

Inhaltsverzeichnis

Kapitel 1

Botanik: Eine Einführung	1
1.1 Evolution der Pflanzen	2
1.1.1 Der Ursprung des Lebens liegt in der Frühzeit der geologischen Erdgeschichte	2
1.1.2 Die chemischen Grundbausteine des Lebens bildeten sich in den Urozeanen	3
1.1.2.1 Die Vorläufer der ersten Zellen waren höchst- wahrscheinlich einfache Molekülansammlungen	4
1.1.2.2 Autotrophe Organismen stellen sich ihre Nahrung selbst her, heterotrophe Organismen müssen ihre Nahrung aus externen Quellen beziehen	5
1.1.3 Die Photosynthese veränderte die Erdatmosphäre und beeinflusste umgekehrt wieder die Entwick- lung des Lebens	6
1.1.4 Die Meeresküsten waren von Bedeutung für die Evolution der photoautotrophen Organismen	7
1.1.5 Die Besiedelung des Festlandes ging einher mit der Entwicklung von Strukturen zur Versorgung mit Wasser und zur Minimierung des Wasser- verlustes	8
1.2 Die Entstehung von Lebensgemeinschaften	11
1.2.1 Ökosysteme sind ziemlich stabile, miteinander verbundene Einheiten, die von zur Photosynthese befähigten Organismen abhängen	12
1.3 Das Aufscheinen menschlicher Wesen	12
1.3.1 Die Botanik schließt viele verschiedene Fach- richtungen ein	13
1.3.2 Für den Umgang mit heute und in der Zukunft zu lösenden Aufgabenstellungen sind botanische Kenntnisse bedeutsam	14
1.4 Zusammenfassung	15
1.4.1 Die chemischen Gruppen für die Entstehung des Lebens bildeten sich in den Ozeanen der frühen Erde	15
1.4.2 Heterotrophe Organismen entwickelten sich früher als die autotrophen, Prokaryoten eher als die Eukaryoten und einzellige Lebewesen vor den Mehrzellern	16
1.4.3 Die Besiedelung des Festlandes war verknüpft mit der Entwicklung von Strukturen, die es ermöglichen, Wasser zu beschaffen und den Verlust von Wasser herabzusetzen.	16
1.4.4 Ökosysteme sind weitgehend stabile, zusammen- geschlossene Einheiten, die in Abhängigkeit von photosynthetisch tätigen Organismen stehen.	16

Teil 1 Die Pflanzenzelle

Kapitel 2

Molekularer Bau der Zelle	19
2.1 Organische Moleküle	20
2.2 Kohlenhydrate	20
2.2.1 Monosaccharide dienen als Bausteine und Energieförderanten	20
2.2.2 Das Disaccharid Saccharose ist eine Transportform von Zucker in Pflanzen	21
2.2.3 Polysaccharide dienen als Energiespeicher oder als Strukturbausteine	23
2.3 Lipide	25
2.3.1 Fette und Öle sind energiespeichernde Triglyceride	25
2.3.2 Phospholipide sind modifizierte Triglyceride und Bestandteile der Zellmembran	26
2.3.3 Cutin, Suberin und Wachse sind Lipide, die Barrieren gegen Wasserverlust bilden	27
2.3.4 Steroide besitzen verknüpfte Kohlenwasserstoff- ringe und spielen mannigfaltige Rollen bei Pflanzen	28
2.4 Proteine	28
2.4.1 Aminosäuren sind die Bausteine der Proteine	28
2.4.2 Die Proteinstruktur kann hinsichtlich ihrer Organisationsebenen beschrieben werden	31
2.4.3 Enzyme sind Proteine, die chemische Reaktionen in der Zelle katalysieren	32
2.5 Nucleinsäuren	33
2.5.1 Das Molekül ATP ist das „Zahlungsmittel“ für Energie in der Zelle	34
2.6 Sekundäre Pflanzenstoffe	35
2.6.1 Zur Molekül-Klasse der Alkaloide gehören Morphin, Cocain, Koffein, Nikotin und Atropin	35
2.6.2 Terpenoide setzen sich aus Isopreneinheiten zusammen. Zu ihnen gehören ätherische Öle, Taxol, Kautschuk, und Herzglykoside	37
2.6.3 Zu den Phenolen gehören Flavonoide, Tannine, Lignine und Salicylsäure	38
2.7 Zusammenfassung	42
2.7.1 Die lebende Materie ist aus nur wenigen natürlich vorkommenden Elementen aufgebaut	42
2.7.2 Kohlenhydrate sind Zucker und deren Polymere	42
2.7.3 Lipide sind hydrophobe Moleküle mit einer Vielzahl von Aufgaben in der Zelle	42
2.7.4 Proteine sind vielseitige Aminosäurepolymere	42
2.7.5 Nucleinsäuren sind Nucleotidpolymere	42
2.7.6 Sekundäre Pflanzenstoffe haben eine Vielzahl von Aufgaben, die nicht direkt mit den Grundfunk- tionen der Pflanze zusammenhängen	42

Kapitel 3

Die Pflanzenzelle 44

3.1 Die Entstehung der Zellentheorie 45

3.2 Prokaryotische und eukaryotische Zelle 45

3.2.1 Fossilfunde lassen stammesgeschichtliche Beziehungen zwischen Prokaryoten und Eukaryoten vermuten 49

3.3 Die Pflanzenzelle im Überblick 50

3.4 Das Plasmalemma 51

3.5 Der Zellkern 52

3.6 Chloroplasten und andere Plastiden 54

3.6.1 Chloroplasten sind der Sitz der Photosynthese ... 55

3.6.2 Chromoplasten enthalten kein Chlorophyll, jedoch andere Pigmente 56

3.6.3 Leukoplasten sind farblose Plastiden 56

3.6.4 Proplastiden sind Vorläufer anderer Plastiden ... 57

3.7 Mitochondrien 58

3.7.1 Der stammesgeschichtliche Ursprung von Mitochondrien und Chloroplasten liegt bei den Prokaryoten 58

3.8 Peroxisomen 59

3.9 Vakuolen 59

3.10 Lipidtröpfchen 61

3.11 Ribosomen 61

3.12 Endoplasmatisches Reticulum 62

3.13 Golgi-Apparat 63

3.13.1 Dynamik der Zellmembranen, am Beispiel des Endomembransystems 64

3.14 Cytoskelett 65

3.14.1 Mikrotubuli und zylindrische Strukturen aus Tubulinuntereinheiten 65

3.14.2 Actinfilamente sind dünner als Mikrotubuli 66

3.15 Geißeln und Wimpern 66

3.16 Die Zellwand 67

3.16.1 Die Cellulose ist das Zellwandgerüst pflanzlicher Zellen 68

3.16.2 Nicht-celluloseische Zellwandbestandteile bilden die Zellwandmatrix 69

3.16.3 Viele Pflanzenzellen besitzen außer der Primärwand eine Sekundärwand 71

3.16.3.1 Die Mittellamelle verbindet benachbarte Zellen .. 71

3.16.3.2 Die Primärwand wird während des Zellwachstums abgelagert 71

3.16.3.3 Die Sekundärwand wird abgelagert, wenn die Primärwand sich nicht mehr vergrößert 72

3.16.3.4 Primärwände haben primäre Tüpfelfelder, Sekundärwände Tüpfel 73

3.16.4 Beim Wachstum der Zellwand wirken Plasmamembran, Sekretvesikel und Mikrotubuli zusammen .. 73

3.17 Plasmodesmen 75

3.18 Zusammenfassung 75

3.18.1 Die Zelle ist die Grundeinheit des Lebens 75

3.18.2 Prokaryoten und Eukaryoten haben verschieden gebaute Zellen 75

3.18.3 Pflanzenzellen bestehen aus Protoplast und Zellwand 76

3.18.4 Der Zellkern ist von einer Kernhülle umgeben ... 76

3.18.5 Chloroplasten, Chromoplasten und Leukoplasten sind die drei Haupt-Plastiden-Typen 76

3.18.6 Mitochondrien sind der Sitz der Atmung 77

3.18.7 Plastiden und Mitochondrien zeigen Merkmale prokaryotischer Zellen 77

3.18.8 Peroxisomen sind von einer einfachen Membran umgeben 77

3.18.9 Vakuolen enthalten Zellsaft und haben verschiedene Aufgaben 77

3.18.10 Ribosomen sind der Sitz der Proteinsynthese ... 77

3.18.11 Das Endoplasmatische Reticulum ist ein dreidimensionales Membransystem 77

3.18.12 Der Golgi-Apparat ist ein polares Membransystem und dient der Sekretion 77

3.18.13 Membranfluß: die Dynamik von Zellmembranen . 77

3.18.14 Das Cytoskelett besteht aus zwei Filamenttypen: Mikrotubuli und Actinfilamente 77

3.18.15 Geißeln dienen der Fortbewegung 79

3.18.16 Die Zellwand ist das Hauptmerkmal von Pflanzenzellen 79

3.18.17 Plasmodesmen verbinden die Protoplasten benachbarter Zellen 79

Kapitel 4

Die Struktur von Membranen und ihre Funktion 81

4.1 Die Struktur zellulärer Membranen 82

4.2 Transport von Wasser und gelösten Verbindungen . 84

4.2.1 Wasser folgt dem Gradienten des Wasserpotentials 84

4.2.1.1 Massenstrom ist der gemeinsame Fluß von Lösungsmittel und gelösten Substanzen 85

4.2.1.2 Diffusion führt zur gleichmäßigen Verteilung einer Substanz 85

4.3 Diffusion in Zellen 86

4.3.1 Osmose ist ein Spezialfall der Diffusion 86

4.4 Osmose in lebenden Organismen 88

4.4.1 Der Turgordruck trägt zur Stabilität von Pflanzenzellen bei 88

4.5 Membrantransport 90

4.6 Vesikeltransport 93

4.7 Informationsaustausch zwischen Zellen 94

4.7.1 Bei der Signaltransduktion werden zur Kommunikation chemische Botenstoffe eingesetzt 95

4.7.2 Plasmodesmen ermöglichen eine direkte Kommunikation von Nachbarzellen 95

4.8 Zusammenfassung 97

4.8.1 Membranen bestehen aus einer Lipiddoppelschicht und Proteinen 98

4.8.2 Wasser fließt entlang eines Wasserpotentialgradienten 98

4.8.3 Der Fluß des Wasser erfolgt im Massenstrom und durch Diffusion 98

4.8.4 Osmose ist ein Spezialfall der Diffusion 98

4.8.5 Kleine Moleküle überqueren die Membran durch freie Diffusion, erleichterte Diffusion oder aktiven Transport 98

4.8.6 Makromoleküle und Partikel werden in Vesikeln durch die Membran transportiert 98

4.8.7 Bei der Signaltransduktion werden zur Kommunikation chemische Botenstoffe eingesetzt 98

4.8.8 Plasmodesmen ermöglichen eine direkte Kommunikation von Nachbarzellen 99

Teil 2	Bioenergetik	101	6.7.2	Bei der Glycolyse wird Glucose zu Pyruvat abgebaut	135
Kapitel 5	Energiefluß	103	6.7.3	Im Krebs-Zyklus wird das Pyruvat vollständig zu Kohlendioxid abgebaut	135
5.1	Die Hauptsätze der Thermodynamik	104	6.7.4	Der Fluß der Elektronen in der Atmungskette ist an einen Transport von Protonen über die innere Mitochondrienmembran und an die ATP-Synthese gekoppelt	135
5.1.1	Der Erste Hauptsatz besagt, daß die gesamte Energie des Universums konstant ist	105	6.7.5	Die Gärung findet unter anaeroben Bedingungen statt	136
5.1.2	Der zweite Hauptsatz besagt, daß die Entropie des Universums zunimmt	105	6.7.6	Der Krebs-Zyklus ist der Dreh- und Angelpunkt des Auf- und Abbaus vieler verschiedener Molekülararten	136
5.1.3	Lebewesen benötigen eine ständige Zufuhr von Energie	107	Kapitel 7	Photosynthese, Licht und Leben	137
5.2	Redox-Reaktionen	108	7.1	Photosynthese: Ein historischer Überblick	138
5.3	Enzyme	110	7.2	Die Eigenschaften des Lichtes	139
5.3.1	Enzyme haben ein aktives Zentrum, das ein bestimmtes Substrat bindet	111	7.2.1	Licht hat die Eigenschaften von Wellen und Teilchen	140
5.3.2	Die induced fit-Hypothese besagt, daß ein Substrat die Form des aktiven Zentrums verändern kann	111	7.3	Die Funktion der Pigmente	141
5.4	Cofaktoren von Enzymen	111	7.3.1	Die wichtigsten Photosynthesepigmente sind die Chlorophylle, die Carotinoide und die Phycobiline	143
5.4.1	Metallionen als Cofaktoren	111	7.4	Die Reaktionssysteme der Photosynthese	145
5.4.2	Coenzyme	112	7.4.1	Zwei Photosysteme sind an den Lichtreaktionen beteiligt	145
5.5	Stoffwechselwege	113	7.4.2	Bei den Lichtreaktionen fließen Elektronen vom Wasser zu Photosystem II, Photosystem I und NADP ⁺	148
5.6	Regulation der Enzymaktivität	113	7.4.3	Die zyklische Photophosphorylierung erzeugt nur ATP	151
5.7	ATP als Energiequelle	115	7.5	Die Kohlenstoff-Fixierungsreaktionen	151
5.8	Zusammenfassung	117	7.5.1	Im Calvin-Zyklus erfolgt die CO ₂ -Fixierung über den C ₃ -Syntheseweg	152
5.8.1	Das Leben auf unserem Planeten hängt von der Strahlungsenergie der Sonne ab	117	7.5.2	Der meiste fixierte Kohlenstoff wird in Saccharose oder Stärke umgewandelt	154
5.8.2	Lebende Systeme gehorchen den Gesetzen der Thermodynamik	117	7.5.3	Photorespiration erfolgt, wenn RubisCO anstelle von CO ₂ Sauerstoff (O ₂) bindet	154
5.8.3	Redoxreaktionen spielen eine wichtige Rolle beim Energiefluß	117	7.5.4	Der C ₄ -Stoffwechsel verhindert die Photorespiration	155
5.8.4	Enzyme ermöglichen, daß chemische Reaktionen bei für Lebewesen verträglichen Temperaturen ablaufen können	117	7.5.4.1	Die Photosynthese ist in C ₄ -Pflanzen effizienter als in C ₃ -Pflanzen	156
5.8.5	ATP stellt die Energie für die meisten Aktivitäten der Zelle bereit	117	7.5.5	Pflanzen mit dem Crassulaceensäure-Stoffwechsel können CO ₂ im Dunkeln fixieren	159
Kapitel 6	Atmung	119	7.5.6	Jeder Kohlenstoff-Fixierungsmechanismus hat seine Vorteile und Nachteile in der Natur	161
6.1	Oxidation der Glucose – ein Überblick	120	7.6	Zusammenfassung	164
6.2	Glycolyse	120	7.6.1	Licht wird durch Pigmente absorbiert, die in Photosystemen organisiert sind	164
6.2.1	Zusammenfassung der Glycolyse	123	7.6.2	Bei den Lichtreaktionen fließen Elektronen vom Wasser zu Photosystem II, über eine Elektronentransportkette zu Photosystem I und schließlich zum NADP ⁺	164
6.3	Aerober Kohlenhydratabbau	124	7.6.3	Der Elektronenfluß der Elektronentransportkette ist an die Protonenpumpe und ATP-Synthese über einen chemiosmotischen Mechanismus gekoppelt	164
6.3.1	Die Struktur der Mitochondrien ist der Schlüssel zu ihrer Funktion	124	7.6.4	Im Calvin-Zyklus wird CO ₂ über den C ₃ -Stoffwechsel fixiert	164
6.3.2	Pyruvat wandert ins Mitochondrion ein und wird oxidiert und decarboxyliert	125	7.6.5	Die Kohlenstoff-Fixierung in C ₄ -Pflanzen umgeht das Problem der Photorespiration	164
6.3.3	Im Krebs-Zyklus werden die Acetylgruppen des Acetyl-CoA oxidiert	125	7.6.6	CAM-Pflanzen können CO ₂ im Dunkeln fixieren	165
6.3.4	In der Atmungskette werden die Elektronen des Glukosemoleküls auf Sauerstoff übertragen	126			
6.3.5	Die oxidative Phosphorylierung wird durch den Mechanismus der Chemiosmotischen Kopplung erreicht	129			
6.3.6	Sowohl NADH und FADH ₂ als auch ATP tragen zum Energiegewinn der Zelle bei	130			
6.4	Andere Substrate der Atmung	133			
6.5	Anaerober Kohlenhydratabbau	133			
6.6	Strategien des Energiemetabolismus	134			
6.7	Zusammenfassung	135			
6.7.1	Die Atmung, d.h. die vollständige Oxidation der Glucose, ist die Hauptenergiequelle der meisten Zellen	135			

Teil 3 Genetik und Evolution

Kapitel 8

Zellvermehrung 169

8.1 Zellteilung bei Prokaryoten 170

8.2 Zellteilung bei Eukaryoten 171

8.3 Der Zellzyklus 171

8.4 Interphase 172

8.5 Zellteilung bei Pflanzen 173

8.5.1 Die Mitose besteht aus vier Phasen: Prophase, Metaphase, Anaphase und Telophase 173

8.5.1.1 Prophase: die Chromosomen verkürzen und verdicken sich 173

8.5.1.2 Metaphase: die Chromosomen ordnen sich in der Äquatorialebene der Kernteilungsspindel an 175

8.5.1.3 Die Kernteilungsspindel – eine hochorganisierte Struktur aus Kinetochor-Mikrotubuli und Pol-Mikrotubuli 177

8.5.1.4 Anaphase: die Schwesterchromatiden trennen sich und wandern als Tochterchromosomen zu den entgegengesetzten Polen der Spindel 178

8.5.1.5 Telophase: die Chromosomen verlängern sich und werden wieder undeutlich 178

8.5.2 Die Cytokinese bei Pflanzen erfolgt durch Bildung des Phragmoplasten und der Zellplatte 178

8.6 Zellteilung und die Vermehrung der Organismen 181

8.7 Zusammenfassung 182

8.7.1 Prokaryotische und eukaryotische Zellen können sich teilen und bilden dabei Tochterzellen, die der Elternzelle ähneln 182

8.7.2 Prokaryotische Zellen teilen sich durch einfache Spaltung 182

8.7.3 Eukaryotische Zellen teilen sich durch Mitose und Cytokinese 182

8.7.4 In der Prophase verkürzen und verdicken sich die verdoppelten Chromosomen 182

8.7.5 In Metaphase, Anaphase und Telophase werden die verdoppelten Chromosomen gleichmäßig auf die neuen Kerne verteilt 182

8.7.6 Auf die Mitose folgt meist die Cytokinese, die Teilung des Cytoplasmas der Mutterzelle 182

Kapitel 9

Meiose und geschlechtliche Fortpflanzung 184

9.1 Haploider und diploider Chromosomensatz 185

9.2 Meiose, Entwicklungszyklus und Diploidie 186

9.3 Der Ablauf der Meiose 188

9.4 Die Phasen der Meiose 188

9.4.1 Meiose I: Die homologen Chromosomen trennen sich und wandern zu entgegengesetzten Polen .. 189

9.4.2 Meiose II: Die Schwesterchromatiden trennen sich und wandern zu entgegengesetzten Polen .. 193

9.4.3 Eine Folge der Meiose ist die genetische Rekombination 193

9.5 Ungeschlechtliche Fortpflanzung: ein anderer Weg 194

9.6 Vorteile geschlechtlicher Fortpflanzung 196

9.7 Zusammenfassung 198

9.7.1 Geschlechtliche Fortpflanzung beinhaltet Meiose und Befruchtung 198

9.7.2 Nach dem Zeitpunkt der Meiose unterscheidet man Entwicklungszyklen mit zygotischem, gametischem und intermediärem Kernphasenwechsel 198

9.7.3 Bei der Meiose entstehen in zwei aufeinanderfolgenden Kernteilungen insgesamt vier Kerne (oder Zellen) mit je einem haploiden Chromosomensatz 198

9.7.4 Geschlechtliche Fortpflanzung führt zu Vielfalt, ungeschlechtliche Fortpflanzung zu Einheitlichkeit 198

Kapitel 10

Genetik und Vererbung 200

10.1 Das Konzept des Gens 201

10.1.1 Mendels Versuchsmethode trug zu seinem Erfolg bei 201

10.2 Merkmalsaufspaltung 202

10.2.1 Spaltung beinhaltet die Trennung von Allelen ... 203

10.3 Freie Kombinierbarkeit 204

10.4 Die Entdeckung der chromosomalen Grundlage der Mendelschen Regeln 207

10.5 Kopplung 208

10.6 Mutationen 209

10.6.1 Mutationen sind Änderungen in der genetischen Zusammensetzung eines Individuums 209

10.6.1.1 Eine Punktmutation geschieht, wenn ein Nukleotid durch ein anderes ersetzt wird 210

10.6.1.2 Deletionen und Duplikationen betreffen die Entfernung oder das Einfügen von Nukleotiden .. 210

10.6.1.3 Gene können sich von einer Position zu einer anderen bewegen 211

10.6.1.4 Ein Abschnitt eines Chromosoms kann invertiert oder zu einem anderen Chromosom bewegt werden 211

10.6.1.5 Ganze Chromosomen können eliminiert oder dupliziert werden 211

10.6.2 Mutationen liefern das Rohmaterial für evolutionäre Veränderung 211

10.7 Erweiterung des Gen-Konzepts 212

10.7.1 Interaktionen zwischen Allelen verändern den Phänotyp 212

10.7.1.1 Unvollständige Dominanz ergibt intermediäre Phänotypen 212

10.7.1.2 Manche Gene haben multiple Allele 212

10.7.2 Geninteraktionen finden auch unter Genen an verschiedenen Genloci statt 213

10.7.2.1 Epistasie ist die Interaktion zwischen den Genen zweier Genloci 213

10.7.2.2 Bestimmte Merkmale werden von mehreren Genloci kontrolliert 213

10.7.3 Ein einzelnes Gen kann mehrfache Auswirkungen auf den Phänotyp haben 213

10.7.4 Die Vererbung mancher Eigenschaften ist unter der Kontrolle von Genen, welche in Plastiden und Mitochondrien lokalisiert sind 214

10.7.5 Der Phänotyp ist das Ergebnis der Wechselwirkung des Genotyps mit der Umwelt 215

10.8 Die chemische Basis der Vererbung 215

10.9 Die Chemie der Gene: DNA versus Protein 215

10.10 Die Struktur der DNA 216

10.10.1 Die DNA besteht aus Nukleotiden, jedes enthält eine der vier stickstoffhaltigen Basen 216

10.10.2	Die DNA liegt in Form einer Doppelhelix vor	216	11.6.1	Chromosomen enthalten Histonproteine	238
10.11	DNA-Replikation	219	11.7	Regulation der Genexpression in Eukaryoten	239
10.11.1	Die DNA-Replikation verläuft bidirektional	219	11.7.1	Die Chromosomen-Kondensation ist ein wichtiger Faktor für die Genexpression	240
10.12	Die Problematik der Enden linearer DNA	221	11.7.2	Spezifisch bindende Proteine regulieren die Genexpression	240
10.12.1	Fehler während der Replikation werden gewöhnlich von DNA-Polymerasen korrigiert	221	11.8	Die DNA des eukaryotischen Chromosoms	240
10.13	Die Energiebilanz der DNA-Replikation	221	11.8.1	Eukaryotische DNA enthält viele wiederholte Nukleotid-Sequenzen	240
10.14	DNA als Träger der Information	222	11.8.2	Einige Nukleotid-Sequenzen kommen nicht wiederholt vor	241
10.15	Zusammenfassung	222	11.8.3	Die meisten Strukturgene bestehen aus Introns und Exons	241
10.15.1	Die Mendelschen Experimente lieferten die Grundlage für die moderne Genetik	222	11.9	Transkription und Prozessierung der mRNA in Eukaryoten	242
10.15.2	Allele können dominant oder rezessiv sein	222	11.10	DNA-Rekombinationstechnik	243
10.15.3	Während der Meiose segregieren die Gene ungekoppelter Loci unabhängig voneinander	222	11.10.1	Restriktionsenzyme werden für die Herstellung von rekombinanter DNA gebraucht	243
10.15.4	Die Gene werden von den Chromosomen getragen	222	11.10.2	Reihenuntersuchungen dienen zur Identifizierung der Kolonien, die das rekombinante Plasmid tragen (Screening)	245
10.15.5	Genloci, die sich auf dem gleichen Chromosom befinden, werden als gekoppelt bezeichnet	223	11.10.3	DNA-Bibliotheken können genomisch oder komplementär sein	245
10.15.6	Mutationen sind Änderungen in der genetischen Ausstattung eines Individuums	223	11.10.4	Die Polymerase-Kettenreaktion kann für die Vervielfältigung von DNA-Abschnitten benutzt werden	247
10.15.7	Allele können unvollständig dominant sein und/oder in mehr als zwei Formen vorkommen	223	11.10.5	Die DNA-Sequenzierung gibt Aufschluß über das Genom der Organismen	249
10.15.8	Gene verschiedener Genloci können auch miteinander wechselwirken	223	11.10.6	Die Hybridisierung der Nukleinsäuren wird für die Lokalisierung spezifischer DNA-Segmente genutzt	249
10.15.9	Einige Gene sind im Cytoplasma lokalisiert	223	11.10.7	Es gibt verschiedene Techniken um Gene, an denen man interessiert ist, zu lokalisieren	250
10.15.10	Der Phänotyp ist das Ergebnis der Interaktion des Genotyps mit der Umwelt	223	11.11	Zusammenfassung	252
10.15.11	Watson und Crick folgerten, daß die DNA eine Doppel-Helix ist	223	11.11.1	Die DNA enthält kodierte Erbinformation	252
10.15.12	Wenn die DNA repliziert wird, dient jeder Strang als Vorlage für die Synthese eines komplementären Stranges	223	11.11.2	Bei dem Prozeß der Transkription wird die mRNA nach einer DNA-Vorlage synthetisiert	252
10.15.13	Die DNA-Replikation ist bidirektional	224	11.11.3	Der genetische Code ist ein Triplet-Code	252
10.15.14	Fehler bei der DNA-Replikation werden gewöhnlich durch DNA-Polymerasen korrigiert	224	11.11.4	Bei dem Prozeß der Translation wird die Information, die in einem Strang mRNA kodiert ist, gebraucht, um ein spezifisches Protein zu synthetisieren	252
10.15.15	Die DNA ist der Träger und Vermittler der genetischen Information	224	11.11.5	Das Operon besteht aus einer Gruppe von benachbarten Genen, die als regulatorische Einheit wirken	252
Kapitel 11			11.11.6	Eukaryotische Chromosomen enthalten Histonprotein	252
Genexpression			226	11.11.7	Die Regulation der Genexpression ist in Eukaryoten wesentlich komplizierter als in Prokaryoten
11.1	Von der DNA zum Protein: Die Rolle der RNA	227	11.11.8	In Eukaryoten enthalten die meisten Strukturgene Introns und Exons	254
11.2	Der genetische Code	228	11.11.9	In der eukaryotischen DNA kommen viele Sequenzen wiederholt vor	254
11.2.1	Der genetische Code ist allgemeingültig	228	11.11.10	Die Transkription in Eukaryoten unterscheidet sich von der in Prokaryoten in vielerlei Hinsicht	254
11.3	Die Proteinsynthese	229	11.11.11	Die rekombinante DNA-Technologie wird genutzt, um neue Genotypen herzustellen	254
11.3.1	Die messenger (Boten) RNA wird von einer DNA-Matrize ausgehend synthetisiert	229	11.11.12	Restriktionsenzyme werden benutzt, um die DNA in Fragmente mit Klebenden zu schneiden	254
11.3.2	Jede transfer RNA trägt eine Aminosäure	230	11.11.13	DNA-Klonierung und die Polymerase-Kettenreaktion werden genutzt, um große Mengen identischer DNA-Segmente herzustellen	254
11.3.3	Ribosomale RNA und Proteine bilden ein Ribosom	230			
11.3.4	mRNA wird in Protein translatiert (übersetzt)	230			
11.3.5	In Eukaryoten werden die Polypeptide zu ihrem Zellkompartiment transportiert	231			
11.4	Die Regulation der Genexpression	233			
11.5	Das Chromosom der Prokaryoten	233			
11.5.1	Die Regulation der Genexpression findet in Prokaryoten meistens auf der Ebene der Transkription statt	235			
11.5.2	Ein Operon besteht aus einer Gruppe benachbarter Gene, welche eine Regulations-Einheit bilden	235			
11.6	Das Chromosom der Eukaryoten	237			

11.11.14 Eine spezifische Nukleinsäure-Sonde wird benutzt, um spezifische DNA-Segmente zu lokalisieren. 255

Kapitel 12

Der Prozeß der Evolution 256

12.1 Darwins Theorie 258
 12.2 Das Konzept des Genbestands 260
 12.3 Das Verhalten von Genen in Populationen:
 Das Hardy-Weinberg-Gesetz. 261
 12.3.1 Hardy-Weinberg-Proportionen setzen einen Standard für das Studium von evolutionärer Veränderung 261
 12.4 Die Kräfte der Veränderung 262
 12.4.1 Mutationen liefern das Rohmaterial für evolutionäre Veränderung 262
 12.4.2 Genfluß ist die Bewegung von Allelen in eine Population hinein oder aus ihr heraus 262
 12.4.3 Genetische Drift bezieht sich auf zufällige Veränderungen 263
 12.4.3.1 Gründereffekte treten auf, wenn eine kleine Population ein neues Gebiet besiedelt. 263
 12.4.3.2 Der Flaschenhalseffekt tritt ein, wenn Umweltfaktoren die Populationsgröße plötzlich reduzieren 263
 12.4.4 Inzucht und Selbstbefruchtung verringern die Häufigkeit der Heterozygoten 263
 12.5 Erhaltung und Förderung von Variation 264
 12.5.1 Sexuelle Reproduktion erzeugt neue genetische Kombinationen 264
 12.5.2 Verschiedene Mechanismen fördern die Fremdd Paarung 264
 12.5.3 Diploidie ermöglicht die Erhaltung rezessiver Allele 265
 12.5.4 Heterozygote können einen Selektionsvorteil gegenüber Homozygoten besitzen 265
 12.6 Reaktionen auf Selektion 265
 12.6.1 In natürlichen Populationen können evolutionäre Veränderungen schnell ablaufen 265
 12.7 Das Ergebnis der natürlichen Selektion:
 Anpassung 266
 12.7.1 Kline und Ökotypen sind Ergebnisse von Anpassung an die abiotische Umwelt 267
 12.7.1.1 Ökotypen unterscheiden sich physiologisch voneinander 268
 12.7.2 Coevolution resultiert aus Anpassung an die biotische Umwelt 269
 12.8 Die Entstehung von Arten 269
 12.8.1 Was ist eine Art? 270
 12.9 Wie erfolgt Speziation? 271
 12.9.1 Allopatrische Speziation benötigt die geographische Trennung von Populationen 271
 12.9.2 Sympatrische Speziation geschieht ohne geographische Trennung 271
 12.9.3 Sterile, aber asexuell reproduzierende Hybriden können sich ausbreiten 277
 12.10 Die Aufrechterhaltung reproduktiver Isolation 278
 12.11 Die Entstehung von Hauptgruppen von Organismen 279
 12.12 Zusammenfassung 280
 12.12.1 Darwin entwarf eine Theorie über Evolution mittels natürlicher Selektion 280

12.12.2 Populationsgenetik ist das Studium von Genbeständen 281
 12.12.3 Das Hardy-Weinberg-Gesetz besagt, daß in einer idealisierten Population die Häufigkeiten der Allele sich über die Zeit nicht verändern. 281
 12.12.4 Fünf Kräfte verursachen Veränderungen in den Allelhäufigkeiten im Genbestand 281
 12.12.5 Verschiedene Prozesse erhalten und fördern Variabilität 281
 12.12.6 Natürliche Selektion wirkt auf den Phänotyp und nicht auf den Genotyp 281
 12.12.7 Das Ergebnis natürlicher Selektion ist die Anpassung von Populationen an ihre Umwelt 281
 12.12.8 Arten werden gewöhnlich aufgrund ihrer genetischen Isolation definiert 281
 12.12.9 Allopatrische Speziation bedarf der geographischen Trennung von Populationen, während sympatrische Speziation unter zusammenlebenden Organismen geschieht 282
 12.12.10 Die Modelle des Gradualismus und des Punktualismus werden benutzt, um die Evolution der Hauptgruppen von Organismen zu erklären 282

Teil 4 Formenmannigfaltigkeit der Organismen

Kapitel 13

Systematik: Die Wissenschaft von der Biologischen

Diversität 285

13.1 Taxonomie und hierarchische Klassifikation 286
 13.1.1 Der Artnamen besteht aus dem Gattungsnamen und einem spezifischen Epitheton 286
 13.1.2 Arten können weiter unterteilt werden in Unterarten oder Varietäten 287
 13.1.3 Organismen werden zu größeren systematischen Kategorien (Einheiten) zusammengefaßt, die hierarchisch angeordnet sind 287
 13.2 Klassifikation und Phylogenie 288
 13.2.1 Homologe Merkmale haben einen gemeinsamen Ursprung, und analoge Merkmale haben eine gemeinsame Funktion, sind jedoch verschiedenen entwicklungsgeschichtlichen Ursprungs 290
 13.3 Methoden der Klassifikation 290
 13.3.1 Die traditionelle Methode basiert auf dem Vergleich äußerlicher Ähnlichkeiten 290
 13.3.2 Die Kladistik basiert auf der Phylogenie 291
 13.4 Molekulare Systematik 293
 13.4.1 Der Vergleich von Aminosäuresequenzen bietet eine molekulare Uhr 293
 13.4.2 Ein Vergleich der Nucleotidsequenzen liefert Beweise für die Existenz dreier „Domänen“ 293
 13.5 Die Hauptgruppen (Domänen) der Organismen 295
 13.6 Abstammung der Eukaryoten 297
 13.6.1 Die serielle Endosymbiontentheorie bietet eine Hypothese für den Ursprung von Chloroplasten und Mitochondrien 297
 13.6.1.1 Das Endomembransystem ist wahrscheinlich aus Teilen der Plasmamembran hervorgegangen 297
 13.6.1.2 Mitochondrien und Chloroplasten sind vermutlich aus Bakterien hervorgegangen, die durch Phagozytose einverleibt wurden 297
 13.6.2 Die verwandtschaftlichen Beziehungen zwischen den Eukaryoten sind nicht immer wohl definiert 299

13.7	Die eukaryotischen Reiche	299	14.6.5	Pflanzenpathogene Bakterien verursachen ver- schiedenste Krankheiten	317	
13.7.1	Das Reich <i>Protista</i> umfaßt einzellige, kolonie- bildende und einfache vielzellige Eukaryoten	299	14.7	<i>Archaea</i>	318	
13.7.2	Das Reich <i>Animalia</i> umfaßt eukaryotische, viel- zellige, Nahrung aufnehmende Organismen	299	14.7.1	Die Extrem-Halophilen sind die „salzliebenden“ Archeen	319	
13.7.3	Das Reich <i>Fungi</i> umfaßt eukaryotische, mehr- zellige Absorbenten	300	14.7.2	Die Methanogenen sind die methanproduzierenden Archeen	319	
13.7.4	Das Reich <i>Plantae</i> umfaßt eukaryotische viel- zellige Photosynthese-Organismen	301	14.7.3	Die Extrem-Thermophilen sind die „hitzeleben- den“ Archeen	320	
13.8	Zusammenfassung	303	14.7.4	<i>Thermoplasma</i> ist eine Archee, der eine Zell- wand fehlt	320	
13.8.1	Organismen werden mit einem Binom benannt und in systematischen Kategorien zusammen- gefaßt, die hierarchisch geordnet sind	303	14.8	Viren	321	
13.8.2	Die Phylogenetische Klassifizierung erfolgt eher auf Grund homologer als auf Grund analoger Merkmale	304	14.8.1	Viren sind nichtzelluläre Strukturen, die aus Proteinen und DNA oder RNA bestehen	322	
13.8.3	Der Vergleich der molekularen Zusammenset- zung von Organismen kann herangezogen wer- den, um ihre evolutionären Verwandtschaftsver- hältnisse vorauszusagen	304	14.8.2	Die virale Kapsel ist aus Protein-Untereinheiten zusammengesetzt	322	
13.8.4	Die Organismen werden in zwei prokaryotische Domänen und eine eukaryotische Domäne einge- teilt, wobei letztere aus vier Reichen besteht	304	14.8.3	Viren vermehren sich durch Übernahme des genetischen Apparates der Wirtszelle	323	
Kapitel 14			14.8.4	Viren bewegen sich innerhalb der Pflanze über Plasmodesmen und einige wandern im Phloem	325	
Prokaryoten und Viren			305	14.8.5	Viren verursachen eine Vielzahl von Pflanzen- krankheiten	325
14.1	Merkmale einer prokaryotischen Zelle	306	14.8.5.1	Virale Krankheiten werden auf verschiedenen Wegen kontrolliert	326	
14.1.1	Die Plasmamembran dient als Bindungsort für verschiedene molekulare Komponenten	307	14.9	Viroide: Andere infektiöse Teilchen	327	
14.1.2	Die Zellwand der meisten Prokaryoten enthält Peptidoglykan	307	14.10	Die Herkunft der Viren	328	
14.1.3	Prokaryoten speichern verschiedene Verbindun- gen in Granula	307	14.11	Zusammenfassung	328	
14.1.4	Prokaryoten haben besondere Geißeln	307	14.11.1	<i>Bacteria</i> und <i>Archaea</i> sind zwei prokaryotische Domänen	328	
14.1.5	Fimbrien und Pili spielen bei der Anheftung eine Rolle	307	14.11.2	Prokaryoten besitzen eine unglaubliche Vielge- staltigkeit des Stoffwechsels	329	
14.2	Formenvielfalt	309	14.11.3	Die <i>Bacteria</i> umfassen pathogene und photo- synthetische Organismen	329	
14.3	Reproduktion und Genaustausch	310	14.11.4	Die <i>Archaea</i> sind physiologisch verschieden- artige Organismen, die eine Vielzahl von Stand- orten besiedeln	329	
14.4	Endosporen	310	14.11.5	Viren sind nichtzelluläre Strukturen, die aus DNA oder RNA bestehen, die von einer Protei- nschicht umgeben sind	329	
14.5	Stoffwechselvielfalt	310	14.11.6	Viren und Viroide verursachen Krankheiten bei Pflanzen und Tieren	329	
14.5.1	Prokaryoten sind autotroph oder heterotroph	310	Kapitel 15			
14.5.2	Prokaryoten unterscheiden sich in ihrer Toleranz für Sauerstoff und Temperatur	311	Pilze			331
14.5.3	Prokaryoten spielen eine lebenswichtige Rolle für die Funktion des Weltökosystems	311	15.1	Die Bedeutung der Pilze	332	
14.5.4	Einige Bakterien verursachen Krankheiten	311	15.1.1	Pilze sind als Zersetzer von ökologischer Bedeutung	332	
14.5.5	Einige Prokaryoten werden kommerziell genutzt	312	15.1.2	Pilze sind als Schädlinge, Pathogene und Pro- duzenten bestimmter chemischer Verbindungen medizinisch und ökonomisch bedeutsam	332	
14.6	<i>Bacteria</i>	312	15.1.3	Pilze bilden wichtige symbiontische Beziehungen	333	
14.6.1	Cyanobakterien sind von ökologischer und evolutionärer Bedeutung	312	15.2	Biologie und Charakteristika der Pilze	333	
14.6.1.1	Cyanobakterien können an vielen verschiedenen Standorten leben	313	15.2.1	Die meisten Pilze bestehen aus Hyphen	333	
14.6.1.2	Cyanobakterien bilden Gasvesikel, Heterocyten und Akineten	314	15.2.2	Pilze sind heterotrophe absorbierende Organismen	335	
14.6.2	Purpurbakterien und Grüne Bakterien betreiben eine besondere Photosynthese	315	15.2.3	Pilze haben einmalige Variationen von Mitose und Meiose	336	
14.6.3	Prochlorophyten enthalten Chlorophyll <i>a</i> und <i>b</i> und Carotinoide	316	15.2.4	Pilze pflanzen sich sowohl asexuell wie sexuell fort	336	
14.6.4	Mycoplasmen sind wandlose Organismen, die an verschiedenen Standorten leben	317	15.3	Die Evolution der Pilze	337	
14.6.4.1	Mycoplasmenartige Organismen verursachen Pflanzenkrankheiten	317	15.4	Abteilung <i>Chytridiomycota</i>	338	
			15.5	Abteilung <i>Zygomycota</i>	339	

17.6.2.1	<i>Chlamydomonas</i> ist ein Beispiel für eine geißelbewegliche einzellige Chlorophyceae	412
17.6.2.2	<i>Volvox</i> ist die eindrucksvollste geißelbewegliche koloniebildende Chlorophyceae	414
17.6.2.3	Zur Klasse <i>Chlorophyceae</i> gehören auch viele unbewegliche einzellige Arten	416
17.6.2.4	Einige <i>Chlorophyceae</i> sind geißelunbewegliche Kolonien	416
17.6.2.5	Es gibt viele fädige und auch einige parenchymatisch organisierte <i>Chlorophyceae</i>	417
17.6.3	Die Klasse der <i>Ulvophyceae</i> besteht hauptsächlich aus marinen Arten	418
17.6.4	Zur Klasse der <i>Charophyceae</i> , den Charophyten, gehören Gattungen, die den Pflanzen ähnlich sind	422
17.6.4.1	Die <i>Coleochaetales</i> und die <i>Charales</i> zeigen Merkmale der Pflanzen	423
17.7	Zusammenfassung	424
17.7.1	Die Heterokonten besitzen eine lange Flimmergeißel und eine kurze Peitschengeißel.	424
17.7.2	Zur Abteilung <i>Oomycota</i> gehören aquatische und terrestrische heterotrophe Organismen, die dickwandige Oosporen bilden.	424
17.7.3	Diatomeen: Abteilung <i>Bacillariophyta</i>	425
17.7.4	Chrysophyten: Abteilung <i>Chrysophyta</i>	425
17.7.5	Braunalgen: Abteilung <i>Phaeophyta</i>	425
17.7.6	<i>Chlorophyceae</i> , <i>Ulvophyceae</i> und <i>Charophyceae</i> sind Klassen der Abteilung <i>Chlorophyta</i>	425

Kapitel 18

Moose (*Hepatophyta*, *Anthocerotophyta*, *Bryophyta*).

18.1	Die Verwandtschaft der Moose zu anderen Pflanzengruppen	427
18.2	Aufbau der Moose und ihre Vermehrung	429
18.2.1	Vermehrung der Moose	430
18.2.2	Grüne Landpflanzen sind „Embryophyten“	432
18.2.3	Die Wände der Moossporen bestehen aus langlebigen Sporopolleninen	433
18.3	Lebermoose: Abteilung <i>Hepatophyta</i>	433
18.3.1	Komplex gebaute thallose Lebermoose: Klasse <i>Marchantiidae</i>	433
18.3.2	Einfach gebaute thallose und beblätterte Lebermoose: Klasse <i>Jungermanniidae</i>	434
18.4	Hornmoose: Abteilung <i>Anthocerotophyta</i>	436
18.5	Laubmoose: Abteilung <i>Bryophyta</i>	437
18.5.1	Torfmoose: gehören zur Klasse <i>Sphagnidae</i>	437
18.5.1.1	Drei Merkmale, die Torfmoose von anderen Laubmoosen unterscheiden	437
18.5.1.2	Die Ökologie der Torfmoose ist von weltweiter Bedeutung	442
18.5.2	Klauffmoose: gehören zur Klasse <i>Andreaeidae</i>	443
18.5.3	Laubmoose im engeren Sinne: gehören zur Klasse <i>Bryidae</i>	443
18.5.3.1	Bau des Gametophyten	443
18.5.3.2	Sexuelle Vermehrung	444
18.5.3.3	Wuchsformen	445
18.6	Zusammenfassung	450
18.6.1	Die grünen Landpflanzen haben sich höchstwahrscheinlich aus einem Charophyten-Vorfahren entwickelt	450
18.6.2	Moose umfassen Leber-, Horn- und Laubmoose.	450
18.6.3	Unterschiede der Moosgruppen	450
18.6.4	Moose sind ökologisch wichtig	450

Kapitel 19

Gefäßkryptogamen (Samenlose Gefäßpflanzen)

19.1	Evolution der Gefäßpflanzen	453
19.2	Bau der Gefäßpflanzen	453
19.2.1	Primäres Wachstum führt hauptsächlich zur Längenzunahme von Wurzeln und Sproßachsen, sekundäres Dickenwachstum zur Umfangserweiterung	454
19.2.2	Tracheale Elemente – Tracheiden und Tracheen – sind die leitenden Zellen des Xylems	455
19.2.3	Primäre Leitgewebe sind in primären Sproßachsen und Wurzeln lokalisiert	456
19.2.4	Wurzeln und Blätter haben eine unterschiedliche Entstehungsgeschichte	457
19.3	Fortpflanzungssysteme	458
19.3.1	Isospore Gefäßpflanzen bilden nur einen Sporentyp, heterospore hingegen zwei	458
19.3.2	Im Laufe der Evolution wurden die Gametophyten der Gefäßpflanzen kleiner und einfacher im Bau	459
19.4	Die Abteilungen der Gefäßkryptogamen (Samenlose Gefäßpflanzen)	459
19.5	Abteilung <i>Rhyniophyta</i>	459
19.6	Abteilung <i>Zosterophyllophyta</i>	462
19.7	Abteilung <i>Lycophyta</i> Bärlappgewächse	462
19.7.1	Die eigentlichen Bärlappe gehören zur Familie <i>Lycopodiaceae</i>	463
19.7.2	Die „Falsche Rose von Jericho“ oder „Auferstehungspflanze“ gehört zur Familie <i>Selaginellaceae</i>	466
19.7.3	Die Brachsenkräuter gehören zur Familie <i>Isoëtaceae</i>	470
19.8	Abteilung <i>Trimerophytophyta</i>	471
19.9	Abteilung <i>Psilotophyta</i> Gabelblattgewächse	471
19.10	Abteilung <i>Sphenophyta</i> Schachtelhalmgewächse	471
19.11	Abteilung <i>Pterophyta</i> Farne	477
19.11.1	<i>Ophioglossales</i> und <i>Marattiales</i> sind eusporangiate Farne	482
19.11.2	Die <i>Filicales</i> sind isospore leptosporangiate Farne	482
19.11.3	Wasserfarne (<i>Hydropterides</i>) – die Ordnungen <i>Marsileales</i> und <i>Salviniales</i> sind heterospore Farngruppen	490
19.12	Zusammenfassung	490
19.12.1	Das primäre Leitgewebe ist in Stelen angeordnet	491
19.12.2	Wurzeln und Blätter entstanden unterschiedlich	491
19.12.3	Gefäßkryptogamen sind entweder iso- oder heterospor.	491
19.12.4	Die Gefäßkryptogamen weisen einen Wechsel heteromorpher Generationen auf.	491
19.12.5	Die ältesten Fossilien von Gefäßpflanzen gehören zur Abteilung <i>Rhyniophyta</i>	491
19.12.6	Die lebenden Gefäßkryptogamen werden vier Abteilungen zugeordnet	491

Kapitel 20

Gymnospermen

20.1	Evolution des Samens	496
20.1.1	Der Fossilbericht liefert die Schlüssel zur Evolution der Samenanlage	496

20.1.2	Ein Samen besteht aus einem Embryo, gespeicherter Nahrung und einer Samenschale	498	21.3.6	Viele Angiospermen pflanzen sich durch Selbstbestäubung fort	543
20.1.3	Es gibt fünf Abteilungen von Samenpflanzen mit heute lebenden Vertretern	498	21.4.	Zusammenfassung	543
20.2	Progymnospermen	498	21.4.1	Angiospermen oder Blütenpflanzen bilden die Abteilung <i>Anthophyta</i>	543
20.3	Ausgestorbene Gymnospermen	500	21.4.2	Die Blüte ist ein sporophylltragender Kurzspieß .	543
20.4	Heutige Gymnospermen	501	21.4.3	Bei den Angiospermen folgt auf die Bestäubung die doppelte Befruchtung	543
20.5	Abteilung <i>Coniferophyta</i>	502	21.4.4	Eine Samenanlage entwickelt sich zum Samen, aus einem Fruchtknoten entsteht eine Frucht . . .	546
20.5.1	Kiefern sind Coniferen mit einer einzigartigen Blattstellung	502	21.4.5	Viele Einrichtungen fördern die Fremdbestäubung bei Angiospermen	546
20.5.1.1	Der Lebenszyklus einer Kiefer erstreckt sich über einen Zeitraum von zwei Jahren	505	21.4.6	Viele Angiospermen pflanzen sich durch Selbstbestäubung fort	546
20.5.2	Weitere wichtige Coniferen gibt es auf der ganzen Welt	512			
20.6	Die anderen lebenden Gymnospermenabteilungen: <i>Cycadophyta</i> , <i>Ginkgophyta</i> und <i>Gnetophyta</i>	515	Kapitel 22		
20.6.1	Die Cycadeen gehören zur Abteilung der <i>Cycadophyta</i>	515	Die Evolution der Angiospermen	548	
20.6.2	<i>Ginkgo biloba</i> ist der einzige heutige Vertreter des Stammes <i>Ginkgophyta</i>	518	22.1	Die Verwandtschaft der Angiospermen	549
20.6.3	Die Abteilung <i>Gnetophyta</i> enthält Mitglieder mit Angiospermen-ähnlichen Merkmalen	520	22.2	Ursprung und Entstehung der Mannigfaltigkeit der Angiospermen	550
20.7	Zusammenfassung	522	22.2.1	Die <i>Magnoliopsida</i> sind älter als <i>Liliopsida</i> (Monocotyle) und <i>Rosopsida</i> („Eu-“Dicotyle) . .	550
20.7.1	Ein Samen entwickelt sich aus einer Samenanlage	523	22.2.2	Die Angiospermen verbreiteten sich sehr schnell über die Erde	553
20.7.2	Die Samenpflanzen entwickelten sich höchstwahrscheinlich aus den Progymnospermen	523	22.3	Evolution der Blüte.	555
20.7.3	Gymnospermen – im Grunde haben sie alle denselben Lebenszyklus	523	22.3.1	Die Blütenorgane ermöglichen uns einen Einblick in die Evolution der Angiospermen	555
20.7.4	Bestäubung durch Pollen und Bildung eines Pollenschlauches machen Wasser für die Übertragung der männlichen Keimzellen zur Eizelle überflüssig	523	22.3.1.1	Das Perianth der ersten Angiospermen war nicht deutlich in Kelch und Krone getrennt	555
20.7.5	Es gibt vier Abteilungen rezenter Gymnospermen	523	22.3.1.2	Die Staubblätter der ersten Angiospermen waren in Struktur und Funktion sehr unterschiedlich . .	555
20.7.6	Das spannendste großsystematische Problem der Gegenwart	523	22.3.1.3	Die Karpelle vieler ursprünglicher Angiospermen sind nicht besonders an ihre Aufgabe angepaßt	558
			22.3.2	Es gibt vier deutliche Entwicklungslinien bei den Blüten	558
			22.3.3	<i>Asteraceae</i> und <i>Orchidaceae</i> als Beispiele für abgeleitete Familien	559
			22.3.3.1	Die Blüten der <i>Asteraceae</i> sind zu einem Köpfchen vereinigt	559
			22.3.3.2	Die Orchideen bilden die artenreichste Familie der Angiospermen	560
			22.3.4	Tiere tragen zur Blütenrevolution bei	562
			22.3.4.1	Blüten und Insekten haben sich aneinander angepaßt – die Bedeutung der Bestäubung durch Tiere (Zoophilie)	562
			22.3.4.2	Von Käfern bestäubte Blüten (Cantharophile) haben helle Farben aber einen starken Geruch . .	563
			22.3.4.3	Bienenblumen (Melittophile) sind gewöhnlich blau oder gelb und zeigen deutliche Saftmale . .	564
			22.3.4.4	Von Schmetterlingen bestäubte Blüten (Lepidopterophile) besitzen häufig eine lange Kronröhre	567
			22.3.4.5	Vogelblumen (Ornithophile) sind nektarreich, häufig rot und geruchlos	567
			22.3.4.6	Fledermausblumen (Chiropterophile) produzieren reichlich Nektar und duften stark, haben aber matte Farben	571
			22.3.4.7	Windbestäubte Pflanzen (Anemophile) produzieren keinen Nektar, sind schwach gefärbt und duften nur gering	571
			22.3.4.8	Einige unter Wasser wachsende Angiospermen werden durch Wasser bestäubt (Hydrophile) . . .	573
Kapitel 21					
Die Angiospermen – Eine Einführung		525			
21.1	Die Vielfalt der Angiospermen	526			
21.2	Die Blüte	529			
21.2.1	Eine Blüte besteht aus sterilen und fertilen Organen, die am Blütenboden ansetzen	529			
21.2.2	Die Samenanlagen sitzen auf einer Placenta an der Fruchtknotenwand	530			
21.2.3	Es gibt viele Abwandlungen im Bau der Blüten .	532			
21.3	Der Entwicklungszyklus und Generationswechsel der Angiospermen	533			
21.3.1	Am Ende von Mikrosporen- und Mikrogametophytenentwicklung steht die Bildung von zwei Spermazellen	534			
21.3.2	Megasporogenese und Megagametogenese führen zur Bildung von Eizelle und Polkernen . .	536			
21.3.3	Bestäubung und doppelte Befruchtung gibt es nur bei den Angiospermen	539			
21.3.4	Die Samenanlage entwickelt sich zum Samen, das Ovar zur Frucht	540			
21.3.5	Bei den Angiospermen wird die Fremdbestäubung durch eine Reihe von Einrichtungen gefördert	541			

22.3.5	Die wichtigsten Blütenfarbstoffe sind die Flavonoide	574	23.5	Zusammenfassung	603
22.4	Evolution der Früchte	575	23.5.1	Während der Embryogenese wird der Bauplan der Pflanze verwirklicht, bestehend aus einem apikal-basalen Muster und einem radialen Muster	603
22.4.1	Früchte und Samen haben sich entsprechend ihrer Ausbreitungsart entwickelt	578	23.5.2	Mutationen unterbrechen die normale Embryoentwicklung	603
22.4.1.1	Viele Pflanzen haben durch Wind ausgebreitete Früchte und Samen	578	23.5.3	Der reife Embryo besteht aus der Hypocotyl-Wurzel-Achse und ein oder zwei Cotyledonen	603
22.4.1.2	Schwimmfähige Früchte werden vom Wasser ausgebreitet (Hydrochorie)	580	23.5.4	Ein ruhender Same keimt erst, wenn die Außenbedingungen günstig sind	603
22.4.1.3	Fleischige Früchte und Samen werden von Tieren gefressen, hakende und klebende auf Tieren ausgebreitet (Zoochorie)	580	23.5.5	Mit Erscheinen von Wurzel und Sproß entsteht der Keimling	603
22.5	Biochemische Co-Evolution	582			
22.6	Zusammenfassung	583	Kapitel 24		
22.6.1	Vermutlich sind die <i>Gnetophyta</i> die nächsten lebenden Verwandten der Angiospermen	584	Zellen und Gewebe des Pflanzenkörpers		605
22.6.2	Der weltweite Erfolg der Angiospermen läßt sich auf viele Faktoren zurückführen	584	24.1	Apikalmeristeme und ihre Derivate	606
22.6.3	Die letzten lebenden Verwandten der ersten Angiospermen, die <i>Magnoliopsida</i> (Einfurchenpollen-Zweikeimblättrige), setzen sich aus zwei Gruppen zusammen	585	24.2	Wachstum, Morphogenese und Differenzierung	606
22.6.4	Die vier Blütenorgane (Sepalen, Petalen, Stamina, Karpelle) haben sich unterschiedlich entwickelt	585	24.3	Innerer Bau des Pflanzenkörpers	607
22.6.5	An der Bestäubung der Angiospermen sind viele unterschiedliche Agentien beteiligt	585	24.4	Grundgewebe	608
22.6.6	Verschiedene Faktoren bestimmen die Anpassung von Blüten und Bestäubern	585	24.4.1	Parenchymatisches Gewebe ist beteiligt an Photosynthese, Speicherung und Sekretion	608
22.6.7	Blüten werden hauptsächlich durch Carotinoide und Flavonoide farbig	585	24.4.1.1	Transferrzellen sind Parenchymzellen mit Zellwandprotuberanzen	609
22.6.8	Der Fruchtknoten bildet zusammen mit anderen Blütenteilen die Frucht	585	24.4.2	Collenchym hat Stützfunktion in wachsenden Organen	609
22.6.9	Früchte und Samen werden von Wind, Wasser und Tieren ausgebreitet	586	24.4.3	Sclerenchym festigt und stützt Pflanzenorgane, deren Streckungswachstum beendet ist	610
22.6.10	Sekundäre Pflanzenstoffe spielen eine wichtige Rolle bei der Evolution der Angiospermen	586	24.5	Leitgewebe	610
			24.5.1	Das Xylem ist das Hauptwasserleitgewebe der Gefäßpflanzen	610
			24.5.2	Das Phloem ist das wichtigste Leitgewebe für Nährstoffe in Gefäßpflanzen	615
			24.6	Abschlußgewebe	618
			24.6.1	Die Epidermis ist die äußerste Zellschicht des primären Pflanzenkörpers	618
			24.6.2	Das Periderm ist ein sekundäres Abschlußgewebe	624
			24.7	Zusammenfassung	624
			24.7.1	Primäres Wachstum basiert auf der Aktivität der Apikalmeristeme	624
			24.7.2	Die Entwicklung umfaßt drei einander überlappende Prozesse: Wachstum, Morphogenese und Differenzierung	624
			24.7.3	Gefäßpflanzen besitzen drei Gewebesysteme	624
Teil 5	Der Angiosperme Pflanzenkörper: Struktur und Entwicklung		Kapitel 25		
Kapitel 23	Frühe Entwicklung des Pflanzenkörpers	589	Die Wurzel: Bau und Entwicklung		626
23.1	Bildung des Embryos	590	25.1	Wurzelsysteme und ihre räumliche Ausdehnung	627
23.1.1	Protoderm, Procambium und Grundmeristem sind primäre Meristeme	591	25.1.1	Die Pflanze hält Sproß- und Wurzelsystem im Gleichgewicht	627
23.1.2	Embryonen durchlaufen eine Sequenz von Entwicklungsstadien	591	25.2	Herkunft und Wachstum der primären Gewebe	628
23.1.3	Der Suspensor spielt eine unterstützende Rolle bei der Entwicklung des eigentlichen Embryos	594	25.2.1	Die Spitze der Wurzel wird von einer Wurzelhaube bedeckt, die Schleim produziert	629
23.1.4	Es sind Gene identifiziert worden, die verantwortlich sind für die wesentlichen Ereignisse der Embryogenese	594	25.2.2	Die apikale Organisation der Wurzeln ist entweder offen oder geschlossen	629
23.2	Reifer Embryo und reifer Same	596	25.2.3	Das Längenwachstum der Wurzeln erfolgt in der Nähe der Wurzelspitze	632
23.3	Keimbedingungen	597	25.3	Primärer Bau	632
23.3.1	Ruhende Samen werden selbst unter günstigen Außenbedingungen nicht keimen	598	25.3.1	Die Epidermis junger Wurzeln absorbiert Wasser und Nährsalze	633
23.4	Vom Embryo zur ausgewachsenen Pflanze	600			
23.4.1	Die Samenkeimung kann epigäisch oder hypogäisch sein	600			

25.3.2	Die primäre Rinde repräsentiert das Grundgewebesystem der meisten Wurzeln	634	26.12	Umbildungen von Sproßachsen und Blättern . . .	679
25.3.3	Der Zentralzylinder umfaßt das primäre Leitgewebe und den Perizykel	638	26.12.1	Einige Sproßachsen und Blätter dienen der Speicherung von Nährstoffen	680
25.4	Auswirkungen des sekundären Dickenwachstums auf den primären Pflanzenkörper der Wurzel . . .	638	26.12.2	Einige Sproßachsen und Blätter sind auf Wasserspeicherung spezialisiert	683
25.5	Entstehung von Seitenwurzeln	640	26.13	Zusammenfassung	684
25.6	Luftwurzeln	641	26.13.1	Das Sproß-Apikalmeristem bildet Blattprimordien, Knospenanlagen und die primären Gewebe der Sproßachse	684
25.7	Anpassung an die Speicherung von Nährstoffen: fleischige Wurzeln	643	26.13.2	Es gibt drei Grundtypen für den primären Bau von Sproßachsen	684
25.8	Zusammenfassung	645	26.13.3	Blätter und Sproßachsen sind nahe miteinander verwandt, entwicklungsgeschichtlich und in ihrem Bau	684
25.8.1	Wurzeln sind Pflanzenorgane, die auf Verankerung, Absorption, Speicherung und Transport spezialisiert sind.	645	26.13.4	Variationen in der Blattstruktur beruhen größtenteils auf Standortfaktoren	684
25.8.2	Die Wurzelspitze kann grob unterteilt werden in Zellteilungszone, Zellstreckungszone und Differenzierungszone	645	26.13.5	Die meisten C ₃ - und C ₄ -Gräser kann man aufgrund ihrer Blattanatomie voneinander unterscheiden	685
25.8.3	Epidermis und primäre Rinde der Wurzel können mit zunehmendem Alter verändert werden . .	645	26.13.6	Blätter zeigen begrenztes Wachstum, Sproßachsen unbegrenztes	685
25.8.4	Der Zentralzylinder besteht aus dem primären Leitgewebe und dem umschließenden, nicht leitenden Perizykel	646	26.13.7	Der Blattfall ist ein komplizierter Vorgang	685
25.8.5	Sekundäres Wachstum der Wurzel erfolgt durch Cambium und Korkcambium	646	26.13.8	Die Übergangszone liegt an der Verbindungsstelle von Wurzel und Sproßachse	685
25.8.6	Modifikationen der Wurzel sind Luftwurzeln, Atemwurzeln und Speicherwurzeln	646	26.13.9	Eine Blüte ist eine Sproßspitze mit begrenztem Wachstum und modifizierten Blättern	685
			26.13.10	Sproßachsen können der Speicherung von Reservestoffen oder Wasser dienen	685
Kapitel 26			Kapitel 27		
Der Sproß: Primärer Bau und Entwicklung			Sekundäres Dickenwachstum von Sproßachsen		
26.1	Wachstum und Herkunft der primären Sproßachsen	649	27.1	Einjährige, zweijährige und mehrjährige Pflanzen	688
26.2	Primärer Bau der Sproßachse	651	27.2	Cambium	688
26.2.1	Das primäre Leitgewebe der <i>Tilia</i> -Sproßachse bildet einen beinahe kontinuierlichen Leitgewebezylinder	653	27.3	Auswirkungen des sekundären Dickenwachstums auf den primären Pflanzenkörper der Sproßachse	690
26.2.2	Das primäre Leitgewebe der <i>Sambucus</i> -Sproßachse besteht aus einem System einzelner Leitgewebestränge	653	27.3.1	Das Periderm ist das Abschlußgewebesystem des sekundären Pflanzenkörpers	692
26.2.3	Die Sproßachsen von <i>Medicago</i> und <i>Ranunculus</i> sind krautig	658	27.3.2	Lenticellen erlauben einen Gaswechsel durch das Periderm hindurch	693
26.2.4	In der Sproßachse von <i>Zea mays</i> sind die Leitbündel im Querschnitt zerstreut angeordnet	658	27.3.3	Die „Rinde“ umfaßt alle Gewebe außerhalb des Cambiums	695
26.3	Beziehung zwischen den Leitgeweben von Sproßachse und Blatt	660	27.4	Das Holz: sekundäres Xylem	700
26.3.1	Die Blätter sind an der Sproßachse in festgelegten Mustern angeordnet	662	27.4.1	Coniferenholz	700
26.4	Morphologie des Blattes	662	27.4.2	Angiospermenholz enthält normalerweise Gefäße	704
26.5	Anatomie des Blattes	665	27.4.3	Zuwachsringe entstehen durch die periodische Aktivität des Cambiums	704
26.5.1	Die Epidermis mit ihrem kompakten Bau gibt dem Blatt Festigkeit	666	27.4.4	Splintholz leitet und Kernholz nicht	707
26.5.2	Das Mesophyll ist auf Photosynthese spezialisiert	666	27.4.5	Reaktionsholz wird in geneigten Ästen und Stämmen entwickelt	708
26.5.3	Leitbündel durchsetzen das gesamte Mesophyll .	668	27.4.6	Die makroskopischen Erkennungsmerkmale von Holz sind sehr vielfältig.	708
26.6	Grasblätter	670	27.4.6.1	Dichte und spezifisches Gewicht sind ein guter Indikator für die Qualität von Holz	711
26.7	Blattentwicklung	671	27.5	Zusammenfassung	711
26.8	Sonnen- und Schattenblätter	674	27.5.1	Sekundäres Dickenwachstum führt zur Umfangserweiterung von Sproßachsen und Wurzeln	711
26.9	Blattfall	675	27.5.2	Das Cambium enthält zweierlei Sorten von Initialen, die fusiformen Initialen und die Strahlinitialen	711
26.10	Übergangszone zwischen dem Leitgewebesystem der Wurzel und des Sprosses	676			
26.11	Blütenentwicklung	677			
26.11.1	Ein kleiner Satz regulatorischer Gene determiniert die spezifische Organ-Identität bei der Blüte von <i>Arabidopsis</i>	677			

27.5.3	Das Korkcambium bildet eine Schutzschicht, die den sekundären Pflanzenkörper bedeckt	711	28.7.1	Der Einsatz der Gewebekultur zur klonalen Vermehrung von Pflanzen	737	
27.5.4	Zur „Rinde“ gehören alle außerhalb des Cambiums gelegenen Gewebe	712	28.7.1.1	Durch Protoplastenfusion entstehen somatische Hybriden	737	
27.5.5	Holz ist sekundäres Xylem	712	28.7.1.2	Durch Meristemkultur können Pathogen-freie Pflanzen produziert werden	737	
27.5.6	Jahrringe entstehen durch periodische Aktivität des Cambiums	712	28.7.2	Die Gentechnologie erlaubt die Manipulation genetischen Materials für praktische Zwecke . . .	739	
27.5.7	Reaktionsholz wird durch die Kraft hervorgerufen, die eine schräge Position von Ästen oder Stämmen induziert	712	28.7.2.1	<i>Agrobacterium tumefaciens</i> ist ein natürlicher Gentechnologe	740	
Teil 6 Physiologie der Samenpflanzen			28.7.2.2	Gentechnologie wird zur Manipulation der Hormonproduktion eingesetzt	740	
Kapitel 28			28.7.2.3	Gentechnologie wird auch zur Verbesserung der Lebensmittelqualität eingesetzt	742	
Regulation von Wachstum und Entwicklung:			28.7.2.4	Genmonitoring mit Reportergenen	742	
Die Pflanzenhormone			717	28.7.2.5	Grenzen des <i>Agrobacterium</i> -Gentransfersystems	743
28.1	Auxine	718	28.7.2.6	Vorteile und Risiken der Gentechnologie	743	
28.1.1	Der Auxintransport ist polar	720	28.8	Zusammenfassung	744	
28.1.2	Die Rolle von Auxin bei der Differenzierung von Leitgewebe	721	28.8.1	Pflanzenhormone spielen eine wichtige Rolle bei der Wachstumsregulation	744	
28.1.3	Auxin als chemisches Signal, das Informationen über lange Strecken überträgt	722	28.8.2	Auxine wie Indol-3-essigsäure (IES; engl. IAA) werden polar transportiert	744	
28.1.4	Auxin fördert die Adventivwurzelbildung und das Wachstum vieler Früchte	722	28.8.3	Cytokinine sind an der Zellteilung beteiligt	744	
28.1.5	Synthetische Auxine werden zur Unkrautbekämpfung eingesetzt	723	28.8.4	Ethylen ist das einzige gasförmige Phytohormon.	744	
28.2	Cytokinine	724	28.8.5	Abscisinsäure induziert Dormanz und Stomataschluß	744	
28.2.1	Das Cytokinin/Auxin-Verhältnis reguliert die Bildung von Wurzeln und Sprossen in Gewebekulturen	725	28.8.6	Gibberelline stimulieren das Sproßachsenwachstum und die Samenkeimung	744	
28.2.2	Cytokinine verzögern die Blattseneszenz	725	28.8.7	Hormone binden an spezifische Rezeptoren, die dann bestimmte Reaktionssequenzen aktivieren . .	745	
28.3	Ethylen	726	28.8.8	Die Nutzung der Gewebekultur in der Biotechnologie	745	
28.3.1	Ethylen kann die Zellstreckung hemmen oder fördern	726	28.8.9	Die Gentechnologie ermöglicht die Manipulation von Genen für praktische Zwecke	745	
28.3.2	Die Rolle von Ethylen bei der Fruchtreifung . . .	727	Kapitel 29			
28.3.3	Ethylen fördert, Auxin verhindert die Abscission	727	Der Einfluß externer Faktoren auf das Pflanzenwachstum 746			
28.3.4	Die Rolle von Ethylen bei der Geschlechtsbestimmung in Cucurbitaceen	727	29.1	Tropismen	747	
28.4	Abscisinsäure	728	29.1.1	Phototropismus wird durch Licht ausgelöst	747	
28.4.1	Abscisinsäure hemmt die Samenkeimung und fördert den Stomataschluß	728	29.1.2	Gravitropismus wird durch die Schwerkraft ausgelöst	748	
28.5	Gibberelline	728	29.1.3	Hydrotropismus wird durch Feuchtigkeitsgradienten ausgelöst	750	
28.5.1	Gibberellinapplikation läßt Zwergmutanten normal wachsen	729	29.1.4	Thigmotropismus wird durch Berührungen ausgelöst	750	
28.5.2	Die Rolle von Gibberellinen bei der Aufhebung der Samenruhe und bei der Keimung	729	29.2	Circadiane Rhythmen	750	
28.5.3	Gibberellin kann das „Schossen“ auslösen und die Fruchtentwicklung beeinflussen	730	29.2.1	Circadiane Rhythmen werden von biologischen Uhren kontrolliert	751	
28.6	Molekulare Grundlagen der Hormonwirkung . .	731	29.2.2	Wer stellt die biologischen Uhren?	751	
28.6.1	Hormone kontrollieren die Expression spezifischer Gene	731	29.3	Photoperiodismus	753	
28.6.2	Hormone regulieren Geschwindigkeit und Richtung der Zellstreckung	733	29.3.1	Die Tageslänge ist entscheidend für die Blühinduktion	753	
28.6.3	Hormone binden an Rezeptoren, die dann bestimmte Reaktionssequenzen auslösen	734	29.3.2	Pflanzen bestimmen die Tageslänge, indem sie die Länge der Dunkelphase messen	754	
28.6.3.1	<i>Second Messengers</i> vermitteln hormonelle Reaktionen	735	29.4	Die chemische Grundlage des Photoperiodismus	755	
28.6.4	Hormone sind an der Regulation der Stomatabewegung beteiligt	735	29.4.1	Phytochrom und Photoperiodismus	756	
28.7	„Pflanzen-Biotechnologie“	737	29.4.1.1	Phytochrom kann in Pflanzengeweben photometrisch nachgewiesen werden	757	
			29.4.1.2	Phytochrom ist an den verschiedensten pflanzlichen Reaktionen beteiligt	757	

29.5	Hormonelle Kontrolle des Blühens	759	30.5.2	In manchen Böden überführen nitrifizierende Bakterien Ammonium in Nitrit und dann in Nitrat	780
29.5.1	Das hypothetische Blühormon ist schwer zu identifizieren	759	30.5.3	Verluste im System Boden-Pflanze	781
29.5.2	Gibberelline können manche Pflanzen zum Blühen bringen	759	30.5.4	Der Stickstoff-Pool wird hauptsächlich durch die Stickstoff-Fixierung wieder aufgefüllt	783
29.5.3	Sowohl Inhibitoren als auch Promotoren könnten an der Kontrolle des Blühens beteiligt sein	759	30.5.5	Die effektivsten Stickstoff-fixierenden Bakterien leben in symbiontischen Assoziationen mit Pflanzen	783
29.6	Genetische Kontrolle des Blühens	760	30.5.5.1	Nach der Infektion mit Bakterien bildet die Wirtspflanze Knöllchen aus	783
29.7	Dormanz	761	30.5.5.2	Die Assoziationen zwischen Bakterium und Pflanze sind hochspezifisch	785
29.7.1	Samen brauchen bestimmte Signale um zu keimen	761	30.5.5.3	Andere Stickstoff-fixierende Symbiosen, an denen Leguminosen nicht beteiligt sind	785
29.7.2	Die Knospenruhe ist eine Folge physiologischer Anpassung	762	30.5.6	Stickstoff-Fixierung durch freilebende Mikroorganismen im Boden	786
29.8	Kälte und Blühinduktion	763	30.5.7	Industrielle Stickstoff-Fixierung unter hohen Energiekosten	786
29.9	Nastische Bewegungen	764	30.6	Stickstoffassimilation	787
29.9.1	Thigmonastische (seismonastische) Bewegungen sind Reaktionen auf mechanische Stimuli	764	30.7	Der Phosphorkreislauf	787
29.10	Generelle Auswirkungen mechanischer Stimulation auf Pflanzenwachstum und -entwicklung: Thigmomorphogenese	765	30.8	Einfluß des Menschen auf die Elementkreisläufe	788
29.11	Lichtwendigkeit	766	30.9	Bedeutung der Böden für die Landwirtschaft	790
29.12	Zusammenfassung	767	30.10	Elementforschung	790
29.12.1	Pflanzen besitzen eine Reihe von Möglichkeiten, Veränderungen ihrer Umwelt wahrzunehmen und auf sie zu reagieren	767	30.10.1	Böden mit Nährstoffmangel und toxischer Wirkung	790
29.12.2	Organismen leben nach Rhythmen verschiedener Art	767	30.10.2	Effektivität der Stickstoff-Fixierung	792
29.12.3	Die Anpassung der Organismen an wechselnde 24-Stunden-Zyklen von Licht und Dunkelheit bezeichnet man als Photoperiodismus	767	30.11	Zusammenfassung	792
29.12.4	Phytochrom wirkt am Photoperiodismus mit	767	30.11.1	Pflanzen benötigen Mikro- und Makroelemente für Wachstum und Entwicklung	792
29.12.5	Wahrscheinlich sind sowohl Inhibitoren als auch Promotoren an der Blühkontrolle beteiligt	768	30.11.2	Die Elemente erfüllen in den Zellen eine Reihe wichtiger Funktionen	793
29.12.6	Durch Ruhezustände können Pflanzen Dürre-, Frost- und Hitzeperioden überstehen	769	30.11.3	Der Boden liefert das chemische und physikalische Substrat für das Pflanzenwachstum	793
29.12.7	Viele Pflanzen zeigen nastische Bewegungen	769	30.11.4	Die für Pflanzen notwendigen Elemente werden durch lokale und globale Nährstoffkreisläufe nachgeliefert	793
29.12.8	Thigmomorphogenese und Lichtwendigkeit sind bekannte Phänomene	769	30.11.5	Der Stickstoffkreislauf besteht aus den von Bakterien ausgeführten Prozessen Ammonifikation, Nitrifikation und Denitrifikation	793
			30.11.6	Der entscheidende Prozeß des Stickstoffkreislaufs ist die Stickstoff-Fixierung	793
			30.11.7	Der Phosphorkreislauf verläuft überwiegend lokal	793
			30.11.8	Drastische Effekte der menschlichen Aktivitäten auf einige Nährstoffkreisläufe	794
			30.11.9	Die Forschung der Pflanzenernährung ist für die Landwirtschaft von großer praktischer Bedeutung	794
Kapitel 30					
Boden und Ernährung der Pflanzen		770			
30.1	Essentielle Elemente	771	Kapitel 31		
30.1.1	Die essentiellen Elemente können in Mikroelemente und Makroelemente unterteilt werden	771	Transport von Wasser und gelösten Substanzen in Pflanzen		795
30.2	Funktionen der essentiellen Elemente	773	31.1	Wanderung von Wasser und anorganischen Nährstoffen durch den Pflanzenkörper	796
30.2.1	Nährstoffmangelsymptome hängen von den Funktionen und der Mobilität der essentiellen Elemente ab	773	31.1.1	Pflanzen verlieren durch Transpiration große Mengen Wasser	796
30.3	Böden	775	31.1.2	Wasserdampf diffundiert über die Stomata aus dem Blatt in die Atmosphäre	797
30.3.1	Verwitterung der Erdkruste	775	31.1.2.1	Die Cuticula ist eine effektive Barriere für den Wasserverlust	797
30.3.2	Boden ist aus Schichten aufgebaut, den Horizonten	776			
30.3.3	Böden bestehen aus festem Material und aus Poren	776			
30.3.4	Der Porenraum des Bodens wird durch Luft und Wasser ausgefüllt	778			
30.3.5	Kationenaustausch ermöglicht die Aufnahme austauschbarer, nicht auswaschbarer Ionen durch die Pflanzen	779			
30.4	Nährstoffkreisläufe	780			
30.5	Stickstoff und Stickstoffkreislauf	780			
30.5.1	Bei der Zersetzung von organischem Material wird Ammonium freigesetzt	780			

31.1.2.2 Öffnen und Schließen der Stomata kontrolliert den Gasaustausch über die Blattoberfläche 797

31.1.2.3 Spaltöffnungsbewegungen beruhen auf Turgordruckänderungen in den Schließzellen 798

31.1.2.4 Die transversale Orientierung der Cellulose-Mikrofibrillen in den Schließzellen ist für die Öffnung des Spaltes erforderlich 798

31.1.2.5 Wasserverlust ist die Hauptursache für Stomataschluß 798

31.1.2.6 Auch Umweltfaktoren oder -signale beeinflussen das Öffnen und Schließen der Stomata 799

31.1.3 Umweltfaktoren beeinflussen die Transpirationsrate 799

31.1.4 Wasser wird durch Gefäße und Tracheiden des Xylems transportiert 800

31.1.4.1 Wasser wird in die Spitze hoher Bäume „gezogen“: Die Kohäsions-Tensions-Theorie 800

31.1.4.2 Luftblasen können die Kontinuität der Wassersäule im Xylem unterbrechen 801

31.1.4.3 Die Kohäsions-Tensions-Theorie hält einer Überprüfung stand 803

31.1.5 Wasserabsorption durch Wurzeln erfolgt über Wurzelhaare 804

31.1.5.1 Wasser kann auf drei verschiedenen Wegen durch die Wurzel wandern 805

31.1.5.2 In Abwesenheit von Transpiration können Wurzeln positiven Wurzeldruck aufbauen 805

31.1.5.3 Viele Pflanzen ermöglichen eine Umverteilung von Bodenwasser durch diurnale Wasserhebung 806

31.1.5.4 Wasseraufnahme durch Wurzeln transpirierender Pflanzen kann passiv erfolgen 807

31.1.6 Die Aufnahme anorganischer Nährstoffe durch Wurzeln ist ein energieverbrauchender Prozeß 808

31.1.7 Anorganische Nährstoffe werden zwischen Transpirations- und Assimilatstrom ausgetauscht 809

31.2 Assimilattransport: Wanderung von Substanzen im Phloem 810

31.2.1 Experimente mit radioaktiven Isotopen lieferten Beweise für einen Zuckertransport in Siebröhren 810

31.2.2 Blattläuse sind wertvolle Helfer in der Phloemforschung 811

31.2.3 Triebfeder des Phloemtransportes ist ein osmotisch bedingter Druckstrom 813

31.2.3.1 Die Phloembeladung kann apoplastisch oder symplastisch sein 815

31.2.3.2 Phloementladung und Transport in aufnahmebereite Sinkzellen kann apoplastisch oder symplastisch sein 815

31.3 Zusammenfassung 815

31.3.1 Das meiste Wasser, das von einer Gefäßpflanze transpiriert wird, geht über die Stomata verloren. 815

31.3.2 Eine Reihe von Faktoren beeinflussen die Stomata-Bewegungen 816

31.3.3 Wasser wandert von den Wurzeln in die Blätter hinein, über die Leitbahnen des Xylems, die Gefäße und/oder Tracheiden 816

31.3.4 Die Wasseraufnahme in Wurzeln geschieht meist über die Wurzelhaare 816

31.3.5 Anorganische Nährstoffe werden in Bodenlösung als Ionen pflanzenverfügbar 816

31.3.6 Der Assimilattransport im Phloem erfolgt von der Source zum Sink 816

Teil 7 Ökologie

Kapitel 32
Die Dynamik der Lebensgemeinschaften und der Ökosysteme 821

32.1 Wechselwirkungen zwischen Organismen 822

32.1.1 Die Symbiose als Form der Interaktion aus der beide Arten Gutes erfahren 822

32.1.1.1 Mykorrhizen, Gemeinschaften von Wurzeln und Pilzen 823

32.1.1.2 Die erfolgreiche Symbiose zwischen Akazienbäumen und Ameisen 823

32.1.2 Konkurrenz entsteht, wenn Organismen dasselbe begrenzte Gut benötigen 824

32.1.2.1 Wachstumsraten als wirksamer Faktor in der Konkurrenz zwischen Pflanzen 824

32.1.2.2 Das Prinzip des Konkurrenz-Ausschlusses bietet die Möglichkeit, das Phänomen des Wettbewerbs zu erforschen 825

32.1.2.3 Vermehrung durch natürliche Klone kann die Erforschung der Konkurrenzbeziehungen erschweren, bietet aber evolutiven Vorteil 827

32.1.2.4 Manche Organismen erzeugen Substanzen, die das Wachstum anderer behindern 827

32.1.3 Die Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen und Herbivoren oder Pflanzenpathogenen schließen eine Vielzahl von Abwehrmechanismen ein 828

32.1.3.1 Pflanzen stellen als Antwort auf Pflanzenesser toxische und andere biologisch wirksame Substanzen her 829

32.1.3.2 Die Interaktionen zwischen Pflanzen und Herbivoren bzw. pflanzenpathogenen Organismen können sehr komplex sein 830

32.1.3.3 Phytoalexine als Antwort auf die Infektion durch Mikroorganismen 831

32.1.3.4 Tannine verschaffen eine gleichbleibende chemische Abwehr 832

32.1.3.5 Hormone und andere biologisch wirksame Substanzen 832

32.2 Kreislauf der Nährstoffe 833

32.2.1 Klassische Experimente zum Nährstoffkreislauf wurden in Hubbard Brook durchgeführt 833

32.3 Trophiestufen 834

32.3.1 Der Energiefluß durch Ökosysteme erfolgt linear, nicht im Kreislauf 834

32.3.1.1 Nur ein geringer Anteil der verfügbaren Energie wird von einer Trophiestufe zur nächsten weitergegeben 835

32.3.1.2 Ökosysteme können durch Pyramiden von Energie, Biomasse und Individuenzahlen beschrieben werden 836

32.4 Entwicklung der Lebensgemeinschaften und Ökosysteme 837

32.4.1 Sukzession ist der Wechsel einer Lebensgemeinschaft über die Zeit 837

32.4.1.1 Sukzession verläuft oftmals nicht ausschließlich in einer Richtung, insbesondere in den späteren Stadien 839

32.4.1.2 Theoretisch endet Sukzession mit einer Klimax-Gesellschaft 844

32.5 Zusammenfassung 845

32.5.1 Ein Ökosystem besteht aus seiner Lebensgemeinschaft und seiner unbelebten Umwelt 845

32.5.2 Wechselbeziehungen in den Gemeinschaften gründen auf Symbiose, Konkurrenz und Interaktionen zwischen den Pflanzen und Herbivoren oder Pflanzenpathogenen 845

32.5.3 Konkurrenz entsteht, wenn verschiedenartige Organismen dasselbe begrenzte Gut in Anspruch nehmen. 846

32.5.4 Pflanzen haben eine Vielzahl von physikalischen und chemischen Abwehrmechanismen entwickelt 846

32.5.5 Die biotischen Bestandteile eines Ökosystems sind die Primärproduzenten, die Konsumenten und die Destruenten 846

32.5.6 Der Wald von Hubbard Brook hat ein Freilandlabor zum Studium der Nährstoffkreisläufe abgegeben 846

32.5.7 Der Energiefluß durch ein Ökosystem bestimmt die Anzahl und die Biomasse der ihm zugehörigen Organismen 846

32.5.8 Sukzession ist die Veränderung der Lebensgemeinschaft in der Zeit. 846

Kapitel 33
Ökologie der Erde 848

33.1 Leben auf dem Land 849

33.1.1 Die Verbreitung der Lebewesen steht in einem Zusammenhang mit der geographischen Breite und der Höhenlage 852

33.2 Regenwälder 854

33.2.1 Regenwälder werden rasend schnell zerstört 857

33.3 Savannen und sommergrüne tropische Wälder 858

33.4 Wüsten 860

33.4.1 Wüstenpflanzen sind an geringen Niederschlag und Temperaturextreme angepaßt 860

33.5 Grasland 862

33.6 Sommergrüne Laubwälder der gemäßigten Zonen 865

33.7 Temperierte Mischwälder und Nadelwälder 869

33.8 Mediterrane Macchie 870

33.9 Taiga 871

33.10 Tundra 873

33.11 Zusammenfassung 875

33.11.1 Tropische Regenwälder haben eine große Diversität der biologischen Arten, bei zugleich geringer Individuenzahl je Spezies 875

33.11.2 Savannen und sommergrüne tropische Wälder finden sich in Regionen mit saisonaler Niederschlagsverteilung 875

33.11.3 Wüstenpflanzen sind an geringe Niederschlagstätigkeit und an Temperaturextreme angepaßt. 875

33.11.4 Offenes Grasland findet sich dort, wo die Wirkung von Niederschlägen und Feuer die Gräser begünstigt und das Wachstum von Bäumen behindert 875

33.11.5 Die sommergrünen Laubwälder der gemäßigten Zonen werden gebildet von laubabwerfenden Bäumen und einer Vielfalt perennierender Kräuter 875

33.11.6 Mediterrane Macchie besteht aus immergrünen, trockenresistenten Sträuchern und Bäumen, die Dickichte ausbilden 876

33.11.7 Die Taiga wird durch Wälder mit immergrünen Bäumen geprägt 876

33.11.8 Die arktische Tundra beherbergt niedrige Sträucher und Gräser aber keine größeren Bäume 876

Kapitel 34
Der Mensch und die Pflanzen 877

34.1 Die landwirtschaftliche Revolution 878

34.1.1 Der Pflanzenbau begann mit der gezielten Aussaat von Wildpflanzen 878

34.1.2 In der Alten Welt begann die Landwirtschaft im Fruchtbaren Halbmond 878

34.1.2.1 Die Domestikation von Pflanzen beeinflusste auch andere kulturelle Aspekte 879

34.1.2.2 Domestikation von Nahrungspflanzen in China, dem tropischen Asien und Afrika 880

34.1.3 In der Neuen Welt wurden andere Arten als in der Alten Welt domestiziert 881

34.1.3.1 Domestikation von Pflanzen in Zentral- und Südamerika 882

34.1.3.2 Einige Pflanzen und Tiere wurden in anderen Regionen der Neuen Welt domestiziert 883

34.1.4 Gewürze und Gewürzkräuter sind wegen ihrer Aromastoffe geschätzt 885

34.1.4.1 Die wichtigsten Gewürze stammen aus dem tropischen Asien 886

34.1.4.2 Gewürzkräuter aus verschiedenen Gebieten der Welt 886

34.1.5 Landwirtschaft wird auf der ganzen Welt betrieben 887

34.1.5.1 Vierzehn Kulturpflanzen liefern den größten Teil der menschlichen Nahrung 888

34.2 Das Bevölkerungswachstum 888

34.2.1 Die Entwicklung der Landwirtschaft beeinflusste das Bevölkerungswachstum entscheidend 889

34.2.2 Wie soll die schnell wachsende Weltbevölkerung ernährt werden? 889

34.3 Landwirtschaft in der Zukunft 891

34.3.1 Die Fortschritte in der Landwirtschaft haben Vorteile, aber auch Probleme mit sich gebracht 891

34.3.2 Qualitätsverbesserung der Kulturpflanzen ist ein wichtiges Ziel 891

34.3.2.1 Hybridmais liefert hohe Erträge 892

34.3.2.2 Die Arbeit der Internationalen landwirtschaftlichen Forschungsinstitute ermöglichte die Grüne Revolution 893

34.3.2.3 Triticale ist eine vielversprechende Kreuzung aus Weizen und Roggen 893

34.3.2.4 Zum Schutz gegen Pathogene muß die genetische Diversität der Kulturpflanzen erhalten und genutzt werden 893

34.3.3 Wildpflanzen könnten wichtige Kulturpflanzen werden 894

34.3.3.1 Pflanzen bleiben wichtige Quellen von Heilmitteln 896

34.3.4 Gentechnologie wird eine zunehmende Bedeutung in der Pflanzenzüchtung haben 900

34.3.5 Lösungen für das Problem des Welthunger erfordern integrierte Ansätze. 901

34.4 Zusammenfassung 901

34.4.1 Menschen sind erst sehr spät in der Erdgeschichte aufgetreten 901

34.4.2	Landwirtschaft begann im Fruchtbaren Halbmond und breitete sich in andere Gebiete der Alten Welt aus	901
34.4.3	Tiere und Pflanzen wurden gleichzeitig domestiziert	901
34.4.4	In der Landwirtschaft der Neuen Welt wurden viele neue Arten angebaut	901
34.4.5	Gewürze und Gewürzkräuter werden wegen ihres Geschmacks oder Geruches geschätzt	902
34.4.6	Wenige Kulturpflanzen liefern den größten Teil der Nahrungsmittel der Welt	902
34.4.7	Aus dem raschen Bevölkerungswachstum ergeben sich viele Probleme	902
34.4.8	Zur Lösung der heutigen Probleme sind integrierte Ansätze erforderlich	902

Anhang A Zum Verständnis des Buches erforderliche chemische Grundkenntnisse 903

A.1	Atome	903
A.1.1	Isotope	904
A.1.2	Elektronen und Energie	905
A.1.3	Die Anordnung der Elektronen: Modell der Atomstruktur	905
A.1.4	Die Grundlagen der chemischen Reaktivität	907
A.1.5	Elektronegativität	907
A.2	Ionen, Moleküle und chemische Bindungen	908
A.2.1	Ionen und ionische Wechselwirkungen	908
A.2.2	Moleküle und kovalente Bindungen	908
A.2.3	Einfach- und Doppelbindungen	909
A.2.4	Polare kovalente Bindungen	910
A.2.5	Chemische Formeln	910

A.2.6	Molekulargewichte	911
A.2.7	Funktionelle Gruppen	911
A.3	Chemische Reaktionen	911
A.3.1	Das chemische Gleichgewicht	912
A.4	Die Struktur und Eigenschaften des Wassers	912
A.4.1	Wasserstoffbrückenbindungen	912
A.4.2	Wasser als Lösungsmittel	913
A.4.3	Säuren und Basen	914
A.4.4	Starke und schwache Säuren und Basen	915
A.4.5	Die pH-Skala	915
A.5	Der Faktor Energie in chemischen Reaktionen	915

Anhang B Die Hardy-Weinberg-Gleichung 917

Anhang C Größen und Einheiten 919

Anhang D Gliederung der Organismen 921

D.1	Domäne <i>Archaea</i>	921
D.2	Domäne <i>Bacteria</i>	921
D.3	Domäne <i>Eukarya</i>	923
D.3.1	Reich <i>Fungi</i>	924
D.3.2	Reich <i>Protista</i>	925
D.3.3	Reich <i>Plantae</i>	927

Glossar	931
Literaturempfehlungen in englischer Sprache	973
Weiterführende Literatur	983
Bildnachweis	993
Register	999

Essays

Darstellung von Molekülen	22
Aminosäuren und Stickstoff	29
Die mit dem Mikroskop erkennbare Welt	46
Plasmaströmung in Riesenzellen von Algen	52
Zellentheorie und Organismentheorie – ein Gegensatz?	72
Quellung	88
Patch-Clamp-Messungen bei der Charakterisierung von Ionenkanälen	91
Biolumineszenz	133
Die Bedeutung des Lichtes	141
Die chemiosmotische Kopplung in Chloroplasten und Mitochondrien	149
Der Kreislauf des Kohlenstoffs	162
Immunfluoreszenzmikroskopie	175
Vegetative Vermehrung – Formen und Beispiele	197
Mendel und die Regeln der Wahrscheinlichkeit	205
<i>Arabidopsis thaliana</i> : Die Modell-Pflanze	247
Adaptive Radiation in hawaiianischen „TARWEEDS“	272
Konvergenz	291
Phototropismus bei einem Pilz	340
Tierfangende Pilze	359
Vom Pathogen zum Symbionten: pilzliche Endophyten	361
Rote Tiden: toxische Wasserblüten	389

Bedeutung von Algen für die Menschen	405
Steinkohlepflanzen	484
<i>Wollemia nobilis</i> – ein neulich entdecktes Lebendes Fossil	519
Heuschnupfen	538
Eine rätselhafte Wasserpflanze	557
Weizen: Mehl und Kleie	598
Einblicke in die Organentwicklung bei Pflanzen	642
Auswirkungen der Luftverschmutzung auf Pflanzen	654
Heterophyllie bei Wasserpflanzen	665
Die Wahrheit über „Äste“	710
Totipotenz	739
Kreislauf des Wassers	778
Fleischfressende Pflanzen	782
Halophyten: Eine Resource der Zukunft?	789
Kompost	791
In Konkurrenz um das Licht	826
Pestizide und Ökosysteme	830
Der große Yellowstonebrand	842
Alexander von Humboldt	855
Wie meistert es ein Kaktus	863
Jobs versus Eulen	868
Die Herkunft von Mais	883
Ein neues Jahrtausend: Der Übergang zu Nachhaltigkeit	898