

Zusammenfassung Vordiplom Botanik Universität Köln 2007

Autor: Denis Meuthen

**Bei Verbesserungsvorschlägen, Fragen und
sonstigem Kontaktinteresse wenden Sie sich über
denmeu@web.de an mich. Ich übernehme keine
Garantie auf Vollständigkeit und Korrektheit.**

Molekularer Bau der Zelle

- Eine Zelle besteht zu 99% aus den Elementen Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Phosphor und Schwefel. Der Rest (1%) sind Metallionen wie von Natrium, Kalium, Magnesium, Calcium
- Die 4 Typen von organischen Molekülen einer Zelle sind Kohlenhydrate, Lipide, Proteine und Nucleinsäuren
- Kohlenhydrate sind Polysaccharide, die aus Verknüpfung von Monosacchariden entstehen.
- Die hydrophilen Monosaccharide wie z.B. Glucose dienen als Bausteine und Energielieferanten
- Saccharose, eine Transportform von Zucker in Pflanzen, ist ein Disaccharid aus Glucose und Fructose
- Stärke(α -Glucose) wie Cellulose(β -Glucose) sind Polysaccharide, dienen als Energiespeicher/Strukturbaustein
- Lipide sind Glycerin & Fettsäuren und damit hydrophob.
- Fette und Öle, die keine hydrophilen Gruppen haben, sind Triglyceride und speichern Energie. Fettsäuren ohne Doppelbindungen sind gesättigt, Fettsäuren mit Doppelbindung und „knick“ sind gesättigt.
- Die Zellmembran besteht aus Phospholipiden, diese sind ein Triglycerid mit einem hydrophilen Phosphatkopf
- Cutin und Suberin sind Lipide, die eine Matrix für Wachseinlagerungen bilden = Barrieren gegen Wasserverlust
- Die Cuticula besteht aus Wachs, das in Cutin eingebettet ist und wird von weiteren Wachsablagerungen besetzt
- Steroide bestehen aus C-Ringen und können Membranstabilisierung wie hormonelle Funktionen übernehmen
- Proteine bestehen aus über eine Peptidbindung verknüpften Aminosäuren. Die Peptidbindung ist starr. Proteine, die vorwiegend in der Sekundärstruktur vorliegen, sind Faserproteine. Tertiärstrukturproteine sind globulär und sind Enzyme sowie Membran- und Transportproteine
- Enzyme sind Proteine, die chemische Reaktionen in der Zelle katalysieren (setzen Aktivierungsenergie einer chemischen Reaktion herunter und beschleunigen somit diese)
- Nucleinsäuren bestehen aus Nucleotiden. Jedes Nucleotid ist aus einer Base (Adenin, Cytosin, Guanin, Thymin), einem Zucker (Desoxyribose in DNA, Ribose in RNA) und einer Phosphatgruppe (PO_4) zusammengestellt. Die Phosphatgruppe ist das Bindeglied, das die Nucleotide miteinander verbindet.
- ATP (Adenosintriphosphat) ist das Molekül, in dem Energie transportiert wird ($ATP \rightarrow ADP + \text{Energie}$)
- Sekundäre Pflanzenstoffe beschränken sich auf bestimmte Pflanzenarten bzw. Pflanzenteile im Gegensatz zu den primären, die in der Pflanze allgegenwärtig sind.
- Alkaloide (stickstoffhaltige, basische Verbindungen) sind Morphin, Cocain, Koffein, Nikotin und Atropin
- Terpenoide bestehen aus Isopreneinheiten und sind ätherische Öle, Taxol, Kautschuk, Herzglycoside.
- Phenole (Hydroxygruppen am aromatischen Ring) sind Flavonoide (Pigmente), Tannine (Gerbstoffe), Lignine und Salicylsäure

Die Pflanzenzelle

| Prokaryontische Zellen | Eukaryontische Zellen |
|---|--|
| Ringförmiges Ein-Molekül-Genom locker an Proteinen gebunden, frei in der Zelle vorliegend | Genom in mehreren linearen Strängen, an Histone gebunden, im Zellkern vorliegend |
| Keine Organellen, kein Cytoskelett | Organellen, Cytoskelett |
| Genetisches Material, Plasmamembran, manchmal Zellwand, Cytoplasma, Ribosomen | |
| kleiner | größer |

- Eine Pflanzenzelle hat eine starre Zellwand, die den Protoplasten (lebende Zellsubstanz=Zellinneres) umgibt, sowie eine Vakuole, die vom Tonoplasten umgeben ist. Es liegt eine Plasmaströmung vor. Plastiden vorhanden.
- Das Plasmalemma dient: Stoffaustausch, der Synthese der Cellulose für die Zellwand und dem Signalempfang
- Der Zellkern wird durch die Kernhülle begrenzt und geht ins Endoplasmatische Retikulum über. Im Zellkern ist auch der Nucleolus, der Ort der Ribosomensynthese, zu finden.
- Pflanzenzellen können Chloroplasten (Photosyntheseort), Chromoplasten (Pigmentsyntheseort) und Leukoplasten (Synthese von Ölen und Proteinen) enthalten. Alle haben im Inneren das Stroma mit Thykloiden. Alle Plastiden entstehen aus Proplastiden, sie sind semiautonome Organellen.
- Die Matrix der Mitochondrien ist der Sitz der Zellatmung (ATP-Gewinnung). Sie sind auch semiautonom.
- Peroxisomen sind für die Photorespiration (Umkehrung der Photosynthese) zuständig.
- Vakuolen enthalten Zellsaft (Zucker- und Säuresaft) und sind für die Stabilität von Zellen zuständig, können aber auch Zersetzungsaufgaben übernehmen sowie als Ablagerungsort für Farbstoffe (Anthocyane) dienen.
- Ribosomen sind der Ort der Translation, der Proteinsynthese. Mehrere Ribosomen nennt man Polysomen.
- Das rauhe ER besteht aus polysomenbehafteten Membranen, wird in Zellen mit viel Proteinsynthese gefunden, zisternale Gestalt. Das glatte ER ist ein einfaches Membransystem, es dient der Lipidsynthese, tubuläre Gestalt
- Der Golgi-Apparat ist die Gesamtheit aller Dictyosomen in der Zelle. Ein dynamisches Membransystem zum vesikulären Transport.

- Das Cytoskelett besteht aus Mikrotubuli (Röhren aus Tubulin-Dimeren: α - und β -Tubulin, dienen zur Zellteilung und Geißel/Wimperbewegung) und Actinfilamenten (dünne Filamente aus Actin, dienen zur Plasmatrömung bzw. Bewegung von Organellen)
- Die Zellwand besteht im Grundgerüst aus Cellulose (Zugfestigkeit), Hemicellulose (Vernetzung der Cellulosefibrillen/Regulation der Zellwandgröße) und Pektin (Wasseraufnahme/Quellungsvermögen).
- Die primäre Zellwand wird von der Mittellamelle (besteht hauptsächlich aus Pektin) aus nach innen synthetisiert, vorkommende Sekundärwände werden nach außen synthetisiert, wenn sich die Primärwand nicht mehr vergrößert.
- Primärwände haben Tüpfelfelder (Plasmodesmen, die die Protoplasten von Zellen miteinander verbinden), Sekundärwände haben nur Tüpfel.
- Plasmodesmen sind Cytoplasmastränge, Bahnen für den Transport von Substanzen zwischen den Zellen

Die Struktur von Membranen und ihre Funktion

- Man kann sich eine Membran im fluid-mosaic-Modell vorstellen. In diesem sind die Proteine in eine flüssige Doppelschicht aus Lipiden eingebettet und frei beweglich. Das Mosaik aus Proteinen verändert sich laufend.
- In der Membran sind Transmembranproteine vorhanden, deren eingebetteter Bereich hydrophob und äußerer Bereich hydrophil ist. Dann gibt es außen die peripheren Proteine, die lose mit den integralen verbunden sind.
- Die Lipiddoppelschicht besteht aus Phospholipiden und Steroiden, die Membranhälften sind asymmetrisch.
- Im Extrazellulären sind die Proteine manchmal mit Zuckern verknüpft, so werden Glykoproteine geschaffen.
- Seltener sind auch Lipide mit Zuckern verknüpft \rightarrow Glykolipide
- Wasser strömt nach dem Gradienten des Wasserpotentials. Dieses sinkt bei steigender Teilchenkonzentration.
- Bei Diffusion wird ein Konzentrationsausgleich angestrebt, sie verläuft entlang des Konzentrationsgradienten. Sie kann nur über kurze Distanzen funktionieren (Konzentrationsgradient = Konzentration/Längeneinheit)
- Osmose ist ein Spezialfall der Diffusion, sie ist der Fluss des Wassers durch eine selektiv permeable Membran
- 2 Lösungen mit gleicher Konz = isotonisch, die mit mehr Konz = hypertonisch, die mit weniger = hypotonisch
- Bei der Osmose fließt Wasser aus der hypotonischen Lösung in eine hypertonische Lösung
- Einzeller gleichen die auftretende Osmose mit ihrer kontraktile Vakuole aus
- In Pflanzenzellen entsteht durch Wasseraufnahme ein Turgordruck, der Zellwanddruck wirkt entgegengesetzt
- Plasmolyse (Wasserausstrom) wird durch Einfügung von Zellen in hypertonisches Medium herbeigeführt
- Es gibt mehrere Transportmöglichkeiten durch die Membran: Freie Diffusion, Ionenkanäle oder Carrier-Proteine verlaufen entlang des elektrochemischen Gradienten, sind also Passivtransportarten.
- Bei Carrier-Proteinen gibt es mehrere Typen: Uniporter (ein Teilchen in eine Richtung), Symporter (zwei Teilchen in eine Richtung) oder Antiporter (zwei Teilchen in entgegengesetzte Richtung).
- Aktiver Transport durch die Membran entgegen den Gradienten erfolgt unter ATP-Verbrauch (Ionenpumpen)
- Vesikeltransportarten sind Exocytose (Stoffabgabe), Endocytose (Stoffaufnahme).
- Bei der Endocytose gibt es Phagozytose (große Partikel), Pinocytose (Flüssigkeit) und rezeptorvermittelte Endocytose (durch Rezeptorprotein vermittelte Endocytose in Clathrin-umhüllte Vesikel)
- Zur Kommunikation zwischen Zellen dienen Hormone, die über Transduktion eine Reaktion ausüben (Rezeptor bindet Hormon, im Zellinneren wird meist Ca^{2+} als second messenger gebildet, aktiviert zelluläre Prozesse)
- Im Gegensatz zu diesem apoplastischen Transport gibt es noch den symplastischen Transport über den Desmotubulus (Teil des ER in Plasmodesmen)

Energiefluß

- Energie kann nicht erzeugt oder vernichtet werden (1. HS der Thermodynamik)
- Entropie des Universums nimmt zu (2. HS der Thermodynamik), Energie verteilt sich auf einen größeren Raum
- exergonische Reaktionen laufen ohne Energiezufuhr, endergonische Reaktionen benötigen Energiezufuhr
- Lebewesen können nur unter ständiger Energiezufuhr ihr Leben aufrecht erhalten
- Bei einer Redoxreaktion wird ein Stoff oxidiert (Elektronenabgabe), ein anderer reduziert (Elektronenaufnahme)
- Enzyme reduzieren als Katalysatoren die Aktivierungsenergie für die chemischen Reaktionen ihres Substrats
- Die Bindungsstelle des Substrats am Enzym ist das aktive Zentrum, durch Bindung daran kann sich die Konformation des Enzyms verändern. Cofaktoren (anorganisch) und Coenzyme (organisch) unterstützen das Enzym. Cofaktoren stabilisieren das Enzym, Coenzyme wie NAD^+ , ein Elektronenakzeptor, unterstützen.
- Die Enzymaktivität wird durch Temperatur, pH-Wert (Denaturierung bei ungünstigen Bedingungen) reguliert.
- Regulatorische Enzyme sind z.B. allosterische Enzyme, die ihr aktives Zentrum aufgrund Bindung eines Stoffes an das allosterische Zentrum ändern. Diese Stoffe können Endprodukte sein \rightarrow Endprodukthemmung.
- ATP fungiert als Energiequelle, es ist ein Vermittler zwischen energonischen und exergonischen Reaktionen
- ATPasen spalten Phosphatgruppen von ATP ab, um Energie zu gewinnen, es entsteht ADP, Kinasen tragen Phosphatgruppen auf ADP um ATP zu bilden.

Atmung

- Ziel der Atmung ist Gewinnung von Energie (ATP, NADH und FADH) durch Abbau von organischer Substanz
- Geschieht der Abbau unter aeroben Bedingungen (Sauerstoff), so ist das die Atmung, anaerob ist es die Gärung
- Bei der Glycolyse wird Glucose (6 C) zu 2x Pyruvat (3C) abgebaut. Im darauffolgenden Citratzyklus wird Pyruvat zu CO₂ und H₂O abgebaut, die freiwerdenden Elektronen werden in die Atmungskette geschleust.
- Zuletzt kommt die oxidative Phosphorylierung, bei der die Energie in der Atmungskette zu ATP umgesetzt wird.
- Die Gesamtreaktion der aeroben Glucoseoxidation ist: $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 36 ATP$
- In der Glycolyse wird im 1-3. Schritt die Glucose zweifach phosphoryliert, anschließend im 4. Schritt in 2 Triosephosphate gespalten. Diese Schritte sind alle endergonisch, alle folgenden exergonisch. Die Triosephosphate werden im 6. Schritt oxidiert, dadurch wird Energie frei, durch die NAD⁺ reduziert werden kann. In den Schritten 7-10 werden je 2 ATP durch Substratketten-Phosphorylierung gewonnen.
- Insgesamt: $Glucose + 2 ATP \rightarrow Pyruvat + 4 ATP + 2NADH$
- Mitochondrien haben 2 Membranen, die innere Membran ist nach innen eingestülpt und bildet die Cristae. Im Inneren des Mitochondrions befindet sich eine flüssige Matrix, die aus Wasser und Stoffen für den Citratzyklus besteht. Auch alle Enzyme bis auf eins sind in dieser enthalten. Dieses eine Enzym befindet sich in der inneren Mitochondrienmembran.
- Das bei der Glycolyse enthaltene Pyruvat wandert ins Mitochondrion ein und wird decarboxyliert (CO₂ wird abgespalten) und anschließend oxidiert (dabei wird NAD⁺ zu NADH reduziert). Die entstehenden Acetylgruppen werden an das Coenzym A (CoA) gebunden.
- Im Citratzyklus wird das Acetyl-CoA (2C) mit Oxalacetat (4C) zu Citrat (6C) verknüpft, wobei das CoA wieder freier wird. Im weiteren Verlauf werden von den 6 C zwei C als CO₂ oxidiert und das Oxalacetat regeneriert. Pro Durchgang des Citratzyklus werden also 3 NADH und 1 FADH₂ gewonnen.
- In der Atmungskette werden nun die Elektronen im NADH und FADH₂ auf Sauerstoff übertragen. Dazu geben die NADH-Moleküle ihren Wasserstoff an den Komplex I (Flavinmononucleotid) ab. Die Elektronen werden nun über Eisen-Schwefel-Proteine auf das Coenzym Q (Ubichinon) übertragen und dann über mehrere Cytochrome weitergegeben und dann von Sauerstoff aufgenommen, der zuletzt zu Wasser reduziert wird. Bei der Passage jedes Komplexes werden Protonen nach außen gepumpt, die einen Protonengradienten aufbauen. Dieser Protonengradient treibt nun die in der inneren Mitochondrienmembran gelegene ATP-Synthase an. Die ATP-Synthase transportiert die Protonen entlang ihres Gradienten und erhält dadurch genug Energie, die Reaktion von ADP+Pi zu ATP umzuwandeln. Dieser Prozess ist die oxidative Phosphorylierung.
- Auch aus Fetten und Proteinen kann Acetyl-CoA gebildet werden und ATP entstehen
- Bei der Gärung (anaerober Kohlenhydratabbau) wird Glucose in Lactat (Milchsäuregärung) oder in Ethanol (alkoholische Gärung) abgebaut. Dabei werden 2 NADH verbraucht, aber wieder produziert und es entstehen nur 2 ATP als Gesamtausbeute. Die Effizienz ist hier deutlich schlechter als bei der aeroben Reaktion.

Photosynthese, Licht und Leben

- Licht ist eine elektromagnetische Welle, je kürzer die Wellenlänge, desto größer die Energie. Violett hat die kleinste und Rot die größte. Einstein formulierte in der Quantentheorie, dass Licht aus Photonen (Lichtquanten) besteht. Die Energie eines Photons ist größer, je kleiner die Wellenlänge ist.
- Pigmente absorbieren Licht bestimmter Wellenlängen, jedes Pigment hat ein charakteristisches Absorptionsspektrum. Chlorophyll absorbiert Licht violetter, blauer und roter Wellenlänge und ist daher grün. Ein Wirkungsspektrum zeigt die Wirkung verschiedener Wellenlängen bei einem lichtabhängigen Prozess.
- Absorbieren Pigmente Licht, so geht das Molekül in einen angeregten Zustand über, Elektronen erreichen für kurze Zeit einen höheren Zustand. Fallen sie zurück auf den Grundzustand, so wird Energie frei.
- Die entstandene Energie kann als Wärme und langwelliges Licht emittieren (Fluoreszenz), ein benachbartes Pigmentmolekül anregen (Resonanz-Energieübertragung) oder auf einen Elektronenakzeptor übertragen werden.
- Die wichtigsten Pigmente sind Chlorophyll a (essentiell für Photosynthese), Chlorophyll b (akzessorisches Pigment = erweitert Lichtabsorptionsspektrum und überträgt Energie auf Chl. a), Chlorophyll c (ersetzt Chl. b bei Braunalgen und Diatomeen), Carotinoide (Antioxidantien, die eine photooxidative Schädigung der Chlorophyllmoleküle verhindern, auch Xanthophylle) und Phycobiline (akzessorisches Pigment bei Cyanobakterien und Rotalgen).
- Die Photosynthese besteht aus Energieübertragung (Lichtreaktion, in den Thylakoidenmembranen) und Kohlenstoff-Fixierung (Dunkelreaktion, in dem Stroma der Chloroplasten)
- An der Lichtreaktion sind 2 Photosysteme beteiligt. Jedes besteht aus bis zu 450 Pigmentmolekülen und ist in einen Antennenkomplex (sammelt Lichtenergie und leitet sie ans Reaktionszentrum weiter) und ein Reaktionszentrum (wandelt Lichtenergie in chemische Energie um) eingeteilt. Nur 2 bestimmte Chlorophyll-a-Moleküle können die Energie für den photochemischen Prozess nutzen und sind im Reaktionszentrum lokalisiert; sobald eines der beiden Moleküle Energie absorbiert, springt ein Elektron auf ein höheres

Energieniveau und wird auf einen Elektronenakzeptor übertragen. Dadurch wird das Chlorophyllmolekül oxidiert und positiv geladen.

-Lichtenergie wird im Antennenkomplex des Photosystems II eingefangen und in das Reaktionszentrum übertragen. Wenn P_{680} , das aktive Zentrum im PS II, angeregt wurde, so entlädt es ein Elektron auf ein sekundäres Akzeptormolekül. Die entstehende Elektronenlücke wird durch Spaltung von Wasser (Photolyse) wieder aufgefüllt. Die Elektronen werden durch die aus Phaeophytin (Chlorophyll mit H^+ statt Mg-Zentrum) und Plastochinon bestehende Elektronentransportkette zum PS I geleitet, währenddessen werden Protonen in die Thykloide gepumpt, so dass die ATP-Synthase diese unter ATP-Gewinnung wieder zurückpumpen kann. Dieser Vorgang ist analog zur Atmungskette, heißt aber Photophosphorylierung. Durch den Lichtsammelkomplex im PS I wird das P_{700} im PS I angeregt und gibt wieder ein Elektron weiter an ein Akzeptormolekül (A_0 , ähnlich Phaeophytin), die wieder über andere Überträger weitergegeben werden, bis zum $NADP^+$, das zu NADPH reduziert wird. Die Elektronenlücke im P_{700} -Molekül wird durch die Elektronen, die die Kette vom PS II durchlaufen haben, wieder aufgefüllt.

-Das PS I kann auch unabhängig vom PS II arbeiten, dabei werden die Elektronen immer auf den Akzeptor der Elektronentransportkette zwischen den PS übertragen, wodurch Protonen einströmen und ATP erzeugt werden kann. Der Vorgang wird zyklische Photophosphorylierung genannt, es wird nur ATP erzeugt. Sie ist notwendig, um den Energieverbrauch im Calvin-Zyklus und anderen Prozessen zu decken.

-Im Calvin-Zyklus ist die Ausgangs- und Endverbindung Ribulose-1,5-bisphosphat (RuBP). CO_2 wird zuerst an diesem gebunden, dann zerfällt das instabile Zwischenprodukt in $2 \times PGA$ (3-Phosphoglycerinsäure), das 3 C hat. Darum nennt man den Calvinzyklus den C_3 -Syntheseweg. Diese Reaktion wird durch das Enzym RuBP Carboxylase/Oxygenase (RubisCO) katalysiert. In der zweiten Phase wird PGA zu Glycerinaldehyd-3-phosphat (PGAL) reduziert, wobei das NADPH aus der Lichtreaktion zu $NADP^+$ oxidiert wird. In der dritten Phase wird unter ATP-Verbrauch die Regeneration von RuBP angestrebt, ein PGAL-Molekül dient zur Synthese von Zuckern, Fetten und Aminosäuren.

-Die Gesamtgleichung des Calvinzyklus ist: $3 CO_2 + 9 ATP + 6 NADPH \rightarrow 1 PGAL + 9 ADP + 6 NADP^+$

-Das entstandene PGAL wird im Cytosol in Saccharose oder Stärke umgewandelt

-RubisCO kann auch Sauerstoff statt CO_2 binden und dadurch Photorespiration (Lichtatmung) hervorrufen. Das ist ein kostspieliger Prozeß, da er keine Energie produziert und ein Ergebnis der Evolution, da es zum Zeitpunkt der Pflanzenentstehung kaum O_2 in der Atmosphäre gab. RubisCO kann daher nicht zwischen CO_2 und O_2 unterscheiden, hohe O_2 -Konzentrationen begünstigen diese Reaktion.

-Beim C_4 -Stoffwechsel wird CO_2 an Phosphoenolpyruvat (PEP) gebunden, die Reaktion wird von der PEP-Carboxylase katalysiert, es entsteht Oxaloesigsäure (4 C). Diese kommt in den Mesophyllzellen von C_4 -Pflanzen vor, das CO_2 stammt aus den Interzellularen. Das Oxalacetat wird zu Malat reduziert oder in Aspartat umgewandelt. Diese Produkte wandern in die Bündelscheidenzellen dieser Pflanzen und werden dort zu Pyruvat und CO_2 decarboxyliert. Das CO_2 kann jetzt im Calvinzyklus ungehindert reagieren, das Pyruvat wird in den Mesophyllzellen mit ATP wieder in PEP umgewandelt. So liegt eine räumliche Trennung durch die Blattanatomie vor und die Photorespiration wird verhindert. In den Blättern dieser Pflanzen wird das Leitgewebe von einem Kranz von Bündelscheiden- und einem Kranz von Mesophyllzellen umgeben. Nachteil des C_4 Stoffwechsels: höhere Energiekosten. Höheres Temperaturoptimum der Reaktion als bei $C_3 \rightarrow$ Anpassung an warme Standorte. Beispiele: Mais, Zuckerrohr, Hirse.

-Zuletzt gibt es noch die CAM-Pflanzen (Crassulaceensäure-Stoffwechsel), die die Stoffwechselwege zeitlich trennen. Es entsteht wie bei den C_4 -Pflanzen Malat, das aber in Form von Äpfelsäure in der Vakuole gespeichert wird. Wenn es hell wird, wird diese decarboxyliert und das CO_2 im Calvin-Zyklus weiterverarbeitet. O_2 -Aufnahme wird verhindert, weil die Stomata wegen Wasserverlustisrisiko tagsüber geschlossen sind und nur in der Nacht zur CO_2 -Aufnahme geöffnet sind. Nachteil: Langsames Wachstum, da Beschränkung der CO_2 -Zufuhr.

Zellvermehrung

-Prokaryonten teilen sich durch einfache Spaltung, das Bakterienchromosom wird verdoppelt und an die Zellwand geheftet, dadurch werden die Produkte durch Aufbau neuer Membran auseinandergezogen.

-Eukaryonten teilen sich durch Mitose und darauffolgender Cytokinese

-Der Zellzyklus besteht aus M-Phase (Mitose & Cytokinese) und der Interphase (Vorbereitungen für dieselbe)

-Initialen, aus denen die Apikalmeristeme bestehen, durchlaufen diesen Zellzyklus wiederholt. Die Winterruhe wird durch Einhalten einer G_0 -Phase erreicht. (Ruhephase zwischen G_1 und S)

-Es gibt im Zellzyklus an 2 Stellen Kontrollpunkte zum Stoppen: zwischen $G_1 \rightarrow S$ -Phase und $G_2 \rightarrow M$ -Phase

-Die Interphase besteht aus G_1 -Phase (Centriolenpaare, alle wichtigen Proteine, Membranen und Zellorganellen werden neu synthetisiert, die Zelle verdoppelt sich in der Größe), S-Phase (Verdopplung der DNA), der und der G_2 -Phase (Centriolenpaarverdopplung fertig, Chromosomenkondensationsstart, Spindelapparatbildungsstart)

-Pflanzenzellen haben Besonderheiten: Phragmosom (Cytoplasma durchspannt Vakuole, Zellkern fließt in Zellmitte) und Präprophaseband (Mikrotubuli und Actinfilamente umgeben Zellkern in der Ebene, wo sich neue Zellwand bildet, bildet sich unmittelbar vor der Prophase, verschwindet aber mit dem Spindelapparat)

- In der Mitose wird das verdoppelte Genom verteilt, besteht aus Prophase, Metaphase, Anaphase und Telophase
- In der Prophase kondensieren die Chromosomen soweit, bis sie nur noch an den Centromeren verbunden sind, Mikrotubuli fangen an sich auszurichten und bilden eine Präprophasespindel, Kernhülle degeneriert am Ende
- In der Metaphase ist der Spindelapparat fertig, der aus Spindelfasern besteht, die das Präprophaseband ersetzen. Parappell zum Kernhüllenzerfall nehmen die Mikrotubuli Kontakt mit den Kinetochoren (Proteine, an den Centromeren entstanden) auf, Tauziehen um die Chromosomen endet, wenn alle in der Äquatorialebene sind.
- In der Anaphase wandern die Tochterchromosomen an die entgegengesetzten Enden durch Verkürzung der Kinetochor-Mikrotubuli. Dynein bewegt als Motorprotein das Kinetochor an den Mikrotubuli entlang.
- In der Telophase wird die Kernhülle aus Membranresten neu gebildet, die Chromosomen breiten sich wieder aus, neue Nucleolen bilden sich.
- In der Cytokinese bildet sich bei den meisten Pflanzen eine Zellplatte von der Mitte nach außen zwischen den Zellen, die Mikrotubuli sind senkrecht zu dieser ausgerichtet (Phragmoplast). Die Zellplatte wird durch Sekretvesikel aufgebaut, die die Zellwandmatrix aufbauen. Neue Primärwandschichten werden auf dieser Mittellamelle angelagert, parallel dazu aber auch auf den alten Wänden der Mutterzelle.

Phycophyta-Algen

Allgemein:

- hauptsächlich photoautotrophe eukaryotische Protisten, können aber auch heterotroph oder mixotroph sein
- photoautotrophe Algen = Phytoplankton, heterotrophe Algen = Zooplankton
- hohe biologische Diversität, sehr häufiges Auftreten in fast jedem Lebensraum
- Blütezeit der Algen vor ca. 2 Mrd. Jahren bis heute, vorhanden aber schon seit 4 Mrd. Jahren.

Abteilung Euglenophyta:

- entstanden durch sekundäre Endocytobiose einer Grünalge
- begeißelte Protisten (heterokont begeißelt)
- Chloroplasten enthalten Chlorophyll a und b nebst diversen Carotinoiden
- meist farblos und heterotroph
- werden durch einen schraubigen Proteinkomplex, die Pellicula, stabilisiert und ermöglicht Flexibilität
- roter Augenfleck und Stigma=Lichtsinn
- kontraktile Vakuole für Wasserhaushalt
- Reservesubstanz: Paramylon(=Polysaccharid), keine Stärke
- in Plastiden proteinreiche Region, auch Pyrenoid genannt. Dort ist u.a. RubisCO vorhanden
- Fortpflanzung asexuell durch Mitose

Abteilung Cryptophyta:

- rot gefärbte, meist photoautotrophe Flagellaten
- entstanden durch sekundäre Endocytobiose einer Rotalge
- enthalten Chlorophyll a und c, Carotinoide und bei den Cryptomonaden ein Phycobilin
- der Chloroplast hat ein endoplasmatisches Retikulum
- haben einen Nucleomorph (Rest des Kerns der Wirtsalgenzelle)

Abteilung Rhodophyta (Rotalgen):

- entstanden durch primäre Endocytobiose
- hauptsächlich marin lebend
- Chloroplasten enthalten Chlorophyll a, die Farbe wird aber von Phycobilinen überdeckt
- besitzen Rhodoplasten, die aus Phycobilisomen, Thykloiden und einer Chromatophorenmembran bestehen
- keine Geißeln, keine Centriolen vorhanden, stattdessen gibts Mikrotubuli-Organisationszentren = Polare Ringe
- extraplastidäre Stärke, Florideenstärke, wird im Cytoplasma gespeichert, keine Pyrenoide
- äußere Zellwand meist in Gallerte eingehüllt (Galaktosepolymere mit Schwefelsäure verestert)
- Kalkotalgen lagern Calciumcarbonat in ihre Zellwände ein = stabilisieren Korallenriffe
- bestehen meist aus dicht verflochtenen Fäden, werden durch Gallerte zusammengehalten
- Zellen sind durch primären Tüpfel miteinander verbunden
- kann sich asexuell über Monosporen fortpflanzen

Generationswechsel (evolutive Anpassung daran, dass Spermarien nicht aktiv schwimmen können):

- Im Perikarp ist ein Karposporophyt enthalten, der Karposporangien produziert und freilässt.
- Auskeimen der Karposporen → Entwicklung eines Tetrasporophyten
- Tetrasporangien werden frei und bilden sowohl männliche als auch weibliche Gametophyten.
- Spermarien des männlichen Gametophyten befruchten das Ei im Karpogon des weiblichen Gametophyten über eine Trichogyne

→ Aus dem Zygotenkern entwickelt sich anschliessend wieder der Karposporophyt
-Auxiliarzellen im Gametophyten erhalten eine Kopie des Zygotenkerns und können sich zu einem Karposporophyt entwickeln. Vorteil: Produktionssteigerung

Abteilung Dinophytae (Dinoflagellaten):

- entstanden durch tertiäre Endocytobiose von Crysophyceae
- besitzen 2 Furchen, in denen 2 Geißeln schlagen (Querfurche und Längsfurche)
- Chromosomen bleiben spiralisiert
- asexuelle Fortpflanzung: Tochterzellen bekommen einen Teil der Hülle und eine Geißel, Rest wird regeneriert
- viele heterokonte Arten
- bei den photoautotroph lebenden Arten nebst Chlorophyll a und c auch das Carotinoid Peridin = Braunfärbung
- viele Arten bilden steife Celluloseplatten an der Außenseite, auch Theca genannt.
- Reservesubstanz: extraplastidäre Stärke, wird im Cytoplasma gespeichert
- photoautotrophe Arten leben als Symbionten in Organismen, haben keinen Cellulosepanzer = Zooxanthellen
- können im Falle geringer Nährstoffverfügbarkeit Cysten ausbilden als Dauerstadium
- können Toxine produzieren, um sich von Tieren zu ernähren, Biolumineszenz zur Räuberabschreckung

Abteilung Haptophyta:

- entstanden durch sekundäre Endocytobiose
- hauptsächlich einzellige Flagellaten
- haben ein Haptonema = fädiges Organell, entspringt zwischen Geißeln, dient der Aufnahme von Partikeln
- bilden Schuppen auf der Zelloberfläche, können verkalkt sein und heißen dann Coccolithen
- Chloroplasten besitzen Chlorophyll a und c sowie Xanthophylle

Abteilung Heterokontophyta:

Klasse Bacillariophyceae (Kieselalgen):

- entstanden durch sekundäre Endocytobiose
- unbegeißelte einzellige Organismen, selten koloniebildend
- sehr häufig vorkommend (25% der Biomasse der Erde), vor allem wenn Kieselsäure zum Wachstum da ist.
- besitzen eine zweiteilige Hülle = Frustulum aus Siliziumoxid, überlappende Hälften = Valven
- Unterscheidung durch Symmetrie: Pennales (bilateralsymmetrisch) und Centrales (radiärsymmetrisch)
- Chloroplasten enthalten Chlorophyll a und c nebst Fucoxanthin, Pennales haben 2 Chloroplasten, Centrales mehrere. Der Reservestoff, ein hydrophiles Polysaccharid namens Laminaran wird in Vakuolen gespeichert
- hauptsächlich photoautotroph lebend, einige heterotroph (letztere meist Pennales).
- pflanzen sich hauptsächlich ungeschlechtlich durch Zweiteilung fort, jede Tochterzelle bekommt eine der Schalenhälften der Mutterzelle → jede Generation wird etwas kleiner. Bildung eines neuen Frustulums nur bei: Generationswechsel:
- geschlechtlicher Zyklus (Oogamie):, beide Tochterzellen unterziehen sich der Meiose und bilden sowohl Spermien als auch ‚Eizellen‘. Die begeißelten Spermien werden durch Zerstörung der männlichen Alge freigesetzt, während das weibliche Gegenstück die Eizelle im Algenkörper behält und auf die Befruchtung durch die Spermie wartet. Es entsteht eine Zygote die sich wieder ungeschlechtlich fortpflanzt
- Bei pennalen Algen sind beide Gameten unbegeißelt, es liegt Isogamie vor.

Klasse Chrysophyceae (Goldalgen):

- entstanden durch sekundäre Endocytobiose
- Chlorophyll a und c vorhanden, das akzessorische Pigment Fucoxanthin ist für die goldene Farbe verantwortlich
- enthalten 1 bis 2 grosse Chloroplasten
- einige Arten haben Zellwände aus Cellulose, andere, amöboiden Arten keine Zellwand
- Synura ist beweglich und koloniebildend, ihre Zellen sind von Kieselschuppen bedeckt. Diese Schuppen werden in Vesikeln gebildet und nach außen transportiert
- Fortpflanzung hauptsächlich ungeschlechtlich, einige Arten über Zoosporen, andere wenige pflanzen sich auch geschlechtlich über Isogameten fort

Klasse Phaeophyceae (Braunalgen):

- entstanden durch sekundäre Endocytobiose
- fast ausschliesslich marin lebend
- Vegetationskörper= Thallus, Zellen durch Plasmodiesmen verbunden haben aber keinen Desmotubulus
- Chloroplasten enthalten Chlorophyll a und c nebst Carotinoiden wie z.B. Fucoxanthin
- Reservestoff: Laminaran wird in Vakuolen gespeichert
- Tange sind gegliedert in Rhizoid (Haftorgan), Cauloid (Achse) und Phylloid (blattartige Thallusteile)
- im Cauloid sind langgestreckte Zellen zum Nährstofftransport, Mannit ist das primäre Transportkohlenhydrat

Generationswechsel (bei den meisten Braunalgen vorhanden):

Im reifen Sporophyt sind pluricoläre (→ diploide Zoosporen) und unicoläre (→ haploide Zoosporen) Sporangien vorhanden. Die diploiden Zoosporen bilden neue Sporophyten, während die haploiden begeißelten Zoosporen männlich als auch weiblich sein können

→ männliche und weibliche begeißelte Zoosporen bilden männliche und weibliche Gametophyten, die Spermien und Oogonien bilden.

→ Befruchtung bringt das Oogonium in den Zygotenstadium

→ Entwicklung des Sporophyten

Abteilung Chlorophyta:

-enthalten Chlorophyll a und c, speichern Stärke als Reservestoff in Plastiden

-einige Arten haben feste Zellwände aus Cellulose, Hemicellulose und Pektinen

Klasse Chlorophyceae

-Phycoplast (parallel zur Zellteilungsebene bei der Mitose ein System von Mikrotubuli, die die Teilungsfurche durch Einfaltung der Plasmamembran zwischen den Tochterkernen zu leiten. Kernhülle bleibt erhalten.)

-begeißelte Arten haben vier kreuzförmige Mikrotubuli-Bänder, entspringen aus den Centriolen als Geißelwurzel

-vorwiegend im Süßwasser auftauchend

-begeißelte einzellige Arten, koloniebildende Arten (begeißelt oder unbegeißelt), unbewegliche einzellige Arten, fädige und parenchymatisch organisierte Arten

Art Chlamydomonas:

-einzellige Süßwasser-alge mit 2 gleich langen Geißeln

-Augenfleck = Stigma vorhanden

-Hülle aus Glykoproteinen, keine Cellulose

-ungeschlechtliche Vermehrung = mitotische Teilung innerhalb der Mutterzellenhülle bis zu 16 Tochterzellen

-geschlechtliche Vermehrung = Algen verschmelzen (Plasmogamie) und Zellkerne verschmelzen (Karyogamie), es entsteht eine Zygote als Dauerstadium, in der die Meiose vollzogen wird und 4 Algen entstehen.

Art Volvox:

-koloniebildend, bildet eine Hohlkugel aus 500 bis 60.000 zweigeißeligen Zellen

-einige dieser Zellen sind Fortpflanzungszellen, sie bilden Tochterkolonien durch Mitose, damit diese freikommen, muss die Hülle durch ein Enzym aufgebrochen werden, sie unterzieht sich einer Apoptose

-geschlechtliche Fortpflanzung ist eine Oogamie, die Fortpflanzungszellen werden zu Eizellen oder Spermien

Klasse Charophyceae

-einige Arten bilden einen Phragmoplasten

-begeißelte Arten haben ein asymmetrisches System aus Geißelwurzeln, immer zweigeißelig

-einzellige, koloniebildende, fädige und parenchymatische Gattungen

-Zygoten umgeben sich mit Sporopollenin

-zygotische Meiose, Fortpflanzung z.B. über Einwanderung der Zellen zwischen zwei Fäden

-Arten, die Merkmale der Pflanzen zeigen (Zygoten bilden Hüllzellen, Transferzellen zum Stofftransport zwischen Gametophyt und Sporophyt, wachsen durch apikale Teilung, Thallus in Nodien und Internodien unterteilt, oogame Fortpflanzung)

Klasse Ulvophyceae

-hauptsächlich marine Arten

-fadenförmige Arten, thallusbildende Arten, Vegetationskörper, die nicht in Zellen gegliedert sind, da keine Zellwandbildung der Mitose folgt.

-begeißelte Zellen sind von Schuppen besetzt oder nackt

-Zellen radiärsymmetrisch

-können zwei, vier oder mehr Geißeln haben

-haben Arten mit Generationswechsel mit Meiosporenbildung oder diploiden Entwicklungszyklus mit gametischer Meiose

Art Ulva (Meersalat):

-flacher, zwei Zellschichten dicker Thallus, mit Rhizoiden der Basalzellen verankert

-Jede Zelle hat einen Chloroplasten

-isomorpher Generationswechsel, Verschmelzung der Gametangien, die einen Sporophyt bilden

Moose

Allgemein:

- Moose=Zwischenstadium zwischen Algen und höheren Pflanzen (Phragmoplast bildend, oogam)
- Vorhandensein von Antheridien und Archegonien (Gametangien), die von sterilen Zellen geschützt werden
- Zygote/Embryo/Sporophyt verbleibt innerhalb des Archegoniums auf dem Gametophyten, ernährungsabhängig.
- Vorteil: Zellen des Sporophyten gleichen den Zellen der befruchteten Eizelle
- vielzelliger, diploider Sporophyt, der aus einmaliger Befruchtung viele Meiosen zur Sporenbildung macht
- kompensiert geringe Befruchtungswahrscheinlichkeit an Land→Trend an Land, Sporophyten zu vergrößern
- Sporangien, die eine sterile Hülle und sporogenes Gewebe haben
- Sporen haben Wände aus Sporopollenin, widersteht Austrocknung und Zersetzung
- kein Xylem oder Phloem bzw. Wasserleitgewebe nicht lignifiziert wie bei Gefäßpflanzen
- Sporophyt unverzweigt und hat nur ein Sporangium (Gefäßpflanzen verzweigt und mehrere Sporangien)
- Thallus = flacher, dichotom verzweigter Körper, dünn zur besseren CO₂-Aufnahme
- Sporophyten haben immer eine Cuticula mit Stomata analogen Spaltöffnungen, Gametophyten manchmal
- Rhizoide dienen nur der Bodenbefestigung, nicht der Nährstoffaufnahme wie bei den Gefäßpflanzen
- Zellen durch Plasmodesmen verbunden
- Während der Mitose entstehen Spindelfasern, die die Zellwandlage definieren, wie bei den Gefäßpflanzen
- Brutkörper als vegetative Vermehrung (vielzellige Organe, die zu neuen Gametophyten heranwachsen)
- Nur Spermatozoiden sind begeißelt (Zoosporen sind an Land weniger nützlich als im Wasser)
- Antheridium hat eine sterile, einzellige Hülle, die das spermatogene Gewebe umgibt, jede Zelle bildet ein Spermatozoid, Wasser ist für Befruchtung Voraussetzung, da sich nur in diesem die Spermatozoiden bewegen
- Archegonium ist flaschenförmig, im Bauch ist eine einzelne Eizelle enthalten. Die inneren Zellen des Halses, die Halskanalzellen verschleimen bei Eireife, damit Spermatozoiden durchkommen können
- es bildet sich eine Plazenta aus Transferzellen zwischen Sporophyt und Gametophyt, analog zur Plazenta der Säugetiere, apoplastische Ernährung, es gibt keine Plasmodesmen zwischen den beiden.
- Beim Wachstum des Embryos erweitert sich auch der Archegoniumbauch, er wird zu einer Kalyptra, der reife Sporophyt besteht aus einer Seta (Kapselstiel) und dem Sporangium (Kapsel)
- Sporen keimen zu einer fädigen Protonema aus, die entwickelt sich weiter zum Gametophyten

Abteilung Hepatophyta (Lebermoose):

Allgemein:

- Spore keimt meisten zu einem vielzelligen „Keimling“ aus, nur einige Arten bilden Protonema
- Gametophyten wachsen mit Scheitelzelle
- keine Spaltöffnungen im Sporophyten

Klasse Marchantiales (Thallose Lebermoose):

- komplex gebaut, starke Gewebedifferenzierung
- Gametotyp besteht aus einem Thallus und Rhizoiden
- Gametangien sitzen bei *Marchantia* auf speziellen Gametangiophoren, männliche in scheibenförmigen Antheridiophoren, weibliche in schirmförmigen Ständen, Archegoniophoren. Elateren dienen der Verbreitung

Marchantia Vermehrung:

Durch Regentropfen befruchtet der männliche Gametophyt durch Spermatozoiden den weiblichen, der darauf einen Embryo und einen Gametophyten ausbildet, der aber auf dem Archegonienstand des weiblichen Gametophyten verbleibt. Die Sporen werden anschliessend wieder ausgeschüttet und bilden neue weibliche und männliche Gametophyten. Vegetative Vermehrung durch Brutbecher, Brutkörper durch Regen verteilt

Klasse Jungermanniales (Beblätterte Lebermoose):

- einfach gebaut, geringe Gewebedifferenzierung
- Archegonien stehen auf der Spitze der Pflanze (akrogyn)
- Beblätterung: 2 seitliche Reihen von großen und eine weitere Reihe von kleinen Blättern bzw mehrlappige symmetrische Beblätterung liegt vor, bei Laubmoosen sind die Blätter gleich groß und spiralig angeordnet
- Lebermoosblätter gespalten, gelappt oder geschlitzt, Laubmoosblätter meist ganz
- Antheridien werden in den Achseln von Blättern an Seitenästen gebildet (Androecium), Archegonium und daraus entstehender Sporophyt wird von einer walzenförmigen Hülle, dem Perianth umgeben.

Abteilung Anthocerotophyta (Hornmoose):

- rosettenförmige Gametophyten denen der Lebermoose ähnlich,
- Zellen besitzen meist nur einen großen Chloroplasten mit einem Pyrenoiden

-Sporophyten besitzen Stomata (Spaltöffnungen)

Abteilung Bryophyta (Laubmoose):

-Moospflanze entwickelt sich aus einer „Knospe“ am Rand des Protonemas mit dreischneidigen Scheitelzellen

Klasse Sphagnales (Torfmoose):

- Bildung von Antheridien/Archegonien in Blattachseln an den Spitzen von Ästen in der Spitzenregion des Moos
- Sporophyten sind rund und auf einem Stiel (Pseudopodium) angehoben, die zum Gametophyten gehören
- Kapseldeckel (Operculum) vorhanden, bei Austrocknung der reifen Kapsel Öffnung durch Überdruck
- sehr resistent gegenüber Austrocknung
- sehr hohe Wasseraufnahmekapazität
- können das 20fache ihres Trockengewichtes an Wasser speichern
- Wände der Hyalocyten (toten Zellen) und des Stämmchens sind von vielen Poren zur Wasseraufnahme durchbrochen, um die lebenden Zellen (Chlorocyten) zu versorgen

Klasse Bryidae (Laubmoose)

- Stammorphologie: Wasserleitende Zellen =Hydroiden (verlängerte Zellen mit dünnen Querwänden, kein lebender Protoplast). Nährstoffleitende Zellen=Leptoiden (verlängerte Zellen mit porigen Querwänden und lebender Protoplast mit degeneriertem Kern)
- können aufrecht und wenig verzweigt wachsen, Sporophyten sind endständig(=akrokarp)
- können niederliegend und stark verzweigt auftreten, Sporophyten wachsen seitlich (=pleurokarp), z.B. Epiphyten (Pflanzen die auf anderen wachsen, aber nicht parasitieren)
- Nach der Befruchtung bildet sich auf der Mutterpflanze eine Kalyptra mit einer Kapsel, dem Sporangium an der Spitze. Wird nach der Reifung der Kapseldeckel entfernt, werden die Sporen ausgeschüttet. Das Peristom (ein Zahnkranz) dient dem hygroskopischen Verschließen von der Kapsel bei unterschiedlicher Witterung. Vegetative Vermehrung durch Bruchstücke und Brutorgane

Gefäßpflanzen

Allgemein:

- die sporophytische Generation ist die dominante
- Ligninsynthese zur Stabilisierung des Leitgewebes und des Festigungsgewebes war Evolutionsfortschritt der Gefäßpflanzen, da große Wuchshöhen erreicht werden konnte → Bäume
- ausgeprägte Verzweigung aufgrund des Apikalmeristems liegt vor
- Aufbau in Wurzeln (Festigung und Wasser- bzw. Nährstoffaufnahme), Stamm und Blättern (Photosynthese)
- Samen, enthalten Embryo und Nährgewebe, sind von einer festen Hülle umgeben, sind der größte Fortschritt in der Evolution der Gefäßpflanzen, da wasserunabhängige Vermehrung möglich war
- haben Hautgewebesystem (Epidermis, schützt nach außen), Leitgewebesystem (Xylem und Phloem), dieses ist in das Grundgewebesystem eingebettet.
- Primäres Wachstum wird durch die Apikalmeristeme eingeleitet und dient Verlängerungs und Dickenwachstum
- Sekundäres Dickenwachstum liegt an der Aktivität des Kambiums und Korkkambiums. Nur wenige Arten
- Tracheiden (ursprüngliche Form) und Tracheen (differenzierte Form) sind die leitenden Zellen des Xylems
- das primäre Leitgewebe und das Mark bilden den Zentralzylinder (Stele). Die Protostele (Xylem und Phloem ineinander eingebettet) ist der primitivste Stelentyp, es folgten die Siphonostele (besitzt Mark, Leitgewebe um das Mark herum, ist durch Blattlücken an den Blattspuren charakterisiert). Die Eustele ist die höchst evolvierte Form bei Gymno- und Angiospermen, besteht aus ringförmigen kollateralen Leitbündeln, die das Mark umgeben und durch Markstrahlen getrennt sind. Siphono- und Eustele sind unabhängig aus der Prostele entstanden.
- Blätter entstehen als Auswüchse (Blattprimordien) des Sprosses. Es gibt Mikrophylle (kleine, einnervige Blätter, Blattspur unterbricht Stelenmuster nicht, entstanden als Auswüchse des Stammes) und Megaphylle (entspringen aus Siphono- und Eustelen, kompliziert geädert, evolviert aus Seitentriebsystemen)
- Fortpflanzung isospor (ein Sporentyp bei der Meiose, bisexual Gametophyten) oder heterospor (zwei Sporentypen: Mikrosporen und Megasporen, unisexuelle Gametophyten)
- im Laufe der Evolution wurde die Zellzahl der Pflanzen immer weiter reduziert, nur noch essentielle sind da
- bei Gymno- und Angiospermen bilden die Mikrogametophyten (Pollenkörner) Pollenschläuche zur Befruchtung

Gefäßkryptogamen-Samenlose Gefäßpflanzen

Abteilung Rhyniophyta

- älteste bekannte Gefäßpflanzenabteilung, bestand damals aus mehreren gleichwertigen Sprossen (Ur-Telome), keine Unterteilung in Blätter, Wurzeln und Stamm, aber dichotom verzweigt
- isospore Fortpflanzung, Sporangien entstanden endständig
- wasserabsorbierende Rhizome
- zentrifugale Xylemdifferenzierung

Abteilung Zosterophyllophyta

- dichotom verzweigte, unbeblätterte Sprosse, von einer Cuticula bedeckt, nur die oberen hatten Stomata
- abwärts wachsende Äste dienten der Verankerung
- Sporangien entstanden seitlich auf kurzen Stielen
- zentripetale Xylemdifferenzierung

Abteilung Lycophyta (Bärlappgewächse):

- bilden nur Mikrophyll aus, immer krautig (kein sekundäres Dickenwachstum)

Familie Lycopodiaceae (Bärlappe):

- niederliegende Sporophyten mit dichotomer Bewurzelung
- Leitsystem ist eine Plektostele (Protostele)
- isospore, zeitversetzte Reife der Gametangien → kaum Selbstbefruchtung
- Sporangien sitzen auf fertilen Mikrophyllen (Sporophyllen)
- Fortpflanzungszyklus:
 - Antheridien bilden Spermatozoide aus, die frei werden und Archegonien befruchten
 - aus dem Embryo entsteht ein Sporophyt innerhalb des Gametophyten, der Gametophyt verbleibt als Anhängsel des Sporophyten
 - im Sporophytenstand (Blüten aus Sporophyllen) bilden sich Sporangien, die Sporen ausreifen lassen.

Familie Selaginallaceae (Moosfarne):

- heterospor, jedes Sporophyll hat eine Ligula am Grund der Blattoberseite.
- Jedes Sporophyll hat ein einzelnes Sporangium, es gibt Mega- und Mikrosporophylle
- Leitsystem eine Aktinostele (Protostele)
- Fortpflanzungszyklus:
 - Mikrosporen werden zu einem Mikrogametophyt (Mikroprothallium), der Spermatozoiden bildet
 - der aus der Megasporenwand herausragende Megagametophyt mit Archegonien wird befruchtet, es entsteht ein junger Sporophyt im Megagametophyten (innerhalb der Megasporenwand).
 - Sporophyt bildet Sporophyllstände, die 2 verschiedene Sporangien enthalten: Mikrosporangien und Megasporangien, die die männlichen und weiblichen Sporen bilden.

Familie Isoetaceae (Brachsenkräuter):

- lange Mikrophyll
- Sporophyll ist dicker fleischiger Stamm mit einer dichten Rosette Mikrophyll und dichotomen Wurzeln
- besitzt Kambium, sekundäres Dickenwachstum
- haben CAM-Stoffwechsel

Abteilung Trimerophytophyta:

- komplexes Verzweigungssystem, aber immer noch Mikrophyll
- zentrifugale Xylemdifferenzierung

Abteilung Psilotophyta (Gabelblattgewächse):

- keine Wurzeln, epiphytisch lebend
- blattloses Rhizomsystem
- Gametophyt und Rhizom leben in Symbiose mit einem Mykorrhizapilz
- manche Gametophyten haben Leitgewebe

Abteilung Sphenophyta (Schlächelhalmgewächse):

- wirtelige Anordnung der Mikrophyll, Seitentriebe entspringen zwischen den Blättchen
- gerippte Internodien, raue Oberfläche durch Kieselsäureablagerungen
- Carinalkanäle (Markhöhle wird von diesen umgeben), in der Ringe Vallecularkanäle
- isospore

- Antheridium bildet Spermatozoiden, diese befruchten die Archegonien auf dem zwittrigen Gametophyten
- junger Sporophyt bildet sich am Gametophyt anheftend
- es entsteht ein Sporophyt, der einen Sporophyllstand ausbildet
- auf diesem werden in den Sporangiothoren die Sporen gebildet, die in Hapterenform auftreten. (Spiralbänder, die sich bei Trockenheit entrollen und bei Feuchtigkeit einrollen, dienen der Ausbreitung)

Abteilung Pterophyta (Farne):

Allgemein:

- Es gibt eusporangiate Farne (Eusporangien entstehen aus mehreren Initialien (Epidermiszellen), die sich teilen, zwei Sporangienwände bilden, aus denen Sporenmutter- und Tapetumzellen entstehen) und leptosporangiate Farne (Leptosporangien entstehen aus einer Zelle, es bildet sich eine innere Zelle inmitten einem Gewebe, diese innere Zelle differenziert sich in Tapetuminitialien, die außen sind und in Sporenmutterzelleninnen. Es entsteht ein Anulus mit verdickten Wänden, der aufreißt, um die Sporen freizulassen)
- Das Tapetum dient der Ernährung der Sporen und der Gestaltung der Sporenwände

Ordnung Ophioglossales und Marattiales:

- isospore, eusporangiate Farne
- jedes Jahr entsteht vom Rhizom ein Wedel (Megaphyll)
- Gametophyten sind unterirdisch mit vielen Rhizoiden, chlorophyllfrei, leben mit Mykorrhiza

Ordnung Filicales:

- isospore, leptosporangiate Farne
- unterirdische Rhizome mit Siphonostele, jedes Jahr entstehen neue Wedel (Trophophylle), die Blattspreite ist in Fiederblättchen unterteilt, die an einer Spindel (Rhachis) ansetzen. Sie sind an der Spitze eingerollt, da der Wedel im frühen Entwicklungsstadium an der Unterseite schneller wächst als an der Oberseite. (Auxin)
- Haare oder Schuppen aus Epidermisauswuchs zum Schutz
- Sporo-Trophophylle als sporentragende Wedel, die Sporangien sind in Gruppen, den Sori, zusammengefasst. Die Sori werden durch ein Indusium überdeckt.
- der bisexuelle Gametophyt wird zum Prothallium mit Rhizoiden, auf Unterseite Archegonien und Antheridien

Ordnung Marsileales und Salviniiales (Wasserfarne):

- einzigste heterospore Farne
- über der Basis der Blattstiele entstehen Sporokarpium (bestehen aus Sporangien und Blatt)
- behaarte Blätter zur Wasservermeidung
- viele Interzellularen zur Vermeidung längeren Untertauchens

Spermatophytina-Samenpflanzen

Allgemein:

- Same als abgeleitete Form der Heterosporie, er besteht aus einem Megasporangium, das von dem Integument umgeben ist (schützendes Gewebe). Megagametophyt ist Nährgewebe und Archegonien.
- Zur Evolution des Samens führten:
- das Megasporangium (Nucellus) entlässt die Sporen nicht mehr
- Megasporenmutterzellenreduktion auf eine
- nur eine der vier Megasporen bei der Meiose überlebt
- stark reduzierter Megagametophyt innerhalb der Megaspore, der Gametophyt lebt nicht mehr frei
- Embryo/Sporophyt entwickelt sich innerhalb der Megaspore
- Integument umhüllt das Megasporangium bis auf eine Mikropyle (Öffnung) vollständig
- Spitze des Megasporangiums abgewandelt, um Samen empfangen zu können
- Megaphylle als Blätter, manchmal zu Nadeln oder Schuppen umgebildet

Gymnospermen-Nacktsamer

Progymnospermen:

- pflanzen sich mit frei ausgestreuten Sporen fort
- hatten sekundäres Dickenwachstum (Kambium)
- in einigen Gruppen Prostele, in anderen Eustele

Allgemein:

- Samenanlage(Archegonium) ist für Pollenkörner (enthalten männliche Gametophyten) frei zugänglich
- bilden jeweils mehrere Archegonien, also können sich in einer Samenanlage mehrere Embryonen entwickeln, überleben tut jedoch nur einer
- Bestäubung durch Wind, nach Bestäubung wächst aus dem männlichen Gametophyten ein Pollenschlauch, Spermazellen bei Coniferen und Gnetopsiden unbeweglich und werden über Pollenschlauch zu den Archegonien gebracht
- Antheridien fehlen
- Nährgewebe wird auch gebildet, wenn Samen nicht befruchtet wird, im Gegensatz zu den Angiospermen

Abteilung Coniferophyta (Nadelhölzer, Nadelblättrige):

Gattung Pinus (Kiefer):

- Nadeln schraubig um die Sprossachse angeordnet, haben eine dicke Cuticula und Hypodermis zum Schutz, Harzkanäle zum Wundverschluss, nebeneinanderliegende Leitbündel aus Xylem und Phloem, Transfusionsgewebe zum Stoffaustausch zwischen Leitbündeln und Mesophyll) müssen mehrere Jahre halten
- Nadelbüschel sind Kurztriebe (Aktivität des Apikalmeristems eingestellt) und Langtriebe, entstehen durch Reaktivierung des Scheitelmeristems (unbegrenztes Wachstum)
- sekundäres Dickenwachstum beginnt früh, Xylem sind Tracheiden, Phloem Siebzellen
- Fortpflanzungszyklus ist zweijährig angelegt:
 - Mikrosporen enthalten 2 Prothalliumzellen, eine generative Zelle und eine siphonogene Zelle (Pollenschlauch), werden in den Strobili (männlicher Sporophyllstand, Kurztriebe) produziert und durch den Wind verbreitet. Währenddessen teilt sich die generative Zelle in eine Stielzelle und eine spermatogene Zelle. Im Hals der Archegonien teilt sich die spermatogene Zelle in 2 Spermazellen, eine befruchtet die Eizelle, die andere stirbt ab.
 - Weiblicher Gametophyten sind Zapfen, diese sind verzweigte Megasporophylle
 - weibliche Zapfen benötigen 2 Jahre bzw. Zapfengenerationen zur Entwicklung
 - diesjährige Zapfen besitzen ~32 Kerne, letztjährige hingegen bis zu 2000 Kernen → freie Kernteilungen des Embryosacks, Zellwände werden nachträglich ausgebildet
 - Der reife Samen wird in der dritten Zapfengeneration entlassen

Abteilung Ginkgoophyta(Ginkgoartige):

- bildet Spermatozoiden aus, Pollenschlauch entwickelt als Haustorium, platzt dann auf und lässt diese frei
- Befruchtung erst, wenn die Samenanlagen schon abgefallen sind
- bildet keine Früchte, sondern freie Samenanlagen, die in äußere Sarkotesta und innere Sklerotesta unterteilt sind
- Blattnervatur ist dichotom verzweigt, zurückzuführen auf die Telomtheorie (Differenzierung der Blätter)

Abteilung Cycadophyta (Palmfarne):

- hohe Stämme, die von den Blattbasen der abgeworfenen Blätter bedeckt sind, mit einem Markkörper durchsetzt
- Blätter bilden eine Schopfrosette
- echtes cambiales sekundäres Dickenwachstum im Gegensatz zu Palmen
- oft giftig, da große Mengen an Nervengiften und krebserregenden Substanzen enthaltend
- in der Rinde der Wurzel Symbiosen mit Cyanobakterien
- Fortpflanzungsorgane sind reduzierte Blätter mit anhängenden Sporangien
- männliche und weibliche Organe auf verschiedenen Pflanzen
- Pollenschläuche meist unverzweigt, zerstören beim Wachstum das Nucellusgewebe entwickelt sich als Haustorium, platzt dann auf und lässt die Spermatozoiden frei. Jeder männl. Gametophyt erzeugt deren zwei
- Käfer spielen mitunter eine Rolle bei der Bestäubung

Abteilung Gnetophyta (Lianen, Rutensträucher):

- meist Sträucher mit kleinen schuppenförmigen Blättern
- Angiospermen-ähnliche Merkmale, allerdings unabhängig voneinander entwickelt (Zapfen ähneln Angiospermen-Infloreszenzen, im Xylem sind ähnliche Tracheen vorhanden, manchmal fehlen Archegonien)
- Epedra hat auch eine doppelte Befruchtung wie die Angiospermen
- Insekten und Wind als Bestäubungsmöglichkeiten

Angiospermen-Bedecktsamer

Allgemein:

- Blüte ist ein meist bisexueller, sporophylltragender Kurzspieß
- Kelchblätter (Sepalen) und Kronblätter (Petalen) sind sterile Blütenhüllen, sie bilden das Perianth. Sind sie gleichgestaltet, so werden sie als Tepalen bezeichnet und das Perianth heißt Perigon.
- Staubblätter (Stamina, Mikrosporophylle, bestehen aus Filament=Stiel und Anthere=Staubbeutel, die in 2 Pollensackgruppen=Theken geteilt ist), bilden Androceum und Fruchtblätter (Karpelle, Megasporophylle, schließen eine oder mehrere Samenanlagen ein, haben einen oberen sterilen Teil=Narbe=Stigma und einen unteren fertilen Teil =Fruchtknoten=Ovar), bilden Gynoceum, sind fertile Organe
- Samenanlagen sitzen auf der Placenta, es gibt parietale (sitzen am Rande des Kreises), zentralwinkelständig (sitzen an den Ecken eines Y) und zentral freie (sitzen auf einem kleinen Kreis in der Mitte) Placentationstypen
- Unisexuelle Blüten gibt es auf monözischen Arten, bisexuelle auf diözischen Arten.
- hat die Blüte alle Bestandteile, so ist sie vollständig, sonst unvollständig. Unisexuelle Arten sind letzteres.
- Blütenorgane können untereinander (connat) oder mit Gliedern eines anderen Wirtels verwachsen (adnat) sein
- Es gibt radiärsymmetrische, disymmetrische, asymmetrische und zygomorphe Blüten
- Gametophyten stark reduziert, Mikrogametophyt 3 Zellen, Megagametophyt 7 Zellen.
- Bestäubung: Pollenschläuche wachsen über Narbe ein, durchqueren das Transmissionsgewebe
- Mikrosporogenese: sporogene Zelle in jeder Anthere, umgeben von vier Lagen steriler Zellen, letztere werden zu Endothecium (Öffnungsgewebe des Pollensacks) und Tapetum (Nährschicht). Sporogene Zellen werden zu Mikrosporocyten, die sich meiotisch in haploide Mikrosporen (Pollenkörner) teilen. Pollenkorn wird durch harte Exine aus Sporopollenin geschützt, darunter liegt die Innenwand (Intine) aus Cellulose.
- Mikrogametogenese: Mikrospore teilt sich in vegetative Pollenschlauchzelle und generative Zelle, später (meist nach der Befruchtung) teilt sich die generative Zellen in zwei unbegeißelte Spermazellen
- Megasporogenese: Nucellus wird von Integumenten umhüllt, an einer Seite offen (Mikropyle) an der anderen verbunden (Chalaza), im Nucellus entsteht Megasporenmutterzelle, die sich in 4 Megasporen teilt, 3 sterben ab
- Megagametogenese: Megaspore teilt sich mitotisch in 8 Kerne, im Megagametophyt (Embryosack) sind 2 der Kerne in der Mitte als Polkerne, drei am Chalazaende, die Antipoden und drei Zellen, die Eizelle mit 2 Synergiden am mikropylaren Ende bilden.
- doppelte Befruchtung: ein Spermatozoid verschmilzt mit der Eizelle, das andere wandert in die Mitte des Embryosacks und verschmilzt mit den Polkernen, diese werden anschliessend zum triploiden Endosperm
- Förderung der Fremdbestäubung durch zeitversetzte Reifung von Staubblättern und Narben (Dichogamie), räumlicher Trennung (Herkogamie) oder genetische Selbstinkompatibilität (Pollenschlauchhemmung)
- Fortpflanzung durch Selbstbestäubung (Autogamie), manchmal sogar in der Knospe schon (Kleistogamie)
- Widerstandsfähigkeit gegen Trocken und Kälte (derbe Blätter, Gefäßelemente, harte Samenschale)
- Laubfall als Möglichkeit, während Dürreperioden physiologisch inaktiv zu sein → Evolutionsvorteil
- Siebröhren zum effektiveren Zuckertransport im Phloem, Tracheen zum effektiveren Wassertransport
- die ersten Angiospermen hatten Blütenblätter, die nicht deutlich in Kelch und Krone gegliedert waren, Kronblätter haben sich aus steril gewordenen Staubblättern entwickelt. Im Laufe der Evolution Verwachsung Staubblätter zu Röhre (Fabaceae, Cucurbitae, Asteraceae) oder mit der Krone verwachsen (Lamiaceae)
- Evolution der Blüten zeigt 4 Tendenzen:
 - *Blüten mit vielen Blütenorganen unbegrenzter Zahl → wenige Blütenorgane mit begrenzter Zahl
 - *Reduktion der Organzahl, Stauchung der Blütenachse, Verwachsung der Organe
 - *Fruchtknoten oberständig → Fruchtknoten unterständig, Perianth → Kelch & Krone
 - *Radiärer, regelmäßiger Blütenbau → disymmetrischer, zygomorpher, asymmetrischer Blütenbau
- Asteraceae haben zu einem Köpfchen vereinigte Einzelblüten, Kelchblätter reduziert zum Pappus (Verbreitung) Scheibenblüten (die eigentlichen Blüten) und Strahlblüten (dienen der Anlockung von Insekten) nebeneinander. Einzelblüten öffnen sich spiralig nacheinander außen → innen, um Pollen unterschiedlicher Herkunft zu kriegen
- Jede Blüte hat nur eine Samenanlage
- Orchidaceae haben 3 verwachsene Fruchtblätter, unterständigen Fruchtknoten, nur ein Staubblatt vorhanden
- Jeder Fruchtknoten hat tausende Samenanlagen, Staubblatt verwachsen mit Fruchtknoten, gesamte Pollenmasse klebt als Pollinium zusammen, Perigon als Blütenhülle
- Evolutive Anpassung von Blüten an Insekten aufgrund Bestäubung (Zoophilie):
 - Manche Pflanzen bilden Nektarien (Drüsen, die Nektar ausscheiden, der Tieren als Nahrung dient)
 - Bildung zwittriger Blüten → Zwei Aufgaben an einer zu erledigen
 - Cantharophile (Käferblumen) haben helle Farben aber einen starken Geruch, Geruchssinn der Käfer wichtig
 - Melittophile (Bienenblumen) sind blau oder gelb und haben Saftmale. Bienen können kein Rot sehen
 - Lepidopterophile (Schmetterlingsblumen) haben eine lange Kronröhre, nur mit Schmetterlingsrüssel erreichbar
 - Ornithophile (Vogelblumen) sind nektarreich, rot und geruchslos, da rot auf Vögel anziehend wirkt
 - Chiroptrophile (Fledermausblumen) haben reichlich Nektar und starken Duft, aber matte Farben
 - Anemophile (Windbestäubung) haben keinen Nektar, schwach gefärbt und geringer Duft, meist diözisch
 - Hydrophile (Wasserbestäubung) leben untergetaucht, Befruchtung durch Segel (männl.) und Trichterbau (weibl)

-Die meisten Farben der Blüten werden durch Flavonoide hervorgerufen (zwei Benzolringe mit O-Sechsring) Anthocyane sind die wichtigsten, befinden sich in den Vakuolen, Carotinoide in den Plastiden. Farbänderungen durch pH-Änderung in den Vakuolen → Farbumschlag bei befruchteten Blüten. Farblose Flavonole für weiße Blüten, Betacyane für rote Blüten bei Kakteen oder bei Rote Bete.

-Frucht ist eine Blüte im Zustand der Samenreife, es gibt aber auch parthenokarpe Früchte (ohne Samen, Banane). Es gibt Einzelfrüchte (Blüten mit einem Fruchtknoten), Sammelfrüchte (Blüten mit einzelnen, getrennten Fruchtblättern, Erdbeere) und Fruchtstände (entstehen aus mehreren einzelnen Blüten, Ananas)

Fruchttypen:

Beere (Bacca), entsteht aus vielsamigen Karpellen, Testa (Samenschale) übernimmt Schutz. Tomate, Traube.

Steinfrucht (Drupe) entsteht aus einsamigen Karpellen, Endokarp ist holzig. Kirsche, Pflaume, Olive.

Apfelfrucht (Pomum) entsteht aus unvollständig verwachsenen unterständigen Fruchtknoten. Apfel, Birne.

Nuß (Nux) vollständig verholzte Fruchtwand, nur ein Same, entsteht aus synkarpem Gynoceum. Eiche, Ahorn.

Diese Fruchttypen sind indehiszente Früchte, Samen wird auch nach Abtrennung umschlossen.

Dann gibt es noch dehiszente Früchte, Samen werden aus Perikarp freigegeben:

Kapsel (Capsula), entsteht aus mehrkarpelligem Gynoceum:

Balg (Folliculus) entsteht aus einem einzigen Fruchtblatt, öffnet sich nur auf einer Seite. Baumwolle.

Hülse (Legumen) entsteht aus einem einzigen Fruchtblatt, öffnet sich aber zweiseitig. Erbse.

Schote (Siliqua) entsteht aus 2 parakarp verwachsenen Fruchtblättern, zwei Klappen öffnen sich. Kreuzblütler
Ausbreitungstypen:

Anemochorie, Ausbreitung durch Wind. Ahorn, Orchideen, Pappus beim Löwenzahn, verschließen Springkraut

Hydrochorie, Ausbreitung durch Wasser, lufthaltiges Schwammgewebe. Kokosnuß. Regen.

Endozochorie, Ausbreitung durch Tiere, die die Früchte fressen und ausscheiden. Roter Arillus (Samenmantel)

lockt Tiere an, unreife Früchte sind durch Grün unattraktiv. Rote Früchte durch Einsatz des Hormons Ethylen.

Epizochorie, Ausbreitung durch Anhaften an Tieren, tragen Dornen, Widerhaken, Haare, klebrige Anhängsel

-sekundäre Pflanzenstoffe als Abwehrstoff für Herbivore. Insekten können aber auch diese aufnehmen, dadurch selber giftig werden und das durch grelle Farben ihres Körpers Räubern gegenüber anzeigen.

-Embryogenese:

Zygote teilt sich asymmetrisch und quer zur Längsachse, dadurch wird Polarität des Embryos festgelegt. Oberer Teil (Richtung Chalaza) wird zum Hauptteil der Zelle, unterer Teil (Richtung Mikropyle) wird zum Suspensor (Embryoträger, verankert Embryo an der Wand zur Mikropyle hin, unterstützen die frühe Entwicklung mit Nährstoffen und Hormonen, unterliegt Apoptose)

Embryo differenziert sich in Protoderm (werdende Epidermis), Grundmeristem (werdendes Grundgewebe) und das Procambium (werdendes Leitgewebe). Embryo ist kugelförmig, herzförmig (zylindrisch bei Monokotylen), und zuletzt torpedoförmig.

-Nach Embryoreife löst sich der Funiculus (Stiel, mit dem der Embryo an der Fruchtknotenwand sitzt) ab und der Embryo wird zu einem selbstständigen System. Zuletzt gibt der Same Wasser ab und trocknet aus, die Samenschale (Testa) wird hart und übernimmt Schutzfunktion. Der Embryo besteht nun aus Plumula (Sprossknospe), Hypocotyl und Radicula (Keimwurzel).

-Keimbedingungen eines Samens werden durch Wassergehalt (Same quillt, Samenschale kann aufbrechen), Sauerstoffgehalt (Wenn Erde zu naß ist, aerobe Atmung nicht möglich) und Temperatur festgelegt.

-Samen kann auch in Keimruhe (Dormanz) sein, kann durch die Undurchlässigkeit der Samenschale für Wasser und Sauerstoff oder durch die physiologische Unreife des Embryos hervorgerufen sein. Ein Embryo kann nämlich eine Nachreife durchlaufen müssen, die nur durch niedrige Wintertemperaturen ausgelöst wird. So wird ein Auskeimen im Winter verhindert, das den Embryo zerstören würde. Undurchlässige Samenschalen müssen zuerst zerstört werden, als Anpassung an den unterschiedlichen Lebensraum. Manchmal müssen durch Regenfälle Hemmstoffe im Samen ausgewaschen werden, damit eine Keimung in Regenzeit erfolgt.

Magnoliopsida:

-monoaperturate Pollen (Pollen mit nur einer Keimfurche)

-Vorkommen von Ölzellen mit ätherischen Ölen (Muskatnuß, Pfeffer, Lorbeer)

-„Holzige Magnoliiden“ mit kräftigen, zwittrigen Blüten, viele unverwachsene Organe spiralförmiger Anordnung

-„Paleoherbs“ mit krautigen Gewächsen und kleinen Blüten. Meist eingeschlechtlich

Monocotyledonae (Liliopsida):

-Sofortige Wandbildung nach Kernteilung (Meiose) der Mikrosporocyten (sukzedane Pollenkornbildung)

-ein Keimblatt

-Apikalmeristem entsteht an einer Seite des Keimblattes, wird gänzlich von einer Erweiterung der Keimblattbasis umgeben

-einzelnes Keimblatt nimmt Nährstoffe aus Endosperm auf und speichert diese für die weitere Entwicklung.

Pflanzen haben ein Scutellum am Endosperm, das der Resorption des Endosperms dient

-Coleorhiza umhüllt Radicula, Coleoptile umhüllt Plumula

-Bei der Keimung wird das Endosperm, das die Nährstoffe enthält, mit dem Keimblatt emporgehoben oder beim Mais durchstößt die Coleorhiza das Perikarp, die Radicula durchstößt die Coleorhiza und die Coleoptile werden durch Verlängerung des ersten Internodiums nach oben gedrückt.

Dicotyledonae (Rosopsida):

- Mikrosporen-Protoplasten umgeben sich nach dem Ende der Meiose mit Zellwand (simultane Bildung)
- zwei Keimblätter
- tricolpater Pollen (ein Pollen mit drei langgestreckten Keimfurchen)
- Apikalmeristem entsteht zwischen den beiden Cotyledonen
- Endosperm, Periderm werden bei einigen Arten bei der Embryoentwicklung fast ganz aufgebraucht, es entstehen fleischige, nährstoffspeichernde Cotyledonen oder bei anderen Arten wird das Endosperm weiter verwendet und die Cotyledonen sind dünn und häutig
- Es gibt epigäische Keimung, bei der das Hypocotyl sich streckt und Krümmt, wodurch die Sprossspitze die Erde nicht durchstoßen muss, die Cotyledonen werden durch das Hypocotyl herausgezogen. Gartenbohne.
- Bei der hypogäischen Keimung streckt sich das Epicotyl und bildet einen Haken. Durch Aufrichtung gelangt die Plumula aus der Erde heraus. Die Cotyledonen verbleiben in der Erde und geben ihre Speicherstoffe ab. Erbse.

Zellen und Gewebe des Pflanzenkörpers

- Apikalmeristeme sind an jeder Sprossachsen- und Wurzelspitze, sie bestehen aus Initialien. Bei Teilung verbleibt eine Tochterzelle im Meristem und die andere wird an den Pflanzenkörper abgegeben (Derivat).
- Apikalmeristeme dehnen die primären Meristeme (Protoderm, Procambium und Grundmeristem) aus.
- Durch die Meristeme wird Pflanzen ein unbegrenztes Wachstum ermöglicht
- Wachstum ist Zellteilung und vor allem Zellstreckung (Morphogenese)
- Zelldifferenzierung erfolgt durch unterschiedliche Genexpression an unterschiedlichen Zellstandorten
- Drei Gewebesysteme: Grundgewebesystem (Parenchym, Collenchym, Sclerenchym), Leitgewebesystem (Phloem, Xylem), Abschlussgewebesystem (Epidermis, Periderm)
- Parenchym ist für Photosynthese, Speicherung und Sekretion zuständig, lebender Protoplast, teilungsfähig
- Transferzellen sind Parenchymzellen mit Einstülpungen der Wand zur Oberflächenvergrößerung des Plasmalemmas, für intensiven Kurzstreckentransport zuständig. Tritt z.B. in Endosperm auf.
- Collenchym hat flexible, verdickte Primärwände. Es hat Stützfunktion. Lebend. (Selleriestange)
- Sclerenchym hat dicke, oft verholzte Sekundärwände zur Stabilisierung von Organen, deren Streckungswachstum beendet ist. Es gibt Fasern (Hanf, Jute) und Sclereiden (Steinfrüchte)
- Xylem ist das Hauptwasserleitsystem der Gefäßpflanzen. Langgestreckte Zellen mit Sekundärwänden. Es gibt Tracheiden und Tracheen (Gefäßelemente). Beide können getüpfelt sein, aber nur die Tracheen haben Perforationen (Zonen ohne Primär- und Sekundärwand am Ende zur Verbindung der Zellen, Perforationsplatte). Tracheiden hingegen haben nur eine Häufung der Tüpfel. Beispiel für Apoptose, ganzer Protoplast stirbt ab.
- Phloem ist nährstoffleitendes Gewebe in Gefäßpflanzen. Es gibt Siebzellen und Siebröhrenelemente. „Sieb“ wegen Siebporen zur Plasmalemma-Verbindung zwischen Protoplasten an bestimmten Wandpartien, den Siebfeldern. Bei Siebröhrenelementen gibt es Siebplatten, Wände mit den größeren Siebporen zur Zellverbindung zu einer Siebröhre. Callose als Wundverschluss in Siebelementen. Siebelemente haben im differenzierten Zustand nur noch Plasmalemma, ER, Mitochondrien und Plastiden entlang der Wand. Nährstoffversorgung durch Geleitzellen bei Siebröhren (entstehen aus gleicher Mutterzelle) und Straßburgerzellen bei Siebzellen (entstehen aus anderen Zellen).
- Epidermiszellen sind Abschlussgewebe, enthalten zum Gasaustausch einen Spaltöffnungsapparat (Schließzellen & Nebenzellen) mit evtl. anhängenden Trichomen (Salzabgabe, Insektenabwehr, Insektenfang bei fleischfressenden Pflanzen). Epidermis ist zum Verdunstungsschutz mit Cuticula bedeckt (Wachs & Cutin)
- Periderm als sekundäres Abschlussgewebe besteht aus Phellem (Kork, stark suberinisiert), Phellogen (Korkcambium) und Phelloderm (lebendes parenchymatisches Gewebe). Lenticellen zur Belüftung.

Gymnospermen:

- Tracheiden
- Siebzellen, Straßburgerzellen nur bei Ginkgo und Coniferophyta

Angiospermen:

- Transferzellen
- Tracheiden und Tracheen
- Siebröhrenelemente

Die Wurzel: Bau und Entwicklung

- Radicula → Wurzel. Verankerung, Assimilation, Stofftransport und Speichersubstanz ist Zweck derselben.
- Oberfläche der Wurzel muss ein Vielfaches des Sprosses betragen. Assimilation nur über Nährwurzeln möglich.
- Wurzelspitze wird von schleimabsondernder Kalyptra bedeckt, Schleim verhindert Wurzelreibung, ein für stickstofffixierende Bakterien günstiges Medium, Schutz vor Austrocknung.
- Columella (zentrale Wurzelhaube) enthält Statolithen mit Stärkekörnern zum Gravitropismus
- apikale Organisation der Wurzel kann geschlossen (Wurzelhaube, Zentralzylinder und primäre Rinde stammen aus 3 verschiedenen Zelllagen) oder offen (Regionen entstammen einer Zellgruppe) sein
- Initialenregion wird im späteren Wurzelwachstum teilungsinaktiv, zum Ruhezentrum. Bei Verletzung mitotisch.
- In der Wurzelspitze folgen Zellteilungszone (Apikalmeristem), Streckungszone (Zellverlängerungsort, kann nur hier erfolgen) und Differenzierungszone (Zellen differenzieren sich, Wurzelhaarbildung da wenigste Reibung) aufeinander. Die Zonen gehen fließend ineinander über.
- Wurzel hat Epidermis(Abschlussgewebe), Rinde(Grundgewebesystem) und Zentralzylinder(Leitgewebesystem)
- Absorption von Wasser und Nährstoffe über die Epidermis junger Wurzeln (Rhizodermis), Wurzelhaare vergrößern Oberfläche, sind kurzlebig. Weitere Oberflächenvergrößerung durch Mykorrhiza möglich.
- primäres Rindengewebe ist mit stärke-speichernden, aber nicht photosynthesisierenden Chloroplasten gefüllt. Viele Interzellularen zur Sauerstoffversorgung, Verbindung der Protoplasten über Plasmodesmen. Innerste Schicht (Endodermis) hat keine Interzellularen, Casparyscher Streifen (integraler Teil der Primärwand, suberinisiert, lignifiziert) verhindert apoplasmatischen Transport. Symplasmatischer Weg zum Zentralzylinder.
- Ältere Wurzeln können primäre Rinde behalten, Innenwand der Endodermis wird mit Suberin ausgekleidet. Es gibt Durchlasszellen, die nicht suberinisiert werden. Alle Zellen können aber symplasmatisch weiter aufnehmen.
- Exodermis kann auftreten, auch kompakte Zellschicht mit Caspary-Streifen mit Suberinlamellen und Cellulose. Reduzieren Wasserverlust und bieten Schutz gegen Mikroorganismenangriffe.
- Zentralzylinder besteht aus Leitgewebe und Perizykel (nicht leitend, Seitenwurzelbildungszone). Leitbündel radial angeordnet (Xylem erstreckt sich radial bis zum Perizykel, Phloem dazwischen).
- sekundäres Dickenwachstum der Wurzel durch Bildung von sekundärem Leitgewebe aus dem Cambium zwischen primärem Phloem und Xylem und Bildung eines Periderms (Kork) aus dem Korkcambium.
- Cambium gibt Zellen nach außen ab, sek. Phloem außen, sek. Xylem innen.
- Da Epidermis/Endodermis abgestoßen wird, bildet Phellogen (Korkcambium, entsteht im Perizykel) nach außen Phellem (Kork) und nach innen Phelloderm. Alles zusammen ist das Periderm. Dient als Schutz.
- Seitenwurzeln entstehen endogen aus dem Perizykel, beim Wachstum des Wurzelprimordiums durchbricht sie die primäre Rinde (Enzymausscheidung zur Rindenzellauflösung).
- Wurzelmetamorphosen sind Luftwurzeln (Stützorgane bei Mangroven, Kletterorgane bei Efeu, Atemwurzeln zur Sauerstoffversorgung von Pflanzen in Staunässe wie Mangroven, Festhaftung bei Epiphyten), Speicherwurzeln (Speicherparenchymbildung. In Möhren herrschen im sek. Xylem und Phloem diese vor, Süßkartoffeln bilden zusätzlich noch Cambiumzellen um einzelne Gefäße zur Parenchymbildung und Rüben haben mehrere konzentrische Cambien, die Xylem und Phloem mit überwiegendem Parenchymanteil bilden.

Gymnospermen:

- Pfahlwurzel, allorhizes Wurzelsystem

Angiospermen:

Monocotyledonae (Liliopsida):

- Primärwurzel stirbt ab, sprossbürtige Adventivwurzeln, homorhizes Wurzelsystem
- kein sekundäres Dickenwachstum der Wurzel

Dicotyledonae (Rosopsida):

- nur holzige Pflanzen haben sek. Dickenwachstum der Wurzel, krautige wenig.

Der Sproß: Primärer Bau und Entwicklung

- Sproßachse hat Transport- und Stützfunktion
- Apikalmeristem komplex, muss regelmäßig Blatt-(→Blätter) und Knospenanlagen(→Seitenzweige) bilden.
- keine Kalyptra zum Schutz, dafür von jungen Blättern als Schutz umgeben
- Apikalmeristem besteht aus Tunica (oberer Teil, teilt sich antiklin, senkrecht zur Oberfläche zwecks Oberflächenwachstum) und Corpus (von Tunica eingeschlossener Zellkomplex, teilt sich periklin, parallel zur Oberfläche zwecks räumlichen Wachstum des Sprosses, besteht aus teilungsinaktiven Zentralmutterzellen mit großen Vakuolen und einer teilungsaktiven peripheren, umgebenden Zone). Unter dem Corpus ist noch das Rippenmeristem vorhanden als Vorläufer des Marks. Protoderm = äußerste Tunica-Schicht, Procambium und Teil des Grundmeristems = periphere Zone

- Am Apikalmeristem entstehen Blattanlagen in Folge ohne Internodien. Sichtbar erst nach Streckungswachstum.
- manchmal intercalares Meristem, das in einem Bereich des Internodiums zum Streckungswachstum da ist.
- drei Grundbautypen der Sprossachsen vorhanden:
 - *einige Coniferen, Magnoliiden und eudicotyle Pflanzen: schmale Procambiumzellen bilden einen Hohlzylinder im Grundgewebe, der äußere Teil ist der Cortex, der innere Teil das Mark
 - *andere Arten: Leitgewebe besteht aus durch Grundgewebe getrennten Strängen, zylindrige Anordnung
 - *meiste Monocotyle und einige krautige Eudicotyle: Leitbündel über das ganze Grundgewebe verteilt
- Procambiumstränge entstehen hinter Blattanlagen und verlängern sich in die Blattprimordien → Einheit zwischen Blatt und Sprossachse
- an jedem Stengelknoten biegen einige Leitbündel aus dem Leitgewebezyylinder in der Sprossachse ab, durchbrechen primäre Rinde und treten in das Blatt ein. Stengelleitbündel, die an das Leitbündel des Blattes angeschlossen sind, heißen Blattspur. Wo das Leitgewebe abbiegt, wird Parenchym gebildet, die Blattlücke.
- Stengelleitbündel und die zugehörigen Blattspuren = Sympodien. Können verbunden oder unabhängig sein.
- Blattanordnungen (Phyllotaxis):
 - *schraubig: wechselständige Blätter, schraubige um die Sprossachse laufend. Eichen.
 - *distich (zweizeilig): wechselständige Blätter, gegenüberstehend. Gräser.
 - *gegenständig: zwei Blätter pro Knoten, gegenüberstehend. Ahorn.
 - *dekussiert (kreuzgegenständig): gegenständige Blätter, Paare im rechten Winkel. Lippenblütler.
 - *wirtelig: drei oder mehr Blätter pro Knoten
- Jedes Blattprimordium ist von einem physiologischen Feld umgeben, das die Bildung von Primordien hemmt.
- Blatt besteht aus Blattspreite (Lamina) und Blattstiel (Petiolus). An der Basis evtl. Nebenblätter (Stipeln)
- Fehlt der Blattstiel, so sind die Blätter sitzend.
- Pflanzen kann man nach dem Wasserbedarf einteilen:
 - *Mesophyten (wachsen in Gebieten wo weder zu feucht noch zu trocken ist)
 - *Hygrophyten (Pflanzen die im Wasser leben)
 - *Xerophyten (Pflanzen trockener, arider Standorte)
- Epidermis gibt dem Blatt Festigkeit, Stomata vorhanden (bei Hygrophyten nur auf Blattoberseite, bei Xerophyten sehr viele, gepaart mit Epidermishaaren gegen Wasserverlustschutz)
- Mesophyll ist der Hauptort der Photosynthese, hat viele Interzellulare mit Stomataverbindungen. Es gibt Palisadenparenchym auf Oberseite (wie eine Reihe von Pfählen nebeneinander, Hauptort der Photosynthese) und Schwammparenchym auf Unterseite (lockeres Parenchym mit geringerer Oberfläche. Bei Xerophyten Palisadenparenchym beidseitig, bei Gräsern keine Unterteilung in verschiedene Parenchyme.
- Blattnervaturen sind Leitbündel (Blattadern/Blattnerven). Xylem auf Blattoberseite, Phloem auf Unterseite
- Kleine Blattnerven, eingebettet ins Mesophyll = minor veins (Aufnahme von Photoassimilaten ins Phloem).
- Große Blattadern auf Unterseite = major veins (Austransport der Assimilate aus dem Blatt)
- Bündelscheidenzellen umgeben kleine Blattadern zur Verhinderung des Angrenzen an Interzellularen
- Kreuzanatomie bei C₄-Pflanzen (Große Bündelscheiden umgeben von konzentrischen Mesophyllzellen), geringerer Abstand der Bündelscheiden als bei C₃-Pflanzen. C₄-Pflanzen transportieren Assimilate schneller.
- In Gräsern buliforme Zellen (Gelenkzellen) zur Faltung der Grasblätter durch Wasserpotentialänderung
- Blattanlagen entstehen durch Gründerzellen in der Randzone des Apikalmeristems. Gründerzellen strecken sich → Blatthöcker → Blattprimordium → Bildung eines Zellbandes an den Rändern, werden zur Blattspreite.
- Blätterwachstum ist begrenzt im Gegensatz zum unbegrenzten Wachstum des Apikalmeristems. → Procambium bildet Leitgewebe von innen nach außen.
- Sonnenblätter (kleine, dicke Blätter durch Entwicklung des Palisadenparenchyms, Blattnervatur engmaschiger, Epidermiszellwände dicker) und Schattenblätter (groß und dünn, da nicht adaptiert)
- Abscission (Blattfall) durch Ausbildung einer Trennzone.
- Übergangszone zur Leitbündelverbindung zwischen Wurzel und Spross.
- Blütenbildung: (Umbildung vegetativer zu generativer Sprossspitze)
 - *Tunica wird durch erhöhte Mitoserate breit und kuppelförmig
 - *Bildung der Kelchblätter, Kronblätter, Staubblätter, Fruchtblätter.
- Sprossachsen- und Blattmetamorphosen:
 - *Ranken: Halteorgane der Pflanzen. Wilder Wein.
 - *Phyllokladien: Sprossachsen wie Blätter, übernehmen Photosynthese. Keine Achselknospen. Spargel.
 - *Dornen: aus Blättern oder Sprossachsen, harte Gebilde ohne Photosynthese. Feindabwehr. Kakteen.
- Im Gegensatz dazu stehen die Stacheln, die keine Metamorphosen sondern Emergenzen aus Epidermis- oder Rindengewebe sind, darum sind sie auch leicht abzubrechen im Gegensatz zu den Stacheln. Rose.
- *fleischfressende Pflanzen: Organe zur Stickstoffassimilation umgebaut
- *Knolle: Speicherorgan aus Speicherparenchym, Sprossachse. Entstehen an Stolonen (Ausläufern). Kartoffeln.
- *Zwiebel: verkürzte, kegelförmige Sprossachse. Basis der verdickten Blätter dient Speicherung. Zwiebel.
- *fleischige Gewebe: Wasserspeicherung in großen, dünnwandigen, plastidenfreiem Parenchym. Agaven/Kakteen

Monocotyledonae (Liliopsida):

-meist kein sekundäres Dickenwachstum, aber z.B. Palmen haben massives primäres Dickenwachstum, erfolgt so dicht am Apikalmeristem, dass die Sprossspitze in einer flachen Mulde inseriert scheint. Unterhalb der jungen Blattbasen bildet sich ein primäres Verdickungsmeristem. Dieses und Teilungen des Grundgewebes sind fürs primäre Dickenwachstum verantwortlich.

-Blattgrund meist zu einer stängelumfassenden Blattscheide erweitert

-Parallelnervatur

-Manchmal Blattnerven von Fasern umhüllt oder Fasern an den Blatträndern vorkommend

-Blatt wächst lateral von den Flanken der Primordien aus, umschließt die Sprossspitze, basales intercalares Meristem bildet linear weiter Zellen. Blattscheide entwickelt sich nach Blattspreite

Dicotyledonae (Rosopsida):

-einfache (eine Blattspreite) oder zusammengesetzte Blätter (mehrere Spreiten), gefiedert (Blättchen sitzen an einer Blattspindel (Rhachis) an oder gefingert.

-Netznervatur, Nervenenden meist nur tracheale Elemente, Phloem reicht nicht bis ans Ende

-Collenchym und Sclerenchymzellen unter der Epidermis der Blattrippen

-Trennzone bei Blattfall unterscheidbar in Trennschicht (weichwandige Zellen, Zellwände werden durch Enzyme zersetzt) und Schutzschicht (stark suberinisierte Zellen zur Isolation der Leitbündel) Nach Blattfall bildet sich eine Blattnarbe aus der Schutzschicht.

Sekundäres Dickenwachstum von Sprossachsen

-sekundäres Dickenwachstum liegt an der Aktivität zweier Lateralmeristeme, dem Cambium und Korkcambium

-nur bei Dikotylen und Gymnospermen, da Monokotylen ihr Cambium beim primären Dickenw. verbrauchen!

-Funktion : Stamm als Tragestütze der Krone, der Spross und die Wurzel müssen der Blattmasse angepasst sein.

-Cambium besteht aus fusiformen Initialien (bilden axiales System) und Strahlinitialien (bilden transversales Strahlensystem, Strahlen, die zum Transport von Xylem → Phloem, umgekehrt und als Speicherort dienen).

-durch perikline Teilungen (Zellplatte nach Zellteilung verläuft parallel zur Oberfläche der Sprossachse) entsteht nach außen sekundäres Phloem, nach innen sekundäres Xylem. Es wird mehr Xylem als Phloem gebildet.

-Cambium geht bei vielen Arten eine Ruheperiode durch (Winter), bei anderen teilt es sich kontinuierlich.

-Vor Beginn des sekundären Dickenwachstum beschränkt das Cambium sich auf die Leitbündel, später wird interfasciculäres Cambium gebildet, das zwischen den Cambien der Leitbündel verläuft, um einen durchgehenden Ring zu bilden und gleichmäßiges Dickenwachstum nach allen Seiten zu ermöglichen.

-Keine Übergangzone zwischen Cambien von Sproß und Wurzel vorhanden, kontinuierliche Verbindung

-Das Abschlussgewebe nach außen beim sekundären Dickenwachstum ist das abgestorbene Periderm (=Kork), dass aus den 3 Schichten Phellogen (Korkcambium), Phelloderm (Parenchymgewebe, wird vom Phellogen nach innen abgegeben) und Phellem (tote Korkzellen als Schutz, Zellen werden mit Suberin ausgekleidet) besteht.

-im Gegensatz zur Wurzel bildet sich Periderm unter Epidermis, diese trocknet dann aus und schält sich ab

-Da Kork undurchlässig für Wasser und Gase ist, gibt es Lenticellen (interzellularenreich, entstehen unter Spaltöffnungen, entstehen aus aktiveren Zonen des Phellogens) zum Gasaustausch. Auch bei Früchten wie Apfel

-Der Begriff „Rinde“ umfasst alle Gewebe außerhalb des Cambiums. Bei jeder Vegetationsperiode werden die dünnwandigen Zellen des alten sekundären Phloems zerdrückt, es bildet sich neues Periderm und das alte sekundäre Phloem wird nach außen abgestoßen. Darum häuft eine Pflanze mehr Holz als Bast(Phloem) an.

-Im Laufe der Zeit bilden sich neue Periderme tiefer in der Rinde, entstehen aus Parenchymzellen. Die Borke ist das ganze Gewebe außerhalb des jüngst gebildeten Korkcambiums, vollständig totes Gewebe.

-der innere Teil der sekundären Rinde besteht aus leitendem Phloem, der äußere Teil ist nichtleitendes Phloem.

-Das Holz (sekundäre) Xylem wird bei Angiospermen als Hartholz und bei Coniferen als Weichholz bezeichnet.

-Coniferenholz hat keine Gefäße, wenig axiales Parenchym. Tracheiden sind vorherrschend. Harzkanäle werden von Parenchymzellen ausgekleidet, meist die einzigsten des ganzen axialen Systems. Tracheiden dieses Holzes haben Tori(Torus), die flexibel sind und Tüpfelpaare(Pori, Porus) verschließen können.

-Angiospermenholz hat Gefäße, viel größere Strahlen (mehr Zellschichten), Gefäße können Strahlen verdrängen.

-Es gibt Frühholz, das im Frühling jedes Jahres gebildet wird, (dünne Zellwände, großes Lumen wegen Wasseraufnahme) und Spätholz, (dicke Zellwände kleines Lumen). Frühholz → Spätholz ist gleichmäßig, Spätholz → Frühholz abrupt. Dies ist auch der Grund für die Sichtbarkeit von Jahresringen im Holz eines Baumes. Im sekundären Phloem (=Bast) gibt es ähnliche jahreszeitliche Unterschiede, die dementsprechend Hart- (wie Spätholz) und Weichbast (wie Frühholz) genannt werden.

-Es gibt Splintholz (helles, leitendes Holz) und Kernholz (totes, dunkleres, nichtleitendes Holz zur Ablagerung von toxischen Substanzen, die sekundäre Stoffwechselprodukte sind).

-Thyllen (Füllzellen, Strahlparenchym) werden in inaktiven Zellen gebildet, um die Gefäße zu verschließen.

-In geneigten Stämmen und Ästen wird zum Entgegenwirken der Zugwirkung Reaktionsholz gebildet. Es gibt Druckholz (bei Gymnospermen, auf Stammunterseite gebildet, hat mehr Lignin und weniger Cellulose) und Zugholz (bei Angiospermen, auf Stammoberseite gebildet, unlignifizierte Fasern, gelatinöse Sekundärwand).

Die Pflanzenhormone

- Hormone können in unterschiedlichen Geweben unterschiedliche Reaktionen hervorrufen, je nach Sensivität.
- Auxine (meist Indol-3-Essigsäure) sind für den Phototropismus zuständig, Synthese im Apikalmeristem. Sie werden über Parenchymzellen bzw. den in ihnen enthaltenen Auxin-Carrierproteinen zu der Basis von Sprossachse und Blättern transportiert (basipetal). Auxin ist für die Differenzierung von Xylemzellen notwendig. Sprossspitze synthetisiert Auxin, das die Lateralisprosse im Wachstum hemmt (Apikaldominanz). In Holzpflanzen regt Auxin im Frühjahr das Cambium zur Teilung an. Es fördert die Seitenwurzelbildung und das Wachstum von Früchten, so können auch samenlose Früchte mit unreifen Samenanlagen entstehen. Der Same in der Frucht ist die Auxinquelle, ohne diesen wächst keine Frucht heran.
- Cytokinine (Adeninderivate, Phenylharnstoffe), werden in Wurzelspitzen synthetisiert und übers Xylem in alle Pflanzenteile transportiert. Cytokinine führen zum Austreiben von Lateralisprossen trotz vorhandenem Auxin. In Gegenwart von Auxin und Cytokinin bleiben Zellen meristematisch. Bei höherer Konz. von Auxinen entstehen aus Kallusgewebe Wurzeln, bei höherer CytokininKonz. Knospen. Es müssen immer beide vorhanden sein. Cytokinin verhindert auch die Blattseneszenz (Gelbfärbung der Blätter), beim Abtrennen derselben fehlt dieses.
- Ethylen, (Gas, C_2H_4) wird bei Stressreaktionen in den Geweben synthetisiert und bewegt sich durch Diffusion. Bei etiolierten Pflanzen hemmt es die Zellstreckung, bei semiaquatischen Arten führt es zu Internodienstreckung. Auch beschleunigt Ethylen die Fruchtreifung (Chlorophyll- und Pektinabbau, Stärke und Säuren werden in Zucker umgewandelt). Ethylen fördert den Blattabwurf (Abscission) durch Zellwandauflösung, Auxin verringert die Ethylensensitivität der Zellen. Bei Kürbisgewächsen fördert Ethylen die Ausbildung weiblicher Blüten
- Abscisinsäure (aus Mevalonsäure gebildet), wird in reifen Blättern als Reaktion auf Wasserstreß gebildet und im Samen und über das Phloem transportiert. Induzieren den Stomatenschluß und hemmt die Samenkeimung.
- Gibberelline (Gibberellinsäure), wird in jungen Geweben des Sprosses und des Samens synthetisiert und in beiden Leitbündeltypen transportiert. Sie können die Samenruhe aufheben und fördern allgemein das Zellstreckungswachstum.
- Zellstreckungswachstum kann durch Hormone induziert werden, indem sie Hemicellulosebrücken spalten und sich die Mikrofibrillen der Zellwand auseinander bewegen können. Oder sie orientieren die Mikrotubuli in der Zelle um, die die Orientierung der Cellulose-Mikrofibrillen bestimmen.
- Hormone können durch rezeptorvermittelte Bildung die Transkription von Genen fördern
- Stomataöffnung wird induziert, indem ABA an diese bindet und dadurch die Öffnung von Ca^{2+} -Kanälen induziert, diese Ionen wirken als second messenger und öffnen die Anionenkanäle → Membrandepolarisation

Einfluß externer Faktoren auf Pflanzenwachstum

- Tropismus = Krümmungswachstum auf Reiz, kann positiv (zum Reiz hin) oder negativ (vom Reiz weg) sein.
- Phototropismus wird durch einseitigen Auxintransport zur Schattenseite ausgelöst → Streckungswachstum
- Gravitropismus wird durch Amyloplastenorientation in den Columellazellen der Wurzel erkannt und durch Calcium und das dadurch aktivierte Protein Calmodulin ausgelöst.
- Hydrotropismus (Wachstum zum Wasser hin) wird durch Zellen in der Kalyptra wahrgenommen und per Calcium ausgelöst.
- Thigmotropismus (Reaktion auf Kontakt zu Gegenstand). Wichtig für Ranken, die sich um eine Stütze wickeln, indem sich die inneren Zellen verkürzen und die äußeren strecken.
- Circadiane Rhythmen (Reaktion auf Tag und Nacht) sind endogen, werden von der inneren biologischen Uhr kontrolliert. Diese wird immer nach Lichtzyklen und Temperaturzyklen gestellt und koordiniert die Prozesse
- Photoperiodismus (Pflanzen blühen nur bei einer bestimmten Tageslänge) Es gibt:
 - *Kurztagspflanzen: blühen Frühjahr oder Herbst, Lichtphase muss die krit. Länge unterschreiten. Erdbeere.
 - *Langtagspflanzen: blühen im Sommer, Lichtphase muss die krit. Länge überschreiten. Spinat.
 - *tagneutrale Pflanzen: blühen unabhängig von Tageslänge. Sonnenblume.
- Die Pflanzen messen aber die Dunkelphase über die Wellenlänge durch die Phytochrome P_r und P_{fr} . In einer normalen Pflanze liegt nur P_r vor, durch hellrotes Licht (660 nm) wird P_{fr} gebildet. Dunkelrotes Licht (730 nm) oder eine lange Dunkelphase kann diese Reaktion rückgängig machen. P_{fr} ist die aktive Form und induziert biologische Reaktionen. Schattenpflanzen erhalten mehr dunkelrotes Licht, die Menge an P_r bringt die Pflanze zum etiolieren (Internodienstreckung).
- Es gibt ein hypothetisches Hormon, das die Entfaltung einer Blüte induziert namens Florigen, es wird von Blättern gebildet, das zur Sprossachse durchs Phloem geleitet wird und löst dort das Öffnen der Knospe aus. Florigen besteht wahrscheinlich aus Gibberellinen und einem nicht identifizierten Anthesin.
- Dormanz (Ruhezustände von Keim und Knospe), wird durch Hemmstoffe ausgelöst. Trocknung der Samen (damit sie nicht in der Frucht keimen), Samenschalenverletzung (zum Wassereintritt zum Test des Transports) oder Auswaschung von Hemmstoffen durch Regen können die sehr lange andauernde Samenruhe unterbrechen

Knospenruhe gibt es, damit diese im Winter kein Streckungswachstum erfährt, Knospenschuppen wirken wie Samenschalen, sie verhindern Austrocknung, limitieren Sauerstoffzufuhr und isolieren gegen Kälte. Die Frostresistenz wird durch die abnehmende Tageslänge induziert, viele Pflanzen benötigen Kälte zur Beendigung der Knospenruhe. Andere messen das Ende der Knospenruhe durch Photoperiodismus.

-Kälte kann eine Blühinduktion auslösen, damit Blüte kommt, muss aber auch eine Tageslänge eingehalten sein.

-Nastische Bewegungen von Pflanzen sind reizunabhängig, es gibt folgende:

*nyktinastische Bewegung (Schlafbewegung): Klappung der Blätter während den Licht/Dunkel-Zeiten durch Volumenänderungen der Parenchymzellen durch Turgoränderung in einem Pulvinus (Verdickung an Blattbasis)

*thigmonastische Bewegung (Berührungsbewegung): Stimulation führt zum Klappen der Blätter, beruht auf Turgorveränderungen durch Wasserausstrom oder bei der Venusfliegenfalle durch Turgoränderungen in den Mesophyllschichten unter der Epidermis → Mesophyllzellen dehnen sich auf Reiz aus und klappen zu.

-Thigmomorphogenese (verändertes Wachstum auf Berührung) durch Genexpression durch Berührung

-Heliotropismus (Lichtwendigkeit): Ausrichtung Blätter/Blüten zum Licht hin. Beim Diheliotropismus richten sich diese rechtwinklig zum Licht aus (Photosynthesemaximierung) und beim Paraheliotropismus stellen sich diese parallel zum Licht (Minimierung der Absorption zur Temperaturniedrigung/Wasserverlustschutz).

Boden und Ernährung der Pflanzen

-Pflanzenernährung umfasst Aufnahme, Verteilung und Verwendung von Rohmaterialien für biochem. Prozesse

-16 Elemente sind essentiell fürs Pflanzenwachstum, Kriterium: Beim Fehlen treten Mangelsymptome auf

-Es gibt Mikroelemente, die eine Pflanze nur in Spuren benötigt (Nickel, Kupfer, Zink, Mangan, Bor, Eisen) und Makroelemente, die in größeren Mengen benötigt werden (Schwefel, Phosphor, Magnesium, Calcium, Kalium, Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff, Kohlenstoff) Sie werden auch ihrer Funktion nach in Strukturelemente und Coenzyme unterteilt.

-Mangelsymptome sind Nekrosen (lokaler Zelltod) und Chlorosen (verminderte Chlorophyllbildung → gelb)

-Böden bestehen aus Elementen in Form von Mineralien und organischem Material. Es gibt 3 Gesteinsarten:

*Ergussgesteine: aus geschmolzenem Material entstanden, hat sich an der Erdoberfläche verfestigt

*Sedimentgesteine: Ablagerungen von Ergussgestein und Organismen. Sandstein, Kalkstein.

*metamorphes Gestein: Bildung durch extreme Hitze/Druck aus den vorherigen. Schiefer, Marmor, Granit.

-Böden werden in Horizonte unterteilt: A-Horizont (Region größter Aktivität, Humusakkumulation), B-Horizont (Deposition von ausgewaschenen Substanzen, weniger organisches Material, weniger stark zersetzt) und C-Horizont (Felstrümmer, Mineralien, Ausgangsmaterial für die Bildung der oberen Horizonte)

-Je kleiner die Bodenpartikel, desto mehr Wasser können sie zurückhalten (Ton > Sand)

-In ungewässerten Böden welkt die Pflanze. Das Wasserpotential, bei dem permanentes Welken einsetzt, wird Permanenter Welkepunkt genannt. Dieser liegt bei einem Bodenwasserpotential von -1,5 MPa.

-Kationen binden an Tonpartikel und können mit Wasserstoffprotonen ausgetauscht werden

-Mykorrhizen sind notwendig, um ausreichend Phosphat, Stickstoff, Mangan, Kupfer und Zink zu absorbieren.

-Der Nährstoffkreislauf im Boden besteht aus 3 Teilen:

*Zersetzung von organischem Material durch Mikroorganismen, diese geben überflüssigen Stickstoff in Form von Ammoniumionen ab. Wird Ammonifikation genannt.

*Nitrifizierung im Boden durch nitrifizierende Bakterien von Ammonium in Nitrit und dann direkt in Nitrat

*Pflanzen assimilieren das entstandene Nitrat, wandeln es zu Ammonium um und dann weiter zu Glutamat, welches für organische Verbindungen verwendet wird. Findet in Chloroplasten zusammen mit Photos. statt.

-Mikroorganismen können das Nitrat anaerob reduzieren zu Stickstoff oder Stickstoffoxid. N-Verlust ! Dieser kann auch durch Entfernung der Pflanzen und durch Auswaschung durch Sickerwasser eintreten.

-Auffüllung des Stickstoff-Pools durch Stickstofffixierung. $N_2 \rightarrow NH_4^+$ durch Nitrogenase in Bakterien in oder ohne Symbiose, wobei die effektivsten in Symbiose leben. (Knöllchenbakterien bei Leguminosen wie Bohnen, Erbsen, Klee, Luzerne und einigen Nicht-Leguminosen wie Erle, Ölweide, Wasserfarn).

-Knöllchenbakterien Prinzip: Haftung der Bakterien (Rhizobien) an Keimlingswurzeln, diese umschließen sie. Eindringen in Rindenzellen durch Infektionsschläuche, nach Eindringen verzweigt sich dieser und wird von den sich vermehrenden Bakterien besiedelt. Dabei werden die Wurzelzellen proliferiert → bilden ein tumorartiges Wurzelknöllchen. In diesem werden die Bakterioiden (stickstofffixierende Formen) membranumschlossen.

Sauerstoffkonzentration wird sorgfältig reguliert, da es die Nitrogenase hemmt. Dazu gibt es Leghämoglobin, das Nitrogenase vor Oxidation schützt und als Carrier Sauerstoffdiffusion zu den Bakterioiden übernimmt.

-Phosphorkreislauf: Organisches Phosphat wird in den Boden abgegeben, Mikroorganismen zersetzen dieses in anorganisches Phosphat, was wiederum von Pflanzen assimiliert wird. Erosion und Auswaschung vernichten es. Wird in der Landwirtschaft durch Abbau von phosphathaltigem Gestein ersetzt.

Transport von Wasser und gelösten Substanzen in Pflanzen

- Pflanzen verlieren einen großen Teil ihres aufgenommenen Wassers durch Transpiration, da CO₂ nur durch Lösung in Wasser in die Pflanze zur Photosynthese kommen kann → Blätter müssen mit Wasser bedeckt sein.
- Cuticula ist eine Barriere gegen Wasserverlust, der größte Teil des Wassers geht durch Stomata verloren.
- Stomata sind für den Gasaustausch notwendig, dabei geht Wasser verloren, aber CO₂ wird aufgenommen. Die Stomata bilden ein mit Wasserdampf gefülltes Interzellularensystem.
- Der Stomatenschluß erfolgt durch Turgoränderung. Gelöste Substanzen akkumulieren in den Stomata → Wassereinstrom → offen. Gelöste Substanzen treten aus → Wasseraustritt → geschlossen
- zwei physikalische Kräfte sind für die Schließbewegung der Stomata notwendig:
 - *transversale (radiale) Anordnung der Cellulosemikrofibrillen in den Wänden der Schließzellen → Streckung in Längsrichtung möglich, aber laterale Zellvergrößerung verhindert.
 - *Zellwand, mit der die beiden Schließzellen aneinandergeheftet sind, verändert sich kaum → äußere Wände bewegen sich relativ zur gemeinsamen Zellwand nach außen.
- Abscisinsäure (ABA) meldet den Stomatazellen Wasserstreß, darauf schließen die sich augenblicklich.
- Auch CO₂-Konzentration, Licht und Temperatur können Stomatabewegungen induzieren:
 - *Licht: Da CO₂ durch Photosynthese verbraucht wird, macht Öffnung tagsüber, Schließung nachtsüber Sinn. Verschiedene Lichtwellenlängen können Pigmente aktivieren, die K⁺-Einstrom in die Stomata induzieren.
 - *Temperatur: Eine Temperaturerhöhung steigert die CO₂-Konzentration in den Interzellularen durch vermehrte Atmung → Stomatenschluß. Kann auch wegen verminderter Transpirationsraten geschlossen sein.
 - *Transpirationsrate wird durch Temperatur und Luftfeuchtigkeit beeinflusst. Große Blätter zur Lichtaufnahme im (schattigen) Regenwald, da Wasser nicht das Problem ist, sondern eher das Licht.
- Wasser wird durch Gefäße und Tracheiden des Xylems in der Pflanze transportiert. Dabei wird es durch einen Sog von der Pflanzenspitze hochgezogen, da diese Wasser transpirieren → Nährstoffe reichern sich an → Wasserpotential wird geringer → Saugspannung (Kohäsions-Adhäsions-Theorie)
- Luftbläschen können Wassertransport im Xylem unterbrechen (Embolie), allerdings wird durch die Schließhäute der Hoftüpfel verhindert, dass die Luftbläschen in weitere Xylemzellen gelangen. Embolien werden durch Loch in Wand oder Schließhaut ausgelöst.
- Wasser wird über die Wurzelhaare absorbiert, dabei gibt es 3 verschiedene Wege:
 - *apoplastisch (durch die Zellwände)
 - *symplastisch (von Protoplast zu Protoplast über Plasmodesmen)
 - *transmembran (von Zelle zu Zelle, wobei eine Vakuole nach der anderen durchquert wird)
- Der Casparysche Streifen verhindert jedoch apoplastischen Transport über die Endodermis hinaus. Hat die Wurzel auch eine Exodermis, so wird apoplastischer Transport völlig verhindert. Symplastischer Transport.
- Auch ohne Transpiration entsteht ein Wurzeldruck durch Abgabe von Ionen ins Xylem → Wasserpotential sinkt → Wasser strömt ins Xylem ein. Dadurch entstehen Wassertröpfchen durch Guttation (treten aus Stomata aus, die unfähig sind, sich zu schließen. Diese sind in den Hydrathoden an den Rändern von Blättern lokalisiert.) an der Blattoberfläche am frühen Morgen. Allerdings reicht dieser Wurzeldruck nicht aus um das Wasser ganz nach oben zu transportieren, er ist eine Ergänzung.
- diurnale Wasserhebung von Pflanzen (Bodenwasser → obere Bodenteile verteilen → Trockenheit vermeiden)
- Wasseraufnahme durch Wurzeln transpirierender Pflanzen kann passiv erfolgen: Wasser wird durch Massenströmung eingezogen, bei Wassermangel wird das Wasser durch Bodenporen zu den Wurzeln gezogen.
- anorganische Nährstoffe werden über die Rhizodermis aufgenommen und symplastisch transportiert. Mykorrhiza unterstützt die Wurzel, da diese Ionen unbeweglich sind → Oberflächenvergrößerung. Die Aufnahme der Ionen erfolgt über aktiven Transport (ATP-verbrauchend) über Carrierproteine: einmal die am Plasmalemma der Rhizodermis und einmal die Sezernation Parenchym → Plasmalemma → Gefäße.
- die Ionen werden in den Blättern apoplastisch transportiert, die meisten landen in den Parenchymzellen. Dort können sie symplastisch ins Phloem transportiert werden und gehören zum Assimilattransport.
- Im Verlauf der Photosynthese gebildete Zucker verlassen das Blatt (Source) über das Phloem im Assimilationsstrom hin zu meristematisch aktiven Geweben sowie zu Speicherorganen oder Früchten (sink)
- Der Assimilattransport erfolgt nach der Druckstromtheorie: Die Assimilate werden entlang eines osmotisch bedingten Turgordruckgradienten von source-Organen zu sinks transportiert. Die Phloembeladung mit Nährstoffen verringert das Wasserpotential → Wassereinstrom. Dadurch wird die Lösung verdünnt und passiv mit dem Wasser zum sink transportiert. Beim sink wird die Nährstoffkonzentration verringert → Wasseraustritt durch steigendes Wasserpotential → Wasser wird im Xylem wieder zurückgeleitet.
- Das Phloem kann symplastisch oder apoplastisch über einen Saccharose-Protonen-Symport beladen werden. (Protonenpumpe wird durch ATP-Verbrauch angetrieben), das ATP stammt gänzlich aus Geleitzellen.
- Phloemladung kann auch symplastisch oder apoplastisch erfolgen, Energie wird dann gebraucht, wenn hohe Zuckerkonzentrationen ins Gewebe eingelagert werden soll (entgegen des osmotischen Gradienten). Zuckerrübe.