
Inhaltsverzeichnis

1	Bioenergetik	1
1.1	Energiegewinnung für Lebensvorgänge	1
1.2	Freie Energie	2
1.3	Aktivierungsenergie	4
	Box 1.1 Freie Energie und Gleichgewicht einer Reaktion	5
	Box 1.2 Kinetik enzymatischer Reaktionen	7
1.4	Energiegewinnung durch den oxidativen Abbau von Nährstoffen ..	9
1.5	Energiereiche Phosphate	9
1.6	Abbau von Kohlenhydraten	11
1.7	Glykolyse	13
1.7.1	Bereitstellung von Glucose	13
1.7.2	Reaktionsverlauf der Glykolyse	15
1.7.3	Gluconeogenese	17
1.7.4	Kontrolle der Glykolyse	18
1.7.5	Abbau von Fructose und Galactose durch die Glykolyse	19
1.7.6	ATP-Gewinn durch Glykolyse	21
1.8	Citrat-Zyklus	21
1.8.1	Reaktionsverlauf des Citrat-Zyklus	22
1.8.2	Energieausbeute des Citrat-Zyklus	23
1.9	Oxidative Phosphorylierung	25
1.9.1	Elektronenübertragung und Protonentransport durch die Atmungskette	25
1.9.2	Synthese von ATP	26
1.9.3	Regulation der oxidativen Phosphorylierung	27
1.9.4	ATP-Bilanz der oxidativen Phosphorylierung	27
1.9.5	ATP-Ausbeute beim oxidativen Abbau von Glucose	29
1.10	Bausteine aus dem Citrat-Zyklus	30
1.11	Lipide als Energiequelle für den aeroben Stoffwechsel	31
1.11.1	β -Oxidation	31
1.11.2	Biologische Bedeutung von Lipiden als Energiespeicher	34
1.11.3	Lipide werden in der Flamme der Kohlenhydrate verbrannt	36
1.12	Stoffwechsel von Aminosäuren	37
1.13	ATP-Gewinnung im Flugmuskel von Insekten	39
1.14	Leben ohne Sauerstoff – Anaerobe Energiegewinnung	42
1.14.1	Anaerobiose beim Tauchen von Robben	42
1.14.2	Anaerobiose beim Tauchen von Schildkröten	44

1.14.3	Genregulation bei Sauerstoffmangel	45
1.14.4	Anaerobiose bei Fischen	46
1.14.5	Anaerobiose bei Evertebraten	46
1.14.6	Energie-Ausbeute der Anaerobiose	48
1.15	Nutzung von ATP für Lebensfunktionen – Der Transport von Na ⁺ und K ⁺ über die Zellmembran	49
2	Energiehaushalt von Tieren	53
2.1	Die umgesetzte Energie wird als Wärme abgegeben	53
2.1.1	Direkte Kalorimetrie	53
2.1.2	Indirekte Kalorimetrie	54
2.2	Nahrungsenergie und Energiebudget	55
2.2.1	Nahrungsaufnahme und assimilierte Energie	55
2.2.2	Metabolisierbare Energie	56
2.2.3	Nutzbare Energie und spezifisch dynamische Wirkung	57
2.3	Energiebilanz	59
2.4	Aerobe Stoffwechselrate	59
2.4.1	Grundumsatz und Standardstoffwechsel	59
2.4.2	Körpergröße und Energieumsatz	60
2.4.3	Endotherm versus Ektotherm	68
2.4.4	Ruhe- und Aktivitätumsatz	69
2.5	Energetik der Fortbewegung	70
2.5.1	Gehen, Laufen und Springen	72
2.5.2	Fliegen	75
2.5.3	Wirkungsgrad der lokomotorischen Arbeit	76
2.5.4	Transportkosten der Fortbewegung – Vergleich von Schwimmen, Laufen und Fliegen	76
2.6	Produktion	78
2.6.1	Kosten der Biosynthese	78
2.6.2	Wachstum und Sekundärproduktion	78
2.6.3	Wachstum während der Embryonalentwicklung	79
2.6.4	Effizienz von Wachstum und Produktion	79
2.6.5	Vergleich des Wachstums verschiedener Tierarten	81
	Box 2.1 Methoden der direkten Kalorimetrie	83
	Box 2.2 Methoden der indirekten Kalorimetrie	84
	Box 2.3 Verbrennungskalorimeter (Bombenkalorimeter)	86
	Box 2.4 Wärmeäquivalente des oxidativen Abbaus von Kohlenhydraten, Lipiden und Proteinen	87
	Box 2.5 Messung des Wirkungsgrads der Arbeit eines Pferdes	88
	Literatur	89
3	Temperaturwirkungen und Thermoregulation	93
3.1	Temperaturabhängigkeit von Lebensvorgängen	93
3.2	Thermische Grenzen des Lebens	94

3.2.1	Minimum in Kälte	94
	Box 3.1 Wirkung der Temperatur auf Stoffwechselraten	95
3.2.2	Thermisches Maximum und Hitzetod	98
3.3	Biochemische und physiologische Grundlagen der Temperaturtoleranz	99
3.3.1	Thermisches Optimum	100
3.4	Strategien der Thermoregulation	101
3.4.1	Thermoregulation bei aquatischen Ektothermen	103
3.4.2	Temperaturanpassung und Kompensation	104
3.4.3	Thermoregulatorisches Verhalten	106
3.4.4	Regionale Endothermie bei Fischen	107
3.5	Leben mit Eis	110
3.5.1	Unterkühlung oder Gefrierschutz bei marinen Organismen	110
3.5.2	Gefrierschutz-Proteine	111
3.5.3	Gefrierschutz bei Insekten	113
3.5.4	Können Tiere das Einfrieren ihrer Körperflüssigkeiten ertragen? ..	113
3.6	Thermoregulation von terrestrischen Ektothermen	114
3.6.1	Thermoregulatorisches Verhalten	114
3.6.2	Warum regulieren Ektotherme ihre Körpertemperatur?	117
3.6.3	Vasomotorische Temperaturregelung	117
3.6.4	Temporäre Endothermie bei Ektothermen	119
3.7	Thermoregulation der endothermen Säugetiere und Vögel	121
3.7.1	Körpertemperatur	122
3.7.2	Wärmeisolierung der Körperoberfläche	124
3.7.3	Grundumsatz und Thermoneutralzone	125
3.7.4	Thermoregulation in Kälte	127
	Box 3.2 Physikalische Voraussetzungen für die Wärmeregulation in Kälte	128
3.7.5	Thermoregulatorische Wärmebildung	130
	Box 3.3 Regeln für die Klimaanpassung bei Endothermen	133
3.7.6	Thermoregulation bei Hitze	135
	Box 3.4 Wege des Wärmetauschs zwischen einem Tier und seiner Umgebung	136
3.7.7	Thermorezeptoren und Regelung	140
3.8	Torpor und Winterschlaf	145
3.8.1	Jahreszeitliche Probleme der Energieversorgung	145
3.8.2	Winterschlaf-Saison und Winterschlaf-Episoden	146
3.8.3	Energieumsatz im Winterschlaf	147
3.8.4	Winterruhe, Estivation und Kältestarre	148
3.8.5	Tageschlaflethargie	148
	Literatur	149
4	Atmung	153
4.1	Abhängigkeit vom Sauerstoff	153
4.1.1	Sauerstoff und Kohlendioxid in der Luft	154

	Box 4.1 Zusammensetzung trockener Luft	154
	Box 4.2 Korrektur von Gasvolumina auf Standardbedingungen (STPD)	155
4.1.2	Wie kommen die Atemgase ins Wasser	159
	Box 4.3 Löslichkeit von Gasen in Wasser	159
4.1.3	Gasaustausch durch Diffusion	162
	Box 4.4 Diffusion	163
4.1.4	Vergleich der Atmung in Luft mit der Atmung in Wasser	164
4.2	Atmung ohne Atemorgane	166
4.2.1	Hautatmung	168
4.2.2	Gasaustausch von Vogeleiern	170
4.3	Aufbau und Funktion von Atemorganen	171
4.4	Atmung im Wasser mit Kiemen	174
4.4.1	Mollusken	175
4.4.2	Crustaceen	175
4.4.3	Insekten	178
4.4.4	Kiemenatmung bei Fischen	179
4.5	Luftatmung mit Lungen	186
4.5.1	Evertebraten atmen mit Diffusionslungen	186
4.5.2	Wirbeltiere atmen mit Ventilationslungen	187
4.5.3	Luftatmung bei Fischen	188
4.5.4	Amphibien- und Reptilienlungen	189
4.5.5	Säugetierlunge	193
	Box 4.5 Compliance	199
	Box 4.6 Alveolares Gasmisch und Effizienz der Sauerstoffextraktion	201
4.5.6	Vogellunge	202
4.5.7	Regulation der Lungenatmung	206
4.6	Tracheen – ein alternativer Weg der Luftatmung	213
4.6.1	Intermittierende Atmung	215
4.6.2	Physikalische Kieme	217
4.6.3	Plastronatmung	218
	Literatur	219
5	Blut	221
5.1	Was ist Blut?	223
5.2	Plasmaproteine als universelle Transportvehikel und Speicher	223
	Box 5.1 Proteintrennung durch Elektrophorese	224
5.2.1	Funktionen einzelner Plasmaproteine	225
5.2.2	Plasmaproteine als Eiweißspeicher	226
5.2.3	Kolloidosmotischer Druck und Wasserhaushalt	226
5.3	Blutzellen	227
5.4	Transport von Atemgasen	228

5.5	Respiratorische Proteine	229
5.5.1	Hämoglobin	232
	Box 5.2 Sauerstoffbindungskurven	236
5.5.2	Chlorocruorin	237
5.5.3	Hämerythrin	237
5.5.4	Hämocyanin	238
5.6	Physiologische Rolle der respiratorischen Proteine beim Sauerstofftransport	239
5.7	Modulatoren der Sauerstoffbindung	242
5.7.1	Bohr-Effekt	242
5.7.2	Root-Effekt	243
5.7.3	Organische Phosphate	245
5.7.4	Temperaturwirkung auf respiratorische Proteine	247
5.8	Transport von Kohlendioxid	248
5.9	Sauerstofftransfer im Gewebe	249
5.10	Evolution von Transportsystemen für Sauerstoff	252
5.11	Pufferfunktion des Bluts	253
	Box 5.3 Säure-Basen-Gleichgewichte und das Bikarbonat-Puffersystem	254
5.12	Schutzfunktion des Blutes – Blutgerinnung	256
5.12.1	Primäre Hämostase	256
5.12.2	Blutgerinnung	257
5.13	Abwehrfunktionen bei Evertebraten	259
5.14	Abwehrfunktionen der Säugetiere	260
5.14.1	Unspezifisches Abwehrsystem	262
5.14.2	Spezifisches Abwehrsystem, Immunreaktionen	263
	Box 5.4 Blutgruppen des Menschen	267
6	Kreislauf	269
6.1	Offenes Kreislaufsystem	270
6.2	Geschlossener Kreislauf	272
6.3	Kreislaufsystem der Anneliden	272
6.4	Aufbau des Kreislaufsystems der Wirbeltiere	273
6.5	Kontraktion des Wirbeltierherzens	277
6.5.1	Zelluläre Mechanismen des Erregungsablaufs im Herzmuskel	278
6.5.2	Herzfrequenz und Förderleistung des Herzens	280
	Box 6.1 Messung des Herzminutenvolumens	281
6.5.3	Regelung der Herzstätigkeit und Vasomotorik	281
6.6	Blutgefäße	283
6.6.1	Arteriell System	285
	Box 6.2 Hämodynamik	286
6.6.2	Kapillaren und Mikrozirkulation	291
6.6.3	Venöses Gefäßsystem	294
6.7	Blutverteilung und Kreislaufregulation	295
	Literatur	296

7	Ernährung und Verdauung	299
7.1	Nahrungsquellen und Methoden der Nahrungsaufnahme	300
7.1.1	Mikrophagen	300
7.1.2	Ernährung durch Endosymbionten	300
7.1.3	Aufnahme gelöster Substanzen aus dem Wasser	302
7.1.4	Makrophage Karnivoren	302
7.1.5	Ernährung mit Flüssigkeiten	302
7.2	Verdauung	303
7.2.1	Verdauungsenzyme	306
7.2.2	Enzymatischer Abbau der Nahrung im Verdauungstrakt des Menschen	309
7.2.3	Mund	310
7.2.4	Magen	310
	Box 7.1 Enzymatischer Abbau der Nahrung im menschlichen Verdauungstrakt	311
7.2.5	Darm	315
7.2.6	Verdauendes-resorbierendes Epithel des Dünndarms	317
7.2.7	Regelung des Verlaufs der Verdauung	323
7.2.8	Regelung der Nahrungsaufnahme	325
7.3	Verdauung von Cellulose	327
7.3.1	Autogene Cellulase oder Celluloseabbau durch Endosymbionten? ..	327
7.3.2	Celluloseverdauung bei Wiederkäuern	328
7.3.3	Postgastrische Celluloseverdauung	330
7.3.4	Vergleich von prägastrischer und postgastrischer Celluloseverdauung	331
7.4	Essentielle Nahrungsbestandteile	331
7.4.1	Essentielle Fettsäuren	331
7.4.2	Essentielle Aminosäuren	332
7.4.3	Vitamine	332
	Box 7.2 Essentielle Nahrungsbestandteile	333
	Literatur	340
8	Osmoregulation und Exkretion	343
8.1	Zusammensetzung der Körperflüssigkeiten	344
8.2	Osmose	346
8.3	Transport von Wasser und Ionen über die Plasmamembran	348
8.4	Endprodukte des Stickstoff-Stoffwechsels	350
8.4.1	Ammoniak	350
8.4.2	Harnstoff	352
8.4.3	Harnsäure	353
8.5	Kontraktile Vakuole	355
8.6	Grundprinzipien der Exkretion	357
8.6.1	Filtration	358
8.6.2	Resorption	359
8.7	Exkretionsorgane	360
8.7.1	Nephridien	361

8.7.2	Antennendrüse der Arthropoden	363
8.7.3	Malpighische Gefäße der Insekten	364
8.7.4	Nieren der Wirbeltiere	367
8.7.5	Funktion der Säugetierniere	367
8.7.6	Regelung der Nierenfunktion	375
8.8	Strategien der Osmoregulation	378
8.8.1	Invertebraten	378
8.8.2	Fische	379
8.8.3	Amphibien	381
8.8.4	Reptilien und Vögel	382
	Literatur	384
9	Chemische Kommunikation durch Hormone	387
9.1	Vergleich von chemischer Kommunikation durch Hormone mit der zellulären Kommunikation durch das Nervensystem	387
9.2	Entdeckung der Hormone	388
9.2.1	Konzept der chemischen Kommunikation	389
9.2.2	Wettrennen um Testosteron	390
9.2.3	Insulin hilft Diabetikern	391
9.3	Chemische Botenstoffe, ein universelles Werkzeug zur Kommunikation	392
9.3.1	Lokale Funktionskontrolle durch Zytokine	392
9.3.2	Stickstoffmonoxid, ein besonders rasches chemisches Signal	398
9.3.3	Kommunikation durch Duftstoffe	399
9.4	Hormonrezeptoren	399
9.4.1	Cytosolische Rezeptoren für Steroidhormone	399
9.4.2	Membranständige Rezeptoren für Proteohormone	399
9.5	Endokrine Systeme der Evertebraten	404
9.5.1	Hydrozoen	405
9.5.2	Anneliden	405
9.5.3	Mollusken	406
9.5.4	Insekten	407
9.6	Endokrines System der Wirbeltiere	412
9.7	Hypophyse – Die Führungsdrüse des endokrinen Systems	413
9.7.1	Adenohypophyse	416
9.7.2	Hormone der Neurohypophyse	423
9.8	Urophyse	424
9.9	Pinealorgan	424
9.10	Schilddrüse	428
9.11	Parathyreoidea, Ultimobranchialdrüsen und Stanniussche Körperchen	429
9.12	Hormone des Gastrointestinaltrakts	431
9.13	Endokriner Pankreas	431
9.14	Nebenniere	433
9.14.1	Chromaffine Zellen	434
9.14.2	Steroidhormone der Nebennierenrinde	435
9.15	Steroidhormone der Gonaden	438
9.15.1	Spermatogenese und Testosteron	438

9.15.2	Oestrus – Zyklische Reifung der Oocyten	439
9.15.3	Endokrine Steuerung des Zyklus durch Östrogene und Gestagene .	441
9.15.4	Differenzierung der Geschlechter durch Sexualhormone	443
	Literatur	443
10	Biologische Rhythmen	447
10.1	Biologische Rhythmen und geophysikalische Zyklen	447
10.1.1	Tag/Nacht-Zyklus	448
10.1.2	Jahreszeiten	449
10.1.3	Gezeiten und Mondphasen	449
10.2	Tagesperiodik	450
10.2.1	Besitzen Tiere eine circadiane Uhr?	451
10.2.2	Synchronisation der Tagesperiodik	453
10.2.3	Aktivitätsmuster und ultradiane Rhythmik	456
10.2.4	Interne Synchronisation	457
10.2.5	Circadiane Ruhephase und Schlaf	460
10.2.6	Aufbau und Funktion des circadianen Schrittmachers	462
10.2.7	Circadiane Schrittmacher bei Evertebraten	463
10.2.8	Circadiane Schrittmacher von Wirbeltieren	463
10.2.9	Molekularer Mechanismus des circadianen Schrittmachers von Insekten	468
10.2.10	Molekularer Mechanismus des circadianen Schrittmachers der Säugetiere	470
10.3	Jahresperiodische Prozesse	472
10.3.1	Circannuale Rhythmen	472
10.3.2	Eigenschaften endogen circannualer Rhythmen	473
10.3.3	Wie entsteht ein circannualer Rhythmus?	475
10.3.4	Synchronisation der circannualen Periodik	476
10.4	Photoperiodische Steuerung der jahreszeitlichen Akklimatisation ..	477
10.4.1	Photoperiodische Zeitmessung	479
10.5	Adaptive Bedeutung endogener Rhythmen	480
	Literatur	481
	Sachverzeichnis	485
	Verzeichnis der Organismen	501