

Inhaltsverzeichnis

I Grundlagen der Chemie

1	Allgemeine Chemie	26		
	<i>Florian Horn</i>			
1.1	Die chemische Bindung	26	1.2.2	Wichtige schwefelhaltige funktionelle Gruppen
1.1.1	Freie Elektronen und freie Elektronen-paare	26	1.2.3	Wichtige stickstoffhaltige funktionelle Gruppen
1.1.2	Die Oktettregel	27	1.3	Reaktionen einer menschlichen Zelle ..
1.1.3	Die Elektronegativität	29	1.3.1	Die Grundreaktionstypen
1.1.4	Starke Bindungen – Hauptvalenzen	29	1.3.2	Die Rolle der Säure-Basen-Reaktionen ...
1.1.5	Koordinative Bindungen	30	1.4	Isomeren – einmal ganz in Ruhe
1.1.6	Schwache Bindungen – Nebervalenzen ..	31	1.4.1	Konstitutionsisomerie
1.2	Funktionelle Gruppen und ihre Reaktionen	32	1.4.2	Stereoisomerie
1.2.1	Wichtige sauerstoffhaltige funktionelle Gruppen	33	1.5	Mesomerie
2	Kohlenhydrate	42		
	<i>Florian Horn</i>			
2.1	Was sind Kohlenhydrate?	42	2.3	Disaccharide
2.2	Monosaccharide	43	2.3.1	Maltose und Isomaltose – Malzzucker ...
2.2.1	Hexosen – die 6er-Zucker	43	2.3.2	Laktose – Milchzucker
2.2.2	Pentosen – die 5er-Zucker	46	2.3.3	Saccharose – Haushaltszucker
2.2.3	Reaktionen der Monosaccharide	46	2.4	Oligosaccharide
2.2.4	Nachweismethoden	47	2.5	Polysaccharide
			2.5.1	Homoglykane
			2.5.2	Heteroglykane
3	Lipide	52		
	<i>Florian Horn</i>			
3.1	Chemie und Systematik der Lipide	52	3.3	Glycerin-Derivate
3.1.1	Amphiphile Lipide	52	3.3.1	Triacylglycerine (TAG) – das klassische Fett
3.1.2	Systematik der Lipide	53	3.3.2	Glycerophosphatide – Membranfett
3.2	Fettsäuren	53	3.4	Sphingosin-Derivate
3.2.1	Gesättigte und ungesättigte Fettsäuren ...	54	3.4.1	Sphingosinphosphatide
3.2.2	Geradzahlige und ungeradzahlige Fettsäuren	55	3.4.2	Glykolipide
3.2.3	Essenzielle Fettsäuren	55	3.5	Isopren-Derivate
			3.5.1	Was ist eigentlich Isopren?

4	Aminosäuren und Proteine	61			
	<i>Isabelle Nath* und Florian Horn</i>				
4.1	Aminosäuren	61	4.2	Peptide und Proteine	68
4.1.1	Die 21 proteinogenen Aminosäuren.....	61	4.2.1	Die Peptidbindung	68
4.1.2	Nicht proteinogene Aminosäuren.....	65	4.2.2	Auf- und Abbau der Proteine.....	69
4.1.3	Eigenschaften der Aminosäuren.....	65	4.2.3	Benennung der Peptide	69
4.1.4	Reaktionen der Aminosäuren	67	4.2.4	Räumliche Anordnung von Proteinen	69
			4.2.5	Denaturieren und Fällern	71
			4.2.6	Auftrennung von Proteinen – die Elektrophorese	72
			4.2.7	Funktionen der Proteine im Körper	72
			4.2.8	Prionen	73
5	Nukleotide und Nukleinsäuren	74			
	<i>Florian Horn</i>				
5.1	Chemie der Nukleotide	74	5.2	Nukleinsäuren	77
5.1.1	Die Basen	74	5.2.1	Ribose und Phosphat – für den Zusammenhalt.....	77
5.1.2	Nukleoside (Base + Zucker)	75	5.2.2	Die Basen – Träger der Information	78
5.1.3	Nukleotide (Nukleosid + Phosphat).....	76	5.2.3	Die DNA-Doppelhelix	79
5.1.4	Weitere Funktionen der Nukleotide.....	76			
II Energie					
6	Enzyme	86			
	<i>Marco Armbruster*</i>				
6.1	Energetik einer chemischen Reaktion .	86	6.3	Kinetik einer chemischen Reaktion	93
6.1.1	Thermodynamische Systeme und Zustände.....	86	6.3.1	Reaktionsordnungen.....	94
6.1.2	Thermodynamische Potenziale	87	6.3.2	Michaelis-Menten-Kinetik.....	95
6.1.3	Entropie S.....	87	6.4	Enzymklassen	96
6.1.4	Enthalpie H.....	87	6.4.1	Die Grundtypen von Reaktionen.....	96
6.1.5	Freie Enthalpie G.....	88	6.4.2	Oxidoreduktasen (Klasse I)	96
6.1.6	Theorie des Übergangszustandes	89	6.4.3	Transferasen (Klasse II).....	97
6.1.7	Reaktionsmodell	90	6.4.4	Hydrolasen (Klasse III)	97
6.2	Funktionsweise und Aufbau von Enzymen	90	6.4.5	Lyasen (Klasse IV)	98
6.2.1	Funktionsprinzip.....	90	6.4.6	Isomerasen (Klasse V).....	98
6.2.2	Aktives Zentrum	91	6.4.7	Ligasen (Klasse VI).....	98
6.2.3	Kovalente Katalyse	91	6.5	Enzymregulation	99
6.2.4	Allgemeine Säure-Base-Katalyse.....	92	6.5.1	Enzymhemmung und Enzymaktivierung .	99
6.2.5	Räumliche Annäherung	92	6.5.2	Kovalente Modifikation und Interkonvertierung	101
6.2.6	Cofaktoren	92	6.5.3	Zymogene.....	102
6.2.7	Multifunktionale Enzyme	93	6.5.4	Isoenzyme	102
			6.5.5	Katalytische Potenz.....	103

*Mitarbeiter früherer Auflagen, von deren ursprünglichen Beiträgen in der Neuauflage noch wesentliche Bestandteile enthalten sind.

6.6	Evolution der Enzyme	104	6.6.3	Wie evolvieren Enzyme?	104
	<i>Florian Horn</i>		6.6.4	Was kann sich verändern?	105
6.6.1	Ursprung der nicht enzymatischen Katalyse	104	6.6.5	Promiskuitive Enzyme	105
6.6.2	Enzyme ‚erobern‘ die Welt	104	6.6.6	Gerichtete Evolution	106
7	Stoffwechsel der Kohlenhydrate	107			
	<i>Florian Horn</i>				
7.1	Überblick	107	7.5.3	Substrate des Zuckeraufbaus	133
7.1.1	Reaktionswege der Kohlenhydrate	107	7.5.4	Die Glukoneogenese und ihre 3 Kompartimente in der Zelle	135
7.1.2	Die Wege des Glukose-6-Phosphats	108	7.5.5	Energiebilanz – oder was kostet Glukose?	136
7.1.3	Versorgung unserer Zellen mit Glukose	109	7.5.6	Regulation der Glukoneogenese	136
7.2	Die Glykolyse	110	7.6	Das Vitamin Biotin	137
7.2.1	Vorbereitungsphase – von Glukose zu Glycerol-3-Phosphat	112	7.6.1	Chemie des Biotins	137
7.2.2	Die Phase der Energieerzeugung – von Glycerol-3-Phosphat zu Pyruvat	114	7.6.2	Die Aufnahme von Biotin	137
7.2.3	Wie NADH/H ⁺ zur Atmungskette gelangt	116	7.6.3	Molekularer Mechanismus	137
7.2.4	Regulation der Glykolyse oder die Frage nach der Geschwindigkeit	116	7.6.4	Aufgaben von Biotin	138
			7.6.5	Biotin und Avidin	138
7.3	Schicksal des Pyruvats: PDH oder LDH	119	7.7	Der Glykogen-Stoffwechsel	138
7.3.1	Aerober Abbau – Pyruvat-Dehydrogenase	120	7.7.1	Welche Organe besitzen Glykogen-Vorräte?	140
7.3.2	Vitamin B ₁ (Thiamin)	122	7.7.2	Glykogen-Struktur	140
7.3.3	Anaerober Abbau – Laktat-Dehydrogenase	122	7.7.3	Glykogen-Biosynthese	140
7.3.4	Energiegewinn mit und ohne Sauerstoff – ein Ausblick	124	7.7.4	Glykogen-Abbau	143
			7.7.5	Regulation des Glykogen-Stoffwechsels	144
7.4	Der Pentosephosphatweg	125	7.8	Andere Monosaccharide	146
7.4.1	Teil 1 – oxidativ und irreversibel	126	7.8.1	Fruktose	146
7.4.2	Teil 2 – nicht-oxidativ und reversibel	127	7.8.2	Galaktose	148
7.4.3	Aufgaben des NADPH/H ⁺	127	7.8.3	Mannose	149
7.4.4	Aufgaben der Ribose	128	7.8.4	Aminozucker	150
7.4.5	Regulation des Pentosephosphatweges	128	7.9	Das Disaccharid Laktose und die Evolution der Brustdrüse	151
7.5	Die Glukoneogenese	129	7.9.1	Die Evolution der Brustdrüse	152
7.5.1	Welche Organe betreiben Glukoneogenese?	131	7.9.2	Biosynthese von Milchzucker (Laktose)	153
7.5.2	Umgehung der 3 irreversiblen Reaktionen der Glykolyse	131	7.9.3	Wasser	154
			7.9.4	Milchproteine und Milchfett-Kügelchen	154
			7.9.5	Laktose nach der Säuglingsphase	155

8	Stoffwechsel der Lipide	157		
	<i>Florian Horn</i>			
8.1	Einleitung	157	8.6	Cholesterin
8.1.1	Überblick über die stoffwechselrelevanten Lipide	157	8.6.1	Cholesterin-Biosynthese
8.1.2	Was können unsere Zellen mit Lipiden anfangen?	158	8.6.2	Veresterung von Cholesterin
8.1.3	Vom Teller bis in unsere Zellen	160	8.6.3	Verwendung von Cholesterin
8.1.4	Regulation des Lipidstoffwechsels	161	8.7	Der Lipoproteinstoffwechsel
8.2	Fettsäureabbau	161		<i>Simone Harrasser*</i>
8.2.1	Aktivierung der Fettsäuren	163	8.7.1	Überblick
8.2.2	Transport der Fettsäuren ins Mitochondrium	163	8.7.2	Was transportieren Lipoproteine?
8.2.3	Die β -Oxidation	164	8.7.3	Die Apoproteine
8.2.4	Abbau anderer Fettsäuren	166	8.7.4	Weg der Nahrungsfette – die Chylomikronen
8.2.5	Regulation der β -Oxidation	168	8.7.5	Die Verteilung der Fette – die VLDL
8.2.6	Fettsäure-Oxidation in den Peroxisomen	168	8.7.6	Das Cholesterinreservoir LDL
8.3	Fettsäure-Biosynthese	168	8.7.7	Der reverse Cholesterintransport – das HDL
8.3.1	Biosynthese der Palmitinsäure	170	8.8	Noch ein paar andere Lipide
8.3.2	Biosynthese längerer Fettsäuren	175	8.8.1	Phospholipide
8.3.3	Biosynthese ungesättigter Fettsäuren	175	8.8.2	Glykolipide
8.3.4	Regulation der Fettsäure-Biosynthese	175	8.9	Vitamin A
8.4	Triacylglycerine (TAGs)	176	8.9.1	Was ist Vitamin A?
8.4.1	Lipogenese – die TAG-Biosynthese	178	8.9.2	Stoffwechsel des Vitamins A
8.4.2	Lipolyse – der TAG-Abbau	180	8.9.3	Direkte Wirkungen des β -Carotins
8.4.3	Regulation des TAG-Stoffwechsels	181	8.9.4	Retinsäure und Zellwachstum
8.5	Ketonkörper	181	8.9.5	Retinal und der Sehvorgang
8.5.1	Biosynthese der Ketonkörper	183	8.9.6	Zu viel und zu wenig Vitamin A
8.5.2	Abbau der Ketonkörper	184	8.10	Das Melatonin
8.5.3	Zu viele Ketonkörper sind gar nicht gut	185	8.10.1	Biosynthese des Melatonins
			8.10.2	Molekulare und physiologische Wirkungen
			8.10.3	Wege des Melatonins im Körper und dessen Abbau
9	Stoffwechsel der Proteine und Aminosäuren	207		
	<i>Florian Horn</i>			
9.1	Die Proteinbiosynthese	207	9.2.2	Glykosylierungen
9.1.1	Translation	207	9.2.3	Weitere posttranslationale Modifikationsmöglichkeiten
9.1.2	Sortierung von Proteinen	207	9.3	Der Proteinabbau
9.2	Posttranslationale Prozessierung	209	9.3.1	Proteasomen und Ubiquitin
9.2.1	Herstellung der nativen Proteinform (Proteinfaltung)	209	9.3.2	Lysosomaler Abbau

9.4	Strategien des Aminosäurestoffwechsels	214	9.8.4	Abbau von Phenylalanin und Tyrosin	224
9.4.1	Die wichtigsten Aminosäuren und deren Verwandte	214	9.8.5	Sammelbecken Pyruvat	225
9.4.2	Wie reagieren Aminosäuren?	214	9.8.6	Der Rest und der große Überblick	225
9.5	Vitamin B₆	217	9.9	Tetrahydrobiopterin (BH₄)	226
9.6	Die Rolle der verschiedenen Organe ...	218	9.10	Der Harnstoffzyklus	227
9.6.1	Die Zelle am kleinen Zeh	218	9.10.1	Die Stickstoffentsorgung	228
9.6.2	Die Muskulatur und Aminosäuren	218	9.10.2	Herkunft der beiden Stickstoffe	229
9.6.3	Die Leber und Aminosäuren	219	9.10.3	Die Schrittmacherreaktion	229
9.7	Biosynthese der Aminosäuren	220	9.10.4	Die Harnstoffbildung	230
9.7.1	Einfache Biosynthese aus den α-Ketosäuren	220	9.10.5	Bilanz der Harnstoff-Biosynthese	231
9.7.2	Biosynthese der 2 Amide Glutamin und Asparagin	221	9.10.6	Regulation der Harnstoff-Biosynthese ...	231
9.7.3	Biosynthese von Prolin, Serin und Glycin .	222	9.10.7	Glutamin-Biosynthese in der Leber	231
9.7.4	Biosynthese der nicht ganz essenziellen Aminosäuren	222	9.10.8	Weitere Stoffwechselleistungen des Harnstoffzyklus	231
9.7.5	Essenzielle Aminosäuren	223	9.11	Aminosäuren als Gruppenspender	233
9.8	Abbau von Aminosäuren	223	9.11.1	Glutamin und Aspartat als Amino-Spender	233
9.8.1	Sammelbecken Oxalacetat	224	9.11.2	Cystein und PAPS	233
9.8.2	Sammelbecken α-Ketosäure	224	9.11.3	Methionin und SAM	233
9.8.3	Sammelbecken Succinyl-CoA	224	9.11.4	Homocystein	234
10	Herkunft des ATP	238	9.12	Biogene Amine	236
	<i>Florian Horn</i>		9.12.1	Synthese und Abbau biogener Amine ...	236
10.1	Evolution des Stoffwechsels	238	9.12.2	Einzelne biogene Amine	237
10.1.1	Chemie (noch ohne Leben)	239			
10.1.2	Anfänge ohne Sauerstoff	240			
10.1.3	Sauerstoff erscheint auf der Weltbühne. .	243			
10.1.4	Leben mit Sauerstoff	244			
10.2	Was ist denn jetzt Acetyl-CoA?	245	10.3.5	Regulation des Citratzyklus	255
10.2.1	Wie sieht Acetyl-CoA aus?	245	10.3.6	Zwischenbilanz	255
10.2.2	Wobei entsteht Acetyl-CoA?	245	10.4	Die Reduktionsäquivalente – NADH und seine Kollegen	256
10.2.3	Was kann man mit Acetyl-CoA anfangen?	246	10.4.1	NAD ⁺ und FAD für den katabolen Stoffwechsel	257
10.2.4	Das Vitamin Pantothensäure	247	10.4.2	Das Vitamin Niacin und NADH	257
10.3	Der Citratzyklus	248	10.4.3	Das Vitamin Riboflavin und FADH	259
10.3.1	Worum geht es beim Citratzyklus?	249	10.4.4	NADPH – für den anabolen Stoffwechsel. .	260
10.3.2	Reaktionen des Citratzyklus	249	10.4.5	Wo wir schon dabei sind – die 3 restlichen Redox-Coenzyme	261
10.3.3	Anabole Funktionen – was der Citratzyklus noch alles kann	252	10.4.6	Wo entstehen die Reduktionsäquivalente in der Zelle?	261
10.3.4	Anaplerotische Reaktionen – wie der Citratzyklus wieder aufgefüllt wird	254	10.5	Die Atmungskette	262
			10.5.1	Prinzip der Atmungskette	262
			10.5.2	Chemie und Physik der Atmungskette ...	264
			10.5.3	Elektronen, Protonen und der Wasserstoff	266
			10.5.4	Arbeitsweise der Atmungskette	267

10.5.5	Die ATP-Produktion	271	10.6	Was ist eigentlich ATP?	276
10.5.6	Transporte durch die Mitochondrien- membran	272	10.6.1	Wie sieht ATP aus?	276
10.5.7	Regulation der Atmungskette	273	10.6.2	ATP-Hydrolyse	276
10.5.8	Bilanz des gesamten aeroben Abbaus	273	10.6.3	Andere Phosphatspender	278
10.5.9	AMP und die anderen Nukleotide	274	10.6.4	ΔG^0 und das wahre ΔG	278
10.5.10	Entkoppler und Hemmstoffe der Atmungskette	274	10.6.5	Aufgaben von ATP	278
			10.6.6	Die 4 anderen Nukleotide	279

III Molekularbiologie

11 Genom – Transkriptom – Proteom

Florian Horn

11.1	Das menschliche Genom	282	11.3	Gene und Allele	289
11.1.1	Was steht alles auf der DNA?	282	11.3.1	Was sind Gene?	289
11.1.2	Proteincodierende Gene	283	11.3.2	Grundstruktur eines Gens	290
11.1.3	Nicht proteincodierende RNA-Gene	283	11.3.3	Allele und Polymorphismen	290
11.1.4	„Springende Gene“ (Transposons)	283	11.3.4	Mitochondrien-Gene	290
11.2	Chromatin und Chromosomen	287	11.4	RNA	291
11.2.1	Das Chromatin	287	11.4.1	Das menschliche Transkriptom	291
11.2.2	Histone und Nukleosomen – die erste Stufe	287	11.4.2	Die direkt proteinrelevanten RNAs: mRNA, rRNA, tRNA	292
11.2.3	30-nm-Chromatinfaser – die zweite Stufe	288	11.4.3	Kleine Zellkern- und zytoplasmatische RNAs	292
11.2.4	Chromosomen – die dritte Stufe	288	11.4.4	Regulatorische RNAs	293
11.2.5	Organisation des Chromosomensatzes	289	11.4.5	RNA-Interferenz in Forschung und Klinik .	300

12 Evolution und Medizin

Florian Horn

12.1	Was ist Evolution?	301	12.3	Die Anfänge des Lebens	307
	<i>Jacqueline Moltzau Anderson und Florian Horn</i>		12.3.1	Erdinneres oder die Sonne	307
12.1.1	Die Rolle der Umwelt	302	12.3.2	Erstes Leben	307
12.1.2	Variation und Selektion	302	12.3.3	Bedeutung des Sauerstoffs	307
12.1.3	Sex	302	12.3.4	... und embryonal	308
12.1.4	Energiestoffwechsel und Ressourcen- optimierung	302	12.4	Die Entwicklung des Menschen	308
12.2	Wie funktioniert Evolution?	303	12.4.1	Einführung eines Zeitstrahls in die Medizin	309
12.2.1	Evolutionsfaktoren	303	12.4.2	Das Ediacarium	311
12.2.2	Punktuelle Veränderungen	304	12.4.3	Kiefermäuler und Landgang	313
12.2.3	Genduplikationen	304	12.4.4	Amnioten und ihre Aufspaltung	314
12.2.4	Entstehung neuer Arten	307	12.4.5	Entwicklung der Säugetiere	315
			12.4.6	Der Mensch	317
			12.5	„Evolutionäre Medizin“	318
			12.5.1	Der gesunde Mensch (Vorklinik)	319
			12.5.2	Krankheiten evolutionär betrachtet	319

13	Zellzyklus und Apoptose	320		
	<i>Florian Horn</i>			
13.1	Interphase des Zellzyklus	320	13.3.3	Ablauf eines kontrollierten Zellzyklus 328
13.1.1	Die G ₁ -Phase	321	13.3.4	Inhibitoren der CDKs
13.1.2	Die S-Phase	321	13.3.5	Das RB-Protein – Zentrum der Zellzykluskontrolle
13.1.3	Die G ₂ -Phase	322	13.3.6	Das P53-Protein – Wächter des Genoms ..
13.2	Mitose und Zellteilung	322	13.3.7	Was hat der Zellzyklus mit Tumoren zu tun?
13.2.1	Die Mitose	322	13.4	Apoptose – der programmierte Zelltod 334
13.2.2	Die Zellteilung – Zytokinese	323	13.4.1	Induktion der Apoptose
13.3	Regulation des Zellwachstums	324	13.4.2	Am Apoptosevorgang Beteiligte
13.3.1	Wachstumsfaktoren	324	13.4.3	Zellveränderungen in der Apoptose
13.3.2	Von den Wachstumsfaktoren zur Zellteilung	327		
14	Stoffwechsel der Nucleotide	338		
	<i>Florian Horn</i>			
14.1	Biosynthese der Nucleotide	338	14.2.5	Regeneration der THF in den Zellen
14.1.1	PRPP-Biosynthese	338	14.2.6	Aufgaben der Folsäure
14.1.2	Purinnucleotid-Biosynthese	339	14.2.7	Bedarf an Folsäure
14.1.3	Pyrimidinnucleotid-Biosynthese	342	14.2.8	Weitere C ₁ -Gruppen-Überträger
14.1.4	Desoxyribonucleotid-Biosynthese	344	14.3	Abbau der Nucleotide
14.2	Das Vitamin Folsäure	344	14.3.1	DNasen und RNasen
14.2.1	Chemie der Folsäure	344	14.3.2	Abbau der Purinnucleotide
14.2.2	Der Hydrierungsstatus der Folsäure	345	14.3.3	Harnsäure in der Evolution
14.2.3	Aufnahme und Transport im Blut	345	14.3.4	Abbau der Pyrimidinnucleotide
14.2.4	Der C ₁ -Status der Folsäure	346		
15	Expression proteinogener Gene	352		
15.1	Transkription der proteinrelevanten RNAs	353	15.3	Nucleozytoplasmatischer Transport ... 363
	<i>Florian Horn und Silke Berghold*</i>			<i>Florian Horn</i>
15.1.1	Ablauf der Transkription	353	15.3.1	Der Zellkern und das Zytoplasma
15.1.2	Eigenschaften der proteinrelevanten RNAs	355	15.3.2	Kernimport
15.2	mRNA-Prozessierung	359	15.3.3	Kernexport
	<i>Florian Horn und Silke Berghold*</i>		15.3.4	Transport der mRNA über weitere Strecken
15.2.1	Was bei jeder mRNA prozessiert wird	359	15.4	Translation und die Proteinbiosynthese 365
15.2.2	Besondere Prozessierungsvorgänge	362		<i>Christian Grillhösl* und Florian Horn</i>
			15.4.1	Aktivierung der Aminosäuren
			15.4.2	Translationsinitiation – Zusammenbau der Ribosomen
			15.4.3	Translationselongation
			15.4.4	Translationstermination

16	Regulation der Genexpression	371		
16.1	Differenzielle Genexpression im Menschen	371	16.2.3	Die Epigenetik
	<i>Florian Horn</i>			<i>Bettina Otte*</i>
16.1.1	Zeit- und ortsabhängige Regulation	371	16.2.4	DNA-Steuerelemente
16.1.2	Ebenen der Regulation in unseren Zellen	371	16.2.5	DNA-bindende Proteine – die Transkriptionsfaktoren
16.2	Transkriptionelle Regulation	371	16.3	Posttranskriptionelle Regulation
	<i>Florian Horn</i>			<i>Florian Horn und Bettina Otte*</i>
16.2.1	Chromatin und die Transkription	372	16.4	Translationale Regulation
16.2.2	DNA-Methylierung	372		<i>Florian Horn</i>
17	Replikation, Schäden und Reparatur	377		
	<i>Florian Horn</i>			
17.1	DNA-Replikation	377	17.3	DNA-Schäden und ihre Reparatur
17.1.1	Replikation auf Chromosomenebene	377	17.3.1	DNA-Schäden – wie Fehler entstehen können
17.1.2	Replikation auf molekularer Ebene	377	17.3.2	Reparaturmechanismen – oder wie der Körper die Fehler wieder ausbügelt
17.1.3	Die DNA-Polymerasen	379	17.3.3	Mögliche Folgen von DNA-Schäden – wenn die Reparatur versagt hat
17.1.4	Telomerasen und der Traum von der ewigen Jugend	380		
17.2	DNA-Sequenzierung	381		
	<i>Paul Ziegler*</i>			
17.2.1	Sequenzierung in der Medizin	381		
18	Genetik der Bakterien und Viren	389		
18.1	Bakterien	389	18.4	Das Humane Immundefizienz-Virus (HIV)
	<i>Florian Horn</i>			<i>Florian Horn</i>
18.1.1	Was sind Bakterien?	389	18.4.1	Was ist HIV?
18.1.2	Genetik der Bakterien	391	18.4.2	Was macht das HI-Virus?
18.1.3	Grundlagen der Antibiotika-Therapie	392	18.4.3	Was bedeutet das für den Menschen?
18.2	Die Genschere CRISPR/Cas	394	18.4.4	Virustatika
	<i>Florian Horn und Franziska Blaeschke</i>		18.5	Viren in der Gentherapie
18.2.1	Teil des bakteriellen Immunsystems	395		<i>Florian Horn</i>
18.2.2	Meilenstein für die Forschung	398	18.5.1	Molekularbiologische Grundlagen
18.2.3	Therapeutische Anwendungen	399	18.5.2	Herstellung rekombinanter Viren
18.3	Viren	399	18.6	PCR: Polymerase-Kettenreaktion
	<i>Florian Horn</i>			<i>Daniel Koch*</i>
18.3.1	Woraus besteht ein Virus?	400	18.6.1	Ablauf der PCR
18.3.2	Vermehrungszyklus eines Virus	401	18.6.2	Besonderheiten
			18.6.3	Varianten und Anwendungen

IV Hormone

19 Die Grundlagen 416
Florian Horn

19.1 Die verschiedenen Botenstoffe 416

19.1.1 Klassische Hormone 416

19.1.2 Gewebshormone 416

19.1.3 Mediatoren 416

19.1.4 Interleukine 417

19.1.5 Neurotransmitter 417

19.2 Die Hormonrezeptoren 417

19.2.1 Vier verschiedene Rezeptoren 417

19.2.2 Die Rezeptorverteilung 418

19.2.3 Signaltransduktion 419

19.3 Hormone und der Stoffwechsel 419

19.3.1 Regulation des Stoffwechsels 419

19.4 Ein wenig Chemie der Hormone 420

19.4.1 Peptidhormone 420

19.4.2 Steroidhormone 421

19.4.3 Aminosäure-Derivate 421

19.4.4 Eikosanoide und Retinsäure 421

19.4.5 Hormone im Gleichgewicht 422

19.5 Hormone in unserem Körper 422

19.5.1 Hormonbildungsorte 422

19.5.2 Die Nebennieren 423

19.5.3 Das Hypothalamus-Hypophysen-System. *Jan Nassrallah*, Laura Nassrallah* und Florian Horn* 423

20 Molekulare Hormonwirkung 426
Florian Horn

20.1 Typ-I-Rezeptoren (Enzyme) 426

20.1.1 Tyrosinkinasen 426

20.1.2 Die Guanylatzyklasen 427

20.2 Typ-II-Rezeptoren (Ionenkanäle) 427

20.2.1 Membranständige Ionenkanäle 427

20.2.2 Intrazelluläre membranständige Ionenkanäle 427

20.3 Typ-III-Rezeptoren (G-Protein-gekoppelt) 428

20.3.1 Die Rezeptoren 428

20.3.2 Die G-Proteine 428

20.3.3 Die durch G-Proteine aktivierbaren Enzyme 428

20.3.4 Die Adenylatzyklase und cAMP 429

20.3.5 Die Phospholipase C 430

20.4 Intrazelluläre Rezeptoren 432

20.4.1 Aktivierung des Rezeptors 432

20.4.2 Interaktion mit der DNA 433

20.4.3 Hormone mit intrazellulären Rezeptoren 433

20.5 Zytokinrezeptoren 433
Nadine Schneider und Florian Horn*

20.5.1 Die Janus-Kinasen (JAKs) 433

20.5.2 Die Signaltransduktion 434

21 Energieversorgung 435

21.1 Der Energiestoffwechsel 435
Isabelle Nath und Florian Horn*

21.1.1 Die Resorptionsphase 435

21.1.2 Die Postresorptionsphase 435

21.1.3 Die Schlüsselenzyme des Stoffwechsels. ... 436

21.2 Insulin und die Evolution des Pankreas' 437
Florian Horn

21.2.1 Evolutionäre Hintergründe 437

21.2.2 Biosynthese des Insulins 439

21.2.3 Molekulare Wirkungen von Insulin 440

21.2.4 Physiologische Wirkungen von Insulin ... 442

21.2.5 Steuerung der Insulinsekretion 445

21.2.6 Wege des Insulins im Körper und Abbau. . 446

21.3	Glukagon	448	21.5	Glukokortikoide	456
	<i>Isabelle Nath* und Florian Horn</i>			<i>Florian Horn</i>	
21.3.1	Biosynthese des Glukagons	448	21.5.1	Biosynthese der Glukokortikoide	457
21.3.2	Molekulare und physiologische Wirkungen	448	21.5.2	Molekulare Wirkungen der Glukokortikoide	457
21.3.3	Steuerung der Glukagonsekretion	449	21.5.3	Physiologische Wirkungen der Glukokortikoide	457
21.3.4	Wege des Glukagons im Körper	449	21.5.4	Steuerung der Glukokortikoidsekretion ..	460
21.3.5	Abbau des Glukagons	449	21.5.5	Abbau der Glukokortikoide	460
21.4	Adrenalin und die Evolution des Nebennierenmarks	449	21.5.6	Regelkreis der Glukokortikoide	460
	<i>Katharina Trugenberger</i>		21.5.7	Proopiomelanokortin (POMC)	462
21.4.1	Evolution des Nebennierenmarks	450	21.5.8	Wege der Glukokortikoide im Körper	462
21.4.2	Biosynthese des Adrenalins	450	21.6	Schilddrüsenhormone	463
21.4.3	Molekulare Wirkungen von Adrenalin. ...	451		<i>Florian Horn</i>	
21.4.4	Physiologische Wirkungen von Adrenalin.	452	21.6.1	Jod und die Evolution der Schilddrüse ...	464
21.4.5	Wirkungen von Noradrenalin	454	21.6.2	Biosynthese der Schilddrüsenhormone ...	465
21.4.6	Steuerung der Biosynthese, Speicherung und Sekretion der Katecholamine	454	21.6.3	Molekulare Mechanismen der Hormon- wirkung	467
21.4.7	Wege des Adrenalins	455	21.6.4	Physiologische Wirkungen der Schilddrüsenhormone	470
21.4.8	Abbau des Adrenalins	455	21.6.5	Regelkreis der Schilddrüsenhormone ...	470
			21.6.6	Wege der Beteiligten im Körper	471
22	Gastrointestinale Hormone	473			
	<i>Florian Horn</i>				
22.1	Regulation der Magensaftmenge	473	22.2	Regulation der Pankreas- und Gallensekretion	475
22.1.1	Gastrin	473	22.2.1	Sekretin	475
22.1.2	Histamin	474	22.2.2	Cholezystokinin	475
22.1.3	Somatostatin	474	22.2.3	GIP (Glukose-induziertes insulinotropes Polypeptid)	476
22.1.4	VIP (vasoaktives intestinales Peptid)	474	22.3	Sonstige intestinale Hormone	476
23	Wasser, Elektrolyte und Mineralstoffe	477			
	<i>Florian Horn</i>				
23.1	Natrium, Kalium und Wasser	477	23.2	Calcium und Phosphat	485
23.1.1	Der Wasser- und Elektrolythaushalt	477	23.2.1	Evolutionäre Herausforderungen	486
23.1.2	Atriopeptin	478	23.2.2	Calcitriol	489
23.1.3	Angiotensin II und das RAAS	479	23.2.3	Parathormon	493
23.1.4	Aldosteron	481	23.2.4	FGF23 und Klotho	496
23.1.5	Adiuretin	483	23.2.5	Calcitonin und Procalcitonin	498

24	Wachstum und Fortpflanzung	499		
24.1	Somatotropin und IGFs	499	24.3.3	Regelkreis der Östrogene und Gestagene – die Gonadotropine
	<i>Florian Horn</i>			512
24.1.1	Evolutionsgeschichte(n)	499	24.3.4	Wege der Östrogene und Gestagene im Körper
24.1.2	Somatotropin	500		512
24.1.3	Die IGFs und ihre Bindeproteine	504	24.3.5	Abbau der Östrogene und Gestagene
			24.3.6	Der weibliche Zyklus
				513
24.2	Androgene – die männlichen Sexualhormone	508	24.4	Prolaktin
	<i>Christian Grillhösl*</i>			<i>Christian Grillhösl*</i>
24.2.1	Biosynthese der Androgene	508	24.4.1	Biosynthese des Prolaktins
24.2.2	Molekulare und physiologische Wirkungen	509	24.4.2	Molekulare und physiologische Wirkungen
24.2.3	Regelkreis der Androgene – die Gonadotropine	509	24.4.3	Wege des Prolaktins im Körper
24.2.4	Wege der Androgene im Körper	510	24.4.4	Abbau des Prolaktins
24.2.5	Abbau der Androgene	510		515
24.3	Östrogene und Gestagene – die weiblichen Sexualhormone	510	24.5	Oxytocin
	<i>Christian Grillhösl*</i>			<i>Florian Horn</i>
24.3.1	Biosynthese von Östrogenen und Gestagenen	510	24.5.1	Biosynthese des Oxytocins
24.3.2	Molekulare und physiologische Wirkungen	511	24.5.2	Molekulare und physiologische Wirkungen
			24.5.3	Wege des Oxytocins im Körper
			24.5.4	Abbau des Oxytocins
			24.5.5	Oxytocin in der Evolution
				516
				516
				516
25	Mediatoren	517		
	<i>Franziska Blaeschke</i>			
25.1	Eikosanoide	517	25.3.2	Histamin-Rezeptoren
			25.3.3	Wirkungen des Histamins
25.1.1	Prostaglandine und Thromboxane	518	25.3.4	Sekretionsreiz für die Ausschüttung von Histamin
25.1.2	Leukotriene	523		528
25.2	Stickstoffmonoxid (NO)	524	25.3.5	Abbau von Histamin
				528
25.2.1	Biosynthese des NO	524	25.4	Kinine
25.2.2	Wirkungen des Stickstoffmonoxids	525		
25.2.3	„Abbau“ des NO	526	25.4.1	Biosynthese der Kinine
25.3	Histamin	526	25.4.2	Kinin-Rezeptoren
			25.4.3	Wirkungen der Kinine
25.3.1	Biosynthese des Histamins	526	25.4.4	Sekretionsreiz für die Kinine
			25.4.5	Abbau der Kinine
				530
				530
26	Neurotransmitter	531		
	<i>Matthias Gröll</i>			
26.1	Grundlagen der Neurotransmission ...	531	26.2	Erregende Neurotransmitter
				536
26.1.1	Elektrische Reizweiterleitung	531	26.2.1	Glutamat
26.1.2	Biochemie der Neurotransmitter	533	26.2.2	Acetylcholin
26.1.3	Die Synapsen	533		538
26.1.4	Rezeptoren, Ionenkanäle und G-Proteine ..	534		

26.3	Hemmende Neurotransmitter	541	26.4	Komplex wirkende Neurotransmitter .	543
26.3.1	GABA	541	26.4.1	Die Gruppe der Monoamine	543
26.3.2	Glycin	542	26.4.2	Dopamin	544
			26.4.3	Noradrenalin	546
			26.4.4	Serotonin	547
			26.4.5	Endogene Opioide	549

V Von der Zelle zum Organismus

27	Zellbiologie	554			
	<i>Isabelle Nath* und Florian Horn</i>				
27.1	Die Zellorganellen	554	27.7	Die Ribosomen	567
27.1.1	Zytoplasma und Zytosol	554	27.7.1	Aufbau der Ribosomen	567
27.1.2	Die Organellen	554	27.7.2	Funktion der Ribosomen	567
			27.7.3	Biosynthese der Ribosomen	567
27.2	Die Plasmamembran	554	27.8	Das Endoplasmatische Retikulum	567
27.2.1	Aufbau der Plasmamembran	554	27.8.1	Das glatte ER	568
27.2.2	Aufgaben der Plasmamembran	556	27.8.2	Das raue ER	568
27.2.3	Herkunft der Membranen	556	27.8.3	Herkunft des ER	568
27.3	Der Stofftransport	557	27.9	Der Golgi-Apparat	568
27.3.1	Ionen in unseren Zellen	557	27.9.1	Aufbau des Golgi-Apparates	568
27.3.2	Passiver Transport	557	27.9.2	Funktion des Golgi-Apparates	569
27.3.3	Aktiver Transport	558	27.9.3	Wie entsteht der Golgi-Apparat?	569
27.3.4	Transportproteine	559	27.10	Die Lysosomen	569
27.3.5	Zytosevorgänge	559	27.10.1	Aufbau der Lysosomen	569
27.4	Das Zytoskelett	559	27.10.2	Funktionen der Lysosomen	569
27.4.1	Aktinfilamente	560	27.10.3	Wo kommen die Lysosomen her?	570
27.4.2	Intermediärfilamente	560	27.11	Die Peroxisomen	570
27.4.3	Mikrotubuli	561	27.11.1	Aufbau der Peroxisomen	571
27.5	Der Zellkern	564	27.11.2	Aufgabe der Peroxisomen	571
27.5.1	Aufbau des Zellkerns	564	27.11.3	Wie vermehren sich Peroxisomen?	571
27.5.2	Aufgaben des Zellkerns	564	27.12	Zellverbindungen	571
27.5.3	Der Nukleolus	565		<i>Daniel Koch*</i>	
27.5.4	Vermehrung des Zellkerns – die Mitose ..	565	27.12.1	Zelladhäsionsmoleküle	571
27.6	Die Mitochondrien	565	27.12.2	Zellkontakte	574
27.6.1	Aufbau der Mitochondrien	565			
27.6.2	Aufgaben der Mitochondrien	565			
27.6.3	Die Endosymbiontentheorie	566			
27.6.4	Vermehrung der Mitochondrien	567			

28	Extrazellulärschubstanz – was zwischen den Zellen ist	576		
	<i>Isabelle Nath* und Florian Horn</i>			
28.1	Die Bindegewebszellen	576	28.4	Die Glykoproteine
28.2	Die Faserproteine	576	28.4.1	Fibronektin
28.2.1	Die Kollagene	576	28.4.2	Laminin
28.2.2	Das Elastin	578	28.5	Matrixmetalloproteinasen (MMPs)
28.3	Die Glykosaminoglykane	579	28.6	Das Vitamin C
28.3.1	Die Hyaluronsäure	579	28.6.1	Zur Evolutionsgeschichte
28.3.2	Die anderen Glykosaminoglykane	580	28.6.2	Radikalfänger und Reduktionsmittel
			28.6.3	Vitamin-C-abhängige Reaktionen
			28.6.4	Aufnahme von Vitamin C
			28.6.5	Bedarf an Vitamin C
29	Die Stoffaufnahme	584		
29.1	Ernährung	584	29.3	Aufnahme der einzelnen Nahrungsbestandteile
	<i>Florian Horn und Katharina Lechner</i>			
29.1.1	Besonderheiten der Proteine	585	29.3.1	Kohlenhydrate
29.1.2	Der Energiegehalt der Nahrung	585	29.3.2	Lipide
29.1.3	Die essenziellen Nährstoffe	586	29.3.3	Proteine
29.2	Unser Verdauungstrakt	587	29.3.4	Nukleinsäuren
	<i>Florian Horn</i>			
29.2.1	Teller, Mund und Speiseröhre	587	29.3.5	Wasser
29.2.2	Der Magen	588	29.3.6	Vitamine, Mengen- und Spurenelemente
29.2.3	Das Duodenum und seine Drüsen	592	29.3.7	Wie die Nahrungsstoffe in die Peripherie gelangen
29.2.4	Die weiteren Darmabschnitte	595		
30	Das Blut	606		
30.1	Aufgaben des Blutes	606	30.3.4	Die Erythropoese
	<i>Florian Horn und Silke Berghold*</i>			
30.1.1	Transportfunktionen	606	30.3.5	Das Erythropoetin
30.1.2	Die Homöostase	606	30.3.6	Vitamin B ₁₂ (Cobalamin)
30.1.3	Die Blutgerinnung	606	30.3.7	Abbau der Erythrozyten
30.1.4	Die Immunabwehr	607	30.3.8	Das Vitamin E (Tocopherol)
30.2	Das Knochenmark	607	30.4	Hämoglobin und Sauerstofftransport
	<i>Florian Horn</i>			
30.2.1	Aufbau des Knochenmarks	607	30.4.1	Evolution des Hämoglobins
30.2.2	Die Stromazellen des Knochenmarks	607	30.4.2	Die Moleküle Häm und Globin und das Hämoglobin
30.2.3	Stammzellen des Knochenmarks	607	30.4.3	Hämoglobin-Biosynthese
30.3	Die Erythrozyten	608	30.4.4	Sauerstoff- und CO ₂ -Transport
	<i>Carina Polzer und Florian Horn</i>			
30.3.1	Energiegewinnung in den Erythrozyten ..	609	30.4.5	Glutathion
30.3.2	Pentosephosphatweg in den Erythrozyten	609	30.4.6	Hämoglobin-Abbau
30.3.3	Laborwerte der Erythrozyten	610		

30.5	Blutgruppen und Transfusionsbiologie	640	30.7	Das Blutplasma	652
	<i>Florian Horn</i>			<i>Florian Horn</i>	
30.5.1	Die Rolle des Immunsystems	640	30.7.1	Zellen, Plasma und Serum	652
30.5.2	Das ABO-System	642	30.7.2	Die Plasmaproteine	653
30.5.3	Das Rhesus-System	644	30.7.3	Die Fraktionen der Elektrophorese	655
30.5.4	Das Kell-System	645	30.7.4	Die anderen Plasmaproteine	659
30.5.5	Die Bluttransfusion	645	30.7.5	Der Blutzuckerspiegel	660
30.6	Der Eisenstoffwechsel	646	30.8	Die Hämostase	660
	<i>Florian Horn</i>			<i>Florian Horn</i>	
30.6.1	Wozu brauchen wir überhaupt Eisen?	646	30.8.1	Ein kurzer Überblick scheint von Nöten	660
30.6.2	Die Eisenspeicher unseres Organismus	646	30.8.2	Die vaskuläre Reaktion	661
30.6.3	Die Resorption von Eisen im Dünndarm	647	30.8.3	Die Endothelzellen	661
30.6.4	Transport von Eisen im Blut	648	30.8.4	Die Thrombozyten	663
30.6.5	Der Eisenumsatz unseres Körpers	649	30.8.5	Das plasmatische Gerinnungssystem	666
30.6.6	Die Eisenausscheidung	649	30.8.6	Regulation der Hämostase	670
30.6.7	Vorkommen von Eisen in der Nahrung	649	30.8.7	Das fibrinolytische System	672
30.6.8	Regulation der Eisenaufnahme	650	30.8.8	Das Vitamin K	674
30.6.9	Eisen und die Infektion	650			
30.6.10	Die Eisenmangelanämie	651			
30.6.11	Eisenüberladung unseres Organismus	652			
31	Die Nieren	677			
	<i>Paul Ziegler*</i>				
31.1	Überblick	677	31.6	Die endokrinen Aufgaben der Niere	685
31.1.1	Aufbau der Niere	677	31.6.1	Erythropoetin	685
31.1.2	Harnbildung	678	31.6.2	Renin-Angiotensin-Aldosteron-System (RAAS)	685
31.2	Das Niereninterstitium und die Gefäße	678	31.6.3	Calcitriol	686
31.3	Der Ultrafilter der Glomeruli	679	31.7	Regulation der Nierenfunktion	686
31.4	Das Tubulussystem	679	31.7.1	Bayliss-Effekt	686
31.4.1	Der proximale Tubulus	680	31.7.2	Tubuloglomeruläre Rückkopplung	686
31.4.2	Der dünne Teil der Henle-Schleife	681	31.7.3	Renin-Angiotensin-Aldosteron-System	687
31.4.3	Der dicke aufsteigende Teil der Henle-Schleife	682	31.7.4	Feineinstellung der Urinkonzentration	687
31.4.4	Der juxtaglomeruläre Apparat	682	31.8	Der Urin	687
31.4.5	Der distale Tubulus	683	31.8.1	Zusammensetzung des Urins	687
31.4.6	Das Sammelrohr	683	31.9	Die Nieren im Säure-Basen-Haushalt	689
31.5	Energieversorgung der Niere	685	31.9.1	Bicarbonat-Resorption	689
			31.9.2	Ammonium-Synthese	689
			31.9.3	Die Glukoneogenese der Niere	689
			31.9.4	Protonen-Ausscheidung im Sammelrohr	690

32	Der Säure-Basen-Haushalt	691		
	<i>Paul Ziegler*</i>			
32.1	Chemie der Säuren und Basen	691	32.2.2	Aufrechterhaltung des pH-Werts
			32.2.3	Nicht-Bicarbonat-Puffer
32.1.1	Der pH-Wert	693	32.2.4	Transport von CO ₂ im Blut
32.1.2	Puffer	693		
32.2	Die Puffersysteme des Körpers	694	32.3	Protonenbilanz des Körpers
			32.4	Messung des Säure-Basen-Status
32.2.1	Kohlensäure-Bicarbonat-Puffersystem ...	694		
33	Das Immunsystem	700		
	<i>Nadine Schneider* und Bettina Otte*</i>			
33.1	Die an der Abwehr beteiligten lymphatischen Organe	700	33.4.3	Dendritische Zellen als Bindeglied zwischen angeborener und erworbener Immunabwehr
33.1.1	Primär lymphatische Organe	700	33.5	Die erworbene oder spezifische Immunreaktion
33.1.2	Sekundär lymphatische Organe	701		
33.2	Die humoralen Bestandteile des Immunsystems	702	33.5.1	Was ist ein Antigen?
			33.5.2	Klonale Selektion
33.2.1	Epithelien	702	33.5.3	Die Antigenrezeptoren der Lymphozyten ..
33.2.2	Lysozym und Laktoferrin	702	33.5.4	Die MHC-Moleküle
33.2.3	Mechanische Vorbeugung von Infektionen	702	33.5.5	Gedächtnisreaktion
33.2.4	Die Standortflora	702	33.6	Immunologische Ausnahme-situationen
33.2.5	Das Komplementsystem	703		
33.2.6	Zytokine	705	33.6.1	Allergie
33.2.7	Antikörper	708	33.6.2	Autoimmunerkrankungen
33.2.8	Akute-Phase-Proteine	712	33.6.3	Tumorerkrankungen
33.3	Die zellulären Bestandteile der Abwehr	713	33.7	Wichtige immunologische Methoden .
33.3.1	Myeloische Reihe	714	33.7.1	Durchflusszytometrie
33.3.2	Lymphatische Reihe	716		<i>Bettina Otte*</i>
33.4	Die angeborene oder unspezifische Immunreaktion	717	33.7.2	ELISA
				<i>Bettina Otte*</i>
33.4.1	Mustererkennungsrezeptoren	717	33.7.3	SDS-PAGE und Westernblot
33.4.2	Entzündungsreaktion	718		<i>Franziska Blaeschke</i>
34	Die Leber	728		
	<i>Isabelle Nath* und Florian Horn</i>			
34.1	Anatomie und Histologie	728	34.2	Die Leber und der Energiestoffwechsel
34.1.1	Das Leberläppchen	728	34.2.1	Die Resorptionsphase
34.1.2	Die Blutversorgung	729	34.2.2	Die Postresorptionsphase
34.1.3	Was passiert wo in der Leber?	729	34.2.3	Die Enzymausstattung
34.1.4	Die Zellen der Leber	730	34.2.4	Was die Leber für sich selbst tut
			34.2.5	Was die Leber für den ganzen Menschen tut

34.3	Der Alkoholstoffwechsel	735	34.5	Speicher und Abwehr	743
34.3.1	Was ist Alkohol?	735	34.5.1	Die Leber als Speicherorgan.	743
34.3.2	Die Alkoholaufnahme	735	34.5.2	Die Leber und ihre Abwehrfunktion.	743
34.3.3	Der Alkoholmetabolismus	735	34.6	Die Leber als Ausscheidungsorgan	744
34.3.4	Kurzfristige Wirkungen des Alkohols.	736	34.6.1	Die Biotransformation	744
34.3.5	Langfristige Wirkungen des Alkohols.	736	34.6.2	Ausscheidung über die Galle	749
34.3.6	Der Alkoholtest	737	34.6.3	Der Harnstoffzyklus	749
34.4	Die Leber als Produktionsfabrik	738	34.7	Leberfunktionsprüfungen	750
34.4.1	Produktion der Plasmaproteine	738	34.7.1	Biosyntheseleistungen	750
34.4.2	Cholesterin-Biosynthese	739	34.7.2	Ausscheidungsleistungen.	750
34.4.3	Produktion von Gallenflüssigkeit	739	34.7.3	Zellständige Enzyme	751
34.4.4	Herstellung von Hormonen	743			
34.4.5	Biosynthese von Kreatin.	743			
35	Die Muskulatur	754			
	<i>Michael Pritsch*</i>				
35.1	Aufbau der Muskulatur	754	35.2.4	Regeneration des Muskelgewebes	759
35.1.1	Der Skelettmuskel	754	35.3	Stoffwechsel der Skelettmuskulatur ...	759
35.1.2	Der Herzmuskel	754	35.3.1	Anaerobe Energiegewinnung	759
35.1.3	Die glatte Muskulatur	755	35.3.2	Aerobe (oxidative) Energiegewinnung. ...	761
35.1.4	Die Proteine des Sarkomers	755	35.3.3	Skelettmuskeltypen	762
35.2	Der Kontraktionsmechanismus	756	35.4	Stoffwechsel der Herzmuskulatur	762
35.2.1	Die Gleitfilament-Theorie	756	35.5	Myokine	763
35.2.2	Die Kontrolle der Kontraktion	757		<i>Florian Horn</i>	
35.2.3	Kontraktion ist Chefsache	758			
Anhang					
36	Literaturverzeichnis	766			
37	Sachverzeichnis	772			