

Inhaltsverzeichnis

1	Struktur und Funktion der Zelle	16
1.1	Evolution und Aufbau der eukaryotischen Zelle	16
1.1.1	Mycoplasmen, Viren und Viroide	16
1.1.2	Prokaryoten und Eukaryoten	17
1.2	Die Zellmembran	20
1.2.1	Membranstruktur	20
1.2.2	Membrantransport	21
1.2.3	Endo- und Exocytose	22
1.3	Inneres Membransystem	24
1.3.1	Endoplasmatisches Reticulum und Ribosomen	24
1.3.2	Golgi-Apparat	26
1.3.3	Endosomen, Lysosomen und Peroxisomen	27
1.4	Cytosol	27
1.5	Das Cytoskelett	28
1.5.1	Actinfilamente	28
1.5.2	Mikrotubuli	30
1.5.3	Intermediäre Filamente	31
1.6	Zellkontakte	31
1.7	Extrazelluläre Matrix	32
1.8	Mitochondrien	34
1.9	Der Zellkern	36
1.9.1	Kernhülle	36
1.9.2	Chromatinstruktur und Interphase-Chromosomen	38
1.9.3	Polytäre Riesenchromosomen	41
1.9.4	Metaphase-Chromosomen	42
1.9.5	Nucleolus	43
1.10	Kern- und Zellzyklus	44
1.10.1	Interphase	44
1.10.2	Mitose	46
1.10.3	Cytokinese	47
1.10.4	Meiose	47
1.10.5	Regulation der Zellteilung	50
1.10.6	Apoptose	52
2	Vererbung	56
2.1	Die Natur der Erbsubstanz	56
2.1.1	Die chemische Natur der Gene	56
2.2	DNA-Replikation	60
2.3	Primäre Genwirkung und der genetische Code	64
2.4	Transkription und Prozessierung der RNA	66
2.5	Translation (Proteinsynthese)	69
2.6	Mutation	73
2.6.1	Nachweis von Mutationen	73
2.6.2	Spontane Mutationen	75
2.6.3	Induktion von Mutationen	76
2.6.4	Genmutationen	79
2.6.5	Strukturmutationen	81
2.6.6	Chromosomenmutationen	84
2.6.7	Rückmutation und Suppression	86
2.7	Komplementation	87
2.8	Rekombination	88
2.8.1	Segregation von Allelen und unabhängige Aufspaltung	88
2.8.2	Kopplung und Rekombination	90
2.8.3	Physikalischer Austausch von Chromosomensegmenten	94
2.8.4	Unterdrückung der Rekombination durch Strukturmutationen	95
2.8.5	Intragene Rekombination und molekulare Mechanismen	96
2.8.6	Ortsspezifische Rekombination und Transduktion	99
2.8.7	Transposition	99
2.9	Transformation	102
2.10	In-vitro-Rekombination, Genklonierung und Gentechnologie	104

2.11 Struktur und Organisation der Gene . . .	112	2.15 Vom Gen zum Phän	134
2.11.1 Einmalige Gene	112	2.15.1 Penetranz und Expressivität	134
2.11.2 Repetierte Gene	115	2.15.2 Pleiotropie und Polygenie	134
2.11.3 Hochrepetitive DNA-Sequenzen	116	2.15.3 Umweltfaktoren	135
2.12 Genomik	117	2.15.4 Wechselwirkung zwischen Genen	135
2.13 Regulation der Genaktivität	120	2.15.5 Geschlechtsgekoppelte und geschlechtsbegrenzte Vererbung	135
2.13.1 Dosiskompensation und Inaktivierung des X-Chromosoms	120	2.15.6 Maternale und paternale Effekte	136
2.13.2 Genamplifikation	121	2.16 Cytoplasmatische Vererbung	136
2.13.3 Genaktivierung durch Veränderung der Genstruktur	121	2.17 Somatische Zellgenetik	137
2.13.4 Regulation der Transkription	121	2.17.1 Somatische Mutationen	137
2.13.5 Chromatinstruktur und Genregulation: Epigenetik	128	2.17.2 Somatische Rekombination	138
2.13.6 Genexpression und das Transkriptom	132	2.17.3 Immunogenetik	139
2.13.7 Posttranskriptionelle Genregulation	132	2.17.4 Fusion somatischer Zellen	142
2.14 Proteomik	132	2.17.5 Gentransfer in Zellkulturen	143
3 Entwicklung	146		
3.1 Fortpflanzung und Sexualität	146	3.9.3 Entodermale Organe	179
3.1.1 Ungeschlechtliche Fortpflanzung	146	3.9.4 Embryonale Anhangsorgane	179
3.1.2 Geschlechtliche Fortpflanzung und Sexualität	147	3.10 Larvalentwicklung und Metamorphose .	180
3.1.3 Parthenogenese	150	3.10.1 Metamorphose der Insekten	181
3.1.4 Kernphasen- und Generationswechsel	150	3.10.2 Metamorphose der Amphibien	182
3.1.5 Keimbahn und Soma	151	3.10.3 Heterochronie	183
3.1.6 Geschlechtsverteilung	152	3.11 Zellgenealogie	183
3.1.7 Geschlechtsbestimmung	152	3.11.1 Konstanter Zellstammbaum	183
3.2 Spermatogenese	157	3.11.2 Variabler Zellstammbaum	184
3.3 Oogenese	159	3.12 Das genetische Entwicklungsprogramm 185	
3.4 Befruchtung	162	3.12.1 Die Bedeutung der Gene für die Steuerung der Entwicklungsvorgänge	185
3.4.1 Die Befruchtung beim Seeigel	162	3.12.2 Die Identifikation und Isolation von Genen, die die Entwicklung steuern	185
3.5 Eiorganisation	165	3.12.3 Homeotische Mutanten	186
3.6 Furchung	168	3.12.4 Klonierung der homeotischen Gene und Entdeckung der Homeobox	188
3.7 Gastrulation	174	3.12.5 Die genetische Kontrolle des Bauplans von <i>Drosophila</i>	193
3.8 Grundorganisation des Embryos und Bildung der Keimblätter	176	3.13 Determination und Differenzierung	202
3.9 Organogenese	177	3.13.1 Allgemeine Prinzipien	202
3.9.1 Neurulation und Neuralleistenentwicklung	177	3.13.2 Entwicklungspotenz der Furchungszellen	203
3.9.2 Mesodermale Organe	178	3.13.3 Äquivalenz und Totipotenz der Furchungskerne	204

3.13.4	Cytoplasmatische Determinanten	205	3.14	Zellwachstum und Proliferation	226
3.13.5	Morphogen-Gradienten	208	3.15	Regeneration, Transdetermination und Transdifferenzierung	229
3.13.6	Zelldifferenzierung	209	3.15.1	Regeneration	229
3.13.7	Links-Rechts-Asymmetrie im Wirbeltierembryo	214	3.15.2	Transdetermination	231
3.13.8	Zelladhäsion und Morphogenese	215	3.15.3	Transdifferenzierung	233
3.13.9	Musterbildung und Positionsinformation	217	3.16	Altern und Tod	233
3.13.10	Signalübertragung und Morphogen-Gradienten	221			
3.13.11	Genetische Steuerung der Augenentwicklung	224			
4	Stoff- und Energiewechsel	238			
4.1	Energetik	238	4.4.2	Kreislaufdynamik	271
4.1.1	Energieübertragung im Fließgleichgewicht	238	4.4.3	Abwehrfunktionen	276
4.1.2	Energieübertragung in der Zelle	240	4.5	Ionen- und Osmoregulation	281
4.1.3	Energieübertragung im Organismus	247	4.5.1	Ionenregulation	282
4.2	Ernährung	251	4.5.2	Osmoregulation	283
4.2.1	Nahrungswahl	251	4.6	Exkretion	285
4.2.2	Intra- und extrazelluläre Verdauung	253	4.6.1	Exkretionsprodukte	286
4.2.3	Verdauungstrakte	254	4.6.2	Exkretionsmechanismen	286
4.3	Atmung	259	4.6.3	Exkretionsorgane	286
4.3.1	Kiemen	259	4.7	Thermoregulation	288
4.3.2	Lungen	260	4.7.1	Poikilotherme Tiere	289
4.3.3	Tracheen	264	4.7.2	Homoiotherme Tiere	289
4.4	Kreislauf	268			
4.4.1	Transportleistungen	268			
5	Hormonale Koordination	294			
5.1	Allgemeine Kennzeichen	294	5.3	Hormonsysteme	298
5.2	Primäre Wirkungsmechanismen	296	5.3.1	Wirbeltiere	298
5.2.1	Intrazelluläre Signaltransduktion	296	5.3.2	Wirbellose	303
5.2.2	Genaktivierung	298	5.4	Pheromone	306
6	Neuronale Koordination	312			
6.1	Bausteine des Nervensystems	312	6.2.2	Nervenimpulse	320
6.1.1	Nervenzellen	312	6.2.3	Synaptische Übertragung	324
6.1.2	Gliazellen	315	6.3	Nervensysteme	331
6.2	Elektrische Signale	317	6.3.1	Entwicklung von Nervensystemen	332
6.2.1	Ruhepotenzial	317	6.3.2	Nervensysteme als Schaltpläne	337
			6.3.3	Zentralnervensysteme	341

7	Sinnesleistungen	352		
7.1	Reiz-Erregungs-Transformation	353	7.2.1	Mechanoperzeption
			7.2.2	Chemoperzeption
7.2	Sinnessysteme	356	7.2.3	Photoperzeption
				369
8	Bewegung	388		
8.1	Muskelbewegung	388	8.3	Amöboide Bewegung
				401
8.1.1	Elementarvorgänge	388	8.4	Elektrische Organe
8.1.2	Muskelphysiologie	393		402
8.1.3	Neuromotorische Kontrolle	395	8.5	Farbwechsel und Biolumineszenz
8.1.4	Muskel-Skelett-Systeme	397		403
8.2	Cilien- und Flagellenbewegung	398		
9	Verhalten	408		
9.1	Einführung	408	9.4	Verhaltensökologie
				430
9.2	Verhaltensphysiologie	409	9.4.1	Nahrungssuchverhalten
			9.4.2	Fortpflanzungsverhalten
9.2.1	Motorische Programme	409	9.4.3	Sozialverhalten
9.2.2	Sensorische Filter	414		441
9.2.3	Koordination	416	9.5	Verhaltensevolution
				450
9.3	Verhaltensontogenie	421	9.5.1	Verhaltensgenetik
			9.5.2	Verhaltensphylogenie
9.3.1	Programme der Verhaltensentwicklung ...	422		454
9.3.2	Lernen	426		
10	Ökologie	458		
10.1	Einführung	458	10.3	Populationen
				469
10.2	Organismus-Umwelt-Beziehungen	459	10.3.1	Intraspezifische Wechselwirkungen
			10.3.2	Interspezifische Wechselwirkungen
10.2.1	Umweltfaktoren	459		Konkurrenz
10.2.2	Nischenbildung	467		477
			10.4	Ökosysteme
				490
11	Evolution	502		
11.1	Indizien	502	11.2.3	„Makroevolution“: langfristiger
				Formenwandel
11.1.1	Abgestufte Ähnlichkeit	502		545
11.1.2	Historische Abfolge	509	11.3	Hominiden-Evolution
11.1.3	Geografische Verbreitung	519		549
11.1.4	Entwicklungsbiologie	524	11.3.1	Evolute Abläufe (Formenvielfalt)
			11.3.2	Evolute Trends (Merkmalskomplexe) ...
11.2	Mechanismen	528		555
11.2.1	„Mikroevolution“: Populationen im Wandel	530		
11.2.2	Artbildung	539		

12 Vielfalt der Organismen	560		
12.1 Einführung	560	12.9 Arthropoda (Gliederfüßer)	612
A Einzeller: Diversität einzelliger Eukaryoten	563	12.9.1 Trilobita (Dreilapper), nur fossil	617
12.2 Einzellige Eukaryoten	566	12.9.2 Chelicerata (Spinnentiere)	618
12.2.1 Tetramastigota	566	12.9.3 Crustacea (Krebse)	623
12.2.2 Euglenida	566	12.9.4 Myriapoda (Tausendfüßer)	629
12.2.3 Kinetoplasta	567	12.9.5 Insecta (= Hexapoda, Insekten)	629
12.2.4 Dinoflagellata	568	12.10 Nematoda (Fadenwürmer)	638
12.2.5 Apicomplexa	568	12.11 Tentaculata (= Lophophorata)	643
12.2.6 Ciliophora	570	12.12 Echinodermata (Stachelhäuter)	645
12.2.7 Foraminifera	574	12.13 Hemichordata (= Branchiotremata)	650
12.2.8 Amoebozoa	575	12.14 Chordata (Chordatiere)	651
12.2.9 „Heliozoa“ und „Radiolaria“	576	12.14.1 Tunicata (= Urochordata, Manteltiere)	652
B Metazoa: Entstehung der Vielzelligkeit .	577	12.14.2 Acrania (= Cephalochordata, Schädellose) ..	653
12.3 Porifera (Schwämme)	580	D Craniota: Evolution der Organsysteme .	655
12.4 Cnidaria (Nesseltiere)	582	12.14.3 „Agnatha“ (Kieferlose)	680
12.5 Ctenophora (Rippenquallen)	588	12.14.4 Chondrichthyes (Knorpelfische)	680
C Bilateria: Bildung eines Bewegungsvorderpols	590	12.14.5 Actinopterygii (Strahlenflosser)	681
12.6 Plathelminthes (Plattwürmer)	594	12.14.6 Fischartige Sarcopterygier	683
12.7 Mollusca (Weichtiere)	600	12.14.7 Amphibia (Amphibien, Lurche)	683
12.8 Annelida (Ringelwürmer)	606	12.14.8 Sauropsida (exkl. Aves)	685
		12.14.9 Aves (Vögel)	687
		12.14.10 Mammalia (Säugetiere)	694
Anhang	704		
Glossar	711		
Index	737		

Verzeichnis der Boxen

Kapitel 1: Struktur und Funktion der Zelle

- Box 1.1 Endocytose von Cholesterol ... 23
- Box 1.2 Rasterkraftmikroskopie der Kernporen ... 37
- Plus 1.1 Friedrich Miescher ... 39
- Box 1.3 Apoptose ... 53

Kapitel 2: Vererbung

- Plus 2.1 Gregor Mendel ... 57
- Plus 2.2 Die Aufklärung der DNA-Struktur durch James Watson und Francis Crick ... 60
- Box 2.1 Hüpfende Gene ... 100
- Box 2.2 Gezielter Gentransfer durch homologe Rekombination ... 109
- Box 2.3 Polymerasekettenreaktion ... 110
- Box 2.4 RNA-Interferenz ... 111
- Box 2.5 Katalytische RNA-Moleküle: Ribozyme ... 115
- Box 2.6 Mikroarrays und Genchips ... 131

Kapitel 3: Entwicklung

- Box 3.1 *Sry*, ein Hoden induzierendes Gen ... 155
- Plus 3.1 Geschlechtsbestimmung bei *Drosophila* ... 156
- Box 3.2 Das Lewis-Modell des Bithorax-Komplexes ... 188
- Plus 3.2 Bindungsspezifität der Homeodomäne: Wie finden Transkriptionsfaktoren ihre Zielgene? ... 192
- Plus 3.3 Das dorso-ventrale Koordinatensystem im *Drosophila*-Ei und Embryo ... 195
- Plus 3.4 Spezifikation der Positionsinformation und Verschaltung des Nervensystems durch homeotische Gene ... 201
- Box 3.3 Keimzell determinanten im Polplasma des *Drosophila*-Eies ... 207
- Box 3.4 Kolinearität der *Hox*-Gene und Finger-Enhancer ... 220
- Box 3.5 Signalkaskade des Decapentaplegic-(Dpp-)Proteins ... 223

Kapitel 4: Stoff- und Energiewechsel

- Box 4.1 Freie Energie ... 239
- Box 4.2 Atmungskette ... 243
- Plus 4.1 Parasiten: Schritt um Schritt zur Anaerobiose ... 244
- Plus 4.2 Das saure Milieu des Magens ... 256
- Plus 4.3 Gasregulation der Schwimmblase ... 262
- Plus 4.4 Ventilation in den Riesenbauten der Blattschneiderameisen ... 265
- Plus 4.5 Streifengänse und Krokodile ... 269
- Box 4.3 Arterien, Venen, arteriell, venös ... 275
- Plus 4.6 Blut – Transportgewebe mit Homöostasefunktion ... 276
- Box 4.4 Molekulare Kooperation ... 279
- Plus 4.7 Selbst oder fremd: Immuntoleranz ... 280
- Box 4.5 Zyklische Na^+/K^+ -Pumpe ... 282
- Plus 4.8 Kängururatten trinken nicht ... 284

Kapitel 5: Hormonale Koordination

- Box 5.1 Intrazelluläre Signalkaskaden (mit membranständigen G-Proteingekoppelten Rezeptoren) ... 297
- Box 5.2 Melatonin – das Dunkelhormon ... 304
- Plus 5.1 Stress über kurz oder lang: Adrenalin und ACTH ... 305
- Plus 5.2 Pharmakophagie: Drogensüchtige Insekten ... 308
- Box 5.3 Pheromonrezeptoren im Vomeronasalorgan ... 309

Kapitel 6: Neuronale Koordination

- Box 6.1 Myelinscheide und Unterwasserkabel ... 316
- Box 6.2 Gleichgewichtspotenziale und Ionenströme ... 319
- Box 6.3 Voltage-clamp-Methode ... 321
- Box 6.4 Patch-clamp-Methode ... 323
- Plus 6.1 Nervenfasern und metallische Leiter: ein Vergleich ... 324
- Box 6.5 Postsynaptische Potenziale: EPSPs und IPSPs ... 329
- Box 6.6 Ganglien und Nerven, Kerne und Trakte ... 331
- Plus 6.2 Weit mehr Synapsen als Gene ... 336
- Plus 6.3 *Aplysia* – ein neurophysiologisches Modellsystem ... 338
- Box 6.7 Motorisches Lernen ... 341
- Plus 6.4 Funktionelle Gliederung des Wirbeltiergehirns ... 343
- Plus 6.5 Erinnerungsfilme ... 345
- Box 6.8 Cortex-Kartierung ... 346

Kapitel 7: Sinnesleistungen

- Box 7.1 Zwei Sinneswelten: Luft und Wasser ... 352
- Plus 7.1 Fische sind „akustisch transparent“ ... 353
- Box 7.2 Biologische Mikrophone: Druck- und Bewegungsempfänger ... 359
- Plus 7.2 Käfer mit Infrarotsensoren ... 360
- Plus 7.3 Elektrozepatoren: modifizierte Haarzellen ... 362
- Box 7.3 Der Autofokus des Auges: Akkommodation ... 373
- Box 7.4 Farbklima und Sehpigmente ... 381

Kapitel 8: Bewegung

- Plus 8.1 Querbrückenzyklus ... 392
- Box 8.1 Piconewton und Nanometer ... 393
- Box 8.2 Rote und weiße Muskeln ... 394
- Plus 8.2 Transportkosten: Laufen ist für kleine Tiere teurer ... 396
- Plus 8.3 Muskeln und Skelette: Größenprobleme ... 399
- Plus 8.4 Bewegungssymbiose ... 401

Kapitel 9: Verhalten

- Plus 9.1 Georges Romanes und Nikolaas Tinbergen ... 409
- Plus 9.2 Insektengesänge ... 411
- Box 9.1 Molekulares Uhrwerk ... 418
- Plus 9.3 Jungfräuliche Eidechsen ... 421
- Box 9.2 Sonnenkompass und Zeitkompensation ... 422
- Box 9.3 Lernpsychologische Begriffe ... 426
- Plus 9.4 Grabwespen: Programmiertes Lernen ... 427
- Box 9.4 Evolutionsspiel „Tit for Tat“ im Gefangenendilemma ... 432
- Box 9.5 Eier und Spermien: Resultat eines evolutiven Wettlaufs ... 436
- Plus 9.5 „The sight of the peacock’s tail makes me sick“ ... 440
- Box 9.6 Hamilton-Regel: Die Theorie der inklusiven Fitness ... 442
- Plus 9.6 Francis Galton ... 452

Kapitel 10: Ökologie

- Box 10.1 Wasser: Wärmekapazität und Dichte ... 460
- Plus 10.1 Hydrothermalquellen bilden Tiefseeoasen ... 462
- Box 10.2 Euryök – stenök ... 468
- Plus 10.2 Inseln und Metapopulationen ... 470
- Box 10.3 Bestimmung der Populationsdichte: Fang-Wiederfang-Methode ... 471
- Box 10.4 Interspezifische Konkurrenz: Das Lotka-Volterra-Modell ... 478

- Box 10.5 Haupttypen interspezifischer Interaktionen ... 480
- Plus 10.3 Warum sind die Meere blau? ... 495
- Box 10.6 Die Sauerstoffisotopen-Methode: Klimarekonstruktion quartärer Kalt- und Warmzeiten ... 497

Kapitel 11: Evolution

- Plus 11.1 Der Akademiestreit von 1830: Cuvier gegen Saint-Hilaire ... 503
- Box 11.1 Mikrosatelliten-Polymorphismus ermöglicht DNA-Fingerprinting ... 508
- Box 11.2 Molekulare Stammbaumrekonstruktionen ... 509
- Box 11.3 Radiometrische Datierung ... 510
- Plus 11.2 Charles Darwin ... 528
- Box 11.4 Darwin-Finken: Mikroevolution direkt beobachtet ... 534
- Plus 11.3 „Artenschwärme“ und Speziation bei Cichliden ... 542
- Plus 11.4 Graduelle Evolution eines komplexen Organs (Linsenauge) – eine Modellrechnung ... 546
- Plus 11.5 Fundgeschichte der Hominiden ... 553
- Box 11.5 Epochen der Werkzeugkultur im Paläolithikum (Altsteinzeit) ... 557

Kapitel 12: Vielfalt der Organismen

- Box 12.1 Reptilien und „Reptilia“ ... 562
- Box 12.2 *Hydra* ist unsterblich ... 585
- Plus 12.1 Penetranten – miniaturisierte Durchschlagsgeschosse ... 587
- Plus 12.2 Mondlicht synchronisiert Fortpflanzung ... 611
- Plus 12.3 Mantophasmatodea: die Entdeckung der „Gladiatoren“ ... 638
- Box 12.3 Alfred Brehm (1868) über *Amphioxus* ... 653
- Plus 12.4 Ostracodermen und Placodermen – die ersten Etappen in der Evolution der Cranioten ... 667
- Plus 12.5 Wieviel Wasser verliert ein Vogelei? ... 691
- Plus 12.6 Flamingos und Lappentaucher sind Schwestergruppen ... 692
- Plus 12.7 Das bisher vollständigste fossile Dokument aus der Frühzeit der Primatenevolution ... 701