

Gerald Karp

Mo eku a e
Ze b'o og'e

1. deutsche
Auflage

Aus dem Amerikanischen übersetzt
von Kurt Beginnen, Sebastian Vogel
und Susanne Kuhlmann-Krieg

Mit 789 überwiegend vierfarbigen Abbildungen
und 36 Tabellen

& / Springer

1	Einführung in die Zell- und Molekularbiologie	1
1.1	Die Entdeckung der Zellen	2
1.2	Die elementaren Eigenschaften von Zellen	3
1.2.1	Zellen sind hochkomplex und hochorganisiert	4
1.2.2	Zellen besitzen ein genetisches Programm sowie die Mittel, es zu benutzen	6
1.2.3	Zellen können sich selbst vermehren	6
1.2.4	Zellen gewinnen und verbrauchen Energie	6
1.2.5	In Zellen laufen viele verschiedene chemische Reaktionen ab	7
1.2.6	Zellen führen zahlreiche mechanische Aktivitäten durch	7
1.2.7	Zellen können auf Reize reagieren	7-
1.2.8	Zellen können sich selber regulieren	7
1.2.9	Zellen durchlaufen eine Evolution	8
1.3	Zwei grundverschiedene Zellarten	9
1.3.1	Merkmale, in denen sich prokaryotische und eukaryotische Zellen unterscheiden	11
1.3.2	Prokaryotische Zelltypen	16
1.3.3	Eukaryotische Zelltypen: Zellspezialisierung	19
	Aus Sicht des Menschen: Aussichten einer Zellersatztherapie	22
1.3.4	Die Größe der Zellen und ihrer Bestandteile	25
1.4	Viren	26
1.4.1	Viroide	30
	Experimentelle Verfahren: Wie sind die eukaryotischen Zellen entstanden?	31
	Zusammenfassung	38
	Zur Selbstüberprüfung	39
1.5	Weiterführende Literatur	40

	Die chemischen Grundlagen des Lebens	41
2.1	Kovalente Bindungen	42
2.1.1	Polare und unpolare Moleküle	44
2.1.2	Ionisierung	44
	Aus Sicht des Menschen: Für den Alterungsprozess sind freie Radikale verantwortlich	45
2.2	Nichtkovalente Bindungen	46
2.2.1	Ionenbindungen: Anziehungskräfte zwischen geladenen Atomen	47
2.2.2	Wasserstoffbrücken	47
2.2.3	Hydrophobe Wechselwirkungen und van-der-Waals-Kräfte	48
2.2.4	Die lebenserhaltenden Eigenschaften des Wassers	49
2.3	Säuren, Basen und Puffer	51
2.4	Die Eigenschaften biologischer Moleküle	53
2.4.1	Funktionelle Gruppen	54
2.4.2	Eine Klassifizierung biologischer Moleküle aufgrund ihrer Funktion	54
2.5	Vier Arten von biologischen Molekülen	56
2.5.1	Kohlenhydrate	56
2.5.2	Lipide	62
2.5.3	Proteine	64
	Aus Sicht des Menschen: Proteinfaltung mit tödlichen Folgen	82
2.5.5	Nucleinsäuren	95
2.6	Die Bildung komplexer makromolekularer Strukturen	97
2.6.1	Der Aufbau der Partikel und ribosomalen Untereinheiten des Tabakmosaikvirus	98
	Experimentelle Verfahren: Chaperone helfen Proteinen, sich richtig zu falten	99
	Zusammenfassung	104
	Zur Selbstüberprüfung	106
2.7	Weiterführende Literatur	107

3	Bioenergetik, Enzyme und Stoffwechseä	109	4.4.2	Untersuchung der Struktur und Eigenschaften integraler Membranproteine	169
3.1	Bioenergetik	110	4.4.3	Periphere Membranproteine	174
3.1.1	Die Gesetze der Thermodynamik und der Begriff der Entropie	110	4.4.4	Im Lipid verankerte Membranproteine	175
3.1.2	Freie Enthalpie	113	<i>i</i>		
3.2	Enzyme, die biologischen Katalysatoren	120	4.5	Membraniipide und die Fluidität der Membran	175
3.2.1	Die Eigenschaften von Enzymen	121	4.5.1	Die Bedeutung der Fluidität einer Membran	176
3.2.2	Überwindung der Schwelle der Aktivierungsenergie	122	4.5.2	Die Aufrechterhaltung der Membranfluidität	177
3.2.3	Das aktive Zentrum und die Spezifität der Moleküle	124	4.5.3	Die Asymmetrie der Membraniipide	177
3.2.4	Mechanismen der enzymatischen Katalyse	126	4.5.4	Lipidflöße	178
3.2.5	Enzymkinetik	129	4.6	Dynamische Prozesse in der Plasmamembran	179
	Aus Sicht des Menschen: Das wachsende Problem der Antibiotikaresistenz	134	4.6.1	Die Diffusion der Membranproteine nach der Zellfusion	180
3.3	Stoffwechsel	137	4.6.2	Einschränkungen der Protein- und Lipidmobilität	180
3.3.1	Ein Überblick über den Stoffwechsel	137	4.6.3	Die Struktur der Plasmamembran am Beispiel des roten Blutkörperchens	186
3.3.2	Oxidation und Reduktion - eine Sache der Elektronen	138	4.7	Wie Substanzen Zellmembranen passieren	189
3.3.3	Energiegewinnung und -verbrauch	139	4.7.1	Die Energetik der Bewegung gelöster Stoffe	190
3.3.4	Regulation des Stoffwechsels	145	4.7.2	Diffusion von Substanzen durch Membranen	191
	Zusammenfassung	149	4.7.3	Erleichterte Diffusion	201
	Zur Selbstüberprüfung	151	4.7.4	Aktiver Transport	202
3.4	Weiterführende Literatur	153		Aus Sicht des Menschen: Eine Erbkrankheit, die durch defekte Ionenkanäle verursacht wird	206
4	Struktur und Funktion der Plasmamembran	155	4.8	Membranpotenziale und Nervenimpulse	210
4.1	Ein Überblick über die Funktionen der Plasmamembran	157	4.8.1	Das Ruhepotenzial	211
4.2	Eine kurze Geschichte der Untersuchungen zur Struktur der Plasmamembran	158	4.8.2	Das Aktionspotenzial	212
4.3	Die chemische Zusammensetzung der Membranen	161	4.8.3	Weiterleitung von Aktionspotenzialen als Impuls	214
4.3.1	Membraniipide	161	4.8.4	Signalübertragung im Nervensystem: Wie der synaptische Spalt überbrückt wird	215
4.3.2	Kohlenhydrate in der Membran	165		Experimentelle Verfahren: Der Acetylcholinrezeptor	220
4.4	Struktur und Funktionen von Membranproteinen	167		Zusammenfassung	226
4.4.1	Integrale Membranproteine	168		Zur Selbstüberprüfung	228
			4.9	Weitere Literatur	230

5	Die Zellatmung und das Mitochondrium	233	6.3	Die Lichtabsorption	283
			6.3.1	Photosynthetisch aktive Pigmente	283
5.1	Struktur und Funktion der Mitochondrien	234	6.4	Photosynthese-Einheiten und Reaktionszentren	285
5.1.1	Mitochondrienmembranen	235	6.4.1	Sauerstoffbildung: Koordination der Aktionen zweier verschiedener Photosynthesysteme	286
5.1.2	Die mitochondriale Matrix	236	6.4.2	Unkrautbekämpfung durch Hemmung des Elektronentransports	293
5.2	Der oxidative Stoffwechsel in den Mitochondrien	237	6.5	Photophosphorylierung	294
5.2.1	Der Citratzyklus	238	6.5.1	Nichtzyklische und zyklische Photophosphorylierung	294
5.2.2	Die Bedeutung der reduzierten Coenzyme für die ATP-Synthese	242	6.6	Kohlendioxidfixierung und Kohlenhydratsynthese	295
	Aus Sicht des Menschen: Die Bedeutung des anaeroben und aeroben Stoffwechsels für das körperliche Training	243	6.6.1	Kohlenhydratsynthese in C ₃ -Pflanzen	295
5.3	Die Bedeutung der Mitochondrien für die ATP-Produktion	245	6.6.2	Kohlenhydratsynthese in C ₄ -Pflanzen	301
5.3.1	Redoxpotenziale	245	6.6.3	Kohlenhydratsynthese in CAM-Pflanzen	303
5.3.2	Elektronentransport	247		Zusammenfassung	303
5.3.3	Typen von Elektronencarriern	248		Zur Selbstüberprüfung	305
5.4	Der Protonenfluss und die Erzeugung einer protonenmotorischen Kraft	255	6.7	Weitere Literatur	307
5.5	Der Apparat für die ATP-Synthese	257	7	Wechselwirkungen zwischen Zellen und ihrer Umgebung	309
5.5.1	Die Struktur der ATP-Synthase	258	7.1	Der extrazelluläre Raum	310
5.5.2	ATP-Synthese durch Bindungswechsel	260	7.1.1	Die extrazelluläre Matrix	311
5.5.3	Weitere Aufgaben der protonenmotorischen Kraft neben der ATP-Synthese	266	7.2	Wechselwirkungen zwischen Zellen und extrazellulären Materialien	320
			7.2.1	Integrine	320
			7.2.2	Fokalkontakte und Hemidesmosomen verankern Zellen auf ihrer Unterlage	323
5.6	Peroxisomen	267	7.3	Wechselwirkungen zwischen Zellen	327
	Aus Sicht des Menschen: Krankheiten aufgrund defekter Mitochondrien oder Peroxisomen	269	7.3.1	Selectine	327
			7.3.2	Immunglobuline und Integrine	329
			7.3.3	Cadherine	330
				Aus Sicht des Menschen: Die Rolle der Zelladhäsion bei Entzündungsprozessen und Metastasenbildung	333
			7.3.4	Adhärenzverbindungen und Desmosomen: Verankerung von Zellen an anderen Zellen	335
*	Zusammenfassung*	272			
	Zur Selbstüberprüfung	274			
5.7	Weiterführende Literatur	275			
6	Photosynthese und der Chloroplast	277			
6.1	Struktur und Funktion des Chloroplasten	279			
6.2	Ein Überblick über den Photosynthesestoffwechsel	281			

XXIV	Inhaltsverzeichnis		
7.3.5	Die Rolle von Zell-Adhäsions-Rezeptoren bei der transmembranen Signalübertragung 338	8.5	Typen des Vesikeltransports und ihre Funktionen 382
7.4	Tight Junctions versiegeln den extrazellulären Raum 339	8.5.1	<i>COVll-Coated-Vesicles:</i> Substanztransport vom ER zum Golgi-Apparat 384
7.5	Gap Junctions und Plasmodesmen vermitteln bei der intrazellulären Kommunikation 342	8.5.2	<i>COPI-Coated-Vesicles:</i> > Rücktransport entwischter Proteine ins ER 385
7.5.1	Plasmodesmen 344	8.5.3	Jenseits des Golgi-Apparats: Sortierung der Proteine im TGN 386
7.6	Zellwände 345	8.5.4	Gerichteter Vesikeltransport in bestimmte Kompartimente 388
	Zusammenfassung 349	8.6	Lysosomen 392
	Zur Selbstüberprüfung 350		Aus Sicht des Menschen: Krankheiten durch Funktionsstörungen der Lysosomen 394
7.7	Weiterführende Literatur 351	8.7	Die Vakuole der Pflanzenzellen 396
8	Membransysteme im Cytoplasma: Struktur, Funktion und Membrantransport 353	8.8	Der Endocytoseweg: Transport von Membranen und Substanzen ins Zellinnere 397
8.1	Das Endomembransystem: ein Überblick 354	8.8.1	Endocytose 398
8.2	Untersuchungsverfahren für Endomembranen 357	8.8.2	Phagocytose 404
8.2.1	Neue Erkenntnisse durch Autoradiographie 357	8.9	Aufnahme fertig synthetisierter Proteine durch Peroxisomen, Mitochondrien und Chloroplasten 406
8.2.2	Erkenntnisse, gewonnen durch die Verwendung des grün fluoreszierenden Proteins 358	8.9.1	Aufnahme von Proteinen in Peroxisomen 406
8.2.3	Erkenntnisse durch biochemische Analyse subzellulärer Fraktionen 358	8.9.2	Aufnahme von Proteinen in Mitochondrien 406
8.2.4	Erkenntnisse durch Verwendung zellfreier Systeme 360	8.9.3	Aufnahme von Proteinen in Chloroplasten 408 Experimentelle Verfahren: Rezeptorvermittelte Endocytose 409
8.2.5	Erkenntnisse aus der Untersuchung genetischer Mutanten 361		Zusammenfassung 414
8.3	Das endoplasmatische Retikulum 363		Zur Selbstüberprüfung 416
8.3.1	Das glatte endoplasmatische Retikulum 363	8.10	Literatur 417
8.3.2	Funktionen des rauen endoplasmatischen Retikulums 365		Cytoskelett und Zellbewegungen 419
8.3.3	Vom ER zum Golgi-Apparat: der erste Schritt des Vesikeltransports 376	9.1	Die wichtigsten Funktionen des Cytoskeletts: eine Übersicht 420
8.4	Der Golgi-Apparat 376	9.2	Die Untersuchung des Cytoskeletts 422
8.4.1	Glycosylierung im Golgi-Apparat 377	9.2.1	Fluoreszenzmikroskopie 422
8.4.2	Die Wanderung von Substanzen durch den Golgi-Apparat 379	9.2.2	Videomikroskopie und Laserstrahlen im In-vifro-Beweglichkeitsassay 423

9.2.3	Zellen mit veränderter Genexpression 424	10	Gene und Genom 491
9.3	Mikrotubuli 426	10.1	Der Begriff des Gens als Einheit der Vererbung 492
9.3.1	Aufbau und Zusammensetzung 426	10.2	Chromosomen: die materiellen Träger der Gene 493
9.3.2	Mikrotubuliassoziierte Proteine 427	10.2.1	Die Entdeckung der Chromosomen 493
9.3.3	Mikrotubuli als Strukturgerüst und Organisatoren 427	10.2.2	Chromosomen als Träger der genetischen Information 494
9.3.4	Mikrotubuli als Hilfsmittel für Bewegungen im Zellinneren 429	10.2.3	Genetische Analyse bei <i>Drosophila</i> 496
9.3.5	Motorproteine und ihre Wanderung an den Mikrotubuli des Cytoskeletts 429	10.2.4	Crossing over und Rekombination 497
9.3.6	Mikrotubuli-Organisationszentren (MTOCs) 435	10.2.5	Mutagenese und Riesenchromosomen 498
9.3.7	Die dynamischen Eigenschaften der Mikrotubuli 439 Aus Sicht des Menschen: Die Bedeutung der Cilien für Entwicklung und Krankheitsentstehung 444	10.3	Die chemische Natur der Gene 500
9.3.8	Cilien und Flagellen: Struktur und Funktion 445	10.3.1	Die Struktur der DNA 500
9.3.9	Der Aufbau von Cilien und Flagellen 446	10.3.2	Die Idee von Watson und Crick 502
9.4	Intermediärfilamente 453	10.4	Der Aufbau des Genoms 508
9.4.1	Auf- und Abbau der Intermediär- filamente 454	10.4.1	Die Komplexität des Genoms 508 Aus Sicht des Menschen: Krankheiten, die durch Vermehrung von Trinucleotidwiederholungen entstehen 512
9.4.2	Typen und Funktionen von Inter- mediärfilamenten 456	10.5	Die Stabilität des Genoms 518
9.5	Mikrofilamente 457	10.5.1	Verdoppelung ganzer Genome (Polyploidisierung) 518
9.5.1	Auf- und Abbau von Mikrofilamenten 458	10.5.2	Verdoppelung und Veränderung einzelner DNA-Sequenzen 518
9.5.2	Myosin: der molekulare Motor der Actinfilamente 460	10.5.3	„Springende Gene“ und die dynamischen Eigenschaften des Genoms 521
9.6	Muskelkontraktion 466	10.6	Sequenzierung von Genomen: die genetischen Grundlagen des Menschseins 525
9.6.1	Das Gleitfasermodell der Muskel- kontraktion 468	10.6.1	Vergleichende Genomanalyse: „Was konserviert ist, muss wichtig sein“ 527 Aus Sicht des Menschen: Die medizinische Anwendung der Genomanalyse 529 Experimentelle Verfahren: Die chemische Natur der Gene 531
9.7 i	Bewegungsvorgänge außerhalb der Muskeln 473	Zusammenfassung 537	
9.7.1	Actin bindende Proteine 473	Zur Selbstüberprüfung 539	
9.7.2	Beweglichkeit und Kontraktionsfähig- keit außerhalb der Muskeln: Beispiele 476	10.7	Literatur 540
	Zusammenfassung 485		
	Zur Selbstüberprüfung 488		
9.8	Literatur 490		

- 11 Die Expression des genetischen Materials: von der Transkription zur Translation 541**
- 11.1 Die Beziehung zwischen Genen und Proteinen 542**
- 11.1.1 Informationsfluss in den Zellen: ein Überblick 544
- 11.2 Transkription bei Pro- und Eukaryoten: eine Übersicht 546**
- 11.2.1 Transkription bei Prokaryoten 548
- 11.2.2 Transkription und RNA-Processing bei Eukaryotenzellen 550
- 11.3 Synthese und Weiterverarbeitung von ribosomaler RNA und Transfer-RNA 551**
- 11.3.1 Die Synthese des rRNA-Vorläufers 552
- 11.3.2 Die Weiterverarbeitung des rRNA-Vorläufers 553
- 11.3.3 Synthese und Processing der 5S-rRNA 558
- 11.3.4 Transfer-RNA 558
- 11.4 Synthese und Weiterverarbeitung der Messenger-RNA 559**
- 11.4.1 Der Apparat für die Transkription der mRNA 560
- 11.4.2 Gestückelte Gene: eine unerwartete Entdeckung 563
- 11.4.3 Das Processing eukaryotischer Messenger-RNA 567
- 11.4.4 Gestückelte Gene und RNA-Spleißen: ihre Bedeutung für die Evolution 575
- 11.4.5 Herstellung neuer Ribozyme im Labor 577
- 11.5 Kleine nicht codierende RNAs und RNA-Interferenz 578**
- 11.5.1 Mikro-RNAs: Hunderte von RNAs mit unbekannter Funktion 579
Aus Sicht des Menschen: Potenzielle klinische Anwendungsgebiete der RNA-Interferenz 581
- 11.6 Die Codierung der genetischen Information 582**
- 11.6.1 Die Eigenschaften des genetischen Codes 582
- 11.7 Decodierung der Codons: die Funktion der Transfer-RNA 585**
- 11.7.1 Die Struktur der tRNA 586
- 11.8 Die Translation der genetischen Information 590**
- 11.8.1 Initiation 590
- 11.8.2 Elongation 594
- 11.8.3 Termination 596
- 11.8.4 mRNA-Überwachung:
, Unsinn wird nicht geduldet 597
Experimentelle Verfahren:
RNA als Katalysator 599
- Zusammenfassung 603**
- Zur Selbstüberprüfung 606**
- 11.9 Literatur 608**
- 12 Der Zellkern und die Steuerung der Genexpression 609**
- 12.1 Der Kern einer Eukaryotenzelle 610**
- 12.1.1 Die Kernhülle 610
- 12.1.2 Chromosomen und Chromatin 616
Aus Sicht des Menschen:
Chromosomenaberrationen 628
- 12.1.3 Der Zellkern als organisiertes Organell 635
- 12.2 Steuerung der Genexpression bei Prokaryoten 638**
- 12.2.1 Das Bakterienoperon 638
- 12.3 Steuerung der Genexpression bei Eukaryoten 642**
- 12.4 Steuerung auf Transkriptionsebene 644**
- 12.4.1 Die Bedeutung von Transkriptionsfaktoren für die Steuerung der Genexpression 648
- 12.4.2 Die Struktur von Transkriptionsfaktoren 649
- 12.4.3 Transkriptions-Regulationsstellen auf der DNA 652
- 12.4.4 Transkriptionsaktivierung: Enhancer, Promotoren und Coaktivatoren 656
- 12.4.5 Transkriptionsrepression 660
- 12.5 Steuerung auf Processing-Ebene 664**
- 12.6 Steuerung auf Translationsebene 666**
- 12.6.1 Lokalisierung der mRNA im Cytoplasma 666
- 12.6.2 Steuerung der Translation 667
- 12.6.3 Steuerung der mRNA-Stabilität 669

- 12.7 Steuerung nach der Translation: Proteinstabilität 671**
Zusammenfassung 673
Zur Selbstüberprüfung 676
- 12.8 Literatur 677**
- 13 DNA-Replikation und DNA-Reparatur 679**
- 13.1 DNA-Replikation 680**
 13.1.1 Semikonservative Replikation 680
 13.1.2 Replikation in Bakterienzellen 682
 13.1.3 Struktur und Funktion von Polymerasen 691
 13.1.4 Replikation in Eukaryotenzellen 695
- 13.2 DNA-Reparatur 702**
 13.2.1 Nucleotid-Excisionsreparatur 703
 13.2.2 Basen-Excisionsreparatur 704
 13.2.3 Fehlpaarungsreparatur 705
 13.2.4 Reparatur von Doppelstrangbrüchen 706
- 13.3 Zwischen Replikation und Reparatur 706**
 Aus Sicht des Menschen: Defekte der DNA-Reparatur und ihre Folgen 707
Zusammenfassung 709
Zur Selbstüberprüfung 711
- 13.4 Literatur 712**
- 14 Fortpflanzung von Zellen 713**
- 14.1 Der Zellzyklus 714**
 14.1.1 Zellzyklen *in vivo* 715
 14.1.2 Die Steuerung des Zellzyklus 716
- 14.2 Die M-Phase: Mitose und Cytokinese 725**
 14.2.1 Prophase 726
 14.2.2 Prometaphase 733
 14.2.3 Metaphase 735
 14.2.4 Anaphase 736
 14.2.5 Telophase 741
 14.2.6 Kräfte für die Bewegungen in der Mitose 742
 14.2.7 Cytokinese 743
- 14.3 Meiose 747**
 14.3.1 Die Stadien der Meiose 749
 Aus Sicht des Menschen: Nondisjunction in der Meiose und die Folgen 755
 14.3.2 Genetische Rekombination in der Meiose 757
 Experimentelle Verfahren: Die Entdeckung und Charakterisierung des MPF 759
Zusammenfassung 764
Zur Selbstüberprüfung 767
- 14.4 Literatur 768**
- 15 Zelluläre Signale und Signalübertragung: Kommunikation zwischen Zellen 771**
- 15.1 Grundelemente zellulärer Signalübertragungssysteme 772**
- 15.2 Eine Übersicht über extrazelluläre Botenstoffe und ihre Rezeptoren 774**
- 15.3 Mit G-Proteinen gekoppelte Rezeptoren und ihre *second messengers* 775**
 15.3.1 Signaltransduktion über G-Protein-gekoppelte Rezeptoren 776
 Aus Sicht des Menschen: Krankheiten im Zusammenhang mit G-Protein-gekoppelten Rezeptoren 780
 15.3.2 Die Entdeckung eines *second messengers*: cyclisches AMP 782
 15.3.3 Von Lipiden abgeleitete *second messengers* 783
 15.3.4 Die Spezifität G-Protein-gekoppelter Reaktionen 787
 15.3.5 Die Regulation des Blutglucosespiegels 788
 15.3.6 Die Rolle G-Protein-gekoppelter Rezeptoren bei der sensorischen Wahrnehmung 791
- 15.4 Die tyrosinspezifische Proteinphosphorylierung als Mechanismus der Signalübertragung 793**
 15.4.1 Der Ras-MAPK-Signalweg 798
 15.4.2 Die Signalübertragung im Falle des Insulinrezeptors 802
 15.4.3 Signalwege bei Pflanzen 806

- 15.5 Calcium als intrazellulärer Botenstoff 807**
- 15.5.1 Die Regulation der Calciumkonzentration in Pflanzenzellen 811
- 15.6 Konvergenz, Divergenz und Crosstalk zwischen verschiedenen Signalwegen 812**
- 15.6.1 Beispiele für Konvergenz, Divergenz und Crosstalk zwischen verschiedenen Signalwegen 813
- 15.7 Stickstoffmonoxid (NO) als interzellulärer Botenstoff 814**
- 15.8 Apoptose (programmierter Zelltod) 816**
- 15.8.1 Der extrinsische Apoptosesignalweg 818
- 15.8.2 Der intrinsische Apoptosesignalweg 819
- Zusammenfassung 821**
- Zur Selbstüberprüfung 824**
- 15.9 Weiterführende Literatur 826**
- 16 Krebs 829**
- 16.1 Grundeigenschaften einer Krebszelle 830**
- 16.2 Krebsursachen 833**
- 16.3 Zur Genetik von Krebserkrankungen 834**
- 16.3/1 Tumorsuppressor-Gene und Oncogene: Bremsen und Gaspedale 839
- 16.4 Neue Strategien der Krebsbehandlung 855**
- 16.4.1 Immuntherapie 855
- 16.4.2 Gentherapie 857
- 16.4.3 Hemmung der Aktivität krebsfördernder Proteine 857
- 16.4.4 Hemmung der Blutgefäßbildung (Angiogenese) 858
Experimentelle Verfahren:
Die Entdeckung der Oncogene 859
- Zusammenfassung 866**
- 16.5 Literatur 868**
- 17 Die Immunantwort 869**
- 17.1 Ein Überblick über die Immunantwort 870**
- 17.1.1 Angeborene Immunreaktionen 871
- 17.1.2 Adaptive Immunreaktionen 872
- 17.2 Die Theorie der klonalen Selektion bei B-Zellen 873**
- 17.2.1 Impfung 876
- 17.3 T-Lymphozyten: Aktivierung und Wirkungsmechanismus 877**
- 17.4 Ausgewählte Aspekte der zellulären und molekularen Grundlagen der Immunität 881**
- 17.4.1 Die modulare Struktur von Antikörpern 881
- 17.4.2 DNA-Umordnungen bei den Genen für B- und T-Zell-Rezeptoren 884
- 17.4.3 Membrangebundene Antigen-Rezeptor-Komplexe 888
- 17.4.4 Der Haupthistokompatibilitätskomplex 888
- 17.4.5 Die Unterscheidung zwischen Körper-eigenem und Körperfremdem 894
- 17.4.6 Lymphozyten werden durch Zelloberflächen-Signale aktiviert 896
- 17.4.7 Signaltransduktionswege bei der Aktivierung von Lymphozyten 897
Aus Sicht des Menschen:
Autoimmunerkrankungen 899
Experimentelle Verfahren:
Die Rolle des Haupthistokompatibilitätskomplexes für die Antigenpräsentation 902
- Zusammenfassung 908**
- 17.5 Literatur 910**
- 18 Techniken der Zell- und Molekularbiologie 911**
- 18.1 Das Lichtmikroskop 912**
- 18.1.1 Auflösung 913
- 18.1.2 Visibilität 914
- 18.1.3 Phasenkontrastmikroskopie 915
- 18.1.4 Fluoreszenzmikroskopie und verwandte Techniken 916
- 18.1.5 Videomikroskopie und Bildverarbeitung 918
- 18.1.6 Konfokale Raster-Mikroskopie 918
- 18.1.7 Präparation von Objekten für die Lichtmikroskopie 919

- 18.2 Transmissionselektronenmikroskopie 920**
 - 18.2.1 Die Präparation von Objekten für die Elektronenmikroskopie 922
 - 18.3 Rasterelektronenmikroskopie 927**
 - 18.4 Der Einsatz von Radioisotopen 929**
 - 18.5 Zellkultur 930**
 - 18.6 Die Fraktionierung des Zellinhalts durch differenzielle Zentrifugation 933**
 - 18.7 Isolierung, Aufreinigung und Fraktionierung von Proteinen 934**
 - 18.7.1 Die selektive Präparation 934
 - 18.7.2 Säulenchromatographie 934
 - 18.7.3 Polyacrylamid-Gelelektrophorese 938
 - 18.8 Strukturbestimmung bei Proteinen 941**
 - 18.9 Aufreinigung und Fraktionierung von Nucleinsäuren 942**
 - 18.9.1 Auftrennung von DNA durch Elektrophorese 943
 - 18.10 Konzentrationsbestimmung bei Proteinen und Nucleinsäuren 943**
 - 18.11 Ultrazentrifugation 944**
 - 18.11.1 Das Sedimentationsverhalten von Nucleinsäuren 946
 - 18.12 Nucleinsäurehybridisierung 946**
 - 18.13 Techniken der DNA-Rekombination 948**
 - 18.13.1 Restriktionsendonucleasen 948
 - 18.13.2 Die Herstellung von rekombinierter DNA 950
 - 18.13.3 Die Klonierung von DNA 950
 - 18.13.4 Chemische Synthese und Oligonucleotidmutagenese 957
 - 18.13.5 Gentransfer in eukaryotische Zellen und Säugerembryos 958
 - 18.13.6 Die enzymatische Amplifikation von DNA mittels PCR 963
 - 18.13.7 Die Sequenzierung von DNA 964
 - 18.14 Der Einsatz von Antikörpern 966**
- Glossar 971
- Nobelpreise Zell- und fVolekularbiologie seit 1958 1003
- Sach- und Personenverzeichnis 1007