

# **Biophysik für Mediziner**

**Herausgeber**

Sándor Damjanovich, Judit Fidy, János Szöllősi

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>I Die wichtigsten Struktureigenschaften der „lebenden“ Materie und ihre Rolle bei den biologischen Funktionen</b> . . . . .	1
I/1 Der Aufbau des Atoms . . . . .	1
I/1.1 Meilensteine auf dem Weg zu unserem heutigen Atombild . . . . .	1
<i>Sándor Damjanovich, Levente Herényi</i>	
I/1.1.1 Atom, Elektron, Atomkern . . . . .	1
I/1.1.2 Direkter Nachweis der Quantennatur der Energie . . . . .	2
I/1.1.3 Die Wellennatur des Elektrons . . . . .	4
I/1.2 Die mathematische Beschreibung des Verhaltens von Elektronen . . . . .	5
<i>Sándor Damjanovich, Levente Herényi</i>	
I/1.2.1 Das Ausbreitungsgesetz des freien Elektrons . . . . .	6
I/1.2.2 Die heisenbergsche Unbestimmtheitsrelation (Unschärferelation) . . . . .	8
I/1.2.3 Das gebundene Elektron, atomare Zustände . . . . .	9
I/1.3 Die Ergebnisse der Quantenmechanik im Falle des einfachsten Atoms . . . . .	10
<i>Sándor Damjanovich, Levente Herényi</i>	
I/1.3.1 Diskrete atomare Energiezustände, Hauptquantenzahlen . . . . .	11
I/1.3.2 Wirkung des äußeren elektrischen Feldes auf das gebundene Elektron, Tunneleffekt . . . . .	13
I/1.3.3 Die kovalente chemische Bindung . . . . .	14
I/1.4 Weitere Quanteneigenschaften der atomaren Elektronenzustände . . . . .	15
<i>Sándor Damjanovich, Levente Herényi</i>	
I/1.4.1 Nebenquantenzahl und magnetische Quantenzahl . . . . .	15
I/1.4.2 Der Spin des Elektrons und das dazugehörige magnetische Moment . . . . .	16
I/1.4.3 Der Aufbau des Periodensystems: Pauli-Prinzip, Elektronenbahn, Elektronenschale, hundsche Regeln . . . . .	17
I/1.5 Die Struktur des Atomkerns . . . . .	18
<i>Levente Herényi, János Szöllösi</i>	
I/1.5.1 Charakteristische Daten des Atomkerns . . . . .	19
I/1.5.2 Kernkraft, Massendefekt, Bindungsenergie der Atomkerne . . . . .	19
I/1.5.3 Kernmodell, gequantelte Energiezustände der Nukleonen . . . . .	21
I/1.5.4 Die Stabilität des Atomkerns . . . . .	22
I/2 Atomare Wechselwirkungen . . . . .	23
I/2.1 Bindungstypen . . . . .	24
<i>Judit Fidy, Levente Herényi, Károly Módos</i>	
I/2.1.1 Kovalente Bindung . . . . .	24
I/2.1.2 Bindungsarten mit elektrostatischer Wechselwirkung . . . . .	25
I/2.1.3 Van der Waals Wechselwirkungen . . . . .	27
I/2.1.4 Die Wasserstoffbrückenbindung . . . . .	29
I/2.1.5 Die hydrophobe Wechselwirkung . . . . .	30
I/3 Vielteilchensysteme, Ordnung und Unordnung . . . . .	32

I/3.1 Boltzmann-Verteilung	32
<i>Judit Fidy, Levente Herényi</i>	
I/3.1.1 Die Verteilung der Teilchenzustände	32
I/3.1.2 Bei welchen Erscheinungen kommt die Boltzmann-Verteilung zur Geltung?	34
I/3.2 Gase	37
<i>Judit Fidy, Levente Herényi</i>	
I/3.2.1 Ideale Gase	37
I/3.2.2 Die Konsequenzen der Boltzmann-Verteilung in idealen Gasen: die Maxwell-Geschwindigkeitsverteilung	38
I/3.2.3 Reale Gase	40
I/3.3 Festkörper	41
<i>Judit Fidy, Levente Herényi</i>	
I/3.3.1 Der kristalline Zustand	41
I/3.3.2 Energiebänder	43
I/3.3.3 Von der Breite der verbotenen Zone bestimmte Eigenschaften; Isolatoren, Halbleiter, Leiter	44
I/3.3.4 Erzeugung von „Halbleitereigenschaften“ mit Fremdatomen	47
I/3.3.5 Kristallbaufehler	48
I/3.4 Flüssigkeiten, Flüssigkristalle	49
<i>Judit Fidy, Levente Herényi</i>	
I/3.4.1 Der Flüssigkeitszustand	49
I/3.4.2 Flüssigkristalle: anisotrope Flüssigkeiten	50
I/4 Die Struktureinheiten der lebenden Materie	52
I/4.1 Das Wasser	52
<i>Sándor Damjanovich, Judit Fidy, Levente Herényi, Károly Módos</i>	
I/4.1.1 Die Struktur der Wassermoleküle	53
I/4.1.2 Die Wasserstoffbrückenbindungen bei Wassermolekülen	54
I/4.1.3 Die Rolle des Wassers in lebenden Strukturen	56
I/4.2 Nukleinsäuren	57
<i>Csik Gabriella</i>	
I/4.2.1 Die Bausteine der Nukleinsäuren und ihre Primärstruktur	58
I/4.2.2 Die Sekundärstruktur der Nukleinsäuren	58
I/4.2.3 Die Merkmale der RNA-Sekundärstruktur	61
I/4.2.4 Die Tertiärstruktur der DNA, Superhelizität	62
I/4.3 Eiweiße	63
<i>Judit Fidy, Károly Módos</i>	
I/4.3.1 Die Primärstruktur der Eiweiße, Aminosäuren	63
I/4.3.2 Die Sekundärstruktur der Eiweiße	64
I/4.3.3 Die Tertiärstruktur und ihre Entstehung	66
I/4.3.4 Die Wechselwirkungen bei der Ausbildung der Raumstruktur	66
I/4.3.5 Quartärstruktur	67
I/4.4 Ordnung und Unordnung in makromolekularen Systemen	67
<i>Judit Fidy</i>	
I/5 Supramolekulare Organisation in der lebenden Materie	70
I/5.1 Biologische Membranen	70
<i>János Matkó, István Voszka</i>	

I/5.1.1 Die Lipiddoppelschicht .....	70
I/5.1.2 MembraneiweiÙe .....	73
I/5.2 Die Organisation des genetischen Materials im Zellkern .....	77
<i>Károly Módos</i>	
I/5.3 Das Zytoskelett .....	79
<i>Miklós Kellermayer</i>	
<b>II Strahlungen und ihre Wechselwirkungen mit der „lebenden“ Materie .....</b>	<b>83</b>
II/1. Allgemeine Züge der verschiedenen Strahlungsarten .....	83
II/1.1 Grundlagen der Radiometrie .....	83
<i>Levente Herényi</i>	
II/1.1.1 Strahlungsleistung, Spezifische Ausstrahlung, Bestrahlungsstärke, Stärke des Energieflusses, Strahlungsflussdichte oder Intensität .....	83
II/1.1.2 Einfache Gesetze; die Rolle von Symmetrie, Entfernungen und Winkeln .....	85
II/1.1.3 Die Schwächung der Strahlungsintensität beim Durchgang durch ein Medium .....	87
II/1.2 Die Klassifizierung der Strahlungen .....	90
<i>Levente Herényi</i>	
II/2 Nichtionisierende Strahlungen .....	91
II/2.1 Das Licht .....	91
<i>Levente Herényi</i>	
II/2.1.1 Das fermatsche Prinzip als Grundprinzip der geometrischen Optik .....	91
II/2.1.2 Die optische Abbildung, die Anwendung des fermatschen Prinzips auf gekrümmte Flächen .....	94
II/2.1.3 Die Grundlagen der physikalischen Optik oder Wellenoptik .....	97
II/2.1.4 Lichtinterferenz .....	99
II/2.1.5 Lichtbeugung, Diffraktion .....	101
II/2.1.6 Die Grundlagen der Diffraktionsmethoden .....	103
II/2.1.7 Optische Anisotropie, Polarisation des Lichtes .....	104
II/2.1.8 Das Licht als elektromagnetische Welle und als Lichtteilchenstrahlung oder Photonenstrahlung .....	106
II/2.2 Die Lichtemission .....	108
<i>Sándor Damjanovich, Levente Herényi, János Matkó</i>	
II/2.2.1 Temperaturstrahlung .....	108
II/2.2.2 Die Gesetze der schwarzen Strahlung .....	110
II/2.2.3 Das plancksche Strahlungsgesetz .....	111
II/2.2.4 Lumineszenz .....	114
II/2.2.5 Der Gedanke der Lichtverstärkung .....	115
II/2.2.6 Lichtquellen, Photometrie .....	117
II/2.2.7 Laser .....	119
II/2.2.8 Die wichtigsten Eigenschaften der Laserstrahlung, Lasertypen .....	121
II/2.3 Wechselwirkung zwischen Licht und Materie .....	124
<i>Gabriella Csik, Levente Herényi</i>	
II/2.3.1 Lichtstreuung .....	124
II/2.3.2 Lichtabsorption .....	126

II/2.3.3	Biologische Wirkungen des Lichtes: allgemeine Aspekte	127
II/2.3.4	Die Wirkung des Lichtes auf Auge und Haut	131
II/2.4	Schall - Ultraschall	133
	<i>István Derka, András Kaposi, László Mátyus</i>	
II/2.4.1	Allgemeine physikalische Eigenschaften	133
II/2.4.2	Die Schallausbreitung in Medien	134
II/2.4.3	Phänomene an der Grenzfläche zweier Medien	134
II/3	Ionisierende Strahlungen	142
II/3.1	Die Röntgenstrahlung	142
	<i>Judit Fidy, Károly Módos, Gábor Szabó</i>	
II/3.1.1	Allgemeine Merkmale	142
II/3.1.2	Das Phänomen der Bremsstrahlung und ihr Spektrum	143
II/3.1.3	Abgestrahlte Gesamtleistung der Bremsstrahlung	144
II/3.1.4	Charakteristische Röntgenstrahlung	145
II/3.1.5	Die Absorption der Röntgenstrahlung	146
II/3.1.6	Wechselwirkungen bei der Absorption der Röntgenstrahlung	147
II/3.2	Kernstrahlungen, radioaktive Isotope	150
	<i>Judit Fidy, Károly Módos, János Szöllösi</i>	
II/3.2.1	Die Arten des radioaktiven Zerfalls	151
II/3.2.2	Das Gesetz des radioaktiven Zerfalls	155
II/3.2.3	Die Wechselwirkung der Kernstrahlungen mit atomaren Systemen	157
II/3.2.4	Anwendung von radioaktiven Isotopen	161
II/3.2.5	Detektieren der ionisierenden Strahlungen	165
II/3.2.6	Teilchenbeschleuniger in der Medizin	165
II/4	Dosimetrie	169
II/4.1	Dosisbegriffe	171
	<i>Andrea Fekete, Károly Módos, János Szöllösi</i>	
II/4.1.1	Physikalische Dosisbegriffe	173
II/4.1.2	Biologische Dosisbegriffe	176
II/4.1.3	Abgeleitete Dosisbegriffe	177
II/4.2	Dosimeter	177
	<i>Andrea Fekete, Károly Módos, János Szöllösi</i>	
II/4.2.1	Gasionisationsdetektoren	178
II/4.2.2	Film dosimeter	179
II/4.2.3	Thermolumineszenzdosimeter	179
II/4.3	Strahlenschutz	180
	<i>Andrea Fekete, Károly Módos, János Szöllösi</i>	
II/4.3.1	Gesichtspunkte des Strahlenschutzes in den internationalen Empfehlungen	180
II/4.3.2	Die Strahlungsquellen	181
II/4.4	Die Dosisabhängigkeit der Strahlenwirkung	183
	<i>Andrea Fekete, Károly Módos, János Szöllösi</i>	
II/4.5	Die Molekulartheorie der Strahlenwirkung	187
	<i>Andrea Fekete, Károly Módos, János Szöllösi</i>	
II/4.5.1	Die DNA-Schädigung	187
II/4.5.2	Eiweißschädigung	190
II/4.5.3	Symptome auf Organismusebene	190

II/4.6	Modifikationsfaktoren der Strahlenwirkung	191
	<i>Andrea Fekete, Károly Módos, János Szöllösi</i>	
II/4.6.1	Die Strahlungsqualität	191
II/4.6.2	Zeitfaktor	192
II/4.6.3	Stoffwechsel und Temperatur	192
II/4.6.4	Die Sauerstoffwirkung	193
II/4.6.5	Strahlenschutzmittel	193
II/4.6.6	Biologische Faktoren	194
II/4.7	Wirkungen der nichtionisierenden Strahlungen und Chemikalien	195
	<i>Pál Gróf</i>	
<b>III</b>	<b>Transporterscheinungen in lebenden Systemen</b>	<b>199</b>
III/1	Strömung von Flüssigkeiten und Gasen	199
III/1.1	Grundbegriffe und Grundgleichungen	199
	<i>Levente Herényi, Ferenc Tölgyesi</i>	
III/1.1.1	Kontinuitätsgleichung	201
III/1.2	Die Strömung idealer Flüssigkeiten	203
	<i>Sándor Damjanovich, Levente Herényi, Ferenc Tölgyesi</i>	
III/1.2.1	Bernoullische Gleichung	203
III/1.3	Laminare Strömung realer Flüssigkeiten	204
	<i>Sándor Damjanovich, Levente Herényi, Ferenc Tölgyesi</i>	
III/1.3.1	Das newtonsche Reibungsgesetz	205
III/1.3.2	Strömung in Rohren	206
III/1.3.3	Das Hagen-Poiseuille-Gesetz und seine Anwendung auf den Blutkreislauf	207
III/1.4	Turbulente Strömung	212
	<i>Levente Herényi, Ferenc Tölgyesi</i>	
III/1.5	Bewegung eines kugelförmigen Körpers in einem viskosen Medium	213
	<i>Sándor Damjanovich, Levente Herényi, Ferenc Tölgyesi</i>	
III/2	Die Diffusion	215
III/2.1	Die Molekülbewegung und die Diffusion	212
	<i>Levente Herényi, János Matkó, Ferenc Tölgyesi</i>	
III/2.1.1	Die Merkmale der Molekularbewegung	215
III/2.1.2	Die Diffusion, 1. Ficksches Gesetz	217
III/2.1.3	Weitere Merkmale des Diffusionskoeffizienten	221
III/2.1.4	Das 2. Ficksche Gesetz	222
III/2.1.5	Die Beziehung zwischen dem Problem des „Random Walks“ (der Zufallsbewegung) und dem 2. Fickschen Gesetz	225
III/2.1.6	Analyse der Zeitabhängigkeit der Diffusionsprozesse	229
III/2.1.7	Durch Diffusion gesteuerte chemische Reaktionen	230
III/2.2	Einige Spezialfälle der Diffusion	232
	<i>Levente Herényi, János Matkó, Ferenc Tölgyesi</i>	
III/2.2.1	Die Osmose, das van't Hoff-Gesetz	232
III/2.2.2	Die praktische Bedeutung des osmotischen Drucks	235
III/2.2.3	Laterale Diffusion in biologischen Membranen	237
III/3	Die thermodynamischen Relationen der Transportvorgänge	239

III/3.1	Die Diffusion in einem System, das sich nicht im thermischen Gleichgewicht befindet . . . .	239
	<i>Sándor Damjanovich, Levente Herényi, Ferenc Tölgyesi, István Sugár</i>	
III/3.1.1	Thermodiffusion, Wärmeleitung . . . . .	239
III/3.2	Beziehung zwischen den Charakteristika des thermodynamischen Systems und den Transportvorgängen . . . . .	241
	<i>Sándor Damjanovich, Levente Herényi, Ferenc Tölgyesi, István Sugár</i>	
III/3.2.1	Extensive und intensive Zustandsgrößen . . . . .	242
III/3.2.2	Die einheitliche Beschreibung der Transportvorgänge . . . . .	243
III/3.3	Die Hauptsätze der Thermodynamik . . . . .	245
	<i>Sándor Damjanovich, Levente Herényi, Ferenc Tölgyesi, István Sugár</i>	
III/3.3.1	Der erste Hauptsatz der Thermodynamik und seine Verallgemeinerung . . . . .	246
III/3.3.2	Das chemische Potenzial und das elektrochemische Potenzial . . . . .	247
III/3.3.3	Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik und die Entropie . . . . .	248
III/3.3.4	Die statistische Einführung der Entropie . . . . .	249
III/3.3.5	Einige Konsequenzen des neuen Entropiebegriffes, der 3. Hauptsatz der Thermodynamik . . . . .	253
III/3.4	Die thermodynamischen Potenzialfunktionen . . . . .	255
	<i>Sándor Damjanovich, Levente Herényi, Ferenc Tölgyesi, István Sugár</i>	
III/3.4.1	Die Enthalpie . . . . .	257
III/3.4.2	Die freie Energie und die freie Enthalpie . . . . .	259
III/3.4.3	Die Änderung der thermodynamischen Potentiale bei Ausgleichsprozessen . . . . .	260
III/3.4.4	Häufigste Anwendung und einige weitere Eigenschaften thermodynamischer Potenzialfunktionen . . . . .	261
III/3.4.5	Freie Enthalpie dünner Lösungen und das chemische Potenzial der Komponenten (Beziehung zur Konzentration) . . . . .	263
III/3.5	Energieumsatz des lebenden Organismus . . . . .	264
	<i>Sándor Damjanovich</i>	
III/4	Transportvorgänge durch biologische Membranen, Membranpotenzial . . . . .	267
III/4.1	Transportvorgänge im Ruhezustand der Zelle . . . . .	267
	<i>Gabriella Csik, Sándor Damjanovich, Judit Fidy, Zoltán Krasznai, János Matkó</i>	
III/4.1.1	Passive Diffusion von nicht geladenen Teilchen . . . . .	268
III/4.1.2	Passive Diffusion von Ionen . . . . .	270
III/4.1.3	Aktiver Transport . . . . .	273
III/4.1.4	Transport von Makromolekülen und Teilchen . . . . .	275
III/4.2	Das Membranpotenzial (Ruhepotenzial) . . . . .	275
	<i>Gabriella Csik, Judit Fidy, Zoltán Krasznai</i>	
III/4.2.1	Interpretation des Ruhepotenzials mit der Goldman-Hodgkin-Katz (GHK) Gleichung . . . . .	276
III/4.2.2	Die Relation von Ruhepotenzial und Nernst-Gleichung . . . . .	277
III/4.3	Änderungen des Membranpotenzials unter der Reizschwelle . . . . .	281
	<i>Gabriella Csik, Judit Fidy, Zoltán Krasznai</i>	
III/4.3.1	Lokale (elektrotonische) Potenzialänderungen und ihre elektrische Modellierung . . . . .	281
III/4.3.2	Die Ergebnisse des elektrischen Membranmodells . . . . .	283
III/4.4	Die Eigenschaften des Membranpotenzials im Erregungszustand: das Aktionspotenzial . . . . .	285
	<i>Gabriella Csik, Judit Fidy, Zoltán Krasznai</i>	

III/4.4.1	Die Signalform des Aktionspotenzials	285
III/4.4.2	Ionenströme während des Aktionspotenzials	286
III/4.4.3	Die Ausbreitung des Aktionspotenzials	287
<b>IV</b>	<b>Die Biophysik der Sinnesorgane</b>	<b>291</b>
IV/1	Allgemeine Gesetzmäßigkeiten des Wahrnehmungsprozesses	291
IV/1.1	Die Grundelemente und Merkmale des Wahrnehmungsprozesses	291
	<i>István Derka</i>	
IV/1.1.1	Sinneszellen, Rezeptoren, Sinnesorgane	291
IV/1.1.2	Arten und Rolle der Rezeptoren	292
IV/1.1.3	Die Rezeptoren und die Nervenfasern	293
IV/1.2	Die Zusammenhänge zwischen Reiz und Empfindung	296
	<i>István Derka, Gábor Szabó</i>	
IV/1.2.1	Absolute und relative Reizschwelle	296
IV/1.2.2	Das Weber-Gesetz	296
IV/1.2.3	Das Weber-Fechner Gesetz	297
IV/1.2.4	Das Stevens-Gesetz	297
IV/2	Das Sehen	299
IV/2.1	Schematischer Aufbau des Auges	299
	<i>Szabolcs Osváth, Gábor Szabó</i>	
IV/2.1.1	Aufbau des Auges und der Retina	300
IV/2.1.2	Der Aufbau der Rezeptorzellen	301
IV/2.2	Die biophysikalischen Grundlagen des Sehens	302
	<i>Szabolcs Osváth, Gábor Szabó</i>	
IV/2.2.1	Optische Abbildung im Auge	302
IV/2.2.2	Die Brechungsfehler des Auges und ihre Korrektur	304
IV/2.2.3	Das Auflösungsvermögen des Auges	305
IV/2.2.4	Die Entstehung der Seherregung in der Retina	307
IV/2.2.5	Die Empfindlichkeit der Photorezeptorzellen	308
IV/2.2.6	Photochemische Prozesse in den Rezeptorzellen	309
IV/2.2.7	Farbsehen	311
IV/3	Das Hören	314
IV/3.1	Einige gemeinsame Eigenschaften der hörbaren Töne	314
	<i>István Derka, Gábor Szabó</i>	
IV/3.1.1	Die Tonhöhe	314
IV/3.1.2	Die Klangfarbe	314
IV/3.1.3	Das Hören der Richtung	316
IV/3.1.4	Töne und Hören	316
IV/3.1.5	Intensitätspegel	316
IV/3.2	Aufbau und Funktion des menschlichen Ohrs	318
	<i>István Derka</i>	
IV/3.2.1	Das äußere Ohr	318
IV/3.2.2	Das Mittelohr	320
IV/3.2.3	Das Innenohr	321
IV/3.2.4	Die Anatomie des Corti-Organ	324

IV/3.3 Die Rolle der Haarzellen beim Hören .....	325
<i>István Derka, Gábor Szabó</i>	
IV/3.3.1 Die äußeren Haarzellen als molekulare Motoren .....	327
IV/3.3.2 Adaptationsmechanismen .....	330
IV/3.4 Die Kodierung der akustischen Information .....	330
<i>István Derka, Gábor Szabó</i>	
IV/3.4.1 Die Ortstheorie .....	330
IV/3.4.2 Die Volleyballtheorie .....	331
IV/3.5 Psychoakustik, Lautstärke, Lautheit .....	332
<i>István Derka, Gábor Szabó</i>	
IV/3.5.1 Die Phon-Skala (Lautstärke) .....	332
IV/3.5.2 Die Sone-Skala (Lautheit) .....	334
IV/3.5.3 Der Lärmpegel und seine Messung .....	336
<b>V. Biomechanik</b> .....	337
V/1 Die Biomechanik der subzellulären und zellulären Strukturen .....	337
V/1.1 Die Biophysik des Zytoskeletts .....	345
<i>Miklós Kellermayer, Miklós Nyitrai</i>	
V/1.1.1 Die Elastizität der zytoskeletalen Filamente .....	337
V/1.1.2 Die Polymerisation der zytoskeletalen Filamente .....	339
V/1.1.3 Die Komponenten des Zytoskelettsystems .....	341
V/1.1.4 Zellbewegung, Motilität .....	342
V/1.2 Die Biophysik der Motoreiweiße .....	343
<i>Miklós Kellermayer, Miklós Nyitrai</i>	
V/1.2.1 Klassifizierung der Motoreiweiße .....	343
V/1.2.2 Gemeinsame Eigenschaften der Motoreiweiße .....	344
V/1.3 Die Biophysik der Muskelfunktion .....	346
<i>Miklós Kellermayer, Miklós Nyitrai</i>	
V/1.3.1 Muskeltypen .....	346
V/1.3.2 Die Struktur der quergestreiften Muskeln .....	346
V/1.3.3 Die Funktion des quergestreiften Muskels .....	347
V/1.4 Die Regulation der Muskelkontraktion .....	349
<i>Miklós Kellermayer, Miklós Nyitrai</i>	
V/1.4.1 Regulation über Tropomyosin-Troponin .....	349
V/2 Biomechanik der Bewegungsorgane .....	351
V/2.1 Das Knochensystem .....	351
<i>Zoltán Csernátóny, György Vereb</i>	
V/2.1.1 Das Knochengewebe als Material .....	351
V/2.1.2 Der Knochen als Organ .....	357
V/2.1.3 Das Skelett als Organsystem .....	357
V/2.2 Die Biomechanik der Gelenke .....	363
<i>Zoltán Csernátóny, György Vereb</i>	
V/2.2.1 Statik, Rheologie .....	364
V/2.2.2 Kinetik .....	365
V/2.2.3 Tribologie .....	366

<b>VI Physikalische Methoden der Molekular- und Zelldiagnostik</b> .....	369
VI/1 Sedimentation und Elektrophorese .....	369
VI/1.1 Sedimentationsmethoden .....	369
<i>Sándor Damjanovich, Judit Fidy</i>	
VI/1.1.1 Sedimentationsgeschwindigkeit .....	370
VI/1.1.2 Sedimentationsgleichgewicht .....	371
VI/1.2 Elektrophorese und isoelektrisches Fokussieren .....	373
<i>Sándor Damjanovich, Andrea Fekete, Judit Fidy</i>	
VI/1.2.1 Freie Elektrophorese .....	373
VI/1.2.2 Gelelektrophorese .....	375
VI/1.2.3 Isoelektrisches Fokussieren .....	375
VI/1.2.4 Blotting-Techniken .....	376
VI/2 Mikroskopische Methoden .....	378
VI/2.1 Das einfache Vergrößerungsglas, die Lupe .....	378
<i>Levente Herényi, Katalin Kis-Petik, Szabó Gábor</i>	
VI/2.2 Das Lichtmikroskop .....	381
<i>Levente Herényi, Katalin Kis-Petik, György Vereb</i>	
VI/2.2.1 Die Bildentstehung beim Lichtmikroskop .....	381
VI/2.2.2 Auflösungsvermögen, Abbe-Prinzip .....	384
VI/2.3 Spezialmikroskope .....	387
<i>Levente Herényi, Katalin Kis-Petik, Módos Károly, György Vereb</i>	
VI/2.3.1 Stereomikroskop .....	387
VI/2.3.2 Ultramikroskop .....	388
VI/2.3.3 Fluoreszenzmikroskop .....	388
VI/2.3.4 Polarisationsmikroskop .....	389
VI/2.3.5 Phasenkontrastmikroskop .....	390
VI/3 Methoden der optischen Spektroskopie .....	392
VI/3.1 Absorptionsspektroskopie im UV-Bereich und im sichtbaren Bereich .....	392
<i>Judit Fidy, Zsuzsa Lakos, Béla Somogyi</i>	
VI/3.1.1 Lichtabsorption in dünnen Lösungen .....	394
VI/3.1.2 Spektrophotometer .....	395
VI/3.1.3 Absorptionsbande im Spektrum .....	396
VI/3.2 Infrarotspektroskopie .....	400
<i>László Smeller</i>	
VI/3.2.1 Molekülschwingungen .....	401
VI/3.2.2 Identifikation von Verbindungen, Molekülen, Anwendung der IR-Spektralanalyse .....	403
VI/3.3 Lumineszenzspektroskopie .....	406
<i>Judit Fidy, Zsuzsa Lakos, Béla Somogyi</i>	
VI/3.3.1 Das Phänomen der Lichtemission: Fluoreszenz und Phosphoreszenz .....	406
VI/3.3.2 Charakteristik der Lumineszenz .....	408
VI/3.3.3 Praktische Anwendungsgebiete der Fluoreszenz .....	413
VI/3.4 Auf Lichtstreuung basierende Verfahren .....	417
<i>Károly Módos</i>	
VI/4 Durchflusssytometrie und Zellseparation .....	419

VI/4.1	Allgemeine Funktionsprinzipien der Durchflusszytometer	420
	<i>László Mátyus</i>	
VI/4.2	Datenverarbeitung und Speicherung der Messergebnisse	421
	<i>László Mátyus</i>	
VI/4.3	Zellseparation	426
	<i>László Mátyus</i>	
VI/4.4	Einige Anwendungen der Durchflusszytometrie	428
	<i>László Mátyus</i>	
VI/4.4.1	Messung des DNA-Gehaltes	428
VI/4.4.2	Immunfluoreszenz	430
<b>VII</b>	<b>Elektrische Signale und Methoden</b>	<b>433</b>
VII/1	Verarbeitung elektrischer Signale	433
VII/1.1	Klassifizierung und Verarbeitung der Signale aus der medizinischen Praxis	433
	<i>István Derka, László Smeller</i>	
VII/1.1.1	Klassifizierung der Signale	434
VII/1.1.2	Die Unterdrückung des Rauschens durch Mittelung	435
VII/1.1.3	Fourier-Analyse der Signale	436
VII/1.1.4	Prinzipieller Aufbau der signalverarbeitenden Kette in der Medizin	438
VII/1.2	Analoge elektrische Grundschaltungen	440
	<i>László Smeller</i>	
VII/1.2.1	Spannungsteiler	440
VII/1.2.2	RC-Kreis bei Gleichstrom	440
VII/1.2.3	Frequenzfilter elektrischer Wechselspannungen	444
VII/1.2.4	LC-Schwingkreis	445
VII/1.3	Halbleiterbauelemente	446
	<i>László Smeller</i>	
VII/1.3.1	Halbleiterdioden	446
VII/1.3.2	Transistoren	447
VII/1.3.3	Feldeffekttransistor (FET, field effect transistor)	448
VII/1.3.4	Metalloxidhalbleiter-FET (MOS, Metal Oxide Semiconductor) und komplementärer Metalloxidhalbleiter-FET (CMOS, Complementary Metal Oxide Semiconductor)	448
VII/1.4	Elektrische Verstärker	449
	<i>László Smeller</i>	
VII/1.4.1	Charakteristische Parameter des Verstärkers	449
VII/1.4.2	Die Charakteristik des Verstärkers	450
VII/1.4.3	Die Rückkopplung	451
VII/1.5	Signalumformung, Signalselektion	453
	<i>László Smeller</i>	
VII/1.5.1	Analog-digital-Wandler	453
VII/1.5.2	Rauschfilter	457
VII/1.5.3	Selektieren von Impulssignalen	457
VII/1.6	Anzeige	459
	<i>István Derka, Levente Herényi, László Smeller</i>	
VII/1.6.1	Kathodenstrahlröhre (Bildröhre)	459

VII/1.6.2	Funktion der Flüssigkristallbildschirme (LCD) . . . . .	461
VII/1.7	Aufbau und Funktionsprinzip von elektrischen Therapiegeräten . . . . .	463
	<i>Károly Módos, László Smeller</i>	
VII/2	Verarbeitung elektrischer Signale von der Körperoberfläche . . . . .	465
VII/2.1	Elektrokardiographie . . . . .	465
	<i>Sándor Damjanovich, István Voszka</i>	
VII/2.1.1	Das Aktionspotenzial einer Faser . . . . .	465
VII/2.1.2	Bipolare Ableitungen . . . . .	465
VII/2.1.3	Unipolare Ableitungen . . . . .	467
VII/2.1.4	Die Verarbeitung des EKG-Signals . . . . .	468
VII/2.1.5	Vektorkardiographie . . . . .	469
VII/2.2	Elektroenzephalographie . . . . .	470
	<i>Sándor Damjanovich, István Voszka</i>	
VII/2.3	Elektromyographie . . . . .	471
	<i>Sándor Damjanovich, István Voszka</i>	
VII/2.4	Elektroretinographie . . . . .	471
	<i>Sándor Damjanovich, István Voszka, Gábor Szabó</i>	
VII/3	Audiometrie . . . . .	473
VII/3.1	Tonaudiometrie . . . . .	473
	<i>István Derka</i>	
VII/3.2	Objektive Audiometrie . . . . .	475
	<i>István Derka</i>	
<b>VIII</b>	<b>Bildgebende Verfahren</b> . . . . .	<b>477</b>
VIII/1	Die bildliche Darstellung . . . . .	477
	<i>Judit Fidy, István Voszka</i>	
VIII/2	Oberflächenbilder . . . . .	479
VIII/2.1	Endoskopie . . . . .	479
	<i>Judit Fidy, István Voszka</i>	
VIII/2.1.1	Faseroptik . . . . .	479
VIII/2.1.2	Die Entstehung des endoskopischen Bildes . . . . .	480
VIII/2.1.3	Endoskopische Verfahren . . . . .	480
VIII/2.2	Thermographie . . . . .	480
	<i>Judit Fidy, István Voszka</i>	
VIII/2.3	Elektrische Potenzialkarte . . . . .	481
	<i>Judit Fidy, István Voszka</i>	
VIII/3	Summationsverfahren . . . . .	482
VIII/3.1	Methoden auf der Basis der Absorption der Röntgenstrahlung . . . . .	482
	<i>Judit Fidy, István Voszka</i>	
VIII/3.1.1	Röntgendurchleuchtung . . . . .	482
VIII/3.1.2	Elektronische Röntgenbildverstärker (Bildwandler) . . . . .	483
VIII/3.1.3	Erstellung digitaler Röntgenbilder . . . . .	484
VIII/3.1.4	Digitale Subtraktionsangiographie (DSA), kurz: digitale Angiographie (DA) . . . . .	485
VIII/3.2	Techniken mit radioaktiven Indikatoren: Szintigraphie . . . . .	485
	<i>Zoltán Krasznai, Károly Módos</i>	

VIII/4 Tomographiemethoden . . . . .	489
VIII/4.1 Bildgebung mittels magnetischer Kernspinresonanz, MRT – Direkte Tomographie 1. . . . .	489
<i>Judit Fidy, Rezső Gáspár</i>	
VIII/4.1.1 Grundprinzipien der Kernspintomographie (MRT) . . . . .	490
VIII/4.1.2 Die Punktsequenz-Methode . . . . .	490
VIII/4.1.3 Die zweidimensionale Fourier-Transformations- (2DFT) Methode . . . . .	492
VIII/4.1.4 Die Differenzierung der Voxel in der vom axial gerichteten Magnetfeld ausgewählten Schicht . . . . .	492
VIII/4.1.5 MRT Spezialgebiete und Techniken . . . . .	496
VIII/4.2 Bildgebung mittels Ultraschall (Sonographie) – Direkte Tomographie 1. . . . .	498
<i>András Kaposi, László Mátyus</i>	
VIII/4.2.1 Piezoelektrischer Effekt, inverser piezoelektrischer Effekt . . . . .	498
VIII/4.2.2 Aufbau der Ultraschallquelle . . . . .	499
VIII/4.2.3 Entstehung und Eigenschaften des Ultraschallbündels . . . . .	500
VIII/4.2.4 Impulsechoverfahren, Ultraschallbilder . . . . .	502
VIII/4.2.5 Abtastverfahren . . . . .	506
VIII/4.2.6 Das Auflösungsvermögen der Ultraschallbilder . . . . .	506
VIII/4.2.7 Dreidimensionale Rekonstruktion . . . . .	508
VIII/4.2.8 Doppler-Verfahren . . . . .	509
VIII/4.2.9 Praktische Anwendung des Doppler-Effektes . . . . .	510
VIII/4.3 Röntgenabsorptions-CT . . . . .	516
<i>Judit Fidy, Zoltán Krasznai</i>	
VIII/4.4 Nuklearmedizinische Techniken . . . . .	521
<i>Judit Fidy, Zoltán Krasznai</i>	
VIII/4.4.1 Schnittbildverfahren SPECT . . . . .	521
VIII/4.4.2 Positronenemissionstomographie (PET) . . . . .	522
<b>IX Therapiemethoden auf physikalischer Grundlage . . . . .</b>	<b>529</b>
IX/1 Therapeutische Anwendung der Laser . . . . .	529
IX/1.1 Wechselwirkung der Laserstrahlung mit den Geweben . . . . .	529
<i>Judit Fidy, György Vereb</i>	
IX/1.2 Chirurgische Anwendungen der Laser . . . . .	531
<i>Judit Fidy, György Vereb</i>	
IX/1.2.1 Koagulation . . . . .	531
IX/1.2.2 Vaporisation, Karbonisation . . . . .	533
IX/1.2.3 Atomisierung . . . . .	534
IX/1.2.4 Ionisation . . . . .	536
IX/2. Die therapeutische Anwendung des Lichtes – Phototherapie, Photochemotherapie . . . . .	537
IX/2.1 PUVA-Therapie . . . . .	537
<i>Gabriella Csik</i>	
IX/2.2 Photodynamische Therapie . . . . .	538
<i>Gabriella Csik</i>	
IX/2.3 Blaulichttherapie . . . . .	539
<i>Gabriella Csik</i>	
IX/3 Strahlentherapie . . . . .	540

IX/3.1 Die Wahl der Bestrahlungsart	540
<i>László Smeller</i>	
IX/3.1.1 $\alpha$ -Strahlung	540
IX/3.1.2 $\beta$ -Strahlung und Elektronenstrahlung	541
IX/3.1.3 $\gamma$ - und Röntgenstrahlung, zusammengefasst als Photonenstrahlung	542
IX/3.1.4 Protonenstrahlung	544
IX/3.2 Der Transport der Strahlung zum Bestrahlungsherd	544
<i>László Smeller</i>	
IX/3.2.1 Kombination von bildgebenden Verfahren und Bestrahlung	544
IX/3.2.2 Kollimatoren	545
IX/3.2.3 Rotationsbestrahlung	546
IX/3.2.4 Ein Spezialgerät der Strahlentherapie, das Gammamesser	547
IX/3.2.5 Ausführung der Isotopentherapie	547
IX/4 Elektrotherapie	548
IX/4.1 Therapie mit Gleichstrom	548
<i>György Vereb, István Voszka</i>	
IX/4.2 Reizstromtherapie	548
<i>György Vereb, István Voszka</i>	
IX/4.3 Herzschrittmacher	550
<i>György Vereb, István Voszka</i>	
IX/4.4 Defibrillator	550
<i>György Vereb, István Voszka</i>	
IX/5 Wärmetherapie	551
IX/5.1 Ultraschalltherapie	551
<i>György Vereb, István Voszka</i>	
IX/5.2 Hochfrequente Wärmetherapie (Diathermie)	553
<i>László Smeller, György Vereb, István Voszka</i>	
IX/5.3 Elektrochirurgie	555
<i>György Vereb, István Voszka</i>	
<b>X Physikalische Methoden der biologischen Forschungsarbeit</b>	<b>559</b>
X/1 Optische Spektroskopiemethoden	559
X/1.1 Verfahren auf der Basis der Lumineszenzspektroskopie	559
<i>Zsuzsa Lakos, Béla Somogyi</i>	
X/1.1.1 Förster-Resonanzenergietransfer	559
X/1.1.2 Fluoreszenzlöschung	561
X/1.1.3 Messung und Anwendungen der Fluoreszenzpolarisation	565
X/1.1.4 Bestimmung der zeitabhängigen Fluoreszenzparameter	567
X/1.2 Infrarotspektroskopie	570
<i>László Smeller</i>	
X/1.2.1 Anwendung in der Molekularbiophysik: Bestimmung der Eiweißkonformation	570
X/1.2.2 Nahe Infrarotspektroskopie (NIR-Spektroskopie)	571
X/1.3 Messung der Lichtstreuung	572
<i>Károly Módos</i>	
X/1.3.1 Statische Messung der Lichtstreuung	572

X/1.3.2	Dynamische Messung der Lichtstreuung	573
X/1.4	Circulardichroismus (CD) – Spektroskopie	574
	<i>Károly Módos</i>	
X/1.4.1	Optische Aktivität	574
X/1.4.2	Zirkular und elliptisch polarisiertes Licht	574
X/1.4.3	Anwendung der CD-Spektroskopie zur Strukturanalyse von Makromolekülen	575
X/2	Rastermikroskope	577
X/2.1	Das Rasterprinzip	578
	<i>Sándor Damjanovich</i>	
X/2.2	Das Atomkraftmikroskop (AFM)	579
	<i>Sándor Damjanovich, György Vereb</i>	
X/3	Moderne lichtmikroskopische Verfahren	582
X/3.1	Konfokale Laser Rastermikroskopie, CLSM	582
	<i>Sándor Damjanovich, György Vereb</i>	
X/3.2	Nahfeld-Mikroskopie, NSOM	588
	<i>Sándor Damjanovich, György Vereb</i>	
X/3.3	Evaneszenzfluoreszenz	590
	<i>Zsuzsa Lakos, János Matkó, Béla Somogyi</i>	
X/3.4	Die optische Pinzette	592
	<i>Sándor Damjanovich, Zsuzsa Lakos, János Matkó, Béla Somogyi, György Vereb</i>	
X/4	Radio-spektroskopische Methoden: Kernspinresonanzspektroskopie (NMR) und Elektronenspin-Resonanz-Spektroskopie (ESR)	596
X/4.1	Die physikalischen Grundlagen von NMR und ESR	596
	<i>Pál Gróf, Rezső Gáspár</i>	
X/4.2	Einige biologische Aspekte der ESR-Spektroskopie	603
	<i>Pál Gróf, Rezső Gáspár</i>	
X/5	Elektronenmikroskopie	605
X/5.1	Die Auflösung des Elektronenmikroskops	605
	<i>Judit Fidy, Katalin Kis-Petik</i>	
X/5.2	Der Aufbau des Elektronenmikroskops	605
	<i>Judit Fidy</i>	
X/5.3	Die Wechselwirkung des Elektronenbündels mit dem Präparat, Messmöglichkeiten	606
	<i>Judit Fidy</i>	
X/5.3.1	Transmissionselektronenmikroskopie (TEM)	606
X/5.3.2	Rasterelektronenmikroskop (REM)	606
X/6	Röntgendiffraktion	608
	<i>Damjanovich Sándor</i>	
X/7	Massenspektrometrie	611
	<i>Damjanovich Sándor, Osváth Szabolcs</i>	

**Weiterführende Lehrbücher** . . . . . 617

**Sachverzeichnis** . . . . . 619