

Vorlesung Systematische Biologie: Pflanzen

für Studierende in Biologie, Pharmazeutische Wissenschaften und
Umweltnaturwissenschaften

Prof. Dr. Adrian Leuchtmann
Institut für Integrative Biologie
ETH Zürich

INHALTSÜBERSICHT

- 1 Einführung / Zielsetzung / Methoden Systematik / Ursprung der Landpflanzen / Generationswechsel
- 2 Moose / Farne
- 3 Spermatophyten allg. / Gymnospermen / Angiospermen allg.
- 4 Monocotyledonae I: Alismatales, Liliales, Orchidales
- 5 Monocotyledonae II: Grasartige
- 6 Basale Dicotyledonae / Ranunculaceae / Rosaceae
- 7 Saxifragales, Caryophyllales, Fabales, Brassicales
- 8 Myrtales, Geraniales, Malvales, Ericales, Apiales
- 9 Lamiiden: Solanales, Boraginales, Lamiales
- 10 Gentianales, Dipsacales, Asterales
- 11 Amentifloren, Polygonaceae, Amaranthaceae;
- 12 Ökologie und Vegetation: Standortfaktoren, Zeigerwerte, Höhenstufen, Vegetation Tiefland
- 13 Arznei- und Giftpflanzen

Vorwort

Das vorliegende Script stellt eine Abschrift meiner Notizen zur Vorlesung „Systematische Biologie: Pflanzen“ für Studierende in Biologie, Pharmazeutische Wissenschaften und Umweltwissenschaften dar. Es enthält alle Themen und Pflanzengruppen, die in der Vorlesung behandelt werden. Diese sind aber nicht immer in der gleichen Ausführlichkeit dargestellt und zum Teil nur in Form von Stichworten wiedergegeben, was gewisse Uneinheitlichkeit oder Inkonsequenz im Text zur Folge hat. Zusätzlich sind einige Pflanzengruppen aufgenommen, die nicht in der Vorlesung besprochen werden. Das Skript soll als Ergänzung dienen zu den Folien und Abbildungen, die bei den Lernmaterialien zur Verfügung stehen und richtet sich an Studierende, die sich für die Prüfungsvorbereitung etwas ausführlicher mit dem Stoff auseinandersetzen möchten.

Einführung

Die Lehrveranstaltungen Systematische Biologie: Pflanzen umfasst eine Vorlesung von 26 Stunden sowie Praktika und Exkursionen.

- 1) Systematische Biologie: Pflanzen
 - Vorlesung (Di 10-12) 26 Std.
 - Praktikum (Mi 15-17 oder Do 13-15) in der zweiten Semesterhälfte.
 - Vier Exkursionen (jeweils am Samstag!)
 - > Besuch von Praktikum und Exkursionen **obligatorisch**.
- 2) Ergänzungskurs Systematische Botanik
 - Dreitägige Exkursion ins Unterengadin (Semesterferien)
 - Zwei Übernachtungen in der Jugendherberge Scuol
 - Unbenotete Semesterleistung (1 KP)
 - Besuch fakultativ (auch Pharma-Studierende willkommen!)
 - > Vertiefung der Botanikkenntnisse
 - > Empfohlen für weiterführende Botanikveranstaltungen im 3. Studienjahr Biol. Bsc und Uwis Bsc

Grundlage der Vorlesung:

- Textbuch "Systematische Botanik" 4. Aufl. (2013) von M. Baltisberger et al. (ETH Store mit Legi Fr. 48.-) -> zum Kauf empfohlen!
- Campbell: Kapitel 29, 30
- Folien (unter Lernmaterialien zur Verfügung)

Weitere Lehrmittel:

- Bestimmungsschlüssel zur Flora der Schweiz (Hess et al., 7. Aufl., Fr. 35.-) -> notwendig für Praktikum!
- Online Applikation eBot6 (www.balti.ethz.ch) elektronische Lernhilfe für Prüfungsvorbereitung

Inhalt und Lernziele der Vorlesung

- 1) Vermittlung der Grundlagen der Systematik der Landpflanzen (Moose, Farne, Blütenpflanzen) im Kontext von Stammesgeschichte und Evolution. Besprechung von Grossgruppen und ausgewählten Familien mit relevanten Kriterien für deren Klassifizierung.
- 2) Vermittlung von Konzepten und Begriffen. Botanik braucht (im Gegensatz zur Zoologie) sehr viele Fachbegriffe zum Beschreiben von Pflanzen. Kenntnis dieser Begriffe sind wichtig für Praktikum und weiterführende Lehrveranstaltungen in höheren Semestern und später für selbständiges Arbeiten in Beruf und Praxis. (z.B. Generationswechsel, Blütenbau, Fruchttypen etc.)
- 3) Überblick über Standorteigenschaften und Vegetation
(Standortfaktoren, Zeigerwerte von Pflanzen, Höhenstufen, ausgewählte Pflanzengemeinschaften in Tiefland)
- 4) Verbindungen schaffen zu anderen Wissensgebieten, bei denen Systematik eine wichtige Rolle spielt:
 - Nutzpflanzenkunde: wichtige Kultur- und Nutzpflanzen
 - Pharmazeutische Botanik: Arzneipflanzen
 - Pathologie: z.B. Zwischenwirte bei Rostpilzen
 - Naturschutz und Oekologie: z.B. Neophyten (Zerstörung von Naturschutzgebieten, Auslöser von Pollenallergien), Rote Liste, Zeigerpflanzen.
- 5) Einblick in die Vielfalt der einheimischen Farn- und Blütenpflanzen. Die einheimische Flora ist mit ca. 3000 Arten sehr artenreich und vielfältig zusammengesetzt, wegen den besonderen geographischen Lage unseres Landes (Schnittpunkt von verschiedenen Florenreichen) und der vertikalen Gliederung (Tiefland bis Hochgebirge).

Lernziele von Praktikum und Exkursionen

- 1) Untersuchen und Analysieren von morphologischen Merkmalen bei Blütenpflanzen
- 2) Repetition und Kenntnis von ausgewählten Pflanzenfamilien
- 3) Einführung und Üben des Bestimmens von Pflanzenarten mit Bestimmungsschlüssel
- 4) Einblick in Flora und Vegetation ausgewählter Standorte im Mittelland
- 5) Vermitteln von Artenkenntnis (einschliesslich Ökologie) gemäss Prüfungsliste.

Prüfungsstoff

- Konzepte von Phylogenie und Systematik der Pflanzen
- Merkmale der höheren systematischen Einheiten (Abteilungen, Klassen)
- Ausgewählte Familien der Angiospermen (Blütenpflanzen)
- 200 Pflanzenarten mit lateinischen Namen
- Beispiele von Arznei- und Nutzpflanzen
- Ökologische Standorteigenschaften von ausgewählten Pflanzengemeinschaften

Bedeutung der Pflanzen für den Menschen

Um Sie zu motivieren sich mit Pflanzensystematik auseinander zu setzen, möchte ich ein paar Stichworte geben, die aufzeigen, welche eminent wichtige Rolle Pflanzen für uns Menschen spielen.

- Pflanzen stellen als Photosynthese ausführende Primärproduzenten die wichtigste Lebensgrundlage für den Menschen dar und sind die Basis für jede landwirtschaftliche Produktion (Nahrungsmittel, Futterpflanzen, Brennstoff): ca. 20'000 Arten werden vom Menschen genutzt, davon 650 Arten als Kulturpflanzen feldmässig angebaut (160 in grösserem Umfang).
- Pflanzen werden als Gewürze, Genussmittel (Kaffee, Tee, Schokolade etc.) und Arzneipflanzen genutzt. Mehr als 25% von rezeptpflichtigen Medikamenten sind pflanzlichen Ursprungs (viele mehr wurden zuerst in Pflanzen entdeckt und dann synthetisch hergestellt).
- Pflanzen und deren Produkte werden für technische Zwecke verwendet als Lieferanten von Fasern (z.B. Baumwolle), Milchsäure (Kautschuk) und Harzen etc.
- Artenvielfalt von Pflanzen ist eine nichterneuerbare Ressource und ist unabdingbar für Funktionieren und Stabilität von Ökosystemen. Sie erbringen Leistungen, die wir mit technischen Lösungen sehr teuer erkaufen müssten.

Das Fachgebiet Systematik und deren Werkzeuge

Systematik (Definition): Bereich der Biologie, der sich mit der Mannigfaltigkeit des Lebens befasst

2 Teilbereiche:

- A) Taxonomie:**
- 1) Feststellen von Unterschieden verwandter Organismen
 - 2) Benennen (Nomenklatur)
 - 3) Ordnen (Klassifizierung)

B) Rekonstruktion der Evolutionsgeschichte (Phylogenie)

1) Feststellen von Unterschieden

Das Beschreiben von Arten und Untersuchung von Verwandtschaftsbeziehungen ist ein aufwändiger Vorgang und erfordert wissenschaftliche Methoden (ausführlich im Textbuch beschrieben).

Auswahl von Methoden und Forschungsbereiche:

- **Morphologie:** untersucht Gestalt und äusseren Bau der Pflanzen oder Organe (bildet die Grundlage für Erkennen und Beschreibung eines Taxons).
→ Blattformen Fagales
- **Anatomie:** innerer Bau von Geweben und Organen. —> Leitbündel (Verteilung im Querschnitt, Gefässtypen Xylem/Phloem, *Polypodium vulgare*)
- **Embryologie:** Entwicklung von Eizelle bis Keimling (z.B. Bau der Samenanlage)
→ Samenanlagen (Position Lage der Mikropyle, wichtig für höher Taxa)

- **Zytologie:** mikroskopische Strukturen in der Zelle (z.B. Kerne und Chromosomen)
-> Metaphasen in Wurzelspitzen (*Ranunculus*)
- **Genetik:** mit Kreuzungsexperimenten können Kreuzungsbarrieren und Vererbungsmuster festgestellt werden. (Definition der biologischen Art, Bastardierung)
- **Chemotaxonomie:** Sekundäre Inhaltstoffe der Pflanzen (z.B. Alkaloide, Flavanoide)
-> chemische Rassen von *Asarum*
Isoenzyme (Vergleich von Bandenmustern), gibt Aufschluss über Populationsstruktur und Genfluss.
-> Alloenzymmuster (*Atkinsonella*)
- **Molekulare Systematik:** Wichtigstes Hilfsmittel der modernen Systematik (v.a. für Rekonstruktion der Stammbäume); analysiert die Nukleotidabfolge (Sequenz) von DNA Abschnitten, z.B. in Chloroplasten (*rbcl*, *matK*), Ribosomen (*ITS*) oder Kerngene, seit kurzem auch ganzer Genome (Phylogenomik). Vorteile sind: Objektivität, Quantifizierbarkeit auch bei sehr weit entfernten Verwandten, Möglichkeit zur Datierung (Evolutionsrate pro Zeiteinheit ist für bestimmte DNA Abschnitte ziemlich konstant (z.B. Cytochrom c).

2) Benennen

Die Benennung von Organismen erfolgt nach international festgelegten Regeln (Internationaler Code der Nomenklatur) und die Namen haben weltweit Gültigkeit. Der Name jeder Art besteht aus zwei Teilen in lateinischer Sprache, einem Gattungsnamen (erster Buchstabe gross) gefolgt von einem Artnamen (kleingeschrieben). Diese Benennung wird als binäre Nomenklatur bezeichnet und geht auf den schwedischen Botaniker Carl v. Linné zurück ('Species Plantarum' 1753). Hinter den Namen wird meist noch der Autor, welcher die Art beschrieben und den Namen gegeben hat, gestellt (meist abgekürzt, z.B. L. für Linné).

3) Ordnen

Die Arten werden nach einem hierarchischen System geordnet und in mehreren Stufen zu übergeordneten Einheiten (= **Taxon/Taxa**) zusammengefasst (mit je eigenen Endungen).

Systematische Einheiten (=Taxon/Taxa)

Reich		Plantae (Pflanzen)
Abteilung	- phyta	Spermatophyta (=Samenpflanzen)
Klasse	- opsida	Magnoliopsida (=Bedecktsamige)
Unterklasse	- idae	Magnoliidae (=Zweikeimblättrige)
Ordnung	- ales	Ranunculales
Familie	- aceae	Ranunculaceae (Hahnenfussgewächse)
Gattung		<i>Ranunculus</i>
Art		<i>Ranunculus acris</i> L. (Scharfer Hahnenfuss)

Carl von Linné: „Species Plantarum“ 1753

Warum lateinische Namen?

- Fachsprache ermöglicht weltweit Kommunikation über Sprachgrenzen hinweg.
- Nötig für Veröffentlichung von Forschungsergebnissen.
- Deutsche Namen sind oft mehrdeutig (z.B. Klee), oder die gleiche Pflanze hat mehrere Namen (z.B. Löwenzahn).

In Praktika und auf Exkursionen werden wir deshalb primär die lateinischen Namen verwenden (deutsche Namen kann man als Gedankenstütze merken).

B) Rekonstruktion der Evolutionsgeschichte (Phylogenie)

Linné hat im 18. Jahrhundert die damals bekannten Gattungen und Familien nach ziemlich willkürlichen Kriterien in ein **künstliches System** von 24 Klassen eingeteilt. Kriterien für die Zuteilung waren im Wesentlichen die Zahl und Anordnung der Staubblätter und die Verteilung der Geschlechter. Seit Darwin ist man bestrebt die Klassifizierung so vorzunehmen, dass das System möglichst genau die evolutionären Beziehungen der Taxa untereinander widerspiegelt (= **natürliches System**). Dieses System kann man als **Stammbaum** darstellen, wobei im Idealfall alle Taxa monophyletisch sein sollten.

- **monophyletisch**: ein einziger Vorfahre hat alle Arten des Taxons hervorgebracht.
- **polyphyletisch**: Mitglieder eines Taxons stammen von zwei oder mehr Ahnenformen ab.

Dies ist mit herkömmlichen Methoden, die auf dem Vergleich und Ähnlichkeiten von Merkmalen beruhen, oft schwer zu erreichen. Ähnlichkeiten entstehen nämlich nicht immer aufgrund von gemeinsamer Abstammung (= Homologie), sondern können durch ähnliche ökologische Zwänge (Selektion) zu analogen Anpassungen führen (= konvergente Evolution).

Zwei Arten der Ähnlichkeit:

Homologie: Ähnlichkeit aufgrund gemeinsamer Abstammung

Analogie: Ähnlichkeit aufgrund von analogen Anpassungen (= Konvergenz)
z.B. Flügel von Vögel und Insekten

Beispiel von Konvergenz bei Pflanzen: Euphorbiaceae und Asteraceae auf den Kanarischen Inseln.

- gleiche Gestalt
- Sukkulenz von Stamm + Blättern (fleischig, Kaktusähnlich)

Heute basieren phylogenetische Stammbäume fast ausschliesslich auf molekularen Daten. Das im Textbuch vorgestellte Klassifikationssystem verwendet die neuesten Erkenntnisse aus molekularphylogenetischen Untersuchungen (APG 2009).

Stammbaum der Angiospermae (Baltisberger, Abb. 2, S. 11):

- Jede Verzweigung (Knoten) repräsentiert einen hypothetischen Vorfahren.
- Je tiefer unten im Baum (links) die Verzweigung ist, desto älter ist der gemeinsame Vorfahre.
- Ältere Taxa zeigen ursprüngliche Merkmale (= **plesiomorph**), jüngere Taxa haben abgeleitete Merkmale (= **apomorph**)
- Monophyletische Gruppen sind durch **Synapomorphien** gekennzeichnet.

Ursprung der Landpflanzen

Man nimmt an, dass die Landpflanzen sich im Paleozoikum vor etwa 475 mio. Jahren aus Grünalgenvorfahren entwickelt haben. Ältester fossiler Nachweis sind Sporen, die in moosähnlichem Gewebe eingebettet waren und in Oman gefunden wurden.

Die vier Hauptgruppen der heutigen Landpflanzen sind:

Bryophyten (Moose)	25'000 Arten	bilden Sporen
Pteridophyten (Farne)	10'300 Arten	bilden Sporen
Gymnospermen	800 Arten	bilden Samen
Angiospermen	>250'000 Arten	bilden Samen

Noch bis Ende 90iger Jahre glaubte man, dass Moose und Farne unabhängig voneinander entstanden sind. Heute nimmt man an, dass sämtliche Landpflanzen von Vorfahren der heutigen Armleuchteralgen (Charophyceen) abstammen.

→ Landpflanzen sind demnach monophyletisch.

Einheimische Armleuchteralgen (*Chara*) kommen in Teichen und langsam fliessenden Gewässern vor; sie sind 10-12 cm gross, wirtelig verzweigt (Verzweigungen bestehen aus einer einzigen langgestreckten Zelle) und bilden den Archegonien-ähnliche Fortpflanzungsorgane (fünf gewundene Hüllschläuche umgeben die Eizelle). Warum werden Grünalgen als die nächsten Verwandten der Landpflanzen postuliert?

Gemeinsamkeiten (Synapomorphien):

- Homologe Chloroplasten (Chlorophyll b, β -Karotin)
- Rosettenförmige Proteinkomplexe für die Cellulosesynthese (bauen Cellulose-Mikrofibrillen der Zellwand auf, 20-26% Anteil, bei anderen Algen linear)
- Enzyme in den Peroxisomen (sorgen dafür, dass möglichst wenige organische Verbindungen durch Photorespiration verloren gehen)
- Ultrastruktur der Spermatozoiden (Aufbau des Geisselapparates mit Mikrotubuli ist ähnlich)
- Bildung eines Phragmoplasten bei der Zellteilung (System aus Mikrotubuli und Vesikel senkrecht zur Zellteilungsebene, aus der die Mittellamelle der neuen Zelle entsteht)

Neuerungen bei Landpflanzen:

Sind nötig um Überleben und Fortpflanzung auf dem Land zu ermöglichen, z.B. Anpassungen an Wasserknappheit und Strukturen, die der Schwerkraft entgegenwirken.

- Apikalmeristeme in Spross und Wurzel (Vegetationskegel in der Wachstumszone, nötig für Wachstum und Verzweigungen, um an Nährstoffressourcen im Boden und der Luft zu kommen)
- Vielzellige Gametangien (Antheridien/Archegonien) (Behälter, der Geschlechtszellen einschliesst bietet besseren Schutz)
- Ausbildung von Embryonen → Embryophyten (vielzelliges Gewebe, welches im Geschlechtsorgan eingeschlossen bleibt, dadurch geschützt und versorgt durch Gewebe der Mutterpflanze)
- Sporen mit Sporopollenin (extrem widerstandsfähiges Polymer), welches vor Austrocknung und mikrobiellem Abbau schützt; fossil 475 mio. Jahre

- Generationswechsel (kommt bei Armleuchteralgen nicht vor, wohl aber bei anderen Algengruppen)

Der Generationswechsel ist stets verbunden mit der sexuellen Fortpflanzung.

Allgemeines zur sexuellen Fortpflanzung:

Zwei Vorgänge sind entscheidend:

- 1) Befruchtung: Verschmelzung zweier Keimzellen und deren Kerne (Plasmogamie, Karyogamie, Zygote)
- 2) Meiose: Reduktionsteilung unter Aufteilung der Chromosomen in neuer Kombination. Diese Vorgänge sind stets verbunden mit einer Änderung der Chromosomenzahl (= Kernphasenwechsel).

Kernphasen haben folgende Bezeichnungen:

n = generative Chromosomenzahl (in Keimzellen nach Meiose)

$2n$ = vegetative Chromosomenzahl (in Körperzelle nach Befruchtung)

Generationswechsel (Schlüsselkonzept)

Unter Generationswechsel versteht man den regelmässigen Wechsel zwischen zwei durch ihre Fortpflanzungsweise verschiedenen, vielzelligen Generationen innerhalb eines Lebenszyklus. Er entsteht, wenn nach der Befruchtung nicht unmittelbar die Meiose anschliesst. Er kommt bei allen Landpflanzen vor (auch bei einigen Algengruppen, nicht aber bei Charophyceen, dort erfolgt die Meiose unmittelbar nach der Zygotenbildung), wobei die Generationen versteckt und reduziert sein können.

Die beiden Generationen heissen:

- | | |
|--------------------|--|
| Gametophyt: | hat reduzierte Chromosomenzahl (n) und bildet Gameten (Eizelle, Spermatozoiden od. generative Kerne im Pollenschlauch) |
| Sporophyt: | hat doppelten Chromosomensatz ($2n$) und bildet Sporen (oder Embryosackkerne und veg. Kerne des Pollenschlauchs) |

Für die stammesgeschichtliche Betrachtung ist die Ausbildung der beiden Generationen von grundlegender Bedeutung. Mit zunehmender Entwicklungsstufe der Organismen wird der Gametophyt gegenüber dem Sporophyt zurückgebildet. Wir werden in den nächsten Stunden bei der Besprechung der verschiedenen Pflanzengruppen die Veränderungen und Variationen des Generationswechsels kennen lernen.

Welches sind die Vorteile eines Generationswechsels für Landpflanzen?

Postulierte Anpassung an Wasserarmut an Land. Verzögerte Meiose führt zu vielzelligem Sporophyt, sodass später, ausgehend von einer einzigen Befruchtung, sehr viele Zellen die Meiose durchführen können (Maximierung der sexuellen Reproduktion). Dies ist an Land von Vorteil, wo fehlendes Wasser die Befruchtung durch Spermatozoiden einschränkt.

Vorteile:

- Eine Befruchtung erlaubt beliebig viele Meiosen (Maximierung der sexuellen Reproduktion)
- Durchlaufen einer haploiden Phase eliminiert Individuen mit letalen Mutationen

Diploide Phase: Vorteil eines Reserveallels (z.B. bei Schädigung durch UV-Strahlen)