

Albert L. Lehninger

# Bioenergetik

Molekulare Grundlagen der biologischen  
Energieumwandlungen

Deutsche Übersetzung von  
Thomas Hartmann

3., unveränderte Auflage  
92 meist zweifarbige Abbildungen  
12 Tabellen



1982

Georg Thieme Verlag Stuttgart · New York

## Inhaltsverzeichnis

<b>Vorworte</b> . . . . .	III, IV
<b>Energiefluß in der Welt der Biologie</b> . . . . .	1
Nahrungssysteme und Energiefluß . . . . .	2
Sonnenenergie und Photosynthese . . . . .	4
Atmung in heterotrophen Zellen . . . . .	6
Biologische Arbeit . . . . .	7
Biologischer Kreislauf der Materie . . . . .	11
Gewaltige Ausmaße des biologischen Energiekreislaufes . . . . .	12
Prinzip der Energieübertragung in der Zelle . . . . .	13
Spezialisierte Energieumwandlungen . . . . .	15
Zellstruktur und Arbeitsteilung in der Zelle . . . . .	16
<b>Grundsätze der Thermodynamik</b> . . . . .	21
Anwendungsmöglichkeiten und Methoden der Thermodynamik . . . . .	21
Der erste Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .	23
Wärmeänderungen bei chemischen Reaktionen . . . . .	24
Isotherme Natur zellulärer Prozesse . . . . .	26
Entropie und der zweite Hauptsatz . . . . .	27
Freie Energie . . . . .	30
Freie Energie und Gleichgewichtskonstante . . . . .	32
Änderung der freien Energie bei chemischen Reaktionen unter Nichtstandardbedingungen . . . . .	36
Katalyse und Aktivierungsenergie . . . . .	38
Offene und geschlossene Systeme . . . . .	39
<b>Das Adenosinriphosphatsystem und die Übertragung von chemischer Energie</b> . . . . .	40
Struktur und Eigenschaften von ATP . . . . .	41
Freie Energie der Hydrolyse von ATP unter Standardbedin- gungen . . . . .	43
Warum ist ATP eine „energiereiche“ Verbindung? . . . . .	44
Die energiereiche Phosphatbindung . . . . .	45
Die freie Energie der Hydrolyse unter Standardbedingungen für andere Phosphatverbindungen . . . . .	46
Zentrale Stellung des ATP-ADP-Systems . . . . .	48
Prinzip des „gemeinsamen Zwischenproduktes“ bei der Energie- übertragung . . . . .	50
Konservierung der Oxydationsenergie in Form von ATP-Energie . . . . .	51
Nutzung von ATP-Energie zur Leistung von chemischer Arbeit . . . . .	53
Kopplung von energieliefernder Oxydation und energieverbrau- chender Biosynthesereaktion . . . . .	55
<b>Erzeugung von ATP in der anaeroben Zelle</b> . . . . .	57
Biologische Bedeutung der anaeroben Gärung . . . . .	57
Glykolyse . . . . .	59
Enzyme . . . . .	60
Reaktionsfolge der Glykolyse . . . . .	63

Stoffwechsel des Kohlenstoffs bei der Glykolyse . . . . .	66
Stoffwechsel der Elektronen bei der Glykolyse . . . . .	68
Stoffwechsel der Phosphatgruppen bei der Glykolyse . . . . .	70
Bilanz der Glykolyse . . . . .	72
Intrazelluläre Organisation des glykolytischen Systems . . . . .	73
Regulation der Gärungsgeschwindigkeit . . . . .	74
Energetik von Gärung und Atmung im Vergleich . . . . .	76
<b>Atmung und ATP-Bildung im Mitochondrium . . . . .</b>	<b>79</b>
Bildung von Acetyl-CoA . . . . .	79
Citronensäurezyklus . . . . .	83
Elektronentransport und die Atmungskette . . . . .	87
Energetik des Elektronentransports . . . . .	90
Oxydative Phosphorylierung . . . . .	92
Energiebilanz der Glucoseoxydation . . . . .	94
Regulation der Atmungsgeschwindigkeit . . . . .	96
Mitochondrien und ihre molekulare Organisation . . . . .	99
Mechanismus der oxydativen Phosphorylierung . . . . .	102
<b>Photosynthese und Chloroplast . . . . .</b>	<b>106</b>
Photosynthesegleichung . . . . .	106
Licht- und Dunkelreaktionen . . . . .	108
Lichtquanten . . . . .	108
Anregung von Molekülen durch Licht . . . . .	110
Chlorophyll . . . . .	112
Anregung des Chlorophylls und Photoreduktion . . . . .	113
Photophosphorylierung . . . . .	117
Photosysteme I und II und ihre Wechselbeziehungen . . . . .	119
Mechanismen des zyklischen Elektronenflusses und der Photo- phosphorylierung . . . . .	122
Bildung von Glucose durch die Dunkelreaktionen der Photosyn- these . . . . .	123
Wirkungsgrad der Photosynthese . . . . .	125
Chloroplast . . . . .	126
<b>Chemische Arbeit der Biosynthese: Polysaccharide und Lipide . . . . .</b>	<b>130</b>
Zellwachstum . . . . .	130
Dynamik des Stoffumsatzes in der Zelle . . . . .	132
Biosynthesegeschwindigkeit und Verteilung der Biosynthese- energie . . . . .	133
Konzept der Biosynthese . . . . .	135
Biosynthese von Glucose aus einfachen Vorstufen . . . . .	138
Energetische Aspekte zur Synthese der Makromoleküle aus ein- fachen Bausteinen . . . . .	141
Verteilung der ATP-Energie über andere Triphosphate . . . . .	144
Biosynthese von Glykogen aus Glucose . . . . .	147
Biosynthese eines Lipids aus seinen Bausteinen . . . . .	150
ATP-Umsatz während der aktiven Biosynthese . . . . .	155
Stoffwechsel-Fließgleichgewicht und Entropiebildung . . . . .	156

VIII *Inhaltsverzeichnis*

<b>Biosynthese von DNA, RNA und Proteinen</b> . . . . .	157
Die Elemente im Fluß der genetischen Information . . . . .	157
Struktur der DNA . . . . .	159
Struktur von Chromosomen, Genen und Codons . . . . .	164
Replikation der DNA . . . . .	165
Messenger-RNA und der Prozeß der Transskription . . . . .	170
Die covalente Struktur der Proteine . . . . .	171
Proteinsynthese . . . . .	177
Der genetische Code . . . . .	184
<b>Zusammenlagerung der Zellstruktur</b> . . . . .	188
Information und ihre Messung . . . . .	188
Informationsgehalt der Zelle . . . . .	189
Entropie und Information . . . . .	191
Programmierung der Zellstruktur . . . . .	193
Dreidimensionale Struktur der Proteine . . . . .	194
Die Bildung der dreidimensionalen Struktur . . . . .	196
Höher geordnete dreidimensionale Struktureinheiten . . . . .	199
<b>Aktiver Transport</b> . . . . .	203
Membranen und ihre Permeabilität . . . . .	203
Passiver und aktiver Transport . . . . .	206
Energiebedarf des aktiven Transports . . . . .	208
Merkmale aktiver Transportsysteme . . . . .	210
Die wichtigsten aktiven Transportsysteme der Zelle. Transport von $K^+$ und $Na^+$ . . . . .	214
Transport von Glucose und Aminosäuren . . . . .	217
Organisation von Transportprozessen in Zellen und Geweben . . . . .	219
Bioelektrischer Effekt des aktiven Transports: Das Aktionspo- tential . . . . .	222
<b>Kontraktion und Bewegung</b> . . . . .	225
Arten der Kontraktions- und Bewegungssysteme . . . . .	225
Dynamische Eigenschaften des Skelettmuskels . . . . .	226
Energiequelle der Muskelkontraktion . . . . .	227
Kreatinphosphat: Ein Sammelbecken für energiereiche Phosphat- gruppen . . . . .	229
Struktur der Muskelzelle . . . . .	230
Myosin, Actin und Actomyosin . . . . .	232
Der molekulare Mechanismus der Muskelkontraktion . . . . .	235
Entspannung des Muskels . . . . .	237
Geißeln und Cilien . . . . .	239
<b>Einige andere Probleme der Bioenergetik</b> . . . . .	241
Fachwortlexikon . . . . .	245
Literatur . . . . .	252
Sachverzeichnis . . . . .	255