

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	6
1 Grundfragen des Energieumsatzes	13
1.1 Was heißt »Atmung dient dem Energiegewinn«?	13
1.2 Energiemengen können nicht verschwinden, aber umgewandelt werden	15
1.3 Kann das Leben Energie produzieren?	16
1.4 Die Richtung von Naturvorgängen	17
1.5 Die Wärme verhält sich anders	17
1.6 Was bringt Wärme dem Organismus?	19
1.7 Energieumsatz bei chemischen Vorgängen	20
1.8 Der Energieinhalt eines Systems	21
1.9 Wärme und Arbeit	22
1.10 Wir nähern uns einer Grenze	23
1.11 Reversible und irreversible Vorgänge	24
1.12 Energieumsatz und Reaktionsrichtung	24
1.13 Arbeit ist »freie« Energie	25
1.14 Vorsicht mit abstrakten Begriffen	26
1.15 Arbeit gegen den Luftdruck	26
1.16 Chemisches Potential und Triebkraft	27
1.17 Die Entropie	27
1.18 Eine Grundgleichung der Thermodynamik	29
1.19 Voraussetzungen für die Angabe von Zahlenwerten	30
1.20 Reaktionsrichtung und Entropieänderung	31
1.21 Einige Zahlenwerte und Beispiele	32
1.22 Der Entropiesatz und das Lebendige	36
1.23 Triebkraft und Arbeitsausbeute	38
1.24 Irreversible Thermodynamik	43
1.25 Energie und Information	45
2 Reaktionsgeschwindigkeit und Gleichgewicht	46
2.1 Moleküle treten in Kontakt	46
2.2 Das Massenwirkungsgesetz	47
2.3 Konzentration und Aktivität	49
2.4 Anwendung des Massenwirkungsgesetzes	50
2.5 Biologische Synthesen und das Wasser	51
2.6 Protein-Synthese als weiteres Beispiel	51
3 Katalyse	53
3.1 Systeme, in denen »nichts passiert«	53
3.2 Wann stoßen Moleküle »erfolgreich« zusammen?	54
3.3 Ein metastabiler Zustand kommt in Bewegung	55
3.4 Die Aktivierungsenergie	55
3.5 Katalyse öffnet neue Wege	56
4 Kinetik einer Reaktion 1. Ordnung	58
4.1 Umsatz und Zeit	58
4.2 Die empirische Ableitung einer Beziehung	58

4.3	Die kausale Ableitung einer Beziehung	59
4.4	Reaktionen höherer Ordnungen	60
4.5	Ausblick auf die Katalyse	61
5	Enzyme	62
5.1	Katalyse im Stoffwechsel	62
5.2	Kontakt zwischen Enzym und Substrat	63
5.3	Ein veränderter Reaktionsweg	63
5.4	Katalyse und Gleichgewicht	63
5.5	Synthesevorgänge brauchen nicht nur Katalysatoren	66
6	Der thermodynamische Aspekt des Massenwirkungsgesetzes	68
6.1	Eine Reaktion verläuft freiwillig bis zum Gleichgewicht	68
6.2	Ein System im Gleichgewicht kann keine Arbeit leisten	69
6.3	Der Einfluß der Konzentration	70
6.4	Die »Standardbedingungen«	71
6.5	Die Energetik von Konzentrationsveränderungen	71
6.6	Die Konzentrationsabhängigkeit von ΔG	76
6.7	Freie Enthalpie und Gleichgewichtskonstante	79
6.8	Die Anwendung der abgeleiteten Beziehungen	80
6.9	Konzentrationsverschiebung und Reaktionsrichtung	81
7	Die Funktion »energiereicher« Verbindungen	82
7.1	Das Adenosin-Triphosphat	82
7.2	Was heißt »energiereiche« Verbindung?	82
7.3	ATP unter veränderten Bedingungen	87
7.4	ATP als Substrat für Enzyme	88
7.5	Energetische Koppelung bei chemischen Reaktionen	89
7.6	Gruppenübertragungen als Beispiele für die Energetik gekoppelter Reaktionen	90
7.7	Gruppenübertragende Enzyme	93
7.8	Vom biologischen Sinn der Aktivierungsenergie	94
7.9	Die Spezifität gruppenübertragender Enzyme	94
8	Die Glykolyse und ihr Energieertrag	98
8.1	Die Vorbereitungsreaktionen der Glykolyse	98
8.2	Der ATP-produzierende Teil der Glykolyse	101
8.3	Die Abschlußreaktionen der Glykolyse	105
8.4	Regeneration wasserstoff-übertragender Coenzyme ohne Sauerstoff: die Gärungen	107
8.5	Die energetische Bilanz über die Glykolyse	108
9	Energietransformation an Biomembranen	116
9.1	Atmung und Gärung als alternative Wege des Stoffwechsels	116
9.2	Die Biomembran	117
9.3	Permeation durch Biomembranen	122
9.4	Ionophore	124
9.5	Membranproteine	127
9.6	Aktiver Transport	131
9.7	Protonentransport und ATP	135
9.8	Eine urtümliche Art der Verwertung von Lichtenergie: <i>Halobacterium halobium</i>	147
9.9	Andere Möglichkeiten zum Aufbau einer Protonentriebkraft	154
10	Energietransformation durch Elektronentransport	156
10.1	Redox-Vorgänge	156
10.2	Wer oxidiert wen?	157

10.3	Wie kann man Redox-Eigenschaften messen?	158
10.4	Normalpotentiale	160
10.5	Die Konzentrationsabhängigkeit von E_{O}	162
10.6	Der rH-Wert	165
10.7	Biologische Redox-Systeme	168
10.8	Redox-Vorgänge und Protonentriebkraft	177
10.9	Protonengradient und Membranpotential	181
10.10	Berechnung von Protonentriebkraften (PMF)	187
10.11	Entkoppler	192
11	Die Atmungsvorgänge in Mitochondrien	194
11.1	Bereitstellung von coenzym-gebundenem Wasserstoff	194
11.2	Die Atmungskette	201
11.3	Die Energie-Bilanz der Atmung	211
11.4	Die Wärmeproduktion der Atmung	214
11.5	Die Besonderheiten der Mitochondrien der Pflanzen	215
11.6	Atmungshemmung und Atmungskontrolle	217
12	Reaktionsgeschwindigkeit und Substratkonzentration	220
12.1	Ein Bild für Pools und Reaktionswege	220
12.2	Fließgleichgewichte	221
12.3	Regulation ist notwendig	222
12.4	Spontane Reaktionen regeln sich einfach	223
12.5	Bei katalysierten Reaktionen gibt es eine Grenze	223
12.6	Voraussetzungen zur Ableitung des Geschwindigkeitsgesetzes	225
12.7	Die Gleichung von Michaelis und Menten	226
12.8	Vergleich der empirischen und der abgeleiteten Beziehung	228
12.9	Die graphische Auswertung nach Lineweaver und Burk	229
12.10	Was sagt die Michaelis-Konstante aus?	230
12.11	Enzymeinheit und Wechselzahl	232
12.12	Kalkulationen mit der Michaelis-Menten-Beziehung	232
12.13	Substrat und Enzym haben verschiedenartigen Einfluß auf die Reaktionsgeschwindigkeit	234
12.14	Die Kinetik umkehrbarer Reaktionen	234
13	Fließgleichgewichte und ihre Regulation	238
13.1	Übergang vom thermodynamischen Gleichgewicht zum Fließgleichgewicht	238
13.2	Pool-Größen ändern sich	238
13.3	Ein Modellfall wird berechnet	239
13.4	Pool-Größen hängen von 2 Faktoren ab	241
13.5	Bei katalysierten Reaktionen kommt ein dritter Faktor hinzu	242
13.6	Gleichgewichts-Reaktionen und Schrittmacher-Reaktionen	243
13.7	Veränderungen von Enzymaktivitäten können verschieden wirken	244
13.8	Ansatzpunkte für Regulationsvorgänge	245
13.9	Schaltpunkte der Glykolyse	245
14	Veränderung von Enzymaktivitäten	248
14.1	Möglichkeiten und Mechanismen	248
14.2	Begriffe und Definitionen	249
14.3	Kompetitive Inhibition	249
14.4	Allosterische Effekte	251
14.5	Substratüberschuß-Hemmung	252
14.6	Aktivierung	253
14.7	Quartärstruktur und Kooperativität	254

14.8	Der Kooperativitäts-Index	255
14.9	Quartärstruktur und Allosterie	256
14.10	Chemische Veränderungen an Enzymen	257
15	Die Regulation der Glykolyse	259
15.1	Weshalb und wie wird reguliert?	259
15.2	Die Eigenschaften der Phosphofructokinase	260
15.3	Substratüberschuß-Hemmung und Gleichgewicht	261
15.4	Der Pasteur-Effekt	263
15.5	Endprodukt-Hemmung	265
15.6	Die Zelle benötigt viele Regulationsvorgänge	265
16	Die Photosynthese	268
16.1	Eine neue Dimension	268
16.2	Das Licht	268
16.2.1	Elektromagnetische Strahlung	268
16.2.2	Strahlung und Energie	270
16.3	Materie und Strahlung	273
16.3.1	Atome absorbieren Licht	273
16.3.2	Elektronenbahnen	274
16.3.3	Anregung und Redoxpotential	280
16.3.4	Das wellenmechanische Atommodell	281
16.3.5	Die Baupläne der Atome	288
16.3.6	Molekül-Orbitale	296
16.3.7	Die π -Bindung	303
16.3.8	Konjugierte Systeme	309
16.4	Das Pigment-System der Photosynthese	315
16.4.1	Das »Strahlungsfenster« als Grundlage des Lebens	315
16.4.2	Absorptions-Spektren	316
16.4.3	Die Chlorophylle	317
16.4.4	Phycobiline und Carotinoide	321
16.4.5	Anregungszustände in Pigment-Molekülen	323
16.4.6	Verlust von Anregungsenergie	330
16.5	Grundlegende Erkenntnisse zur Photosynthese	342
16.5.1	Was sagt uns die Bilanzgleichung?	342
16.5.2	Woher kommt der Sauerstoff?	343
16.5.3	Die Photosynthese-Forschung als Indizienprozeß	344
16.6	Struktur und Funktion des Photosynthese-Apparates	355
16.6.1	Chloroplasten	355
16.6.2	Die Photosysteme	357
16.6.3	Die Bestandteile der Komplexe in den Thylakoid-Membranen	359
16.7	Der Weg der Lichtreaktion	364
16.7.1	Der Lichtsammel-Vorgang	364
16.7.2	Die Ladungstrennung am PS II	367
16.7.3	Der Zwei-Elektronen-Ausgang	368
16.7.4	Das System der Wasserspaltung	369
16.7.5	Die Donator-Seite des Photosystems I	372
16.7.6	Die Acceptor-Seite des Photosystems I	373
16.7.7	Der Abschluß der photosynthetischen Elektronenbewegung	375
16.7.8	Die Photophosphorylierung	376
16.7.9	Die Energiebilanz der Lichtreaktion	379
16.7.10	Probleme mit Sauerstoff	380
16.8	Der Weg des Kohlenstoffes in der Photosynthese	382
16.8.1	Der Calvin-Zyklus	382

12 Inhaltsverzeichnis

16.8.2	Der Säurewechsel der Sukkulenten	387
16.8.3	Die Photorespiration und die C ₄ -Pflanzen	389
16.8.4	Die Energie-Bilanz der Photosynthese	393
17	Wozu braucht ein Organismus ATP?	395
17.1	Rückblick	395
17.2	ATP treibt mechanische Arbeitsleistung	395
17.3	ATP treibt Transportvorgänge	396
17.4	ATP treibt Synthesevorgänge	398
17.5	Die Sonderstellung der Proteinsynthese	400
17.6	Das »Turnover« der Proteine und sein Energiebedarf	405
17.7	Die Synthese der Nucleinsäuren	406
18	Gestalt und Wandel	408
	Nachwort	410
	Weiterführende Literatur	413
	Bildquellen	415
	Symbole und Abkürzungen	418
	Sachregister	425