

Inhaltsverzeichnis

I Energie und Temperatur

1 Ernährung und Verdauung	3
<i>Andreas Feigenspan</i>	
1.1 Evolution in Echtzeit	5
1.2 Ernährung – Übersicht	7
1.3 Elementare Bestandteile des menschlichen Körpers	9
1.3.1 Proteine	11
1.3.2 Kohlenhydrate	13
1.3.3 Lipide	15
1.3.4 Energiegehalt der wichtigsten Nährstoffe	18
1.3.5 Zusammenfassung	20
1.4 Nahrungsaufnahme	22
1.4.1 Strategien der Nahrungsaufnahme	23
1.4.2 Evolutionärer Vorteil für Filtrierer: kurze Nahrungsketten	24
1.4.3 Zusammenfassung	26
1.5 Verdauungstrakt der Wirbeltiere	27
1.5.1 Aufbau des Verdauungstrakts	28
1.5.2 Verdauung im Magen	29
1.5.3 Verdauung im Dünndarm	31
1.5.4 Zusammenfassung	34
1.6 Verdauung von Nährstoffen	35
1.6.1 Verdauung von Proteinen	36
1.6.2 Verdauung von Kohlenhydraten	38
1.6.3 Verdauung von Fetten	38
1.6.4 Symbiosen – Celluloseverdauung durch Fermentation	40
1.6.5 Zusammenfassung	41
1.7 Aufnahme von Nährstoffen	42
1.7.1 Einfache Diffusion	43
1.7.2 Resorption von Monosacchariden	44
1.7.3 Resorption von Aminosäuren und Oligopeptiden	46
1.7.4 Resorption von Fetten	48
1.7.5 Zusammenfassung	49
1.8 Regulation der Verdauungsprozesse	50
1.8.1 Regulation der Magensäuresekretion	51
1.8.2 Regulation der Nahrungsaufnahme	53
1.8.3 Anpassungen an Nahrungsmangel	56
1.8.4 Zusammenfassung	58
Literatur	59
2 Energiestoffwechsel	61
<i>Andreas Feigenspan</i>	
2.1 Was ist Energie?	63
2.1.1 Energiefluss in Nahrungsketten	63
2.1.2 Energie in biologischen Systemen	65

2.1.3	Physiologisch relevante Energieformen	67
2.1.4	Zusammenfassung	68
2.2	Thermodynamische Grundlagen	69
2.2.1	Erster Hauptsatz – Energie	70
2.2.2	Zweiter Hauptsatz – Entropie	72
2.2.3	Freie Energie	75
2.2.4	Zusammenfassung	77
2.3	Energie und Lebensvorgänge	78
2.3.1	Lebewesen sind offene Systeme	78
2.3.2	Tiere benötigen Energie für Biosynthesen, Instandhaltung und äußere Arbeit	79
2.3.3	Energiegewinnung aus Nahrungsstoffen	81
2.3.4	Wie kann ATP Arbeit verrichten?	83
2.3.5	Zusammenfassung	85
2.4	Stoffwechselraten	86
2.4.1	Direkte Messung der Stoffwechselrate	87
2.4.2	Indirekte Messung der Stoffwechselrate	88
2.4.3	Grundumsatz und Standardstoffwechselrate	89
2.4.4	Zusammenfassung	91
2.5	Metabolische Skalierungen	92
2.5.1	Allometrische Funktionen	93
2.5.2	Gewichtsspezifische Stoffwechselrate	95
2.5.3	Stoffwechselraten tragen zur Strukturierung von Ökosystemen bei	97
2.5.4	Metabolische Theorie der Lebensdauer	98
2.5.5	Oberflächenregel	100
2.5.6	Fraktale Geometrie	102
2.5.7	Zusammenfassung	104
	Literatur	105
3	Wärmehaushalt und Temperaturregulation	107
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
3.1	Bedeutung der Temperatur für biologische Systeme	109
3.1.1	Thermische Grenzen des Lebens	109
3.1.2	Wirkung der Temperatur auf chemische Reaktionen	110
3.1.3	Temperatur und Stoffwechselrate	112
3.1.4	Thermoregulation und Körpertemperatur	113
3.1.5	Zusammenfassung	115
3.2	Ektothermie	116
3.2.1	Wärmetransfer im Körper und Austausch mit der Umgebung	116
3.2.2	Verhaltensgesteuerte Thermoregulation	118
3.2.3	Temperaturabhängigkeit der Stoffwechselrate bei Ektothermen	120
3.2.4	Anpassungen der Stoffwechselrate – phänotypische Plastizität	122
3.2.5	Evolutionäre Anpassungen – Entwicklung von Isoformen	123
3.2.6	Evolution und Klimawandel	125
3.2.7	Zusammenfassung	126
3.3	Überleben im Eis	127
3.3.1	Gefrierschutz	128
3.3.2	Kontrolliertes Einfrieren	130
3.3.3	Zusammenfassung	131

3.4	Endothermie	132
3.4.1	Aktive Regulation der Körpertemperatur	133
3.4.2	Fieber	136
3.4.3	Stoffwechselrate und Temperatur	137
3.4.4	Zusammenfassung	139
3.5	Thermoregulation bei Kälte	139
3.5.1	Isolierung	140
3.5.2	Regulation des peripheren Blutflusses	140
3.5.3	Kältezittern	142
3.5.4	Zitterfreie Wärmebildung	143
3.5.5	Kontrollierte Hypothermie: Winterschlaf und Tagesschlaflathargie	145
3.5.6	Zusammenfassung	147
3.6	Thermoregulation bei Hitze	148
3.6.1	Nichtevaporative Anpassungen	148
3.6.2	Evaporative Mechanismen	149
3.6.3	Zusammenfassung	150
	Literatur	150

II Interne Transportsysteme und Homöostase

4	Atmung und Physiologie der Atemgase	153
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
4.1	Physikalische Grundlagen des Gasaustausches	155
4.1.1	Partialdruck und Konzentration von Gasen	156
4.1.2	Diffusion von Gasen	159
4.1.3	Angewandte Gasdiffusion: Wasserinsekten und Taucher	160
4.1.4	Gastransport durch Diffusion und Konvektion	162
4.1.5	Zusammenfassung	164
4.2	Respiratorische Pigmente	164
4.2.1	Aufbau des Hämoglobins	165
4.2.2	Sauerstoffbindung und Kooperativität	166
4.2.3	Physiologische Bedeutung der O ₂ -Bindungskurve	168
4.2.4	Anpassung der O ₂ -Affinität – Bohr-Effekt und 2,3-Diphosphoglycerat	170
4.2.5	Zusammenfassung	172
4.3	Transport von Kohlenstoffdioxid	173
4.3.1	Puffersysteme regulieren die Bildung von Hydrogencarbonat	173
4.3.2	CO ₂ -Gleichgewichtskurve und Haldane-Effekt	174
4.3.3	CO ₂ -Transport im Blut der Wirbeltiere	176
4.3.4	Zusammenfassung	178
4.4	Physiologie der Atemorgane	179
4.4.1	Grundlagen der Atmung	179
4.4.2	Strömungsmechanismen beeinflussen die Effizienz des Gasaustausches	180
4.4.3	Die Atemmedien Luft und Wasser im Vergleich	184
4.4.4	Zusammenfassung	185
4.5	Atmung bei Fischen	186
4.5.1	Aufbau und Ventilation der Kiemen	186
4.5.2	Luftatmung bei Fischen	189
4.5.3	Zusammenfassung	189

4.6	Atmung bei Säugetieren	190
4.6.1	Aufbau der Säugetierlunge	190
4.6.2	Oberflächenspannung	191
4.6.3	Ventilation der Lungen und Compliance	192
4.6.4	Zusammenfassung	193
4.7	Atmung bei Vögeln	194
4.7.1	Aufbau der Vogellunge	194
4.7.2	Ventilation der Vogellunge	196
4.7.3	Zusammenfassung	197
4.8	Atmung bei Insekten	197
4.8.1	Anatomie des Tracheensystems	197
4.8.2	Steuerung der Tracheeventilation	198
4.8.3	Zusammenfassung	199
4.9	Regulation der Atmung	199
4.9.1	Neuronale Regulation	201
4.9.2	Chemorezeption	202
4.9.3	Modulatorische Einflüsse von Mechanosensoren und höheren Hirnregionen	205
4.9.4	Zusammenfassung	206
	Literatur	207
5	Kreislaufsysteme	209
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
5.1	Grundlagen der Hämodynamik	212
5.1.1	Druck und Widerstand	212
5.1.2	Bernoullis Theorem	214
5.1.3	Laminare und turbulente Strömung	217
5.1.4	Zusammenfassung	219
5.2	Blutgefäße	220
5.2.1	Arterien	220
5.2.2	Kapillaren und terminale Strombahn	222
5.2.3	Venen	224
5.2.4	Zusammenfassung	226
5.3	Kreislaufsysteme der Säuger und Vögel	226
5.3.1	Durchströmung und Versorgung des Herzens	227
5.3.2	Blutdruck und O ₂ -Bedarf	228
5.3.3	Austauschprozesse in den Kapillaren	230
5.3.4	Respiratorische Physiologie und Körpergröße	233
5.3.5	Zusammenfassung	234
5.4	Das Kreislaufsystem der Fische	235
5.4.1	Blutdruck und Versorgung des Myokards	236
5.4.2	Atmung von Luft bewirkt Änderungen des Grundbauplans	237
5.4.3	Lungenfische trennen oxygeniertes und desoxygeniertes Blut	239
5.4.4	Zusammenfassung	240
5.5	Kreislaufsysteme von Amphibien und Reptilien	241
5.6	Kreislaufsysteme von Invertebraten	244
5.6.1	Offene Kreislaufsysteme	244
5.6.2	Kreislaufsysteme von Crustaceen und Insekten	245
5.6.3	Zusammenfassung	246
	Literatur	247

6	Herzerregung und Herzmechanik	249
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
6.1	Das Säugerherz	250
6.1.1	Anatomie des Herzens	250
6.1.2	Struktur und Funktion der Herzklappen	252
6.1.3	Zusammenfassung	253
6.2	Physiologie der Herzmuskelzellen	253
6.2.1	Aktionspotenziale im Herzen	254
6.2.2	Erregungsbildung und Erregungsleitung	258
6.2.3	Elektromechanische Kopplung	262
6.2.4	Zusammenfassung	264
6.3	Der Herzzyklus	266
6.3.1	Druck-Volumen-Beziehung während des Herzzyklus	268
6.3.2	Anpassung der Herzleistung	270
6.3.3	Erhöhung der Vorlast: Frank-Starling-Mechanismus	274
6.3.4	Erhöhung der Nachlast	277
6.3.5	Das Elektrokardiogramm	277
6.3.6	Störungen des Herzrhythmus	281
6.3.7	Zusammenfassung	283
	Literatur	284
7	Osmoregulation	285
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
7.1	Bewegung von Wasser über Membranen	286
7.1.1	Kolligative Eigenschaften und osmotischer Druck	286
7.1.2	Osmose	289
7.1.3	Aquaporine erhöhen die Permeabilität für Wasser	290
7.1.4	Volumenregulation	291
7.1.5	Zusammenfassung	295
7.2	Flüssigkeitsräume und ihre Regulation	296
7.2.1	Extra- und intrazelluläre Flüssigkeiten	296
7.2.2	Regulationsmechanismen	298
7.2.3	Wasserhaushalt	300
7.2.4	Zusammenfassung	302
7.3	Osmoregulation in verschiedenen Lebensräumen	303
7.3.1	Osmoregulation im Süßwasser	303
7.3.2	Osmoregulation im Salzwasser	308
7.3.3	Osmoregulation in terrestrischen Lebensräumen	313
7.3.4	Zusammenfassung	317
	Literatur	319
8	Exkretorische Mechanismen	321
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
8.1	Exkretstoffe	322
8.1.1	Ammoniak	323
8.1.2	Harnstoff	325
8.1.3	Harnsäure und Purinstoffwechsel	326
8.1.4	Zusammenfassung	328

8.2	Prinzipien der Exkretion	329
8.2.1	Filtration und Sekretion	330
8.2.2	Reabsorption	331
8.2.3	Einteilung der Exkretionsorgane	334
8.2.4	Zusammenfassung	334
8.3	Renale Physiologie	335
8.3.1	Ultrafiltration in den Nierenkörperchen	337
8.3.2	Reabsorption im proximalen Tubulus	339
8.3.3	Reabsorption in der Henle-Schleife	342
8.3.4	Hormonelle Steuerung in Verbindungstubulus und Sammelrohr	344
8.3.5	Erzeugung eines hyperosmotischen Urins	352
8.3.6	Regulation der Nierendurchblutung	357
8.3.7	Zusammenfassung	359
8.4	Die Malpighi-Gefäße der Insekten	361
8.4.1	Sekretionsmechanismen der Malpighi-Gefäße	361
8.4.2	Urinkonzentrierung im Enddarm	363
8.4.3	Zusammenfassung	363
	Literatur	365

III Informationsverarbeitung und Bewegung

9	Neurone und Ionenkanäle	369
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
9.1	Nervensysteme und Neurone	370
9.1.1	Grundlegende Funktionen des Nervensystems	370
9.1.2	Die Neuronendoktrin	372
9.1.3	Struktur von Neuronen	373
9.1.4	Klassifizierung von Neuronen	377
9.1.5	Gliazellen	380
9.1.6	Zusammenfassung	381
9.2	Ionenkanäle	382
9.2.1	Struktur von Ionenkanälen	384
9.2.2	Ionenselektivität	390
9.2.3	Gating	393
9.2.4	Messung einzelner Ionenkanäle	396
9.2.5	Zusammenfassung	397
	Literatur	399
10	Spannungsabhängige Prozesse	401
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
10.1	Bewegung von Ionen über Zellmembranen	403
10.1.1	Konzentrationsgradienten	403
10.1.2	Elektrische Spannung	404
10.1.3	Zusammenfassung	406
10.2	Spannungen über Zellmembranen	407
10.2.1	Diffusion von K^+ -Ionen	408
10.2.2	Gleichgewichtspotenziale – Nernst-Gleichung	410

10.2.3	Membranpotenzial – Goldman-Hodgkin-Katz-Gleichung	412
10.2.4	Zusammenfassung	413
10.3	Äquivalenzschaltkreis der Zellmembran	415
10.3.1	Ionenkanäle als Leitfähigkeiten	415
10.3.2	Die Phospholipidschicht wirkt als Kondensator	418
10.3.3	Die Zellmembran als RC-Schaltkreis	421
10.3.4	Zusammenfassung	423
10.4	Aktionspotenziale	424
10.4.1	Messung von Aktionspotenzialen	425
10.4.2	Ionenströme bei Aktionspotenzialen	427
10.4.3	Aktionspotenziale beruhen auf Na^+ - und K^+ -Strömen	430
10.4.4	Experimenteller Nachweis von Na^+ - und K^+ -Strömen	435
10.4.5	Zusammenfassung	439
10.5	Weiterleitung von Signalen	440
10.5.1	Elektrotonische Signalleitung	440
10.5.2	Weiterleitung von Aktionspotenzialen	445
10.5.3	Saltatorische Erregungsleitung	446
10.5.4	Zusammenfassung	449
	Literatur	450
11	Synaptische Übertragung	451
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
11.1	Elektrische Synapsen	454
11.1.1	Physiologie und Funktion elektrischer Synapsen	455
11.1.2	Aufbau elektrischer Synapsen	457
11.1.3	Zusammenfassung	458
11.2	Chemische Synapsen – Direkte Signalübertragung	459
11.2.1	Struktur der neuromuskulären Synapse	461
11.2.2	Exzitatorische postsynaptische Potenziale	463
11.2.3	Äquivalenzschaltkreis der neuromuskulären Endplatte	465
11.2.4	Zeitverlauf der Ströme durch ACh-Rezeptorkanäle	467
11.2.5	Synaptische Integration	467
11.2.6	Inhibitorische postsynaptische Potenziale	470
11.2.7	Zusammenfassung	473
11.3	Chemische Synapsen – Indirekte Signalübertragung	474
11.3.1	G-protein-gekoppelte Rezeptoren	475
11.3.2	Direkte Wirkung von G-Proteinen	476
11.3.3	Aktivierung von Second-Messenger-Systemen	477
11.3.4	Synaptische Second-Messenger-Systeme	480
11.3.5	Rezeptortyrosinkinasen	483
11.3.6	Zusammenfassung	485
11.4	Mechanismen der Transmitterfreisetzung	486
11.4.1	Quantale Freisetzung von Neurotransmittern	486
11.4.2	Vesikelzyklus	489
11.4.3	Mechanismus der Ca^{2+} -abhängigen Transmitterfreisetzung	490
11.4.4	Zusammenfassung	492
	Literatur	494

12	Neuronale Kontrolle der Bewegung	495
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
12.1	Elektromechanische Kopplung	498
12.1.1	Aufbau einer Muskelfaser	498
12.1.2	Gleitfilamenttheorie	499
12.1.3	Querbrückenzyklus	500
12.1.4	Steuerung der Filamentbewegung	503
12.1.5	Kopplung von Depolarisation und Ca^{2+} -Einstrom	505
12.1.6	Zusammenfassung	508
12.2	Physiologie der Kraftentwicklung	510
12.2.1	Die motorische Einheit	510
12.2.2	Kontraktionszeit und tetanische Stimulation	511
12.2.3	Muskelmechanik und Muskelarbeit	513
12.2.4	Zusammenfassung	516
12.3	Spinale Mechanismen	516
12.3.1	Aufbau des Rückenmarks	517
12.3.2	Muskeldehnungsreflexe	518
12.3.3	Muskelspindeln und α - γ -Koaktivierung	520
12.3.4	Sehnenorgane	524
12.3.5	Polysynaptische Reflexe	524
12.3.6	Zentrale Mustergeneratoren	527
12.3.7	Zusammenfassung	529
12.4	Zentrale Kontrolle der Motorik	530
12.4.1	Motorischer Cortex	531
12.4.2	Cerebellum	532
12.4.3	Basalganglien	535
12.4.4	Zusammenfassung	538
	Literatur	539

IV Sensorische Signalverarbeitung

13	Das visuelle System	543
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
13.1	Vom Photorezeptor zum Auge	545
13.1.1	Evolution von Photorezeptoren	546
13.1.2	Evolution von Augen	547
13.1.3	Zusammenfassung	551
13.2	Funktionelle Anatomie des Wirbeltierauges	553
13.2.1	Lichtbrechung	553
13.2.2	Akkommodation	555
13.2.3	Refraktionsanomalien	556
13.2.4	Pupille und Pupillenreflex	558
13.2.5	Klinische Bezüge	559
13.2.6	Zusammenfassung	560
13.3	Das Komplexauge der Arthropoden	561
13.3.1	Aufbau von Ommatidien	561
13.3.2	Appositionsauge	562

13.3.3	Superpositionsauge	563
13.3.4	Zusammenfassung	564
13.4	Signaltransduktion in Photorezeptoren	565
13.4.1	Struktur ziliärer Photorezeptoren	565
13.4.2	Spannungsänderungen bei Belichtung	565
13.4.3	Absorption von Photonen	567
13.4.4	Von Metarhodopsin II zum Rezeptorpotenzial	569
13.4.5	Inaktivierende Mechanismen	571
13.4.6	Rhabdomerische Photorezeptoren	572
13.4.7	Zusammenfassung	575
13.5	Signalverarbeitung in der Retina	576
13.5.1	Zellulärer Aufbau der Retina	576
13.5.2	Inverse Retina – Fovea und blinder Fleck	578
13.5.3	On- und Offsysteme	581
13.5.4	Rezeptive Felder	584
13.5.5	Zusammenfassung	587
13.6	Signalverarbeitung im visuellen System	588
13.6.1	Projektionsgebiete der Ganglienzellen	588
13.6.2	Binokulares Sehen	589
13.6.3	Primärer visueller Cortex	591
13.6.4	Prinzipien der Signalverarbeitung in der Sehbahn	596
13.6.5	Zusammenfassung	597
	Literatur	598
14	Hören und Gleichgewicht	599
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
14.1	Physikalische Grundlagen des Hörens	600
14.1.1	Amplitude, Frequenz und Phase	600
14.1.2	Schalldruckpegel	603
14.1.3	Komplexe Töne und Fourier-Analyse	604
14.1.4	Zusammenfassung	605
14.2	Funktioneller Aufbau des Ohrs	606
14.2.1	Außenohr	606
14.2.2	Mittelohr	607
14.2.3	Innenohr	608
14.2.4	Zusammenfassung	610
14.3	Signaltransduktion in der Cochlea	611
14.3.1	Erzeugung einer Wanderwelle auf der Basilarmembran	611
14.3.2	Mechanoelektrische Transduktion	613
14.3.3	Ionale Grundlagen der Mechanotransduktion	615
14.3.4	Codierung von Amplitude und Frequenz	617
14.3.5	Lokalisation von Schall	622
14.3.6	Zusammenfassung	627
14.4	Die Hörbahn	628
14.5	Vestibularorgan und Gleichgewichtssinn	629
14.5.1	Modalitäten räumlicher Orientierung	629
14.5.2	Das Bogengangsorgan der Säuger	631
14.5.3	Die Makulaorgane der Säuger	635

14.5.4	Zentrale Verarbeitung vestibulärer Signale	637
14.5.5	Zusammenfassung	637
	Literatur	638
15	Somatosensorik	639
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
15.1	Mechanische Sensibilität	641
15.1.1	Mechanosensoren der Haut	641
15.1.2	Mechanismen der Signaltransduktion	644
15.1.3	Signalbahnen ins Gehirn	647
15.1.4	Zusammenfassung	649
15.2	Thermosensibilität	650
15.2.1	Thermosensoren	650
15.2.2	Thermorezeptoren und Signaltransduktion	651
15.2.3	Zusammenfassung	656
15.3	Nozizeption	656
15.3.1	Nozizeptoren	657
15.3.2	Signaltransduktion	658
15.3.3	Aufsteigende und absteigende Bahnen	660
15.3.4	Natriumkanäle und Schmerz	661
15.3.5	Zusammenfassung	665
	Literatur	666
16	Chemische Sinne	667
	<i>Andreas Feigenspan</i>	
16.1	Das olfaktorische System	668
16.1.1	Aufbau des olfaktorischen Systems	669
16.1.2	Olfaktorische Rezeptoren und Signaltransduktion	671
16.1.3	Codierung olfaktorischer Reize	676
16.1.4	Zusammenfassung	679
16.2	Das gustatorische System	680
16.2.1	Aufbau des gustatorischen Systems	680
16.2.2	Signaltransduktion in Geschmackssinneszellen	683
16.2.3	Codierung von Geschmacksreizen	689
16.2.4	Zusammenfassung	691
16.3	Trigeminale Chemorezeption	692
	Literatur	693
	Serviceteil	695
	Sachverzeichnis	696