilen Zellen umhüllt
- Sporen dickwandig von Sporopollenin inkrustiert
- Cuticula als Verdunstungsschutz vorhanden
- heterophasisch, heteromorpher Generationswechsel

Plesiomorphien der Bryophyten

- heterophasisch, heteromorpher Generationswechsel mit dominierender haploider Gametophytengeneration (= grüne Moospflanze). Der diploide Sporophyt (= Sporogon) ist einfacher gebaut und nicht selbstständig Lebensfähig, er wird vom Gametophyten ernährt.
- Echte Kormophytenorgane (Sprossachse, Blatt, Wurzel) fehlen, bei einigen Gruppen existieren analoge Strukturen (Phylloid, Cauloid, Rhizoid)
- relativ klein bleibende Pflanze (meist bis 20cm, max. 70cm) an feuchten Standorten wegen unzureichendem Verdunstungsschutz und fehlendem oder schwach ausgebildetem Festigungsgewebe
- wasserabhängige Spermatozoidbefruchtung

4.1 Marchantiophytina (Lebermoose)

- ca. 10000 – 12000 Arten
- Gametophyt dorsiventral, unterschiedlich gestaltet, fast immer fehlendes Leitgewebe
- Zellen meist mit Ölkörpern, Parenchymzellen mit mehreren Chloroplasten
- keine Stomata
- Man unterscheidet:
 - Marchantiopsida (thallose Lebermoose)
 - Jungermanniopsida (überwiegend foliose Lebermoose)

4.2 Bryophytina (Laubmoose)

- ca. 16000 – 17000 Arten

- Gametophyt stets in Cauloide (Stämmchen), Phylloide (Blättchen) und Rhizoide (Würzelchen) gegliedert; C. meist radiär symmetrisch mit schraubig stehenden P., selten zwei- oder dreizeilig beblättert, R. mehrzellig wenn vorhanden.
- Man unterscheidet
 - Sphagnopsida (Torfmoose): ca. 200 Arten; rhizoidlose Stämmchen ohne Zentralstrang, ein- bis mehrschichtige wasserspeichernde Rinde, Blättchen einschichtig ohne Mittelrippe
 - Andreaeopsida (Klaffmoope): ca 100 Arten; kalkmeidende Felsenmoope, Stämmchen aufrecht und wenig verzweigt
 - Bryopsida (Laubmoope im engeren Sinn): ca 16000 Arten; Cauloid und Phylloid oft hochdifferenziert, C. meist mit Zentralstrang aus wasserleitenden Hydroiden und assimilateitenden Leptoiden

4.3 Anthocerotophytina (Hornmoope)

- ca. 300 Arten
- vermutlich Schwestergruppe der Tracheopyhten
- Gametophyt dorsiventral rundlich-gelappt, auf Thallusunterseite sehr einfache, mit Cyanobakterien der Gattung *Nostoc* besiedelte Spaltöffnungen
- Parenchymzellen mit einem Chloroplasten
- Sporophyt hornförmig mit Stomata, dass sich mit zwei Längsklappen öffnet und im Zentrum eine sterile Gewebesäule (Columella) besitzt
- Der Sporophyt bleibt auch im reifen Zusand photosynthetisch aktiv

5 Kormophyten: Farnpflanzen und Spermatophyten

Zu den Kormophyten gehört neben der Entwicklungslinie der Spermatophyten (Samenpflanzen) die folgenden Gruppen, die zur paraphyletischen Gruppe der Pteridophyten (sporenbildende Kormophyten) zusammengefasst werden, wobei die Lycopodiophytina die Schwestergruppe zu den Spermatophyten bilden:

- Lycopodiophytina (Bärlappgewächse)
- Psilotphytina inkl. Ophioglossales (Gabelblattgewächse/Gabelfarne)
- Equisetophytina (Schachtelhamlgewächse)
- Marattiophytina (Eusporangiate Farne)
- Filicophytina (Leptosporangiate Farne)
- Spermatophytina (Samenpflanzen)

Synapomorphien der Kormophyten

- Heterophasisch, heteromorpher Generationswechsel mit selbstständig Lebensfähiger Sporophytengeneration
- Der Sporophyt ist verzweigt und trägt mehrere Sporangien
- Die diploide ($2n$) Sporophytengeneration dominiert, die haploide (n) Gametophytengeneration ist weitgehend reduziert (mit Ausnahme einger fossilen Hemikormophyten mit fast isomorphen Generationswechsel)
- Leitgewebe aus Xylem und Phloem, echte Tracheiden mit definierten Wandverstärkungen
- echtes Lignin (evolutionär Abbauprodukt der Phenole, Vorläuferform schon bei Moosen vorhanden)

- Sporophyt ist in Wurzel, Spross und Blatt mit differenzierten Geweben gegliedert (Kormus)
- die oberirdischen Teile besitzen eine Epidermis mit Cuticula und regelbaren Spaltöffnungen

Wuchsformen der Kormophyten

5.1 Lycopodiophytina (Bärlappgewächse)

- 1100 – 1200 Arten
- rezent nur noch relikartig vertreten, im Paläozoikum wichtige Waldbildner
- ober- und unterirdische Achsen gabelig verzweigt, Sprossachsen mit Aktinostelen oder Plektostelen mit exarchem Protoxylem
- einfache Mikrophylle (aus Emergenzen entstanden und nachträglich mit Leitbündeln versorgt)
- Sporangien in den Achsel oder auf der adaxialen Oberfläche der mikrophyllen Sporophylle
- Man unterscheidet:
 - Ordnung: Lycopodiales (Bärlappe im engeren Sinn): 400 Arten, immergrüne Kräuter, meist feuchte Biotope, Mikrophylle ohne Ligula, Isosporangien meist in endständigen Sporophyllständen
 - Ordnung: Selaginellales (Moosfarne): 700 Arten, eine einzige Gattung *Selaginella*, immergrüne Kräuter, meist vierzeilig (kreuzgegenständig) beblättert, Mikrophylle mit Ligula, Achsengabelungen oft mit Wurzelträgern, Heterosporangien in endständigen Sporophyllständen, Megasporophylle meißt im unteren, Mikrosporophylle im oberen Zapfenteil
 - Ordnung: Isoetales (Brachsenkräuter), 70 Arten, meist untergetaucht oder an sehr feuchten Landbiotopen, Mikrophylle mit Ligula, Stamm kurz und knollig mit geringfügiger Sekundärxyembildung

5.2 Psilotphytina inkl. Ophioglossales (Gabelblattgewächse/Gabelfarne)

Psilophytale: 12 Arten

- sehr altertümlich, vermutlich durch Reduktion komplexerer Strukturen entstanden
- ober- und unterirdische Achsen dreidimensional verzweigt, keine Wurzeln, nur Rhizoiden

Ophioglossales (Natterungengewächse): ca. 390 Arten

- Gametophyt langlebig

5.3 Equisetophytina (Schachtelhamlgewächse)

- 15 – 25 Arten, rezent nur noch mit der einzigen Gattung *Equisetum* relikartig vertreten
- Achsen unterteilt in Nodien und lange längsberillte Internodien gegliedert, an den Nodien wirkelig stehende Mikrophylle und Seitenzweige, die zu einer Stängelumfassenden Blattscheide verwachsen sind
- Mikrophylle sind durch Reduktion entstanden
- Assimilation überwiegend über Halme
- unterirdische Rhizome mit Adventivwurzeln
- hohle Internodien mit Markhöhle, Carinalkanäle in den eustelischen Leitbündeln und Valvularkanäle in der Rinde
- rezente Taxa ohne sekundäres Dickenwachstum
- Isosporangien sitzen an tischchenförmigen Sporangienträgern, die in zapfenförmigen Sporophyllständen stehen

- Sporen mit bandförmigen, zu hygroskopischen Bewegungen fähigen Anhängen (Hapteren)

5.4 Marattiophytina (Eusporangiate Farne)

- Hauptverbreitung im Karbon, ca. 200 rezente Arten in einziger Ordnung Marattiales
- Isosporangien im reifen Zustand mit mehrschichtiger Wand (eusporangiat), Bildung von großen Sporenmengen
- langlebiger Gametophyt

5.5 Filicophytina (Leptosporangiate Farne)

- ca. 11000 Arten
- meißt ein- bis mehrfach gefiederte Wedelblätter (Megaphylle) spiralig an der Spitze eines kriechenden oder aufrechten Rhizoms mit Adventivwurzeln
- bei landbewohnende Arten Sporangien in Sori auf der Blattunterseite oder seltener am Rand an normalen assimilierenden Blättern (Troposporophylle) oder an speziellen nicht assimilierenden Blättern oder Blatteilen (Sporophyll), in reifem Zustand einschichtige Wand (leptosporangiat), of von Indusium bedeckt; nie Sporangien

6 Spermatophyten: Gymnospermen und Angiospermen

7 Angiospermen: basale Dikotyle, Monokotyle und Eudikotyledonen

8 Dikotyledonen und Eudikotyledonen

9 Monokotyledonen

Teil II: Allgemeine Phylogenetik

10 Begriffe der Phylogenetik

Apomorphie abgeleitetes (transformiertes) Merkmal

Autapomorphie abgeleitetes Merkmal, dass die betrachtete Gruppe von einer anderen abgrenzt

Synapomorphie abgeleitetes Merkmal, dass mehrere Gruppen gemeinsam von anderen abgrenzt

Plesiomorphie unverändert beibehaltenes Merkmal. Belegt nicht die Existenz exklusiv gemeinsamer Vorfahren.

Symplesiomorphie Merkmal, das eine Gruppe von Nachkommen gleichermaßen unverändert von der gemeinsamen Stammart beibehalten hat.

Konvergenz unabhängig voneinander entstandene (durch Anpassung an ähnliche Umweltbedingungen und nicht durch Vererbung von einer gemeinsamen Stammart), gleichartige Merkmale.

Parallelismus unabhängige (parallele) Evolution von ähnlichen Merkmalen in verschiedenen Stammeslinien aufbauend auf einer homologen Ausgangsstruktur

Art (Biospecies) reproduktiv voneinander isolierte Organismengruppen, einzige natürliche Einheit.

Monophylum Gruppen, die alle Nachkommen nur einer Stammart und diese Stammart enthält.

- Zeigen mindestens eine Apomorphie.
- Die einzige natürliche systematische Einheiten.

Paraphylum Gruppen, die eine Stammart und nur einen Teil ihrer Nachkommen enthält.

- Basiert auf Symplesiomorphien.

Polyphylum Gruppen, die verschiedene Nachkommen ohne die gemeinsame Stammart enthält.

- Basieren auf Konvergenzen.
- Stellen keine natürlichen Verwandschaftsverhältnisse dar.

Schwestergruppe (Adelphotaxa) zwei monophyletische Taxa mit einem, nur ihnen gemeinsamen Vorfahren. Zwei Schwestergruppen und ihr gemeinsamer Vorfahr bilden ein Monophylum

Schwestergruppenhypothese Zur Absicherung werden mindestens drei Apomorphien benötigt: Je eine Autapomorphie, die die beiden Schwestergruppen von der gemeinsamen Stammart abgrenzt, und eine Synapomorphie als Nachweis, dass Stammart und Nachkommen ein Monophylum bilden.

Hierarchieebenen der phylogenetischen Systematik

Taxon	Endung	Beispiel
Reich	-ota	Eukaryota (Eukaryoten)
Abteilung	-phyta	└ Spermatophyta (Samenpflanzen)
Unterabteilung	-phytina	└ Magnoliophytina (Bedecktsamer)
Klasse	-opsida ¹	└ Rosopsida (Eudikotyledonen)
Unterklasse	-idae ²	└ Rosidae (Rosenähnliche)
Ordnung	-ales	└ Rosales (Rosenartige)
Familie	-ceae	└ Rosaceae (Rosengewächse)
Unterfamilie	-oidaea	└ Rosoidaea
Gattung		└ <i>Rosa</i> (Rose)
Art		└ <i>Rosa canina</i> (Hundsrose)

Tabelle 1: Übersicht der phylogenetischen Hierarchieebenen in der Botanik am Beispiel der Hundsrose