

Ulrich Lüttge und Manfred Kluge

Botanik

Die einführende Biologie der Pflanzen

6. Auflage



Mit Web-Seite &
Übungsaufgaben

 WILEY-VCH

Inhaltsverzeichnis

[Cover](#)

[Titelblatt](#)

[Copyright-Seite](#)

[Vorwort 6. Auflage](#)[preface](#)

[Vorwort 5. Auflage](#)

[Vorwort 1. Auflage](#)

[Evolution, Energetik und Bau der Pflanzenzelle](#)

[1 Einstieg in die Biologie pflanzlicher Zellen](#)

[1.1 Die Progenoten und die Evolution dreier grundlegender Erfordernisse des Lebens](#)

[1.2 Die Prokaryonten und die Realisierung der drei grundlegenden Erfordernisse des Lebens](#)

[1.3 Besondere Eubakterien: Die Cyanobakterien als prokaryotische Algen](#)

[1.4 Die Eukaryonten-Zellen](#)

[1.5 Endosymbiontentheorie der Evolution eukaryotischer Zellen](#)

[Weiterführende Literatur](#)

[2 Bioenergetik](#)

[2.1 Fließgleichgewichte und Bioenergetik](#)

[2.2 Wärme und Arbeit sind verschiedene Formen von Energie](#)

[2.3 Die Entropie bestimmt die Richtung von Prozessen](#)

[2.4 Die „Freie Energie“ ist ein Maß für nutzbare Energie](#)

2.5 Die Energiekoppelung bei biochemischen Umsetzungen

2.6 Die Energiekoppelung bei biophysikalischen Umsetzungen mit Licht

2.7 Die Enzyme

Weiterführende Literatur

3 Plasmamembran, Tonoplast und Vakuole

3.1 Plasmamembran und Tonoplast begrenzen Apoplast, Cytoplasma und Vakuole

3.2 Der Membranaufbau

3.3 Transportprozesse

3.4 Die Vakuolen und Lysosomen: Speicherfunktionen und hydrolytische Enzyme

3.5 Die Osmose und der Turgor

3.6 Die Messung der Wasserhaushaltsparameter

Weiterführende Literatur

Funktionen der Pflanzenzelle...

4 Cytoplasma: Struktur und Stoffwechselprozesse

4.1 Die Begriffe

4.2 Das Cytosol und das Cytoskelett

4.3 Die Stoffwechselprozesse im Cytosol

Weiterführende Literatur

5 Mitochondrien und Atmung

5.1 Struktur der Mitochondrien

5.2 Atmung

5.3 Oxidative Phosphorylierung: ATP-Bildung durch den mitochondrialen F_0/F_1 -ATPase-Komplex

5.4 Energiebilanz des vollständigen oxidativen Abbaus der Glucose in der Atmung

5.5 Transport von Metaboliten durch die Mitochondrien-membran

5.6 Kohlenhydratabbau als Sammelbecken im Stoffwechsel

Weiterführende Literatur

6 Plastiden und ihre Funktionen: Photosynthese, Hexoseoxidation, Fettsäurebiosynthese

6.1 Plastiden

6.2 Der strahlungsabhängige biophysikalische Primärprozess der Photosynthese

6.3 Nutzung der Redox-(NADPH) und Phosphorylierungs-(ATP) Äquivalente und Energiebilanz der CO₂-Reduktion

6.4 Kohlenhydratstoffwechsel in den Chloroplasten

6.5 Synthese weiterer Endprodukte der photosynthetischen CO₂-Assimilation

Weiterführende Literatur

7 Dictyosomen, Glyoxysomen und Peroxisomen

7.1 Dictyosomen

7.2 Glyoxysomen und Peroxisomen

Weiterführende Literatur

8 Die Zellwand

8.1 Chemische Zusammensetzung der Zellwände

8.2 Biosynthese der chemischen Zellwandkomponenten und ihre Kompartimentierung

[8.3 Entwicklung der Zellwand](#)

[8.4 Bau der Zellwand](#)

[8.5 Durchbrechungen in Zellwänden](#)

[Weiterführende Literatur](#)

[9 Aminosäuren und Proteine](#)

[9.1 Die Aminosäuren und ihre Eigenschaften](#)

[9.2 Die Kondensation von Aminosäuren zu Peptiden](#)

[9.3 Proteine und ihre Eigenschaften](#)

[9.4 Die Strukturhierarchie der Proteine](#)

[9.5 Die Funktionen der Proteine](#)

[9.6 Posttranslationale Proteinmodifikationen](#)

[9.7 Der Stoffwechsel der Aminosäuren und Proteine](#)

[Weiterführende Literatur](#)

[10 Naturstoffe: Pflanzen als vielseitige Synthetiker](#)

[10.1 Ein Überblick](#)

[10.2 Terpene](#)

[10.3 Phenole](#)

[10.4 Alkaloide und organische Basen](#)

[10.5 Porphyrine](#)

[Weiterführende Literatur](#)

[11 Mineralstoffernährung](#)

[11.1 Autotrophie: Nährelemente und Spurenelemente](#)

[11.2 Die Rolle von Pflanzen im Stickstoff- und Schwefelstoffwechsel von Ökosystemen](#)

[11.3 Der Stoffwechsel des Stickstoffs](#)

[11.4 Der Stoffwechsel des Schwefels](#)

[11.5 Der Stoffwechsel des Phosphors](#)

[11.6 Die Carnivorie](#)

[11.7 Anorganische Ionen als besondere Standortfaktoren](#)

[Weiterführende Literatur](#)

[12 Das Genom und die genetische Regulation](#)

[12.1 Der Zellkern](#)

[12.2 Kern-Genom und Vererbung: Die MENDELSchen Regeln](#)

[12.3 Die extrachromosomale Vererbung](#)

[12.4 Die Modifikationen und die Mutationen](#)

[12.5 Die genetische Regulation](#)

[Weiterführende Literatur](#)

[Pflanzenorganismen](#)

[13 Algen](#)

[13.1 Die eukaryotischen Algen im System der Organismen](#)

[13.2 Leben im Wasser und die Pigmente der Algen](#)

[13.3 Die vegetativen Entwicklungstendenzen und Lebensweisen der Algen](#)

[13.4 Die generativen Entwicklungstendenzen](#)

[13.5 Ein phylogenetischer Überblick](#)

[13.6 Von den Algen der Streptophytina zu den grünen Landpflanzen](#)

[Weiterführende Literatur](#)

[14 Bryophyten](#)

[14.1 Allgemeine Merkmale](#)

[14.2 Systematik und Phylogenie der Moose](#)

[14.3 Fortpflanzung und Vermehrung der Moose](#)

14.4 Wasserhaushalt und Lebensweise der Moose

Weiterführende Literatur

15 Schleimpilze und Pilze

15.1 Allgemeine Merkmale

15.2 Ein systematischer Überblick

15.3 Die Bedeutung der Pilze

Weiterführende Literatur

16 Der Generationswechsel bei Farnen, Gymnospermen und Angiospermen und die Evolution von Blüten, Samen und Früchten

16.1 Ur-Sprosspflanzen und endständige Sporangien

16.2 Telomtheorie

16.3 Der Generationswechsel der isosporen Farne

16.4 Die Evolution der Blüten

16.5 Der Generationswechsel der heterosporen Farne

16.6 Die Gymnospermen: Evolution der Samen

16.7 Der versteckte Generationswechsel der Angiospermen

16.8 Die Pollenübertragung

16.9 Die Früchte

16.10 Die Entwicklungstendenzen bei den Angiospermen

16.11 Zusammenfassender

Weiterführende Literatur

Pflanzenorgane und Funktionen

17 Die Wurzel

17.1 Die Wurzel als besonderes, neues Organ der Sprosspflanzen (Kormophyten) beim Übergang zum Leben an Land

17.2 Der äußere Bau der Wurzeln

17.3 Der innere Bau der Primärwurzel

17.4 Seitenwurzeln

17.5 Sekundäres Dickenwachstum

17.6 Die Aufnahme von Wasser und Nährsalzen durch die Wurzeln

17.7 Die Metamorphosen der Wurzel

17.8 Signalübertragung in der Rhizosphäre: Allelopathie

Weiterführende Literatur

18 Die Sprossachse

18.1 Die äußere Gliederung der Sprossachse

18.2 Die Verzweigung der Sprossachse

18.3 Der Vegetationskegel

18.4 Der Bau der primären Sprossachse

18.5 Das sekundäre Dickenwachstum

18.6 Die Metamorphosen der Sprossachse

18.7 Die physiologischen Leistungen der Sprossachse

Weiterführende Literatur

19 Das Blatt

19.1 Die Blattpyten: Ein Überblick

19.2 Die Entwicklung der Blätter

19.3 Die Keimblätter und die Niederblätter

19.4 Die Laubblätter

19.5 Die Hochblätter

[19.6 Die Metamorphosen des Blattes](#)

[19.7 Die Funktionsweise der Blätter](#)

[Weiterführende Literatur](#)

[Pflanzen in ihren Lebensräumen](#)

[20 Die Vegetation der Erde](#)

[20.1 Die lokale Gliederung der Vegetation: Die Pflanzengesellschaften](#)

[20.2 Die großräumige Gliederung der Vegetation: Die Biome](#)

[20.3 Die Biome verschiedener geographischer Breiten](#)

[20.4 Die Zonierung der Vegetation durch die Höhenlage](#)

[Weiterführende Literatur](#)

[21 Abiotische Umweltfaktoren](#)

[21.1 Netzwerk von fünf besonders wichtigen abiotischen Umweltfaktoren](#)

[21.2 Ökosysteme und ihre Stoffkreisläufe unter dem Einfluss der abiotischen Umweltfaktoren](#)

[21.3 Umweltfaktoren als Stressoren: das biologische Stresskonzept](#)

[21.4 Der Faktor Licht](#)

[21.5 Der Faktor Wasser](#)

[21.6 Der Faktor Mineralstoffe](#)

[21.7 Der Faktor Kohlendioxid](#)

[21.8 Der Faktor Temperatur](#)

[21.9 Faktorenvernetzung: Das molekulargenetische Regulationsnetz bei der Verarbeitung von Temperatur- und Lichtsignalen zur Blühinduktion](#)

Weiterführende Literatur

22 Biotische Umweltfaktoren: Symbiose und Parasitismus

22.1 Definitionen und allgemeine Gesichtspunkte

22.2 Symbiosen

22.3 Parasitismus bei Angiospermen

Weiterführende Literatur

Regulation der pflanzlichen Entwicklung

23 Molekulare Netzwerke der pflanzlichen Entwicklungsbiologie: Wachstum, Differenzierung, Altern und Tod

23.1 Einzeller, annuelle und perennierende Pflanzen

23.2 Symmetriebrechung und Polaritätsinduktion

23.3 Differenzierung, Korrelationen und Musterbildung

23.4 Von der Samenkeimung bis zur Samenbildung

23.5 Programmierter Zelltod (Apoptose)

23.6 Abscission

23.7 Altern und Tod der ganzen Pflanze

23.8 Primäre und sekundäre molekulare Botschafter und Signalnetze

23.9 Sekundäre molekulare Botschafter

23.10 Die Ausbreitung molekularer Signale und Musterbildung

Weiterführende Literatur

24 Physikalische Signale

24.1 Aktionspotenziale

24.2 Erregungsleitung

24.3 Reaktionen

24.4 Formative Wirkungen

Weiterführende Literatur

25 Die Ausnutzung des Lebensraums: Bewegungen

25.1 Phänomene

25.2 Die Orientierung im Raum

Weiterführende Literatur

26 Chronobiologie

26.1 Grundbegriffe und Konventionen

26.2 Die Phänomene

26.3 Die circadianen Rhythmen

26.4 Die Regulationsnetzwerke circadianer Rhythmik

26.5 Funktionen biologischer Uhren

Weiterführende Literatur

Pflanzen und aktuelle Herausforderungen

27 Biotechnologie

27.1 Sammler und Ackerbauer

27.2 Konventionelle Biotechnologie unabhängig von der molekularbiologischen Revolution

27.3 Molekulare Biotechnologie

27.4 Nutzen und Risiken, Segen und Fluch: die Ambivalenz unseres Tuns

Weiterführende Literatur

28 Pflanzen als Ideengeber für Problemlösungen in der Technik: Bionik

28.1 Was ist Bionik?

[28.2 Merkmale der Bionik](#)
[28.3 Vorgehensweisen der Bionik](#)
[28.4 Die Evolution als Vorbild für
Optimierungsverfahren](#)
[28.5 Grenzen der Bionik](#)
[Weiterführende Literatur](#)

[Sachverzeichnis](#)

[End User License Agreement](#)

Tabellenverzeichnis

Chapter 2

[Tab. 2.1 Kapazitäts- und Intensitätsfaktoren bei
verschiedenen Formen der Arbeit...](#)

Chapter 5

[Tab. 5.1 Überblick über die ATP-Ausbeute, die sich
ergibt, wenn ein Molekül Gluc...](#)

Chapter 10

[Tab. 10.1 Alkaloide.](#)

[Tab. 10.2 Tetrapyrrolsysteme.](#)

Chapter 13

[Tab. 13.1 Pigmente der Algen.](#)

Chapter 18

[Tab. 18.1 Spitzengeschwindigkeiten des
Transpirationsstroms bei einigen Pflanze...](#)

[Tab. 18.2 Die höchsten Bäume.](#)

Chapter 19

[Tab. 19.1 Spaltöffnungsdichte bei verschiedenen Pflanzen.](#)

[Tab. 19.2 Aus Lichtsättigungskurven abgeleitete Kardinalwerte der Photosynthese...](#)

Chapter 21

[Tab. 21-1 Einige Daten zur Wasser- und Kohlenstoffökonomie bei der Photosynth...](#)

Chapter 22

[Tab. 22-1 Die verschiedenen Möglichkeiten des Zusammenlebens zwischen zwei Or...](#)

Chapter 24

[Tab. 24.1 Vergleich des zeitlichen Verlaufs von Aktionspotenzialen im Pflanze...](#)

Chapter 25

[Tab. 25-1 Rankenbewegungen.](#)

[Tab. 25-2 Reizarten und Bewegungen.](#)

Chapter 26

[Tab. 26-1 Circadiane Rhythmen auf verschiedenen Organisationsebenen.](#)

[Tab. 26-2 Ausprägung verschiedener Typen circadianer Rhythmen in einzelnen Or...](#)

[Tab. 26-3 Funktionen biologischer Rhythmen und Uhren.](#)

Chapter 27

[Tab. 27-1 Anbau gentechnisch veränderter Kulturpflanzen.](#)

Illustrationsverzeichnis

Chapter 1

[Abb. 1-1 Koazervate Tröpfchen und die Substanzflüsse an ihren Membranen. Di...](#)

[Abb. 1-2 Schema einer Bakterienzelle.](#)

[Abb. 1-3 Längsschnitt durch einen Faden des Cyano-bakteriums *Oscillatoria* mi...](#)

[Abb. 1-4 Cyanobakterien. \(A\) Chroococcales-Coenobium. \(B\)-\(D\) Hormogonales: ...](#)

[Abb. 1-5 Kompartimentierungsschema der Eukaryonten-zelle nach E. SCHNEPF mit...](#)

[Abb. 1-6 Kompartimente der Pflanzenzelle und ihre wichtigsten Funktionen.](#)

[Abb. 1-7 Vereinfachtes Schema einer kompartimentierten Pflanzenzelle; die Pf...](#)

[Abb. 1-8 Vernetzung des Stoffwechsels von Energie- und Baustoffen \(blau\) und...](#)

[Abb. 1-9 Aufbau der Eukaryontengeißel aus 9 peripheren und 2 zentralen Tubul...](#)

[Abb. 1-10 Phagocytose.](#)

[Abb. 1-11 Vorkommen von Chloroplasten mit mehr als zwei Hüllmembranen in ver...](#)

Chapter 2

[Abb. 2-1 Eine Wasserkaskade als Modell für eine Serie hintereinander gescha...](#)

[Abb. 2-2 Das Prinzip der Energiekoppelung. Oben ein mechanisches Modell: Der...](#)

[Abb. 2-3 Der Kreislauf des ATP/ADP-Systems in einer Zelle.](#)

[Abb. 2-4 Vergleich der Lichtreaktionen der Photosynthese bei verschiedenen O...](#)

[Abb. 2-5 Energiediagramm für den Verlauf einer nicht katalysierten \(dünne bl...](#)

[Abb. 2-6 Modell für die Bindung eines Substratmoleküls an ein Enzymmolekül, ...](#)

[Abb. 2-7 \(A\) MICHAELIS-MENTEN-Kinetik einer Enzymreaktion: Abhängigkeit der ...](#)

[Abb. 2-8 Modell für die Regulation eines allosterischen Enzyms durch negativ...](#)

[Abb. 2-9 Regulation der Aktivität von Enzymen durch Phosphorylierung/Dephosp...](#)

Chapter 3

[Abb. 3-1 Membranmodell nach SINGER und NICOLSON.](#)

[Abb. 3-2 Transportprozesse an Membranen.](#)

[Abb. 3-3 Messung elektrischer Membranpotenziale.](#)

[Abb. 3-4 „Protonenpumpen“ am Plasmalemma und am Tonoplasten.](#)

[Abb. 3-5 Kristallstruktur einer monomeren Untereinheit der Plasmamembran ATP...](#)

[Abb. 3-6 Modell der \$V_0V_1\$ -ATPase des Tonoplasten. Die mit den Spitzen aneinan...](#)

[Abb. 3-7 Carrier-Mechanismen. \(A\) Einfacher Carrier-Mechanismus. \(B\) Austausch...](#)

[Abb. 3-8 Konzentrationsabhängigkeit von freier und katalysierter Diffusion....](#)

[Abb. 3-9 Porenmodelle \(A\) und \(B\) eines \$K^+\$ -Kanals, wie es typisch für \$K^+\$ -Kan...](#)

[Abb. 3-10 Ionenkanäle und die Patch-Clamp-Technik. \(A\) Darstellung der Metho...](#)

[Abb. 3-11 Schematischer Schnitt durch ein Porin in einer Membran. Der Anschn...](#)

[Abb. 3-12 Flusskoppelungen an einer Membran. A⁻, Anion; C⁺, Kation; c, Carri...](#)

[Abb. 3-13 Osmotisches System.](#)

[Abb. 3-14 Turgor und Plasmolyse. Die Photographien zeigen Zellen der unteren...](#)

[Abb. 3-15 Druckmesssonde nach ZIMMERMANN und STEUDLE.](#)

[Abb. 3-16 Druckkammer nach SCHOLANDER und HAMMEL.](#)

[Abb. 3-17 Druckrelaxationen von Mesokarp-Parenchym- zellen der Paprikafrucht...](#)

Chapter 4

[Abb. 4-1 Elemente des Cytoskeletts in Endospermzellen einer *Haemanthus*-Art....](#)

[Abb. 4-2 Mikrotubuli. \(A\) Schematischer Querschnitt durch einen Mikrotubulus...](#)

[Abb. 4-3 Die Wirkungsweise der \$\alpha\$ -Amylase, \$\beta\$ -Amylase und Maltase bei der Zer...](#)

[Abb. 4-4 Die Weiterverarbeitung der im Energiestoffwechsel entstehenden Bre...](#)

[Abb. 4-5 Die Reaktionsfolge bei der Glykolyse.](#)

[Abb. 4-6 Die Teilschritte bei der Substratkettenphos-phorylierung der Glyko...](#)

[Abb. 4-7 Schemader alkoholischen Gärung \(linke Hälfte; grüne Markierung\) und...](#)

[Abb. 4-8 Der an der Regulation der Glykolyse beteiligte Regelkreis. Die dic...](#)

Chapter 5

[Abb. 5-1 Der Feinbau von Mitochondrien. Oben: schematischer Längsschnitt; un...](#)

[Abb. 5-2 Vereinfachtes Schema der Bildung von aktivierter Essigsäure \(Acety...](#)

[Abb. 5-3 Der Zitronensäurezyklus. Oben: vereinfachtes Schema; die Ziffern i...](#)

[Abb. 5-4 \(A\) Verlauf und Energiediagramm der Atmungskette. Die horizontalen...](#)

[Abb. 5-5 Indirekter Transport von Reduktionsäquivalenten aus dem Cytosol in...](#)

[Abb. 5-6 Die wichtigsten Translokatoren der inneren Mitochondrienmembran. \(...\)](#)

[Abb. 5-7 Der Transport von Reduktionsäquivalenten vom Cytosol in die Mitoch...](#)

[Abb. 5-8 Die zentrale Rolle des Zitronensäurezyklus als Sammelbecken des St...](#)

Chapter 6

[Abb. 6-1 Schema der Entwicklung verschiedener Typen von Plastiden. Der wichtig...](#)

[Abb. 6-2 \(A\) Der Feinbau von Chloroplasten. Oben: schematischer Querschnitt, d...](#)

[Abb. 6-3 Die Wellenlängen der von der Sonne ausgesendeten elektromagnetischen ...](#)

[Abb. 6-4 Aktionsspektrum der Photosynthese \(dicke schwarze Linie\) und Absorpti...](#)

[Abb. 6-5 Schema der Anregungszustände in einem Chlorophyllmolekül. Wegen intra...](#)

[Abb. 6-6 Chlorophyllfluoreszenz. Die Niveaus des Grundzustands und des angereg...](#)

[Abb. 6-7 Struktur und Prinzip der Arbeitsweise einer Lichtsammelantenne. \(A\) S...](#)

[Abb. 6-8 Der Elektronentransport bei der Lichtreaktion der Photosynthese. \(A\) ...](#)

[Abb. 6-9 Modell der \$F_0/F_1\$ -ATPase \(ATP-Synthase\) der Chloroplasten \(in Anlehnun...](#)

[Abb. 6-10 Die Abhängigkeit der photosynthetischen \$CO_2\$ -Assimilation von der Zul...](#)

[Abb. 6-11 \(A\) Übersicht über die vier Abschnitte des reduktiven Pentosephospha...](#)

[Abb. 6-12 Die Wirkungsweise der RUBISCO. Oberhalb der gestrichelten Linie ist ...](#)

[Abb. 6-13 Die Reduktion der 3-Phosphoglycerinsäure zum Glycerinaldehyd-3-phosp...](#)

[Abb. 6-14 Die Reaktionen der Oxidation und Decarboxylierung beim oxidativen P...](#)

[Abb. 6-15 Schemata der regenerierenden Phasen des reduktiven \(oben\) und des ox...](#)

[Abb. 6-16 Die Verknüpfung des CALviN-Zyklus mit der im Cytosol ablaufenden Sac...](#)

[Abb. 6-17 Die Reaktionsfolge in der ersten Runde der Fettsäurebiosynthese. \(1\)...](#)

Chapter 7

[Abb. 7-1 Dictyosomen \(A\) Räumliches Modell eines Dictyosoms. \(B\) Schnitt durch...](#)

[Abb. 7-2 Modell der Synthese und des Umbaus von Substanzen im Dictyosom und de...](#)

[Abb. 7-3 Oleosomen und Glyoxysomen aus den Keimblättern eines Sonnenblumenkeim...](#)

[Abb. 7-4 Der Glyoxylsäurezyklus und die Zusammenarbeit von Glyoxysomen, Mitoch...](#)

[Abb. 7-5 Die Reaktionsfolge bei der \$\beta\$ -Oxidation der Fettsäuren \(in Anlehnung a...](#)

[Abb. 7-6 Schema der Gluconeogenese und ihrer Regulation mit den drei Schlüssel...](#)

[Abb. 7-7 Der Stoffwechselweg der Photorespiration \(Glykolatweg\). Die Abbildung...](#)

[Abb. 7-8 Peroxisomen in einer Mesophyllzelle von *Ricinus communis* Ps, Chloropl...](#)

Chapter 8

[Abb. 8-1 Aufbau der Zellwand einer ausdifferenzierten Zelle. Die innerste Schi...](#)

[Abb. 8-2 Der Aufbauder Pectinsäure.](#)

[Abb. 8-3 \(A\) Ionenbindung \(grünes Feld\) zwischen zwei Galacturonsäuremolekülen...](#)

[Abb. 8-4 Xyloglucan, ein Vertreter der Hemicellulosen.](#)

[Abb. 8-5 Die Ableitung von Stärke \(Amylose; zweite Reihe von oben\), Cellulose ...](#)

[Abb. 8-6 Modell der gerichteten Synthese von Cellulose durch Komplexe der Cell...](#)

[Abb. 8-7 Die Bildung einer neuen Zellwand. \(A\) Bildung der Zellplatte. Die von...](#)

[Abb. 8-8 Ausschnitt aus dem Randbezirk der wachsenden Zellplatte bei der Bildu...](#)

[Abb. 8-9 Die Struktur der Cellulosefibrillen in einer Zellwand. Oben zeigt die...](#)

[Abb. 8-10 Texturen in der Primärwand \(A\) und Sekundärwand \(B\) einer pflanzlich...](#)

[Abb. 8-11 Schematischer Längsschnitt durch ein Plasmodesmos \(A\) und ein Quersc...](#)

[Abb. 8-12 Schema der Struktur eines Tüpfels. Die Plasmodesmen sind hier im Ver...](#)

[Abb. 8-13 Räumliches Modell eines Hoftüpfels in den verholzten Zellwänden der ...](#)

Chapter 9

[Abb. 9-1 Die Ladungszustände einer Aminosäure.](#)

[Abb. 9-2 Die Phosphorylierung von Serin durch die Serinkinase.](#)

[Abb. 9-3 Die häufigsten Bindungsarten zwischen Aminosäureresten, die für die S...](#)

[Abb. 9-4 \(A\) Modalitäten der Faltblattstruktur von Proteinen: Modell des antip...](#)

[Abb. 9-5 Verschiedene Darstellungsweisen der Tertiärstruktur eines Proteins mi...](#)

[Abb. 9-6 Übertragung einer Aminogruppe \(Transaminierung\) durch eine Transamina...](#)

Chapter 10

[Abb. 10-1 Biosynthese der Terpenoide. \(A\) Acetat-Mevalonat-Weg. \(B\) Desoxy-D-X...](#)

[Abb. 10-2 Bildung von Phenolen durch Oxidation ringförmiger Terpenoide.](#)

[Abb. 10-3 Hydrochinon/Chinon-Redoxsystem.](#)

[Abb. 10-4 Shikimisäureweg der Biosynthese von Phenolen und Phenylpropanverbind...](#)

[Abb. 10-5 Bildung verschiedener Monolignole \(Phenylpropanderivate\) aus den End...](#)

[Abb. 10-6 Biosynthese des Pyridinrings der Chinolinsäure und Nicotinsäure und ...](#)

[Abb. 10-7 Aufbau des Puringerüsts.](#)

[Abb. 10-8 Biosynthese des Pyrimidinrings der Orotsäure und Bildung von UMP \(Ur...](#)

[Abb. 10-9 Synthese von \$\delta\$ -Aminolaevulinsäure auf zwei verschiedenen konvergente...](#)

Chapter 11

[Abb. 11-1 Der Kreislauf des Stickstoffs.](#)

[Abb. 11-2 Der Kreislauf des Schwefels.](#)

[Abb. 11-3 Arbeitsteilung von Wurzeln und Blättern bei der Nitrat \(\$\text{NO}_3^-\$ \)- und Sulf...](#)

[Abb. 11-4 Nitratreduktion in grünen Zellen.](#)

[Abb. 11-5 Glutamatsynthese-Zyklus.](#)

[Abb. 11-6 \$\text{N}_2\$ -Reduktion. Elektronentransportkette bei der Nitrogenasereaktion. ...](#)

[Abb. 11-7 Reduktion des Sulfats zu Sulfid und Einbau des Schwefels in die Amin...](#)

[Abb. 11-8 Redoxreaktion mit Glutathion. Glutathion ist ein Tripeptid mit der s...](#)

[Abb. 11-9 Sonnentau \(*Drosera spathulata*\). Rechts Vergrößerung eines Tentakels....](#)

[Abb. 11-10 Fangapparat der Kannenpflanze \(*Nepenthes*\). \(A\) Die dem Einfangen vo...](#)

[Abb. 11-11 Der Wasserschlauch \(*Utricularia*\). \(A\) Die Abbildung zeigt die fein ...](#)

[Abb. 11-12 Die Halophyte *Halocnemum strobilaceum* in einem Schott in Nordafrika...](#)

[Abb. 11-13 \(A\) Salzdrüse von *Limonium vulgare* \(Strandflieder\). \(B\) Blasenhaar ...](#)

[Abb. 11-14 Zusammenwirken verschiedener Komponenten bei der Eisenaufnahme: ein...](#)

[Abb. 11-15 Anatomische Veränderungen der Wurzeln von Tomatenpflanzen bei Eisen...](#)

[Abb. 11-16 Phytochelatinsynthese aus Glutathion \(Abb. 11-8\) unter Abspaltung v...](#)

Chapter 12

[Abb. 12-1 Zelle eines Staubfadenhaars von *Tradescantia* mit Zellkern \(K\).](#)

[Abb. 12-2 Kernhülle mit Kernporenkomplexen. Jeder Komplex besteht aus 8 Gru...](#)

[Abb. 12-3 Organisation des Chromatins und der Chromosomen mit den zur Besch...](#)

[Abb. 12-4 Zellzyklus gesteuert durch Zellzyklusgene und Cycline \(braune Pfe...](#)

[Abb. 12-5 Schema des Verlaufs der Mitose. Die angegebenen Phasen sind im Te...](#)

[Abb. 12-6 Mitosestadien und Chromosomenbilder von Zellen der Wurzelspitze d...](#)

[Abb. 12-7 Einfaktorenkreuzung homozygotischer Eltern und Rekombination in d...](#)

[Abb. 12-8 Extrachromosomale Vererbung der Panaschierung von Blättern: Nur w...](#)

[Abb. 12-9 Maiskolben mit durch mobile Gene oder Transposons verursachter fl...](#)

[Abb. 12-10 DNA-Doppelhelix \(WATSON-CRICK-Modell\). Jede vollständige Windung...](#)

[Abb. 12-11 Basenpaarungen. \(A\) Im DNA-Doppelstrang. \(B\) Bei der DNA→RNA-Tra...](#)

[Abb. 12-12 Resultate der Replikation \(autokatalytische Funktion\) und der Tr...](#)

[Abb. 12-13 Zusammenhänge zwischen DNA, RNA-Arten, Replikation, Transkriptio...](#)

[Abb. 12-14 Transkription des DNA-Codes in den RNA-Code durch die RNA-Polyme...](#)

[Abb. 12-15 Aktivierung der Aminosäuren, Übertragung auf die t-RNA und Pepti...](#)

[Abb. 12-16 Proteinbiosynthese an einem Polysom. ER, Endoplasmatisches Retic...](#)

[Abb. 12-17 Regulator-Operator- oder jACOB-MoNOD-Hypothese der genetischen R...](#)

[Abb. 12-18 Differenzielle Genaktivierung und -inaktivierung durch Koppelung...](#)

[Abb. 12-19 Epigenetische Genregulation durch Methylierung. Das Chromatin is...](#)

Chapter 13

[Abb. 13-1 Domänen \(ARCHAEA, BACTERIA, EÜCARYA\) und Reiche \(Plantae, Fungi, ...](#)

[Abb. 13-2 Grünalgen, Braunalgen und Rotalgen am Meeresstrand in der Normand...](#)

[Abb. 13-3 Lichtabsorption ihrer Pigmente und Verteilungsmaxima der Grünalge...](#)

[Abb. 13-4 Schema der *Euglena*-Zelle.](#)

[Abb. 13-5 Frei bewegliche monadale Lebensformen von Algen. \(A\) Einzelliger ...](#)

[Abb. 13-6 Vegetative Vermehrung und Koloniebildung in der Ordnung der Chlor...](#)

[Abb. 13-7 \(A\) Coccale Zieralge, *Micrasterias truncata*; \(B\) Diatomee, *Diplon...*](#)

[Abb. 13-8 Schematische Zeichnungen einer Kieselalge der Ordnung Pennales \(K...](#)

[Abb. 13-9 Trichale Organisationsstufe: Fadenthallus von *Cladophora* \(Ordnung...](#)

[Abb. 13-10 Siphonale Organisationsstufe: Einige Schlauchalgentypen \(Klasse ...](#)

[Abb. 13-11 *Acetabularia*. Der Entwicklungsgang \(links\) zeigt die Keimung der...](#)

[Abb. 13-12 Plektenchyme der Rotalgen. Darstellung des Springbrunnentyps nac...](#)

[Abb. 13-13 Scheitelzellen \(nach VOCEL und ANCERMANN\). \(Vierschneidige Schei...](#)

[Abb. 13-14 Entwicklung des armleuchterartigen Thallus der Charophyceen aus ...](#)

[Abb. 13-15 Gewebethalli der Braunalgen \(Ordnungen Laminariales und Fucales,...](#)

[Abb. 13-16 Zonierung der Algenvegetation an den Felsküsten der Normandie \(n...](#)

[Abb. 13-17 Aufbau des Thallus der Braunalge *Dictyota dichotoma* aus einschne...](#)

[Abb. 13-18 Schema der Siebplatten von *Macrocystis luetkeana* \(Ordnung Lamina...](#)

[Abb. 13-19 Morphologische Entwicklungstendenzen bei den Algen.](#)

[Abb. 13-20 Schema des Verlaufs der Meiose. Die angegebenen Phasen sind in K...](#)

[Abb. 13-21 Isogamie - Anisogamie - Oogamie. In der oberen Reihe dargestellt...](#)

[Abb. 13-22 Geschlechtliche Fortpflanzung bei Kieselalgen \(Klasse Diatomeae,...](#)

[Abb. 13-23 Entwicklung komplexer Gametangien und „Zygotenfrüchte“ durch Aus...](#)

[Abb. 13-24 Generationswechsel und Kernphasenwechsel, Kopulation und Meiose,...](#)

[Abb. 13-25 Möglichkeiten von Entwicklungsgängen bei Algen mit einer phyloge...](#)

[Abb. 13-26 Entwicklungsgänge bei Algen. \(Vgl. hierzu Abb. 13-24, Abb. 13-25...](#)

[Abb. 13-27 Entwicklungsgang von Rotalgen \(Abteilung Rhodophyta\) mit drei Ge...](#)

[Abb. 13-28 Überblick über die phylogenetische Ableitung der großen Algengru...](#)

[Abb. 13-29 Organisation der Mikrotubuli bei der Zellwandbildung und Zelltei...](#)

Chapter 14

[Abb. 14-1 Phylogenie der Landpflanzen mit besonderer Berücksichtigung der M...](#)

[Abb. 14-2 Aufbau des Gametophytenthallus bei thallosen Lebermoosen. \(A\) Ric...](#)

[Abb. 14-3 Der Thallus folioser Lebermoose. \(A\) *Plagiochila asplenioides*. \(B...](#)

[Abb. 14-4 Der Bau des Gametophyten der Laubmoose. \(A, B\) Die für Laubmoose ...](#)

[Abb. 14-5 HydroTde und LeptoTde: \(A\) Querschnitt durch das Stämmchen eines ...](#)

[Abb. 14-6 Der Generationswechsel eines Laubmooses. Zygote und Sporophyt \(gr...](#)

[Abb. 14-7 Verschiedene Stadien im Generationswechsel der Laubmoose. \(A\) Ant...](#)

[Abb. 14-8 \(A\) Thallus des weiblichen \(♀\) Gametophyten von *Marchantia polymo...*](#)

[Abb. 14-9 Wasserspeichernde Moose. \(A\) Gametophyt des Torfmooses *Sphagnum r...*](#)

[Abb. 14-10 Aufbau eines Hochmooses \(nach F. FIRBAS\). Die Bildung des Hochmo...](#)

Chapter 15

[Abb. 15-1 Die Stellung der Pilze \(gelb\) im System der Organismen \(in Anlehn...](#)

[Abb. 15-2 Der Entwicklungskreislauf eines Echten Schleimpilzes.](#)

[Abb. 15-3 Schema der Gametangiogamie beim Köpfchenschimmel \(*Mucor mucedo*; Zy...](#)

[Abb. 15-4 Die geschlechtliche Fortpflanzung eines Ascomyceten. Aus \(+\)- und...](#)

[Abb. 15-5 Die geschlechtliche Fortpflanzung eines Ständerpilzes \(Basidiomyc...](#)

Chapter 16

[Abb. 16-1 \(A\) Wuchsform der Urandpflanze *Rhynia*. \(B\) Schematischer Querschn...](#)

[Abb. 16-2 Evolution von endständigen Sporangien der Telome \(links\) zu Sporan...](#)

[Abb. 16-3 Entwicklungsgang eines leptosporangiaten Farnes \(Kl. Pteridopsida,...](#)

[Abb. 16-4 Übergang von Trophosporophyllen zu getrennten Trophophyllen und Sp...](#)

[Abb. 16-5 Sporophyllstände und Blüten bei Pteridophyten, Gymnospermen \(Cyca...](#)

[Abb. 16-6 Entwicklungsgang einer heterosporen Farnpflanze \(*Selaginella*, O. S...](#)

[Abb. 16-7 Entwicklungsgang einer nacktsamigen Pflanze: Kiefer \(*Pinus*, Kl. Co...](#)

[Abb. 16-8 Zapfen von *Pseudotsuga taxifolia* \(Kl. Coniferopsida, U. Abt. Sperm...](#)

[Abb. 16-9 Schematische Darstellung der Entstehung eines von einem Integument...](#)

[Abb. 16-10 Staubblatt \(Mikrosporophyll, männliches Sporophyll\) der Angiosper...](#)

[Abb. 16-11 Einfache Beispiele und schematische Zeichnungen chorikarper Fruch...](#)

[Abb. 16-12 Typen von Samenanlagen \(Zeichnungen\) und Entwicklung von Samenanl...](#)

[Abb. 16-13 Embryonalentwicklung von *Capsella bursa-pastoris* \(Hirtentäschelkr...](#)

[Abb. 16-14 Entwicklungsgang einer bedecktsamigen Pflanze \(Eudicotyledoneae, ...](#)

[Abb. 16-15 Morphologische Differenzierungen zur Gewährleistung der Allogamie...](#)

[Abb. 16-16 Bewegungsmechanismen bei der Selbstverbreitung von Samen. Oben: S...](#)

Chapter 17

[Abb. 17-1 Die Gliederung des Kormus einer Sprosspflanze in Wurzel, Sprossach...](#)

[Abb. 17-2 Der Vegetationspunkt einer Farnwurzel \(mit räumlicher Darstellung ...](#)

[Abb. 17-3 Räumliches Schema einer primären Wurzel \(rechts unten\), mit scheid...](#)

[Abb. 17-4 Beispiele für homorhize und allorhize Wurzelsysteme \(nach L. KütSC...](#)

[Abb. 17-5 Die Organisation des Apikalmeristems der Wurzel, gezeigt am Beispi...](#)

[Abb. 17-6 Transport von Indolylessigsäure \(IES\) und Aufbau eines IES-Gradien...](#)

[Abb. 17-7 Interaktion der Transkriptionsfaktoren SHR und SCR als Positionsin...](#)

[Abb. 17-8 Die Entwicklung der Endodermis. Die Abbildung zeigt in der Mitte j...](#)

[Abb. 17-9 Transferzellen im Xylemparenchym der Wurzel. \(A\) Schema; \(B\) EM-Bi...](#)

[Abb. 17-10 Die Bildung von Seitenwurzeln. Die Abbildung zeigt links einen sc...](#)

[Abb. 17-11 Der Verlauf des sekundären Dickenwachstums einer Wurzel.](#)

[Abb. 17-12 \(A\) Junge Wurzel von *Sinapis alba* \(Senf\) mit Kalyptra und Wurzelh...](#)

[Abb. 17-13 Die Wege beim Radialtransport von Wasser und Nährsalzen in der pr...](#)

[Abb. 17-14 \(A\) Keulenartig verdickte Speicherwurzeln des Scharbockskrautes \(](#)

[Abb. 17-15 \(A\) Haftwurzeln beim Efeu \(*Hedera helix*\). \(B\) Wurzelranke bei ein...](#)

[Abb. 17-16 Schematische Darstellung des Wurzelsystems mit Atemwurzeln bei Ma...](#)

Chapter 18

[Abb. 18-1 Modell einer dikotylen Pflanze im Zustand bald nach der Keimung.](#)

[Abb. 18-2 Nodien und Internodien beim Tannenwedel \(*Hippuris vulgaris*\). \(A\) S...](#)

[Abb. 18-3 Interkalares Wachstum des Sprosses durch Wachstumszonen an der Bas...](#)

[Abb. 18-4 Lang- und Kurztriebe bei der Kirsche. Der Kurztrieb wird auch als ...](#)

[Abb. 18-5 Vegetationskegel. \(A\) Längsschnitt durch den Vegetationskegel der ...](#)

[Abb. 18-6 \(A\) Histologische Gliederung des apikalen Sprossmeristems in die S...](#)

[Abb. 18-7 Vergleich der Richtung der Zellteilungen im Sprossapex bei Farnen,...](#)

[Abb. 18-8 Die Orte der Expression der Genprodukte, die in den Homöostasie-Re...](#)

[Abb. 18-9 Vereinfachte Darstellung des SAM-Regelkreises. Einzelheiten sind ...](#)

[Abb. 18-10 Räumliches Modell der Sprossachse eines Kormophyten mit sukzessiv...](#)

[Abb. 18-11 Festigungsgewebe. \(A\) Kantenkollenchym \(*Cucurbita pepo*\). \(B\) Plat...](#)

[Abb. 18-12 Leitelemente des Xylems und des Phloems. \(A\) Ein Längsschnitt dur...](#)

[Abb. 18-13 Elemente des Phloems. Die Abbildung zeigt einen stark schematisie...](#)

[Abb. 18-14 Anordnung der Leitbündel im Querschnitt durch den Stängel eines U...](#)

[Abb. 18-15 Leitbündelverlauf bei Monokotyledonen \(Längsschnitt\), bei Dikoty...](#)

[Abb. 18-16 Das Sprosskambium und seine Derivate. Rechts: Schema der zeitlich...](#)

[Abb. 18-17 Räumliches Modell eines Ausschnitts aus dem Holzkörper einer Gymn...](#)

[Abb. 18-18 Der Aufbau verkorkter Zellwände \(oben\) und Schema der Tätigkeit d...](#)

[Abb. 18-19 Lentizellen. \(A\) Raster-EM-Bild einer Lentizelle von *Avicennia ma...*](#)

[Abb. 18-20 *Dracaena draco* \(Drachenbaum\) auf Teneriffa. Der mächtige Stamm di...](#)

[Abb. 18-21 Metamorphosen des Sprosses. \(A\) Ableitung eines stammsukkulenten,...](#)

[Abb. 18-22 Wasserpotenzialgradienten zwischen Boden, Pflanze und Atmosphäre ...](#)

[Abb. 18-23 Physikalisches Modell zur Demonstration der Sogwirkung des Transp...](#)

[Abb. 18-24 Physikalisches Modell von MÜNCH zum Nachweis einer Lösungsströmun...](#)