

Biochemie des Menschen

Das Lehrbuch für das Medizinstudium

Florian Horn

unter Mitarbeit von

Isabelle Moc

Paul Ziegler

Silke Berghold

Marco Armbruster

Christian Grillhösl

Bettina Otte

Franziska Blaeschke

Nadine Schneider

Daniel Koch

Simone Harrasser

Michael Pritsch

Jan Nassrallah

Laura Nassrallah

7., korrigierte Auflage

1200 Abbildungen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart • New York

Inhaltsverzeichnis

I Grundlagen der Chemie

1	Allgemeine Chemie	26			
	<i>Florian Horn</i>				
1.1	Kurzer Überblick	26	1.3.2	Wichtige schwefelhaltige funktionelle Gruppen	35
1.2	Die chemische Bindung	26	1.3.3	Wichtige stickstoffhaltige funktionelle Gruppen	36
1.2.1	Freie Elektronen und freie Elektronen-paare	26	1.4	Reaktionen einer menschlichen Zelle ..	37
1.2.2	Die Oktettregel	27	1.4.1	Die Grundreaktionstypen	37
1.2.3	Die Elektronegativität	29	1.4.2	Die Rolle der Säure-Basen-Reaktionen ...	38
1.2.4	Starke Bindungen – Hauptvalenzen	29	1.5	Isomerien – einmal ganz in Ruhe...	38
1.2.5	Koordinative Bindungen	31	1.5.1	Konstitutionsisomerie	39
1.2.6	Schwache Bindungen – Nebervalenzen ..	31	1.5.2	Stereoisomerie	39
1.3	Funktionelle Gruppen und ihre Reaktionen	33	1.6	Mesomerie	41
1.3.1	Wichtige sauerstoffhaltige funktionelle Gruppen	33			
2	Kohlenhydrate	43			
	<i>Florian Horn</i>				
2.1	Universelle Moleküle	43	2.4	Disaccharide	50
2.2	Was sind Kohlenhydrate?	43	2.4.1	Maltose und Isomaltose – Malzzucker ...	51
2.3	Monosaccharide	44	2.4.2	Laktose – Milchzucker	51
2.3.1	Hexosen – die 6er-Zucker	44	2.4.3	Saccharose – Haushaltszucker	51
2.3.2	Pentosen – die 5er-Zucker	47	2.5	Oligosaccharide	51
2.3.3	Reaktionen der Monosaccharide	47	2.6	Polysaccharide	51
2.3.4	Nachweismethoden	49	2.6.1	Homoglykane	52
			2.6.2	Heteroglykane	53
3	Lipide	54			
	<i>Florian Horn</i>				
3.1	Moleküle mit vielen verschiedenen Aufgaben	54	3.3	Fettsäuren	55
3.2	Chemie und Systematik der Lipide	54	3.3.1	Gesättigte und ungesättigte Fettsäuren ...	56
3.2.1	Amphiphile Lipide	54	3.3.2	Geradzahlige und ungeradzahlige Fettsäuren	57
3.2.2	Systematik der Lipide	55	3.3.3	Essenzielle Fettsäuren	57
			3.4	Glycerin-Derivate	57
			3.4.1	Triacylglycerine (TAG) – das klassische Fett	58

3.4.2	Glycerophosphatide – Membranfett.	58	3.5.2	Glykolipide.	60
3.5	Sphingosin-Derivate	59	3.6	Isopren-Derivate	61
3.5.1	Sphingosinphosphatide	60	3.6.1	Was ist eigentlich Isopren?	61
4	Aminosäuren und Proteine				64
	<i>Isabelle Moc und Florian Horn</i>				
4.1	Moleküle mit Sonderstellung	64	4.3	Peptide und Proteine	71
4.2	Aminosäuren	64	4.3.1	Die Peptidbindung	71
4.2.1	Die 21 proteinogenen Aminosäuren.	64	4.3.2	Auf- und Abbau der Proteine.	72
4.2.2	Nicht proteinogene Aminosäuren.	68	4.3.3	Benennung der Peptide	72
4.2.3	Eigenschaften der Aminosäuren	68	4.3.4	Räumliche Anordnung von Proteinen	72
4.2.4	Reaktionen der Aminosäuren	70	4.3.5	Denaturieren und Fällen	74
			4.3.6	Auftrennung von Proteinen – die Elektrophorese	75
			4.3.7	Funktionen der Proteine im Körper	76
			4.3.8	Prionen	76
5	Nukleotide und Nucleinsäuren				77
	<i>Florian Horn</i>				
5.1	Träger der Erbinformation	77	5.3	Nucleinsäuren	80
5.2	Chemie der Nucleotide	77	5.3.1	Ribose und Phosphat – für den Zusammenhalt	80
5.2.1	Die Basen	77	5.3.2	Die Basen – Träger der Information	81
5.2.2	Nucleoside (Base + Zucker)	78	5.3.3	Die DNA-Doppelhelix	83
5.2.3	Nucleotide (Nucleosid + Phosphat).	79			
5.2.4	Weitere Funktionen der Nucleotide.	79			
6	Orientierung in der Biochemie				86
	<i>Florian Horn</i>				
6.1	Eine Zutatenliste	86	6.4	Die wichtigsten Stoffwechselwege in der Biochemie (7)	87
6.2	Funktionelle Gruppen (12)	86	6.5	Komplexeres aus der zentralen Biochemiewelt (6)	88
6.3	Die allerwichtigsten Moleküle für die Biochemie (19)	86	6.6	Biochemie und die Evolution	88
6.3.1	Kohlenhydrate	87	6.6.1	Evolution einzelner Stoffwechselwege.	88
6.3.2	Lipide	87	6.6.2	Evolution der Organsysteme	89
6.3.3	Aminosäuren und deren Ketosäuren	87	6.6.3	Evolutionäre Medizin	89

II Energiestoffwechsel

7	Enzyme	92			
	<i>Marco Armbruster</i>				
7.1	Die Katalysatoren unter den Proteinen	92	7.4	Kinetik einer chemischen Reaktion	99
7.2	Energetik einer chemischen Reaktion	92	7.4.1	Reaktionsordnungen.....	100
7.2.1	Thermodynamische Systeme und Zustände.....	92	7.4.2	Michaelis-Menten-Kinetik.....	101
7.2.2	Thermodynamische Potenziale.....	93	7.5	Enzymklassen	102
7.2.3	Entropie S.....	93	7.5.1	Die Grundtypen von Reaktionen.....	102
7.2.4	Enthalpie H.....	94	7.5.2	Oxidoreduktasen (Klasse I).....	102
7.2.5	Freie Enthalpie G.....	94	7.5.3	Transferasen (Klasse II).....	103
7.2.6	Theorie des Übergangszustandes.....	96	7.5.4	Hydrolasen (Klasse III).....	104
7.2.7	Reaktionsmodell.....	96	7.5.5	Lyasen (Klasse IV).....	105
7.3	Funktionsweise und Aufbau von Enzymen	96	7.5.6	Isomerasen (Klasse V).....	105
7.3.1	Funktionsprinzip.....	96	7.5.7	Ligasen (Klasse VI).....	105
7.3.2	Aktives Zentrum.....	97	7.6	Enzymregulation	106
7.3.3	Kovalente Katalyse.....	98	7.6.1	Enzymhemmung und Enzymaktivierung	106
7.3.4	Allgemeine Säure-Base-Katalyse.....	98	7.6.2	Kovalente Modifikation und Interkonvertierung.....	108
7.3.5	Räumliche Annäherung.....	98	7.6.3	Zymogene.....	108
7.3.6	Cofaktoren.....	98	7.6.4	Isoenzyme.....	109
7.3.7	Multifunktionale Enzyme.....	99	7.6.5	Katalytische Potenz.....	109
8	Stoffwechsel der Kohlenhydrate	111			
	<i>Florian Horn</i>				
8.1	Überblick	111	8.4	Der Pentosephosphatweg	129
8.1.1	Reaktionswege der Kohlenhydrate.....	111	8.4.1	Teil 1 – oxidativ und irreversibel.....	131
8.1.2	Die Wege des Glukose-6-Phosphats.....	112	8.4.2	Teil 2 – nichtoxidativ und reversibel.....	132
8.1.3	Versorgung unserer Zellen mit Glukose... ..	113	8.4.3	Aufgaben des NADPH/H ⁺	132
8.2	Die Glykolyse	114	8.4.4	Aufgaben der Ribose.....	132
8.2.1	Vorbereitungsphase – von Glukose zu Glycerol-3-Phosphat.....	116	8.4.5	Regulation des Pentosephosphatweges... ..	132
8.2.2	Die Phase der Energieerzeugung – von Glycerol-3-Phosphat zu Pyruvat.....	118	8.5	Die Glukoneogenese	134
8.2.3	Wie NADH/H ⁺ zur Atmungskette gelangt.....	120	8.5.1	Welche Organe betreiben Glukoneogenese?.....	135
8.2.4	Regulation der Glykolyse oder die Frage nach der Geschwindigkeit.....	120	8.5.2	Umgehung der 3 irreversiblen Reaktionen der Glykolyse.....	136
8.3	Schicksal des Pyruvats: PDH oder LDH	123	8.5.3	Substrate des Zuckeraufbaus.....	138
8.3.1	Aerober Abbau – Pyruvat-Dehydrogenase.....	125	8.5.4	Die Glukoneogenese und ihre 3 Kompartimente in der Zelle.....	139
8.3.2	Vitamin B ₁ (Thiamin).....	126	8.5.5	Energiebilanz – oder was kostet Glukose?.....	141
8.3.3	Anaerober Abbau – Laktat-Dehydrogenase.....	127	8.5.6	Regulation der Glukoneogenese.....	141
8.3.4	Energiegewinn mit und ohne Sauerstoff – ein Ausblick.....	129			

8.6	Das Vitamin Biotin	142	8.7.2	Glykogen-Struktur	145
8.6.1	Chemie des Biotin	142	8.7.3	Glykogen-Biosynthese	145
8.6.2	Die Aufnahme von Biotin	142	8.7.4	Glykogen-Abbau	148
8.6.3	Molekularer Mechanismus	142	8.7.5	Regulation des Glykogen-Stoffwechsels ..	150
8.6.4	Aufgaben von Biotin	143	8.8	Andere Monosaccharide	152
8.6.5	Biotin und Avidin	143	8.8.1	Fruktose	152
8.7	Der Glykogen-Stoffwechsel	143	8.8.2	Galaktose	154
8.7.1	Welche Organe besitzen Glykogen-Vor- räte?	144	8.8.3	Mannose	156
9	Stoffwechsel der Lipide	158	8.8.4	Aminozucker	156
	<i>Florian Horn</i>				
9.1	Einleitung	158	9.6	Cholesterin	187
9.1.1	Überblick über die stoffwechselrelevanten Lipide	158	9.6.1	Cholesterin-Biosynthese	188
9.1.2	Was können unsere Zellen mit Lipiden anfangen?	159	9.6.2	Veresterung von Cholesterin	190
9.1.3	Vom Teller bis in unsere Zellen	161	9.6.3	Verwendung von Cholesterin	191
9.1.4	Regulation des Lipidstoffwechsels	162	9.7	Der Lipoproteinstoffwechsel	191
9.2	Fettsäure-Abbau	162		<i>Simone Harrasser</i>	
9.2.1	Aktivierung der Fettsäuren	164	9.7.1	Überblick	192
9.2.2	Transport der Fettsäuren ins Mitochon- drium	164	9.7.2	Was transportieren Lipoproteine?	193
9.2.3	Die β -Oxidation	165	9.7.3	Die Apoproteine	193
9.2.4	Abbau anderer Fettsäuren	167	9.7.4	Weg der Nahrungsfette – die Chylo- mikronen	194
9.2.5	Regulation der β -Oxidation	169	9.7.5	Die Verteilung der Fette – die VLDL	195
9.2.6	Fettsäure-Oxidation in den Peroxisomen ..	169	9.7.6	Das Cholesterinreservoir LDL	195
9.3	Fettsäure-Biosynthese	169	9.7.7	Der reverse Cholesterintransport – das HDL	196
9.3.1	Biosynthese der Palmitinsäure	171	9.8	Noch ein paar andere Lipide	198
9.3.2	Biosynthese längerer Fettsäuren	176	9.8.1	Phospholipide	198
9.3.3	Biosynthese ungesättigter Fettsäuren	176	9.8.2	Glykolipide	202
9.3.4	Regulation der Fettsäure-Biosynthese	176	9.9	Vitamin A	202
9.4	Triacylglycerine (TAGs)	177	9.9.1	Was ist Vitamin A?	202
9.4.1	Lipogenese – die TAG-Biosynthese	179	9.9.2	Stoffwechsel des Vitamin A	203
9.4.2	Lipolyse – der TAG-Abbau	181	9.9.3	Direkte Wirkungen des β -Carotin	204
9.4.3	Regulation des TAG-Stoffwechsels	182	9.9.4	Retinsäure und Zellwachstum	204
9.5	Ketonkörper	182	9.9.5	Retinal und der Sehvorgang	205
9.5.1	Biosynthese der Ketonkörper	184	9.9.6	Zu viel und zu wenig Vitamin A	206
9.5.2	Abbau der Ketonkörper	186	9.10	Das Melatonin	206
9.5.3	Zu viele Ketonkörper sind gar nicht gut ..	186	9.10.1	Biosynthese des Melatonins	207
			9.10.2	Molekulare und physiologische Wirkungen	207
			9.10.3	Wege des Melatonins im Körper und dessen Abbau	207

10	Stoffwechsel der Proteine und Aminosäuren	208			
	<i>Florian Horn</i>				
10.1	Einleitung	208	10.8.3	Biosynthese von Prolin, Serin und Glycin	223
10.2	Die Proteinbiosynthese	208	10.8.4	Biosynthese der nicht ganz essenziellen Aminosäuren	223
10.2.1	Translation	208	10.8.5	Essenzielle Aminosäuren	224
10.2.2	Sortierung von Proteinen	208	10.9	Abbau von Aminosäuren	224
10.3	Posttranslationale Prozessierung	210	10.9.1	Sammelbecken Oxalacetat	225
10.3.1	Herstellung der nativen Proteinform (Proteinfaltung)	210	10.9.2	Sammelbecken α -Ketosäure	225
10.3.2	Glykosylierungen	210	10.9.3	Sammelbecken Succinyl-CoA	226
10.3.3	Weitere posttranslationale Modifikationsmöglichkeiten	213	10.9.4	Abbau von Phenylalanin und Tyrosin	226
10.4	Der Proteinabbau	213	10.9.5	Sammelbecken Pyruvat	226
10.4.1	Proteasomen und Ubiquitin	214	10.9.6	Der Rest und der große Überblick	227
10.4.2	Lysosomaler Abbau	215	10.10	Tetrahydrobiopterin (BH4)	227
10.5	Strategien des Aminosäurenstoffwechsels	215	10.11	Der Harnstoffzyklus	228
10.5.1	Die wichtigsten Aminosäuren und deren Verwandte	215	10.11.1	Die Stickstoffentsorgung	230
10.5.2	Wie reagieren Aminosäuren?	216	10.11.2	Herkunft der beiden Stickstoffe	230
10.6	Vitamin B₆	219	10.11.3	Die Schrittmacherreaktion	230
10.7	Die Rolle der verschiedenen Organe	219	10.11.4	Die Harnstoffbildung	231
10.7.1	Die Zelle am kleinen Zeh	220	10.11.5	Bilanz der Harnstoff-Biosynthese	232
10.7.2	Die Muskulatur und Aminosäuren	220	10.11.6	Regulation der Harnstoff-Biosynthese	232
10.7.3	Die Leber und Aminosäuren	220	10.11.7	Glutamin-Biosynthese in der Leber	232
10.8	Biosynthese der Aminosäuren	222	10.11.8	Weitere Stoffwechselleistungen des Harnstoffzyklus	233
10.8.1	Einfache Biosynthese aus den α -Ketosäuren	222	10.12	Aminosäuren als Gruppenspender	234
10.8.2	Biosynthese der 2 Amide Glutamin und Asparagin	223	10.12.1	Glutamin und Aspartat als Amino-Spender	234
			10.12.2	Cystein und PAPS	234
			10.12.3	Methionin und SAM	234
			10.12.4	Homocystein	235
			10.13	Biogene Amine	237
			10.13.1	Synthese und Abbau biogener Amine	237
			10.13.2	Einzelne biogene Amine	238
11	Herkunft des ATP	240			
	<i>Florian Horn</i>				
11.1	Der universelle Energieträger der Zelle	240	11.3	Der Citratzyklus	243
11.2	Was ist denn jetzt Acetyl-CoA?	240	11.3.1	Worum geht es beim Citratzyklus?	245
11.2.1	Wie sieht Acetyl-CoA aus?	241	11.3.2	Reaktionen des Citratzyklus	245
11.2.2	Wobei entsteht Acetyl-CoA?	241	11.3.3	Anabole Funktionen – was der Citratzyklus noch alles kann	248
11.2.3	Was kann man mit Acetyl-CoA anfangen?	242	11.3.4	Anaplerotische Reaktionen – wie der Citratzyklus wieder aufgefüllt wird	250
11.2.4	Das Vitamin Pantothersäure	243			

11.3.5	Regulation des Citratzyklus	251	11.5.3	Elektronen, Protonen und der Wasserstoff	263
11.3.6	Zwischenbilanz	252	11.5.4	Arbeitsweise der Atmungskette	264
11.4	Die Reduktionsäquivalente – NADH und seine Kollegen	252	11.5.5	Die ATP-Produktion	267
11.4.1	NAD ⁺ und FAD für den katabolen Stoffwechsel	253	11.5.6	Transporte durch die Mitochondrienmembran	268
11.4.2	Das Vitamin Niacin und NADH	253	11.5.7	Regulation der Atmungskette	269
11.4.3	Das Vitamin Riboflavin und FADH	255	11.5.8	Bilanz des gesamten aeroben Abbaus	270
11.4.4	NADPH – für den anabolen Stoffwechsel ..	256	11.5.9	AMP und die anderen Nukleotide.....	270
11.4.5	Wo wir schon dabei sind – die 3 restlichen Redox-Coenzyme	257	11.5.10	Entkoppler und Hemmstoffe der Atmungskette.....	271
11.4.6	Wo entstehen die Reduktionsäquivalente in der Zelle?	257	11.6	Was ist eigentlich ATP?	272
11.5	Die Atmungskette	258	11.6.1	Wie sieht ATP aus?	273
11.5.1	Prinzip der Atmungskette	259	11.6.2	ATP-Hydrolyse.....	273
11.5.2	Chemie und Physik der Atmungskette....	260	11.6.3	Andere Phosphatspender.....	275
			11.6.4	ΔG^0 und das wahre ΔG	275
			11.6.5	Aufgaben von ATP	275
			11.6.6	Die 4 anderen Nukleotide	275

III Molekularbiologie

12	Die Grundstoffe	280			
	<i>Florian Horn</i>				
12.1	Das menschliche Genom	280	12.3	Das Vitamin Folsäure	291
12.1.1	Chromatin und Chromosomen – oder wie bekommt man einen 2-m-DNA-Faden in einen 10 μm großen Zellkern?.....	280	12.3.1	Chemie der Folsäure.....	291
12.1.2	Unser Genom.....	282	12.3.2	Der Hydrierungsstatus der Folsäure.....	292
12.2	Biosynthese der Nukleotide	284	12.3.3	Aufnahme und Transport im Blut	292
12.2.1	PRPP-Biosynthese	284	12.3.4	Der C ₁ -Status der Folsäure	292
12.2.2	Purinnukleotid-Biosynthese	285	12.3.5	Regeneration der THF in den Zellen.....	293
12.2.3	Pyrimidinnukleotid-Biosynthese	289	12.3.6	Aufgaben der Folsäure	294
12.2.4	Desoxyribonukleotid-Biosynthese	291	12.3.7	Bedarf an Folsäure.....	294
			12.3.8	Weitere C ₁ -Gruppen-Überträger	294
12.4	Abbau der Nukleotide	295	12.4	Abbau der Nukleotide	295
			12.4.1	DNasen und RNasen	295
			12.4.2	Abbau der Purinnukleotide	295
			12.4.3	Abbau der Pyrimidinnukleotide	297
13	Zellzyklus und Apoptose	298			
	<i>Florian Horn</i>				
13.1	Über Leben und Tod unserer Zellen	298	13.3	Mitose und Zellteilung	300
13.2	Interphase des Zellzyklus	298	13.3.1	Die Mitose	300
13.2.1	Die G ₁ -Phase	299	13.3.2	Die Zellteilung – Zytokinese.....	301
13.2.2	Die S-Phase.....	300			
13.2.3	Die G ₂ -Phase	300			

13.4	Regulation des Zellwachstums	302	13.4.6	Das P53-Protein – Wächter des Genoms . .	308
13.4.1	Wachstumsfaktoren	302	13.4.7	Was hat der Zellzyklus mit Tumoren zu tun?	310
13.4.2	Von den Wachstumsfaktoren zur Zellteilung.	303	13.5	Apoptose – der programmierte Zelltod	310
13.4.3	Ablauf eines kontrollierten Zellzyklus	305	13.5.1	Induktion der Apoptose	311
13.4.4	Inhibitoren der CDKs	306	13.5.2	Am Apoptosevorgang Beteiligte	312
13.4.5	Das RB-Protein – Zentrum der Zellzykluskontrolle	307	13.5.3	Zellveränderungen in der Apoptose	313
14	Zellalltag einer menschlichen Zelle	314	14.4	Nukleozytoplasmatischer Transport	326
14.1	Von der DNA zum Protein	314	<i>Florian Horn</i>		
	<i>Silke Berghold und Florian Horn</i>		14.4.1	Der Zellkern und das Zytoplasma	326
14.2	Transkription der DNA – Herstellung von RNA	315	14.4.2	Kernimport.	327
	<i>Silke Berghold und Florian Horn</i>		14.4.3	Kernexport.	327
14.2.1	Ablauf der Transkription	315	14.4.4	Transport der mRNA über weitere Strecken	328
14.2.2	Was ist eigentlich RNA?	318	14.5	Translation – die Proteinbiosynthese	328
14.3	Posttranskriptionale Prozessierung – was nach der Transkription geschieht	322	<i>Christian Grillhösl und Florian Horn</i>		
	<i>Silke Berghold und Florian Horn</i>		14.5.1	Aktivierung der Aminosäuren.	328
14.3.1	Was bei jeder mRNA prozessiert wird	322	14.5.2	Translationsinitiation – Zusammenbau der Ribosomen	330
14.3.2	Besondere Prozessierungsvorgänge	325	14.5.3	Translationselongation	331
			14.5.4	Translationstermination.	333
15	Regulation der Genexpression	334			
15.1	Wann und wo wird ein Gen exprimiert?	334	15.3.4	DNA-bindende Proteine – die Transkriptionsfaktoren	337
	<i>Florian Horn</i>		15.4	Posttranskriptionelle Regulation	339
15.2	Differenzielle Genexpression im Menschen	334	<i>Bettina Otte</i>		
	<i>Florian Horn</i>		15.4.1	Die Stabilität der mRNA	339
15.2.1	Zeit- und ortsabhängige Regulation	334	15.4.2	RNA-Interferenz (RNAi)	339
15.2.2	Ebenen der Regulation in unseren Zellen	334	15.5	Translationale Regulation	340
15.3	Transkriptionelle Regulation	334	<i>Florian Horn</i>		
	<i>Florian Horn</i>		15.6	Die Epigenetik	340
15.3.1	Chromatin und die Transkription	335	<i>Bettina Otte</i>		
15.3.2	DNA-Methylierung	335	15.6.1	Epigenetik in Tumorzellen	340
15.3.3	DNA-Steuerelemente	336			
16	DNA-Vervielfältigung	341			
16.1	So vermehrt sich DNA	341	16.2.3	Die DNA-Polymerasen	343
	<i>Florian Horn</i>		16.2.4	Telomerasen und der Traum von der ewigen Jugend	344
16.2	DNA-Replikation	341			
	<i>Florian Horn</i>				
16.2.1	Replikation auf Chromosomenebene	341			
16.2.2	Replikation auf molekularer Ebene	342			

16.3	PCR: Polymerase-Kettenreaktion	345	16.4	DNA-Sequenzierung	348
	<i>Daniel Koch</i>			<i>Paul Ziegler</i>	
16.3.1	Ablauf der PCR	345	16.4.1	Sequenzierung in der Medizin	349
16.3.2	Besonderheiten	347			
16.3.3	Varianten und Anwendungen	347			
17	Angriffe auf unser Erbgut	350			
	<i>Florian Horn</i>				
17.1	DNA-Schäden und ihre Reparatur	350	17.2	Molekulare Tumorbioogie	354
17.1.1	DNA-Schäden – wie Fehler entstehen können	350	17.2.1	Was ist ein Tumor?	355
17.1.2	Reparaturmechanismen – oder wie der Körper die Fehler wieder ausbügelt	351	17.2.2	Wie ein Tumor entsteht	355
17.1.3	Mögliche Folgen von DNA-Schäden – wenn die Reparatur versagt hat	353	17.2.3	Protoonkogene	356
			17.2.4	Tumorsuppressor-Gene	357
			17.2.5	Andere Faktoren, die Tumoren beim Überleben helfen	358
			17.2.6	Rauchen und Lungenkrebs	358
			17.2.7	Zytostatika	358
18	Genetik der Bakterien und Viren	360			
	<i>Florian Horn</i>				
18.1	Medizinisch relevante Mikroorganismen	360	18.4	Das Humane Immundefizienz-Virus (HIV)	367
18.2	Bakterien	360	18.4.1	Was ist HIV?	367
18.2.1	Was sind Bakterien?	360	18.4.2	Was macht das HI-Virus?	368
18.2.2	Genetik der Bakterien	362	18.4.3	Was bedeutet das für den Menschen?	370
18.2.3	Grundlagen der Antibiotika-Therapie	363	18.4.4	Virustatika	372
18.3	Viren	365	18.5	Viren in der Genterapie	372
18.3.1	Woraus besteht ein Virus?	366	18.5.1	Molekularbiologische Grundlagen	372
18.3.2	Vermehrungszyklus eines Virus	367	18.5.2	Herstellung rekombinanter Viren	374

IV Hormone

19	Die Grundlagen	378			
	<i>Florian Horn</i>				
19.1	Das Informationssystem der Zellen	378	19.3	Die Hormonrezeptoren	379
19.2	Die verschiedenen Botenstoffe	378	19.3.1	Vier verschiedene Rezeptoren	379
19.2.1	Klassische Hormone	378	19.3.2	Die Rezeptorverteilung	381
19.2.2	Gewebshormone	378	19.3.3	Signaltransduktion	381
19.2.3	Mediatoren	378	19.4	Hormone und der Stoffwechsel	382
19.2.4	Interleukine	379	19.4.1	Regulation des Stoffwechsels	382
19.2.5	Neurotransmitter	379			

19.5	Ein wenig Chemie der Hormone	382	19.6	Hormone in unserem Körper	384
19.5.1	Peptidhormone	382	19.6.1	Hormonbildungsorte	384
19.5.2	Steroidhormone	383	19.6.2	Die Nebennieren	385
19.5.3	Aminosäure-Derivate	384	19.6.3	Das Hypothalamus-Hypophysen-System.	386
19.5.4	Eikosanoide und Retinsäure	384		<i>Jan Nassrallah, Laura Nassrallah und Florian Horn</i>	
19.5.5	Hormone im Gleichgewicht.	384			
20	Molekulare Hormonwirkung	388			
	<i>Florian Horn</i>				
20.1	Einleitung	388	20.4.2	Die G-Proteine	390
20.2	Typ-I-Rezeptoren (Enzyme)	388	20.4.3	Die durch G-Proteine aktivierbaren Enzyme	390
20.2.1	Tyrosinkinase	388	20.4.4	Die Adenylatzyklase und cAMP	391
20.2.2	Die Guanylatzyklase	389	20.4.5	Die Phospholipase C	392
20.3	Typ-II-Rezeptoren (Ionenkanäle)	389	20.5	Intrazelluläre Rezeptoren	394
20.3.1	Membranständige Ionenkanäle	389	20.5.1	Aktivierung des Rezeptors	394
20.3.2	Intrazelluläre membranständige Ionenkanäle	389	20.5.2	Interaktion mit der DNA	395
20.4	Typ-III-Rezeptoren (G-Protein-gekoppelt)	390	20.5.3	Hormone mit intrazellulären Rezeptoren	395
20.4.1	Die Rezeptoren	390	20.6	Zytokinrezeptoren	395
				<i>Nadine Schneider und Florian Horn</i>	
21	Energieversorgung	397	20.6.1	Die Janus-Kinasen (JAKs)	395
21.1	Energie für unsere Zellen	397	20.6.2	Die Signaltransduktion	396
	<i>Isabelle Moc und Florian Horn</i>				
21.2	Der Energiestoffwechsel	397	21.4.4	Wege des Glukagons im Körper	407
	<i>Isabelle Moc und Florian Horn</i>		21.4.5	Abbau des Glukagons	407
21.2.1	Die Resorptionsphase	397	21.5	Adrenalin	407
21.2.2	Die Postresorptionsphase	398		<i>Silke Berghold und Florian Horn</i>	
21.2.3	Die Schlüsselenzyme des Stoffwechsels.	398	21.5.1	Biosynthese des Adrenalins	408
21.3	Insulin	399	21.5.2	Molekulare Wirkungen von Adrenalin.	409
	<i>Isabelle Moc und Florian Horn</i>		21.5.3	Physiologische Wirkungen von Adrenalin.	409
21.3.1	Biosynthese des Insulins	399	21.5.4	Steuerung der Adrenalinsekretion	411
21.3.2	Molekulare Wirkungen von Insulin	401	21.5.5	Wege des Adrenalins im Körper	411
21.3.3	Physiologische Wirkungen von Insulin	402	21.5.6	Abbau des Adrenalins	412
21.3.4	Steuerung der Insulinsekretion	403	21.6	Glukokortikoide	413
21.3.5	Wege des Insulins im Körper.	404		<i>Florian Horn</i>	
21.3.6	Abbau des Insulins	404	21.6.1	Biosynthese der Glukokortikoide	413
21.4	Glukagon	406	21.6.2	Molekulare Wirkungen der Glukokortikoide	413
	<i>Isabelle Moc und Florian Horn</i>		21.6.3	Physiologische Wirkungen der Glukokortikoide	414
21.4.1	Biosynthese des Glukagons	406	21.6.4	Steuerung der Glukokortikoidsekretion.	416
21.4.2	Molekulare und physiologische Wirkungen	406	21.6.5	Abbau der Glukokortikoide	417
21.4.3	Steuerung der Glukagonsekretion	407	21.6.6	Regelkreis der Glukokortikoide	417
			21.6.7	Proopiomelanokortin (POMC)	418
			21.6.8	Wege der Glukokortikoide im Körper	418

21.7	Schilddrüsenhormone	420	21.7.3	Abbau der Schilddrüsenhormone	424
	<i>Silke Berghold und Florian Horn</i>		21.7.4	Regelkreis der Schilddrüsenhormone	425
21.7.1	Biosynthese der Schilddrüsenhormone ...	420	21.7.5	Wege der Schilddrüsenhormone im Körper	425
21.7.2	Molekulare und physiologische Wirkungen	423			
22	Gastrointestinale Hormone	427			
	<i>Florian Horn</i>				
22.1	Ein Zusammenspiel aus hormoneller und nervaler Regulation	427	22.3	Regulation der Pankreas- und Gallensekretion	429
22.2	Regulation der Magensaftmenge	427	22.3.1	Sekretin	429
22.2.1	Gastrin	427	22.3.2	Cholezystokinin	429
22.2.2	Histamin	428	22.3.3	GIP (Glukose-induziertes insulinotropes Polypeptid)	430
22.2.3	Somatostatin	428	22.4	Sonstige intestinale Hormone	430
22.2.4	VIP (Vasoaktives intestinales Peptid)	429			
23	Wasser, Elektrolyte und Mineralstoffe	431			
	<i>Florian Horn</i>				
23.1	Natrium, Kalium und Wasser	431	23.2	Calcium und Phosphat	439
23.1.1	Der Wasser- und Elektrolythaushalt	431	23.2.1	Der Calcium- und Phosphathaushalt	439
23.1.2	Atriopeptin	432	23.2.2	Parathormon	440
23.1.3	Angiotensin II und das RAAS	433	23.2.3	Calcitriol	442
23.1.4	Aldosteron	435	23.2.4	Calcitonin	445
23.1.5	Adiuretin	437			
24	Wachstum und Fortpflanzung	447			
24.1	Einleitung	447	24.4.3	Regelkreis der Androgene – die Gonadotropine	452
	<i>Christian Grillhösl</i>		24.4.4	Wege der Androgene im Körper	452
24.2	Somatotropin	447	24.4.5	Abbau der Androgene	452
	<i>Christian Grillhösl</i>		24.5	Östrogene und Gestagene – die weiblichen Sexualhormone	452
24.2.1	Biosynthese des Somatotropins	448		<i>Christian Grillhösl</i>	
24.2.2	Molekulare und physiologische Wirkungen	448	24.5.1	Biosynthese von Östrogenen und Gestagenen	453
24.2.3	Regelkreis des Somatotropins	449	24.5.2	Molekulare und physiologische Wirkungen	453
24.2.4	Somatostatin	449	24.5.3	Regelkreis der Östrogene und Gestagene – die Gonadotropine	454
24.2.5	Wege im Körper	449	24.5.4	Wege der Östrogene und Gestagene im Körper	455
24.2.6	Abbau von Somatotropin und Somatomedinen	449	24.5.5	Abbau der Östrogene und Gestagene	455
24.3	Schilddrüsenhormone	450	24.5.6	Der weibliche Zyklus	455
	<i>Christian Grillhösl</i>		24.6	Prolaktin	457
24.4	Androgene – die männlichen Sexualhormone	450		<i>Christian Grillhösl</i>	
	<i>Christian Grillhösl</i>		24.6.1	Biosynthese des Prolaktins	457
24.4.1	Biosynthese der Androgene	450			
24.4.2	Molekulare und physiologische Wirkungen	451			

24.6.2	Molekulare und physiologische Wirkungen	457	24.7.2	Molekulare und physiologische Wirkungen	458
24.6.3	Wege des Prolaktins im Körper	458	24.7.3	Wege des Oxytocins im Körper	459
24.6.4	Abbau des Prolaktins	458	24.7.4	Abbau des Oxytocins	459
			24.7.5	Oxytocin in der Evolution	459
24.7	Oxytocin	458			
	<i>Florian Horn</i>				
24.7.1	Biosynthese des Oxytocins	458			
25	Mediatoren	460			
	<i>Franziska Blaeschke</i>				
25.1	Biochemische Botenstoffe	460	25.4.2	Histamin-Rezeptoren	469
25.2	Eikosanoide	460	25.4.3	Wirkungen des Histamins	469
25.2.1	Prostaglandine und Thromboxane	461	25.4.4	Sekretionsreiz für die Ausschüttung von Histamin	470
25.2.2	Leukotriene	466	25.4.5	Abbau von Histamin	471
25.3	Stickstoffmonoxid (NO)	467	25.5	Kinine	471
25.3.1	Biosynthese des NO	467	25.5.1	Biosynthese der Kinine	471
25.3.2	Wirkungen des Stickstoffmonoxids	468	25.5.2	Kinin-Rezeptoren	472
25.3.3	„Abbau“ des NO	469	25.5.3	Wirkungen der Kinine	472
25.4	Histamin	469	25.5.4	Sekretionsreiz für die Kinine	472
25.4.1	Biosynthese des Histamins	469	25.5.5	Abbau der Kinine	472
26	Neurotransmitter	473			
	<i>Florian Horn</i>				
26.1	Die Botenstoffe der Nervenzellen	473	26.4	Hemmende Neurotransmitter	477
26.2	Grundlagen der Neurotransmission	473	26.4.1	Glycin	477
26.2.1	Die Gemeinsamkeiten der Neurotransmitter	473	26.4.2	GABA	477
26.2.2	Die Rezeptoren	474	26.5	Komplex wirkende Neurotransmitter	478
26.2.3	Die Synapsen	474	26.5.1	Noradrenalin	478
26.3	Erregende Neurotransmitter	474	26.5.2	Dopamin	479
26.3.1	Acetylcholin	474	26.5.3	Serotonin	480
26.3.2	Glutamat	476	26.5.4	Endogene Opioide	481

V Von der Zelle zum Organismus

27	Zellbiologie	484			
	<i>Isabelle Moc und Florian Horn</i>				
27.1	Das Leben der kleinsten funktionellen Einheit	484	27.3	Die Plasmamembran	484
27.2	Die Zellorganellen	484	27.3.1	Aufbau der Plasmamembran	484
27.2.1	Zytoplasma und Zytosol	484	27.3.2	Aufgaben der Plasmamembran	486
27.2.2	Die Organellen	484	27.3.3	Herkunft der Membranen	487

27.4	Der Stofftransport	487	27.9	Das Endoplasmatische Retikulum	498
27.4.1	Ionen in unseren Zellen	487	27.9.1	Das glatte ER	498
27.4.2	Passiver Transport	487	27.9.2	Das raue ER	499
27.4.3	Aktiver Transport	488	27.9.3	Herkunft des ER	499
27.4.4	Transportproteine	489			
27.4.5	Zytosevorgänge	489	27.10	Der Golgi-Apparat	499
27.5	Das Zytoskelett	489	27.10.1	Aufbau des Golgi-Apparates	499
27.5.1	Aktinfilamente	490	27.10.2	Funktion des Golgi-Apparates	499
27.5.2	Intermediärfilamente	490	27.10.3	Wie entsteht der Golgi-Apparat?	500
27.5.3	Mikrotubuli	492	27.11	Die Lysosomen	500
27.6	Der Zellkern	494	27.11.1	Aufbau der Lysosomen	500
27.6.1	Aufbau des Zellkerns	494	27.11.2	Funktionen der Lysosomen	500
27.6.2	Aufgaben des Zellkerns	495	27.11.3	Wo kommen die Lysosomen her?	501
27.6.3	Der Nukleolus	495	27.12	Die Peroxisomen	501
27.6.4	Vermehrung des Zellkerns – die Mitose ...	495	27.12.1	Aufbau der Peroxisomen	501
27.7	Die Mitochondrien	495	27.12.2	Aufgabe der Peroxisomen	501
27.7.1	Aufbau der Mitochondrien	496	27.12.3	Wie vermehren sich Peroxisomen?	501
27.7.2	Aufgaben der Mitochondrien	496	27.13	Zellverbindungen	502
27.7.3	Die Endosymbiontentheorie	497	<i>Daniel Koch</i>		
27.7.4	Vermehrung der Mitochondrien	497	27.13.1	Zelladhäsionsmoleküle	502
27.8	Die Ribosomen	497	27.13.2	Zellkontakte	504
27.8.1	Aufbau der Ribosomen	497			
27.8.2	Funktion der Ribosomen	498			
27.8.3	Biosynthese der Ribosomen	498			
28	Extrazellulärschubstanz – was zwischen den Zellen ist	507			
	<i>Isabelle Moc und Florian Horn</i>				
28.1	Makromoleküle im Extrazellulärraum .	507	28.5	Die Glykoproteine	511
28.2	Die Bindegewebszellen	507	28.5.1	Fibronektin	511
28.3	Die Faserproteine	507	28.5.2	Laminin	512
28.3.1	Die Kollagene	507	28.6	Matrixmetalloproteinasen (MMPs) ...	512
28.3.2	Das Elastin	509	28.7	Das Vitamin C	512
28.4	Die Glykosaminoglykane	510	28.7.1	Aufnahme von Vitamin C	512
28.4.1	Die Hyaluronsäure	511	28.7.2	Radikalfänger Vitamin C	512
28.4.2	Die anderen Glykosaminoglykane	511	28.7.3	Die Vitamin-C-abhängigen Reaktionen ...	513
			28.7.4	Bedarf an Vitamin C	513

29	Die Stoffaufnahme	514			
	<i>Florian Horn</i>				
29.1	Ab- und Umbau der Nährstoffe	514	29.4	Aufnahme der einzelnen Nahrungsbestandteile	525
29.2	Ernährung	514	29.4.1	Kohlenhydrate	525
29.2.1	Wie viel Nahrung müssen wir zu uns nehmen?	514	29.4.2	Lipide	527
29.2.2	Besonderheiten der Proteine	514	29.4.3	Proteine	529
29.2.3	Der Energiegehalt der Nahrung	515	29.4.4	Nukleinsäuren	529
29.2.4	Die essenziellen Nährstoffe	516	29.4.5	Wasser	529
29.3	Unser Verdauungstrakt	516	29.4.6	Vitamine	530
29.3.1	Teller, Mund und Speiseröhre	516	29.4.7	Spurenelemente	531
29.3.2	Der Magen	518	29.4.8	Mengenelemente	532
29.3.3	Das Duodenum und seine Drüsen	521	29.4.9	Wie die Nahrungsstoffe in die Peripherie gelangen	532
29.3.4	Die weiteren Darmabschnitte	524			
30	Das Blut	533			
30.1	Aufgaben des Blutes	533	30.5	Das Hämoglobin	553
	<i>Silke Berghold und Florian Horn</i>			<i>Silke Berghold und Florian Horn</i>	
30.1.1	Transportfunktionen	533	30.5.1	Das Hämoglobin-Molekül	553
30.1.2	Die Homöostase	533	30.5.2	Hämoglobin-Biosynthese	555
30.1.3	Die Blutgerinnung	534	30.5.3	Der Sauerstofftransport	558
30.1.4	Die Immunabwehr	534	30.5.4	Hämoglobin-Abbau	561
30.2	Das Knochenmark	534	30.5.5	Unbrauchbare Hämoglobinformen	564
	<i>Florian Horn</i>		30.6	Der Eisenstoffwechsel	565
30.2.1	Aufbau des Knochenmarks	534		<i>Florian Horn</i>	
30.2.2	Die Stromazellen des Knochenmarks	534	30.6.1	Wozu brauchen wir überhaupt Eisen?	565
30.2.3	Stammzellen des Knochenmarks	535	30.6.2	Die Eisenspeicher unseres Organismus	565
30.3	Die Erythrozyten	535	30.6.3	Die Resorption von Eisen im Dünndarm	566
	<i>Silke Berghold und Florian Horn</i>		30.6.4	Transport von Eisen im Blut	567
30.3.1	Die Erythropoese	536	30.6.5	Der Eisenumsatz unseres Körpers	568
30.3.2	Das Erythropoetin	538	30.6.6	Die Eisenausscheidung	568
30.3.3	Vitamin B ₁₂ (Cobalamin)	539	30.6.7	Vorkommen von Eisen in der Nahrung	568
30.3.4	Stoffwechsel der Erythrozyten	542	30.6.8	Regulation der Eisenaufnahme	569
30.3.5	Glutathion – Notarzt der Erythrozyten	543	30.6.9	Eisen und die Infektion	569
30.3.6	Abbau der Erythrozyten	546	30.6.10	Die Eisenmangelanämie	570
30.3.7	Das Vitamin E (Tocopherol)	546	30.6.11	Eisenüberladung unseres Organismus	571
30.4	Blutgruppen und Transfusionsbiologie	547	30.7	Das Blutplasma	571
	<i>Florian Horn</i>			<i>Florian Horn</i>	
30.4.1	Die Rolle des Immunsystems	548	30.7.1	Zellen, Plasma und Serum	571
30.4.2	Das ABO-System	549	30.7.2	Die Plasmaproteine	572
30.4.3	Das Rhesus-System	551	30.7.3	Die Fraktionen der Elektrophorese	574
30.4.4	Das Kell-System	553	30.7.4	Die anderen Plasmaproteine	578
30.4.5	Die Bluttransfusion	553	30.7.5	Der Blutzuckerspiegel	579

30.8	Die Hämostase	580	30.8.4	Die Thrombozyten.	582
	<i>Florian Horn</i>		30.8.5	Das plasmatische Gerinnungssystem.	586
30.8.1	Ein kurzer Überblick scheint von Nöten ..	580	30.8.6	Regulation der Hämostase	589
30.8.2	Die vaskuläre Reaktion	580	30.8.7	Das fibrinolytische System.	592
30.8.3	Die Endothelzellen	580	30.8.8	Das Vitamin K	594
31	Die Nieren				597
	<i>Paul Ziegler</i>				
31.1	Überblick	597	31.6	Die endokrinen Aufgaben der Niere ...	605
31.1.1	Aufbau der Niere	597	31.6.1	Erythropoetin	605
31.1.2	Harnbildung	598	31.6.2	Renin-Angiotensin-Aldosteron-System (RAAS)	606
31.2	Das Niereninterstitium und die Gefäße	598	31.6.3	Calcitriol	606
31.3	Der Ultrafilter der Glomeruli	599	31.7	Regulation der Nierenfunktion	606
31.4	Das Tubulussystem	600	31.7.1	Bayliss-Effekt	606
31.4.1	Der proximale Tubulus	600	31.7.2	Tubuloglomeruläre Rückkopplung	607
31.4.2	Der dünne Teil der Henle-Schleife	601	31.7.3	Renin-Angiotensin-Aldosteron-System ...	607
31.4.3	Der dicke aufsteigende Teil der Henle- Schleife	602	31.7.4	Feineinstellung der Urinkonzentration ...	607
31.4.4	Der juxtaglomeruläre Apparat	603	31.8	Der Urin	608
31.4.5	Der distale Tubulus	603	31.8.1	Zusammensetzung des Urins.	608
31.4.6	Das Sammelrohr	603	31.9	Die Nieren im Säure-Basen-Haushalt ..	609
31.5	Energieversorgung der Niere	605	31.9.1	Bicarbonat-Resorption	609
			31.9.2	Ammonium-Synthese	609
			31.9.3	Die Glukoneogenese der Niere	610
			31.9.4	Protonen-Ausscheidung im Sammelrohr ..	610
32	Der Säure-Basen-Haushalt	611			
	<i>Paul Ziegler</i>				
32.1	Einleitung	611	32.3.2	Aufrechterhaltung des pH-Werts	616
32.2	Chemie der Säuren und Basen	611	32.3.3	Nicht-Bicarbonat-Puffer	616
32.2.1	Der pH-Wert	613	32.3.4	Transport von CO ₂ im Blut	616
32.2.2	Puffer	614	32.4	Protonenbilanz des Körpers	618
32.3	Die Puffersysteme des Körpers	614	32.5	Messung des Säure-Basen-Status	618
32.3.1	Kohlensäure-Bicarbonat-Puffersystem ...	615			
33	Das Immunsystem	621			
	<i>Nadine Schneider und Bettina Otte</i>				
33.1	Das körpereigene Abwehrsystem	621	33.2	Die an der Abwehr beteiligten lymphatischen Organe	621
			33.2.1	Primär lymphatische Organe.	621
			33.2.2	Sekundär lymphatische Organe	622

33.3	Die humoralen Bestandteile des Immunsystems	623	33.6	Die erworbene oder spezifische Immunreaktion	640
33.3.1	Epithelien	623	33.6.1	Was ist ein Antigen?	640
33.3.2	Lysozym und Laktoferrin	623	33.6.2	Klonale Selektion	640
33.3.3	Mechanische Vorbeugung von Infektionen	623	33.6.3	Die Antigenrezeptoren der Lymphozyten .	640
33.3.4	Die Standortflora	623	33.6.4	Die MHC-Moleküle	643
33.3.5	Das Komplementsystem	624	33.6.5	Gedächtnisreaktion	645
33.3.6	Zytokine	626	33.7	Immunologische Ausnahme-situationen	646
33.3.7	Antikörper	629	33.7.1	Allergie	646
33.3.8	Akute-Phase-Proteine	633	33.7.2	Autoimmunerkrankungen	647
33.4	Die zellulären Bestandteile der Abwehr	634	33.7.3	Tumorerkrankungen	647
33.4.1	Myeloische Reihe	635	33.8	Wichtige immunologische Methoden .	647
33.4.2	Lymphatische Reihe	637	33.8.1	Durchflusszytometrie	647
33.5	Die angeborene oder unspezifische Immunreaktion	638		<i>Bettina Otte</i>	
33.5.1	Mustererkennungsrezeptoren	638	33.8.2	ELISA	647
33.5.2	Entzündungsreaktion	639		<i>Bettina Otte</i>	
33.5.3	Dendritische Zellen als Bindeglied zwischen angeborener und erworbener Immunabwehr	639	33.8.3	SDS-PAGE und Westernblot	648
				<i>Franziska Blaeschke</i>	
34	Die Leber	649			
	<i>Isabelle Moc und Florian Horn</i>				
34.1	Das zentrale Organ des Stoffwechsels .	649	34.5	Die Leber als Produktionsfabrik	659
34.2	Anatomie und Histologie	649	34.5.1	Produktion der Plasmaproteine	659
34.2.1	Das Leberläppchen	649	34.5.2	Cholesterin-Biosynthese	660
34.2.2	Die Blutversorgung	650	34.5.3	Produktion von Gallenflüssigkeit	660
34.2.3	Was passiert wo in der Leber?	650	34.5.4	Herstellung von Hormonen	664
34.2.4	Die Zellen der Leber	651	34.5.5	Biosynthese von Kreatin	664
34.3	Die Leber und der Energiestoffwechsel	651	34.6	Speicher und Abwehr	665
34.3.1	Die Resorptionsphase	651	34.6.1	Die Leber als Speicherorgan	665
34.3.2	Die Postresorptionsphase	652	34.6.2	Die Leber und ihre Abwehrfunktion	665
34.3.3	Die Enzymausstattung	653	34.7	Die Leber als Ausscheidungsorgan	665
34.3.4	Was die Leber für sich selbst tut	654	34.7.1	Die Biotransformation	665
34.3.5	Was die Leber für den ganzen Menschen tut	654	34.7.2	Ausscheidung über die Galle	671
			34.7.3	Der Harnstoffzyklus	671
34.4	Der Alkoholstoffwechsel	656	34.8	Leberfunktionsprüfungen	671
34.4.1	Was ist Alkohol?	656	34.8.1	Biosyntheseleistungen	671
34.4.2	Die Alkoholaufnahme	656	34.8.2	Ausscheidungsleistungen	672
34.4.3	Der Alkoholmetabolismus	656	34.8.3	Zellständige Enzyme	672
34.4.4	Kurzfristige Wirkungen des Alkohols	657			
34.4.5	Langfristige Wirkungen des Alkohols	657			
34.4.6	Der Alkoholtest	658			

35	Die Muskulatur	675			
	<i>Michael Pritsch und Florian Horn</i>				
35.1	Unermüdlich im Einsatz	675	35.3.3	Kontraktion ist Chefsache	679
35.2	Aufbau der Muskulatur	675	35.3.4	Regeneration des Muskelgewebes	680
35.2.1	Der Skelettmuskel	675	35.4	Stoffwechsel der Skelettmuskulatur ...	680
35.2.2	Der Herzmuskel	675	35.4.1	Anaerobe Energiegewinnung	681
35.2.3	Die glatte Muskulatur	676	35.4.2	Aerobe (oxidative) Energiegewinnung. ...	683
35.2.4	Die Proteine des Sarkomers	676	35.4.3	Skelettmuskeltypen	683
35.3	Der Kontraktionsmechanismus	677	35.5	Stoffwechsel der Herzmuskulatur	684
35.3.1	Die Gleitfilament-Theorie	677	35.6	Myokine	684
35.3.2	Die Kontrolle der Kontraktion	678			

Anhang

36	Literaturverzeichnis	688
	Sachverzeichnis	690