

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung: Physikalische Konzepte in der Biologie	1
Literatur	3
WWW	3
2 Aufbau von zellulären Strukturen: Biomoleküle, Wechselwirkungen und molekulare Prozesse.....	4
2.1 Lipidmoleküle sind die Hauptbestandteile von Zellmembranen	4
2.1.1 Klassifizierung von Lipiden	5
2.1.2 Experimentelle Methoden zur Charakterisierung von Membranen.....	6
2.2 Physikalische Wechselwirkungen bestimmen Gestalt und Interaktion von Proteinen.....	8
2.2.1 Die Coulomb-Wechselwirkung ermöglicht chemische Bindungen.....	8
2.2.2 Die Ionische Bindung wird durch das Coulomb-Gesetz beschrieben....	9
2.2.3 Der polare Charakter des Wassers: Ein Molekül mit einem elektrischen Dipolmoment.....	11
2.2.4 Induzierte elektrische Dipole sind die Ursache für die Van-der-Waals-Wechselwirkung	14
2.2.5 Elektrische Dipole sind die Ursache von Wasserstoffbrücken- bindungen	15
2.2.6 Thermische Bewegung schwächt die Dipol-Dipol-Wechselwirkung..	17
2.2.7 Die Polypeptidkette wird durch kovalente Bindungen zusammengehalten.....	18
2.2.8 Schwache Wechselwirkungen bestimmen die Struktur eines Proteins	21
Literatur	21
3 Energie, Reaktionen und Transportprozesse in Zellen	23
3.1 Bioenergetische Prozesse sind die Grundlagen des Lebens und werden durch die Thermodynamik beschrieben	23
3.1.1 Die Erhaltung von Energie und Entropie: Auch die belebte Natur muss sich daran halten	24
3.1.2 Thermodynamische Potentiale beschreiben, ob Reaktionen ablaufen können	28
3.1.3 Die Thermodynamik beschreibt das physikalische Verhalten einer großen Zahl von Molekülen, den thermodynamischen Gesamtheiten	30

3.2 Nahezu alle biochemischen Prozesse in der Zelle sind durch Enzyme katalysiert: Enzymatische Katalyse erleichtert Reaktionen	31
3.3 Elektronen, Ionen und Biomoleküle werden auf verschiedene Art transportiert: Transportprozesse	35
3.3.1 Molekularer Transport durch Diffusion: Sauerstoff diffundiert durch Zellgewebe	35
3.3.2 Ionen und Proteine werden auf verschiedene Arten durch Membranen transportiert	41
3.3.3 Elektronentransfer in biologischen Systemen	52
3.4 Membranpotentiale und Mikrochips: Biophysikalische Untersuchungen zur Verbindung von Nervenzellen und Halbleitern	58
3.4.1 Elektrische Leitung in Halbleitern	59
3.4.2 Der Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor (MOS-FET)	60
3.4.3 Elektrische Eigenschaften von Membranen können durch Ersatzschaltbilder dargestellt werden	61
3.5.4 Eine einzelne Nervenzelle kann mit einer Silizium-Mikrostruktur elektrisch koppeln	63
3.5 Neuronen im Gehirn sind vernetzt: Die Natur dient als Vorbild für künstliche neuronale Netze, die neuartige Rechnerstrukturen ermöglichen	68
3.5.1 Vergleich von biologischen und künstlichen neuronalen Netzen	69
3.5.2 Modellierung von neuronalen Netzen	71
3.5.3 Beispiel eines künstlichen neuronalen Netzes mit 4 Zellen: Das XOR-Netzwerk	72
Literatur	74
4 Struktur und Dynamik von Proteinen	76
4.1 Molekulare Dynamik macht Funktion von Proteinen möglich	76
4.1.1 Proteine besitzen strukturell ähnliche Konformationen	79
4.1.2 Die Faltung eines Proteins wird durch Wechselwirkungen verursacht	80
4.2 Konformationen von Biomolekülen lassen sich am Computer berechnen	82
4.2.1 Die Potentialfunktion: Grundlage für Konformationsberechnungen	82
4.2.2 Dynamik von Biomolekülen lässt sich am Computer simulieren	83
4.3 Rasterkraftmikroskopie: Eine Methode zum Abtasten von Proteinen und zur Bestimmung von Bindungskräften	88
4.4 Motorproteine und ihre submolekulare Funktion	93
4.4.1 Der molekulare Mechanismus der Muskelkontraktion: Das Motorprotein Myosin zieht an Aktinfilamenten	93
4.4.2 Optische Pinzetten: Dipolfallen für Atome, Proteine und ganze Zellen	96
4.4.3 Messung von Kräften einzelner Motorproteine	98
4.5 Im atomaren und subatomaren Größenbereich muss die Quantenmechanik zur Beschreibung von Prozessen herangezogen werden	103
4.5.1 Energie kommt in Portionen vor, den Energiequanten	103
4.5.2 Die Welleneigenschaft der Materie	104

4.5.3 Der Begriff der Wellenfunktion	105
4.5.4 Die Heisenbergschen Unschärfe-Relationen: Ort und Impuls sowie Energie und Zeit sind nicht gleichzeitig scharf messbar	106
4.5.5 Klassische Größen wie Ort, Impuls und Energie werden in der Quantenmechanik zu Operatoren und dienen zur Berechnung von Erwartungswerten	107
4.5.6 Die Schrödinger-Gleichung ersetzt die Newtonschen Gleichungen im Mikrokosmos	109
4.5.7 Die Lösung der Schrödinger-Gleichung für Atome führt auf den Begriff der Elektronenorbitale	110
4.5.8 Elektronen und Protonen besitzen ein magnetisches Moment, das durch den Spin verursacht wird	114
4.5.9 Der quantenmechanische Tunneleffekt erlaubt Elektronentransfer in und zwischen Proteinen	117
4.6 Licht regt Moleküle an: Spektroskopie im ultravioletten und im sichtbaren Bereich	118
4.6.1 Die Absorption von Licht durch Materie wird durch das Lambert-Beersche Gesetz beschrieben	118
4.6.2 Übergänge von Elektronen in angeregte Molekülorbitale erklären die Absorption von Licht durch Materie	120
4.6.3 Die Feinstruktur von Absorptionslinien wird durch Molekülschwingungen verursacht	125
4.7 Infrarot- (IR-) Spektroskopie: Absorption von elektromagnetischer Strahlung im Infrarotbereich macht Schwingungen innerhalb von Proteinen sichtbar	126
4.7.1 Intramolekulare Schwingungen werden durch Lichtquanten im Infrarotbereich angeregt	128
4.7.2 Anwendungen der IR-Spektroskopie in der Biologie	129
4.8 Elektronen-Spin-Resonanz (ESR): Absorption von Mikrowellen dient zur Charakterisierung von ungepaarten Elektronen in Metallzentren und von organischen Radikalen	131
Literatur	138
5 Methoden zur Bestimmung der Struktur von Biomolekülen	141
5.1 Physikalische Prinzipien bei der Proteinaufreinigung	141
5.1.1 Osmose	141
5.1.2 Sedimentation	142
5.1.3 Ultrazentrifugation	143
5.1.4 Elektrophorese	145
5.1.5 Chromatographische Methoden	148
5.2 Massenspektroskopie: Strukturaufklärung durch Fragmentierung von Proteinen bei minimalen Probenmengen	151
5.2.1 Probeneinführung, Ionisation und Detektion von Ionen in der Massenspektroskopie	152
5.2.2 Massenspektroskopie von Biomolekülen	156
5.3 Die Wellennatur von Elektronen ist die Grundlage für die Transmissionselektronenmikroskopie	158

5.4 Röntgenabsorptionsspektroskopie gibt element-spezifische Strukturmerkmale von Metallzentren in Proteinen	163
5.4.1 Die Lage der Absorptionskante gibt Aufschluss über den Valenzzustand des Metalls	163
5.4.2 Die Feinstruktur oberhalb der Kante enthält Informationen über Abstand, Art und Zahl der Liganden des Metalls.....	164
5.4.3 Die Feinstruktur muss zur Analyse aus dem Röntgenabsorptionsspektrum extrahiert werden	166
5.4.4 Abstände und Ligandenzahl können aus der Feinstruktur bestimmt werden	166
5.4.5 Einige Anwendungen der Röntgenabsorptionsspektroskopie.....	168
5.5 Proteinkristallographie: Die Beugung von Röntgenstrahlen am Proteinkristall erlaubt die Aufklärung der atomaren Struktur von Proteinen	171
5.5.1 Für die Röntgenstrukturanalyse sind Proteinkristalle nötig	172
5.5.2 Röntgenstrahlen werden an verschiedenen Gitterebenen im Kristall gebeugt.....	174
5.5.3 Ebenen im Kristallgitter werden durch die Millerschen Indizes beschrieben.....	175
5.5.4 Das reziproke Gitter ist eine äquivalente Beschreibung eines Gitters und erleichtert die Interpretation von Röntgenbeugung an Kristallen	175
5.5.5 Das Beugungsbild eines Kristalls stellt das reziproke Gitter dar.....	176
5.5.6 Die Information über die Molekülstruktur steckt in den Intensitäten der Beugungsreflexe	176
5.5.7 Die Anzahl der vermessenen Reflexe bestimmt die Auflösung einer Röntgenstruktur	180
5.6 Nukleare Magnetische Resonanz (NMR): Absorption von Radiowellen durch Atomkerne erlaubt Strukturaufklärung im atomaren Maßstab	181
5.6.1 NMR ist eine Spektroskopie, die auf der Absorption von elektromagnetischer Strahlung im Radiowellenbereich beruht	181
5.6.2 Strukturbestimmung von Biomolekülen mit NMR-Spektroskopie ...	187
Literatur	195
6 Anwendungen von kernphysikalischen Methoden in der Biologie	197
6.1 Radioaktive Tracer: Kontrolliertes Markieren von Substraten mit Isotopen ergibt Informationen über Reaktionsmechanismen	197
6.1.1 Mit Hilfe des stabilen Sauerstoffisotops ^{18}O wurde die Wasserspaltung in der Photosynthese bewiesen	198
6.1.2 Mit Hilfe des radioaktiven Kohlenstoffisotops ^{14}C wurde die CO_2 -Fixierung in der Photosynthese grüner Pflanzen untersucht.....	199
6.1.3 Autoradiographische Verfahren erlauben die Lokalisation von radioaktiv markierten Bereichen	199
6.1.4 Radioimmunoessays dienen zum Nachweis von geringsten Mengen biologischer Substanzen	200

6.2 Mößbauer-Spektroskopie: Eine kernphysikalische Methode zur Ermittlung des dynamischen Verhaltens, der Spinzustände und der Valenzen von Eisenzentren in Biomolekülen	200
6.2.1 Mößbauer-Spektroskopie beruht auf rückstoßfreier Resonanz von γ -Quanten an Kernen.....	201
6.2.2 Die Parameter Isomeriewerschiebung, Quadrupolaufspaltung und magnetisches Hyperfeinfeld sind charakteristisch für Valenz- und Spin-Zustand des Mößbauer-Atoms	203
Literatur	208
7 Von einzelnen Puzzleteilen zum Verständnis des Ganzen:	
Wie funktioniert die Lichtreaktion des Photosyntheseprozesses.....	209
7.1 Untersuchungen am Photosystem von photosynthetisch aktiven Bakterien bilden die Grundlage zum Verständnis der Photosynthese in grünen Pflanzen.....	211
7.2 Im Photosystem II grüner Pflanzen wird Wasser durch ein Metall-Zentrum mit vier Manganionen gespalten	213
Literatur	217
Anhang	218
Anhang 1: Sauerstoffdiffusion im Gewebe am Beispiel des Kroghschen Zylinders.....	218
Anhang 2: Herleitung der Goldman-Gleichung.....	221
Anhang 3 : Mathematischer Anhang	225
Die Taylorreihe.....	225
Die Lösungen der Schrödinger-Gleichung für das Wasserstoffatom.....	225
Anwendungen von Fourier-Reihen und Fourier-Transformationen	226
Literatur	228
Sachverzeichnis	229