

Inhaltsverzeichnis

Vorwort xi

1	Kräfte in der Biologie 1
1.1	Woraus bestehen wir? 1
1.2	Kräfte und der menschliche Körper 2
1.2.1	Schwerkraft und hydrodynamische Kraft 2
1.2.2	Reibungskoeffizienten 4
1.3	Der große Bruder: Biomechanik 4
1.4	Molekulare Grundlagen biologischer Konstruktionen 6
1.5	Weiche und harte Materialien 9
1.6	Biologische und biomimetische Strukturmaterialien 13
1.7	Abnutzung von biologischen Strukturen 13
1.8	Thermodynamik und Mechanik in der Biologie im Nanometermaßstab 16
	Literaturverzeichnis 17
2	Einführung in die Grundlagen der Mechanik 19
2.1	Elastische und plastische Verformung 19
2.2	Der Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung 20
2.3	Mechanisches Versagen von Materialien 21
2.4	Viskoelastizität 22
2.5	Mechanische Moduln von biologischen Materialien 24
2.5.1	Mechanische Verformungen 24
2.5.2	Scherung und Schubmodul 24
2.5.3	Dreiachsige Verformung und Kompressibilität 25
2.5.4	Y, G und K hängen über die Poissonszahl zusammen 25
2.5.5	Was ist die Poissonszahl? 28
2.6	Flüssigkeiten und Viskosität 28
2.7	Adhäsion und Reibung 29
2.8	Mechanisch geregelte Systeme 31
	Literaturverzeichnis 33

3	Kräfte und Kraftmessung	35
3.1	Mechanische, thermische und chemische Kräfte	35
3.2	Die optische Pinzette	36
3.3	Das Rasterkraftmikroskop	39
3.3.1	Geschichte und Funktionsweise	39
3.3.2	Kraftmessung mit dem Rasterkraftmikroskop	40
3.4	Biomembranen als Kraftsonden	44
3.4.1	Kraftübertragung	44
3.5	Magnetische Perlen	45
3.6	Gelsäulen	46
3.7	Blattfedern als Kraftsensoren	46
3.8	Die Geschwindigkeit der Belastung	47
3.8.1	Die Abhängigkeit der mittleren Bruchkraft von der Geschwindigkeit der Belastung	49
3.9	Die Kraftklemmenmethode	52
3.10	Spezifische und unspezifische Kräfte	52
	Literaturverzeichnis	54
4	Die Mechanik von Polymerketten	57
4.1	Polymere in der Biologie	57
4.2	Polymerketten	58
4.3	Der End-zu-End-Abstand	61
4.3.1	Definition	61
4.3.2	Statistische Knäuel	62
4.3.3	Die frei bewegliche Kette	63
4.4	Die Persistenzlänge	65
4.4.1	Auswirkung von Vernetzungen	67
4.5	Polymere in Lösung	67
4.5.1	Allgemeines	67
4.5.2	Denaturierte Proteine und DNA	68
4.6	Polymere auf Oberflächen	68
4.7	Polymere als biomimetische Materialien	69
4.8	Ziehen von Polymeren	70
	Literaturverzeichnis	71
5	Wechselwirkungen	73
5.1	Kovalente und nichtkovalente Wechselwirkungen	73
5.2	Die Grundlagen der elektrostatischen Wechselwirkung	74
5.3	Verschiedene Arten von nichtkovalenten Kräften	75
5.3.1	Wechselwirkungen zwischen Ladungen	75
5.3.2	Wechselwirkungen zwischen Ladungen und Dipolen	76
5.3.3	Wechselwirkungen zwischen permanenten Dipolen	76

5.3.4	Wechselwirkungen zwischen permanenten und induzierten Dipolen	77
5.3.5	Die Dispersionswechselwirkung	77
5.3.6	Wasserstoffbrückenbindungen	78
5.3.7	Die hydrophobe Wechselwirkung	79
5.4	Anwendung einer äußeren Kraft	81
5.5	Wechselwirkungen zwischen Makromolekülen	82
5.5.1	Der Ausschlusseffekt	82
5.5.2	Der Verarmungseffekt	82
5.6	Wasser an Grenzflächen	83
	Literaturverzeichnis	85
6	Wechselwirkungen zwischen einzelnen Molekülen	87
6.1	Ligand-Rezeptor-Wechselwirkungen	87
6.1.1	Die Wechselwirkung zwischen Biotin und Avidin	87
6.1.2	Wechselwirkungen von Fusionsproteinen der synaptischen Vesikel	91
6.1.3	Die Wechselwirkung zwischen Transferrin und seinem Membranrezeptor	91
6.2	Zucker-Lektin-Wechselwirkungen	92
6.3	Antigen-Antikörper-Wechselwirkungen	92
6.4	Die Wechselwirkung zwischen GroEL und entfalteten Proteinen	93
6.5	Lipid-Protein-Wechselwirkungen	95
6.6	Die Verankerung von Proteinen an Membranen	96
6.7	Die Kartierung von Rezeptoren	97
6.8	Die Ablösung und Identifikation von Proteinen	99
6.9	Die Zerstörung von Membranen	101
	Literaturverzeichnis	102
7	Die Mechanik einzelner DNA- und RNA-Moleküle	105
7.1	Dehnung doppelstrangiger DNA	105
7.2	Hybridisierung und mechanische Kräfte	107
7.3	Die Dynamik von DNA- und RNA-Ketten: Phasenübergänge	108
7.4	Wechselwirkungen zwischen DNA und Proteinen	109
7.5	Ausblick: Sequenzanalyse	111
	Literaturverzeichnis	111
8	Die Mechanik einzelner Proteinmoleküle	113
8.1	Die Streckung von Proteinen	113
8.2	Proteinkerne	117
8.3	Streckung von modularen Proteinen	119
8.4	Dynamische Streckung	121
8.5	Die Fangbindung	122

8.6	Die Stauchung von Proteinen	123
8.6.1	Das Hertzmodell	123
8.6.2	Das Tataramodell	126
8.7	Innere Mechanik von Proteinmolekülen	128
8.8	Mechanische Steuerung der Proteinaktivität	129
8.9	Computersimulation der Deformation von Proteinen	129
8.10	Fallstudie: Carboanhydrase II	131
	<i>Rehana Afrin</i>	
8.10.1	Molekülstruktur	131
8.10.2	Biologische Funktion	132
8.10.3	Untersuchungen zur Entfaltung	132
8.10.4	Mechanische Streckung von den Kettenenden aus	132
8.10.5	Knotenfreie Streckung: Typ-I und Typ-II-Konformere	134
8.10.6	Die Bindung von Inhibitoren	136
8.10.7	Streckung partiell denaturierter Proteine	136
8.10.8	Bestimmung des Elastizitätsmoduls aus Kompressionsexperimenten	137
	Literaturverzeichnis	138
9	Bewegung in der Nanobiologie	143
9.1	Zellbewegung und Strukturproteine	143
9.2	Muskel- und Motorproteine	145
9.3	Messungen an einzelnen Motorproteinen	147
9.4	Geißeln zur Fortbewegung von Bakterien	148
9.5	Die Gleitbewegung von Mykoplasmiden	148
9.6	Der Wirkungsgrad von Motorproteinen	150
	Literaturverzeichnis	150
10	Die Mechanik von Zellen	153
10.1	Formänderungen von roten Blutkörperchen	153
10.2	Membran und Zytoskelett	154
10.3	Die Verbindung der Membranproteine mit dem Zytoskelett	158
10.3.1	Behandlung mit Detergenzien	158
10.3.2	Diffusionskoeffizienten	158
10.3.3	Messung von Kraftkurven	159
10.4	Deformation einer zweidimensionalen Membran	159
10.5	Die Helfrichtheorie der Membranmechanik	162
10.6	Zytoplasma und subzelluläre Strukturen	163
10.7	Mechanische Eindrückung und die sneddonschen Gleichungen	165
10.7.1	Die sneddonschen Gleichungen	165
10.7.2	Korrektur für dünne Proben	167
10.8	Die Mechanik der Deformation einer dünnen Platte	168
	Literaturverzeichnis	170

11	Manipulation einzelner Moleküle	173
11.1	ZukunftsMusik: Praktische Anwendungen der Nanomechanik	173
11.2	Operationen an Zellen	173
11.3	Operationen an Chromosomen und Genmanipulationen	174
11.4	Operationen an Geweben	175
11.5	Liposomtechnologie	175
11.6	Freisetzung von Wirkstoffen	177
11.7	Gewinnung von DNA und RNA aus Chromosomen und Zellen	178
	Literaturverzeichnis	180
12	Finite-Elemente-Analyse von mikroskopischen biologischen Strukturen	183
	<i>Sandor Kasas, Thomas Gmür, Giovanni Dietler</i>	
12.1	Einführung	183
12.2	Eine kurze Geschichte der Finite-Elemente-Methode	183
12.3	Die Finite-Elemente-Methode	185
12.4	Anwendung der FEM auf mikrobiologische Proben	187
12.4.1	Proteine	187
12.4.2	Axoneme und Zilien	190
12.4.3	Zellkerne	192
12.4.4	Mikroorganismen	192
12.4.5	Einzelne Zellen	193
12.4.6	Embryologie und Zellteilung	195
12.5	Zusammenfassung	198
	Literaturverzeichnis	199
A	Grundzüge der linearen Mechanik nach Landau und Lifschitz	205
	Literaturverzeichnis	206
B	Die Mechanik von Balken	207
B.1	Biegung	207
B.1.1	Beidseitig unterstützter Balken	207
B.1.2	Frei tragender Ausleger	212
B.1.3	Verteilte Last	212
B.1.4	Krümmungsradius	214
B.2	Knickung	216
B.3	V-förmige Ausleger	218
	Literaturverzeichnis	219
C	Persistenzlänge und Kuhnlänge	221

D	Das Hertzmodell	223
D.1	Punktlast	223
D.2	Verteilte Last	223
D.2.1	Hertzdruck ($n = 1/2$)	225
D.2.2	Die Integration von Gleichung (D.10)	226
D.3	Zwei Kugeln im Kontakt	228
	Literaturverzeichnis	231
E	Farbtafeln	233
F	Index	241