

H. Diehl H. Ihlefeld H. Schwegler

Physik für Biologen

H. Diehl H. Ihlefeld H. Schwégle

Physik für Biologen

Mit 273 Abbildungen

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg New York 1981

Professor Dr. H. Diehl
Professor Dr. H. Schwegler

Fachbereich 2 der Universität Bremen, Postfach 330440
2800 Bremen 33

Dr. H. Ihlefeld
Fachbereich 4 der Universität Oldenburg
2900 Oldenburg

ISBN 3-540-10420-8 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
ISBN 0-387-10420-8 Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek

Diehl, Horst:

Physik für Biologen / H. Diehl ; H. Ihlefeld ; H. Schwegler. –
Berlin ; Heidelberg ; New York : Springer, 1981.

(Hochschultext)

ISBN 3-540-10420-8 (Berlin, Heidelberg, New York)

ISBN 0-387-10420-8 (New York, Heidelberg, Berlin)

NE: Ihlefeld, Heimbart.; Schwegler, Helmut.; GT

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Die Vergütungsansprüche des § 54, Abs. 2 UrhG werden durch die "Verwertungsgesellschaft Wort", München, wahrgenommen.

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1981

Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Repro-, Druck- und Bindearbeiten: Beltz Offsetdruck, 6944 Hemsbach

2153/3130-543210

Vorwort

Die neu gestaltete gymnasiale Oberstufe hat dazu geführt, daß die Studienanfänger des Faches Biologie sehr unterschiedliche Voraussetzungen für den Unterricht in Physik als Hilfswissenschaft mitbringen. Andererseits sind die Anforderungen der biologischen Ausbildung und Berufspraxis an die naturwissenschaftlichen Nachbardisziplinen angestiegen. Wir mußten aber — nach mehrjährigen Erfahrungen in der Physikausbildung von Biologiestudenten — feststellen, daß das Festhalten am für Physikstudenten üblichen Fachkanon für die meisten Biologiestudenten zu einer nur ungern angenommenen Pflichtveranstaltung führt. Wir haben deshalb ein anderes Konzept erprobt, das zu dem vorliegenden Buch geführt hat.

Bezüglich der Stoffauswahl sind wir davon ausgegangen, daß es für den Biologiestudenten ein spezifisches Interesse an der Physik gibt, das weder durch eine "Physik für Naturwissenschaftler", die so unterschiedlichen Anforderungen wie für die Chemiker- und für die Mediziner ausbildung gerecht werden will, noch durch eine Physik für Mediziner voll erfüllt wird. Im Supermarkt des physikalischen Fächerkatalogs für die ärztliche Vorprüfung wird eher ein Kaleidoskop der Physik feilgeboten, als zum selbständigen Eindringen in relevante Teilgebiete der Physik angeregt. Gegenüber dem Chemiker benötigt der Biologe sehr viel weniger Atom-, Molekül- und Quantenphysik, dagegen mehr aktualisierte "klassische Physik" sowohl im Hinblick auf seine Arbeitsmethoden als auch für seine Hypothesen und die Interpretationen seiner Arbeitsergebnisse.

Die Anordnung des Stoffes im vorliegenden Buch weicht von der in Physik-Lehrbüchern üblichen stark ab. Die historisch gewachsene Abfolge Mechanik, Akustik, Wärmelehre, ... ist naturgemäß auch didaktisch gut geeignet, ein vollständiges Begriffssystem der Physik zu vermitteln. Doch kann und soll dies nicht das Ziel des Physikunterrichts für Biologiestudenten sein; und außerdem gibt es inzwischen zahlreiche Beispiele, daß eine an anderen Prinzipien orientierte Stoffanordnung zu sehr anregenden und erfolgreichen physikalischen Lehrbüchern sogar für Physiker führen kann, z.B. The Feynman Lectures on Physics.

Folgende Überlegungen haben zu der hier vorliegenden Stoffanordnung geführt: Der Physikunterricht für den Biologiestudenten sollte mit Themen beginnen, die er frühzeitig in sein Hauptstudium integrieren kann und für die i.a. Anknüpfungspunkte von der Schule oder aus dem bisherigen Berufsleben her zu erwarten sind. Das gilt sicherlich für die Teilgebiete Optik (Kap.1) und Elektrizitätslehre (Kap.2 u. 3). Die einfachen Gesetze der geometrischen Optik bieten in aller Regel Anknüpfungspunkte, sie lassen sich rasch erweitern auf das Verständnis der Funktion von Auge und Mikroskop hin, das bereits in den allerersten Biologiekursen benötigt wird. Die Befassung mit dem Auflösungsvermögen und mit Varianten mikroskopischer Techniken bietet Anlaß, überzugehen auf die Wellenoptik (Phasenkontrastverfahren, Interferenzmikroskop). Die in Kap.2 vermittelte Elektrizitätslehre verzichtet auf die Elektrodynamik und orientiert sich an elektrischen Phänomenen mit dem Ziel, den Studenten zu befähigen, mit elektrischen Geräten und Schaltungen sachgerecht arbeiten zu können. Dieser Ansatz hat sich nach unseren Erfahrungen bewährt, da der Student zur Elektrizität (und zur Physik überhaupt) sowieso ein "Lichtschalterverhältnis" mitbringt und über eine Systematisierung der Phänomene eher eingeführt werden kann als über die Elektrodynamik. Diese wird in geringem Umfang zusammen mit den Grundbegriffen der Mechanik im Kap.3 ergänzt und der Leser kann darauf aufbauend am Beispiel von Elektronenmikroskop und Massenspektrometer zu den Grundbegriffen der Elektronen- bzw. Ionenoptik geführt werden.

Kapitel 4 befaßt sich mit der Kontinuumsmechanik, die dem Biologen und Biochemiker den Zugang zur Zentrifugation, Strömungsphysik (Kreislauf), zu Grenzflächengleichgewichten und zur Akustik (Hören) eröffnet. Dem mathematisch unerfahrenen Leser wird hier etwas Geduld und mitunter die Hinzuziehung eines Mathematik-Buches abverlangt, wenn er das Kapitel 4 voll ausschöpfen will. Ein grundlegendes Verständnis der Phänomene wird aber auch erreicht, wenn man darauf verzichtet, jeden Rechenschritt nachzuvollziehen.

Die Kapitel 5 und 6 befassen sich mit der Molekül-, Atom- und Kernphysik, wobei zwar die Quantenphysik in ihren Grundzügen und Konsequenzen dargestellt wird, als Schwerpunkte jedoch biologisch relevante Teilgebiete hervorgehoben werden. In Kap.5 sind das die optisch-spektrometrischen Methoden und im Kap.6 ist es eine Phänomenologie der radioaktiven Strahlungen, ihrer Messungen, ihrer Nutzbarmachung und ihrer Risiken.

Kapitel 7 gilt den Gesetzen der Thermodynamik. Dieses Gebiet wird teilweise auch im Chemie-Unterricht für Biologen behandelt, so daß wir uns hier auf eine übergreifende physikalische Betrachtungsweise beschränken konnten und experimentelle Methoden nicht im einzelnen zu besprechen brauchten. Le-

sern, die sich biophysikalisch orientieren wollen, wird dieses Kapitel besonders empfohlen. Diese Empfehlung gilt auch für Kap.8, das die Gesetzmäßigkeiten des Energie- und Stofftransports unter biophysikalischen Gesichtspunkten behandelt.

Wir haben durchgehend die Symbole, Einheiten und die physikalische Nomenklatur verwandt, wie sie inzwischen durch internationale Vereinbarungen und teilweise auch durch gesetzliche Regelungen in der Bundesrepublik Deutschland festgelegt worden sind. Soweit andere Einheiten noch häufig gebraucht werden, haben wir diese ebenfalls erklärt.

In ähnlicher Form wie in diesem Buch haben wir die Physik bereits in Studienmaterialien dargestellt, die im Rahmen eines Versuchs "Fernstudium im Medienverbund" durch das Deutsche Institut für Fernstudien an der Universität Tübingen (DIFF) in verschiedenen Universitäten eingesetzt werden. Didaktische Erfahrungen damit sind berücksichtigt worden. Dennoch wird manches zu verbessern und Fehler werden zu korrigieren sein. Für entsprechende Hinweise wären wir dankbar.

Für mannigfache Anregungen, auf die sich die bisherige Arbeit stützen konnte, haben wir an dieser Stelle vielen zu danken: einigen Kollegen aus dem Fachbereich Biologie der Universität Tübingen, insbesondere Herrn Prof. Dr. V. Braun; den Professoren Dr. W. Haupt, Universität Erlangen-Nürnberg, Dr. D. Todt, FU Berlin, und Dr. W. Weber, PH Reutlingen, die als Gutachter für den Fernstudienversuch tätig waren; ebenso den Kollegen des Fachbereichs Biologie der Universität Bremen, namentlich Herrn Prof. Dr. V. Kasche. Die Herren F. Budde, B. Müller, H. Rohbeck und Frau E. Kollack von Rhaden haben mit viel Geduld und Fleiß bei der Herstellung der Abbildungen mitgewirkt, wofür wir unseren Dank aussprechen. Schließlich sind wir Frau R. Hoffmann zu großem Dank verpflichtet, die mit großer Sorgfalt die Manuskript-Texte für dieses Buch geschrieben hat.

Bremen, Januar 1981

Horst Diehl

Heimbert Ihlefeld

Helmut Schwegler

Inhaltsverzeichnis

1. Optik	1
1.1 Grundgesetze der Strahlenoptik	1
1.1.1 Lichtstrahlen	2
1.1.2 Reflexion von Lichtstrahlen	2
1.1.3 Brechung von Lichtstrahlen	5
1.1.4 Optische Abbildung mit idealen Linsen	9
1.1.5 Dicke Linsen und Objektive	14
1.1.6 Zusammenfassung	15
1.1.7 Aufgaben	16
1.2 Die Kamera und das Auge	17
1.2.1 Die fotografische Kamera	17
1.2.2 Das Wirbeltierauge	18
1.2.3 Der Sehwinkel	19
1.2.4 Aufgaben	19
1.3 Das Mikroskop	20
1.3.1 Die Lupe	21
1.3.2 Das Mikroskop	23
1.3.3 Zusammenfassung	27
1.3.4 Aufgaben	28
1.4 Exkurs: Schwingungen und Wellen	28
1.4.1 Wellenerscheinungen beim Licht	29
1.4.2 Schwingungen	30
1.4.3 Wellen	33
1.4.4 Zusammenfassung	39
1.4.5 Aufgaben	40
1.5 Licht als Welle	41
1.5.1 Spektralfarben	41
1.5.2 Beugung an Blenden und Gittern	43
1.5.3 Auflösungsvermögen des Mikroskops	47
1.5.4 Phasenkontrastverfahren und Interferenzmikroskop	50

1.5.5	Zusammenfassung	52
1.5.6	Aufgaben	53
1.6	Licht als elektromagnetische Welle	53
1.6.1	Elektromagnetische Wellen	53
1.6.2	Polarisation	55
1.6.3	Ausblick	57
1.6.4	Aufgabe	57
2.	<i>Elektrische Geräte und Schaltungen</i>	58
2.1	Die Grundphänomene der Elektrizität	59
2.1.1	Ladung	59
2.1.2	Der elektrische Strom	60
2.1.3	Die elektrische Spannung	63
2.1.4	Zusammenfassung	65
2.1.5	Aufgaben	65
2.2	Weitere elektrische Größen	65
2.2.1	Der elektrische Widerstand	66
2.2.2	Arbeit, Energie	68
2.2.3	Die elektrische Leistung	70
2.2.4	Zusammenfassung	71
2.2.5	Aufgaben	71
2.3	Gleichstrom und Wechselstrom	72
2.3.1	Zeitabhängigkeit	72
2.3.2	Mittelwerte	72
2.3.3	Effektivwerte	74
2.3.4	Meßverfahren	76
2.3.5	Biologische Wirkungen	77
2.3.6	Schutzkontakt-Systeme	78
2.3.7	Zusammenfassung	79
2.3.8	Aufgaben	79
2.4	Elektrische Bauelemente	80
2.4.1	Widerstand	80
2.4.2	Kondensator	81
2.4.3	Spule und Transformator	87
2.4.4	Zusammenfassung	88
2.4.5	Aufgaben	89
2.5	Elektrische Schaltungen	90
2.5.1	Stromteilung, Spannungsteilung	90
2.5.2	Meßschaltungen für Ströme und Spannungen	94

2.5.3	Zusammenfassung	96
2.5.4	Aufgaben	97
2.6	Elektrische Operationseinheiten	98
2.6.1	Stromquellen	98
2.6.2	Gleichrichter	99
2.6.3	Verstärker	101
2.6.4	Meßwandler	104
2.6.5	Registriergeräte	106
2.6.6	Zusammenfassung	109
2.6.7	Aufgaben	109
2.7	Optoelektronik	110
2.7.1	Fotozellen, Sekundärelektronenvervielfacher	110
2.7.2	Fotoleiter	112
2.7.3	Fotospannungseffekt	112
2.7.4	Aufgaben	113
2.8	Ausblick	114
3.	<i>Bewegung von Teilchen in Feldern</i>	115
3.1	Grundbegriffe der Mechanik	115
3.1.1	Kinematik	115
3.1.2	Grundgesetz der Dynamik	120
3.1.3	Homogene Kraftfelder	122
3.1.4	Zusammenfassung	125
3.1.5	Aufgaben	126
3.2	Elektrisches und magnetisches Feld	126
3.2.1	Kraftwirkung des elektrischen Feldes	127
3.2.2	Kraftwirkung des magnetischen Feldes	128
3.2.3	Ladungen als Quellen eines elektrostatischen Feldes ...	130
3.2.4	Magnetfeld stationärer Ströme	132
3.2.5	Maxwell-Gleichungen	133
3.2.6	Zusammenfassung	134
3.2.7	Aufgaben	134
3.3	Energie	135
3.3.1	Kinetische und potentielle Energie. Energieerhaltung ..	135
3.3.2	Kraft und Arbeit	136
3.3.3	Reibung	138
3.3.4	Elektrisches Feld und Spannung	139
3.3.5	Elektrische Leistung	141
3.3.6	Zusammenfassung	142
3.3.7	Aufgaben	142

3.4	Das Elektronenmikroskop	143
3.4.1	Elektronen als Teilchen und Wellen	144
3.4.2	Auflösungsvermögen	145
3.4.3	Bildkontrast	146
3.4.4	Arbeitsweise des Elektronenmikroskops	147
3.4.5	Aufgaben	150
3.5	Das Massenspektrometer	150
3.5.1	Aufbau eines Massenspektrometers	151
3.5.2	Probenzuführung und Ionenerzeugung	151
3.5.3	Massentrennung	152
3.5.4	Ionennachweis	154
3.5.5	Aufgaben	155
3.6	Reibung und elektrische Leitfähigkeit	155
3.6.1	Bewegung eines Teilchens mit Reibung	156
3.6.2	Elektrischer Widerstand	157
3.6.3	Aufgaben	160
3.7	Quantenmechanik	161
	Aufgaben	163
4.	<i>Mechanik fester, flüssiger und gasförmiger Körper</i>	164
4.1	Ruhende Flüssigkeiten und Gase	164
4.1.1	Ungeordnete Bewegung in ruhenden Flüssigkeiten und Gasen	165
4.1.2	Dichte und Druck	167
4.1.3	Barometrische Höhenformel	171
4.1.4	Auftrieb	174
4.1.5	Sedimentationsgleichgewicht	176
4.1.6	Zusammenfassung	177
4.1.7	Aufgaben	178
4.2	Zentrifugation	178
4.2.1	Zentrifugalkraft	178
4.2.2	Sedimentationsgleichgewicht und Gradientenmethode	180
4.2.3	Zeitlicher Ablauf der Sedimentation	183
4.2.4	Zusammenfassung	184
4.2.5	Aufgaben	185
4.3	Strömung von Flüssigkeiten	185
4.3.1	Geschwindigkeitsfeld. Stromdichte. Kontinuitätsgleichung	186
4.3.2	Bernoullische Gleichung	187

4.3.3	Viskosität. Laminare Strömung	188
4.3.4	Reibungswiderstand von Körpern	193
4.3.5	Ähnlichkeitsgesetze. Turbulenz	195
4.3.6	Zusammenfassung	197
4.3.7	Aufgaben	197
4.4	Deformation elastischer Materialien	198
4.4.1	Dehnungselastizität. Hookesches Gesetz	198
4.4.2	Anisotropes elastisches Verhalten	201
4.4.3	Plastische Verformung. Reißen	202
4.4.4	Aufgabe	203
4.5	Akustik	203
4.5.1	Elastische Schwingungen. Schallquellen	204
4.5.2	Schallwellen	206
4.5.3	Resonanz. Schallempfänger	210
4.5.4	Das Ohr. Subjektive Schallempfindung	212
4.5.5	Zusammenfassung	215
4.5.6	Aufgaben	215
4.6	Oberflächen und Membranen	217
4.6.1	Grenzflächen von Flüssigkeiten. Kohäsion und Adhäsion	217
4.6.2	Adhäsion zwischen Flüssigkeit und festem Stoff	220
4.6.3	Lipidschichten	222
4.6.4	Zusammenfassung	224
4.6.5	Aufgaben	225
5.	Atom- und Molekülphysik. Spektrometrie	226
5.1	Entwicklung und Bedeutung von Modellvorstellungen im atomaren Bereich	226
5.2	Elektronen machen sich bemerkbar	229
5.2.1	Gebundene und freie Elektronen	229
5.2.2	Atomelektronen und Molekülelektronen	233
5.2.3	Spektrometrie	236
5.2.4	Zusammenfassung	238
5.2.5	Aufgaben	238
5.3	Atome und Moleküle lassen sich "sehen"	240
5.3.1	Spektrometrie mit sichtbarem und ultraviolettem Licht	240
5.3.2	Spektrometrie in der Gasphase	241
5.3.3	Spektrometrie an Lösungen	244
5.3.4	Lichtstreuung	251
5.3.5	Elektronenspinresonanz (ESR) und Kernspinresonanz (NMR)	254

5.3.6	Zusammenfassung	256
5.3.7	Aufgaben	257
5.4	Moleküle lassen sich erkennen	258
5.4.1	Moleküle schwingen	258
5.4.2	Moleküle rotieren	260
5.4.3	Moleküle absorbieren und emittieren in charakteristischer Weise Infrarotstrahlung	263
5.4.4	Zusammenfassung	268
5.4.5	Aufgaben	268
5.5	Weitere Wechselwirkungen von Licht und Materie	269
5.5.1	Fotochemische Wirkungen	269
5.5.2	Fotosynthese	271
5.5.3	Der Laser	272
5.5.4	Aufgaben	275
5.6	Ausblick	275
6.	<i>Kernphysik</i>	277
6.1	Der Atomkern	278
6.1.1	Die Nukleonen	278
6.1.2	Natürliche Radioaktivität	282
6.1.3	Halbwertszeit	284
6.1.4	Die Maßeinheit der Radioaktivität	285
6.1.5	Aufgaben	286
6.2	Künstliche Radioaktivität	287
6.2.1	Das Positron	287
6.2.2	Die Kernspaltung	288
6.2.3	Die Kernfusion	290
6.2.4	Aufgaben	291
6.3	Röntgenstrahlung, Gammastrahlung	291
6.3.1	Erzeugung von Röntgenstrahlung	292
6.3.2	Absorption von Röntgenstrahlung	295
6.3.3	Röntgendiffraktometrie	296
6.3.4	Kosmische Strahlung	298
6.3.5	Aufgaben	299
6.4	Nutzanwendungen radioaktiven Materials	300
6.4.1	Altersbestimmungen	300
6.4.2	Tracer-Methoden	301
6.4.3	Abschwächungs- und Verdünnungsmethoden	303
6.4.4	Ionisationseffekte	304
6.4.5	Aufgaben	305

6.5	Strahlenschäden und Strahlenschutz	305
6.5.1	Strahlendosimetrie	306
6.5.2	Strahlenbiologie. Dosiswirkungsbeziehungen	307
6.5.3	Strahlenschutz	310
6.5.4	Aufgaben	312
6.6	Kernstrahlungsmeßtechnik	312
6.6.1	Der Geiger-Müller-Zähler	313
6.6.2	Der Szintillationsdetektor	314
6.6.3	Der Halbleiterdetektor	316
6.6.4	Die Fotoschicht-Schwärzung	317
6.6.5	Nebel- und Blaskammer	317
6.6.6	Fehlerquellen bei Kernstrahlungsmessungen	319
6.6.7	Aufgaben	320
6.7	Ausblick	320
7.	<i>Thermodynamik</i>	322
7.1	Das thermodynamische Gleichgewicht	323
7.1.1	Der Begriff des Gleichgewichtes	323
7.1.2	Zustandsgleichungen	326
7.1.3	Zusammenfassung	329
7.1.4	Aufgaben	330
7.2	Kinetik der Gase	331
7.2.1	Wahrscheinlichkeitsverteilung der Geschwindigkeit	331
7.2.2	Maxwellsche Geschwindigkeitsverteilung	332
7.2.3	Zustandsgleichungen	334
7.2.4	Entropie	337
7.2.5	Chemische Reaktionen in Gasen	342
7.2.6	Zusammenfassung	347
7.2.7	Aufgaben	348
7.3	Die Hauptsätze der Thermodynamik	349
7.3.1	Der erste Hauptsatz	349
7.3.2	Isobare Prozesse. Enthalpie	350
7.3.3	Der zweite Hauptsatz	352
7.3.4	Isobar-isotherme Prozesse. Freie Enthalpie	353
7.3.5	Zusammenfassung	355
7.3.6	Aufgaben	355
7.4	Anwendungen des zweiten Hauptsatzes	356
7.4.1	Phasen	356
7.4.2	Verdünnte Lösungen	358

7.4.3	Chemische Reaktionen. Bioenergetik	362
7.4.4	Elektrochemie	367
7.4.5	Zusammenfassung	368
7.4.6	Aufgaben	369
8.	<i>Dissipative Prozesse</i>	370
8.1	Energietransport und Wärmeleitung	371
8.1.1	Wärmeleitung	371
8.1.2	Konvektion	374
8.1.3	Temperaturstrahlung	375
8.1.4	Regulation der Temperatur bei Warmblütern	377
8.1.5	Der Energiehaushalt der Erde	379
8.1.6	Zusammenfassung	380
8.1.7	Aufgaben	380
8.2	Stofftransport in Lösungen	381
8.2.1	Das 1. Ficksche Gesetz	382
8.2.2	Das 2. Ficksche Gesetz. Anwendungen auf einfache Diffusionsvorgänge	384
8.2.3	Abhängigkeit der Diffusionskonstanten von der Molekülgröße	390
8.2.4	Zusammenfassung	392
8.2.5	Aufgaben	392
8.3	Stofftransport durch Membranen	393
8.3.1	Transport ungeladener Moleküle durch einfache Diffusion	393
8.3.2	Transport von Ionen durch einfache Diffusion	398
8.3.3	Erleichterter Transport	400
8.3.4	Aktiver Transport	402
8.3.5	Zusammenfassung	406
8.3.6	Aufgaben	407
8.4	Nichtlineare Phänomene	407
Anhang A	<i>Mathematische Formeln</i>	412
A.1	Geometrie	412
A.2	Vektoren	413
A.3	Funktionen	415
A.4	Differentiation	418
A.5	Integration	420

Anhang B	<i>Physikalische Größen und Maßeinheiten</i>	422
B.1	Physikalische Größen	422
B.2	Gegenseitiger Zusammenhang physikalischer Größen	422
B.3	Das internationale Einheitensystem	423
B.4	Dezimalfaktoren	424
B.5	Einige spezielle Größen und Einheiten	425
Anhang C	<i>Naturkonstanten</i>	428
Anhang D	<i>Griechisches Alphabet</i>	429
Anhang E	<i>Lösungen der Aufgaben</i>	430
Anhang F	<i>Ergänzende und weiterführende Literatur</i>	443
Sachverzeichnis		449

1. Optik

Wir beginnen die Physik mit der Optik, weil sie ein für den Biologen sehr wichtiges Gebiet der Physik ist, das sich durch große begriffliche Klarheit und Einfachheit auszeichnet, ohne daß zu ihrem Verständnis besonders viele Mathematikkenntnisse Voraussetzung sind. Man kann schon in der Optik viel vom typischen Denken und der typischen Methodik der Physik lernen.

Das Kapitel Optik bringt zuerst die geometrische Optik oder Strahlenoptik und behandelt erst in seiner zweiten Hälfte die Welleneigenschaften des Lichts. Auch dieser Aufbau wurde mit Absicht gewählt, obwohl die Wellentheorie als die übergreifende Theorie der optischen Phänomene anzusehen ist; übergreifend in dem Sinne, daß aus der Wellentheorie die Gesetze der Strahlenoptik hergeleitet werden können. Die Gründe für diesen Aufbau sind

- Die Strahlenoptik beschreibt viele Eigenschaften des Lichtes richtig, insbesondere viele für den Biologen wichtige Eigenschaften.
- Ein Leser mit geringen Vorkenntnissen findet einen leichteren Zugang zur Strahlenoptik, unter anderem auch, weil dazu besonders wenig Mathematik benötigt wird.
- Auch der Physiker verwendet aus praktischen Gründen die Wellentheorie meist nur dort, wo Welleneigenschaften des Lichtes es erzwingen (als Analogie: Sie benutzen als Biologe kein großes Mikroskop, wenn Sie ein Objekt schon mit einer Lupe erkennen können).

1.1 Die Grundgesetze der Strahlenoptik

Wir wollen in diesem Abschnitt das Verhalten von Licht beim Auftreffen auf Spiegel und beim Durchgang durch Glaskörper wie Prismen, Linsen und Objektive auf der Grundlage der Grundgesetze der Strahlenoptik beschreiben. Kenntnisse darüber werden wir benötigen, wenn wir in den folgenden Abschnitten die Funktionsweise des Auges und des Mikroskops behandeln.

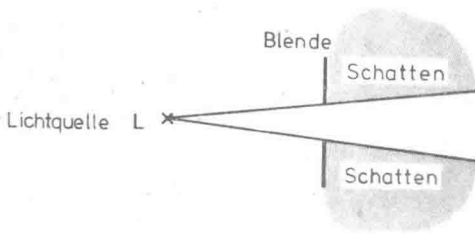


Abb. 1.1. Lichtbündel

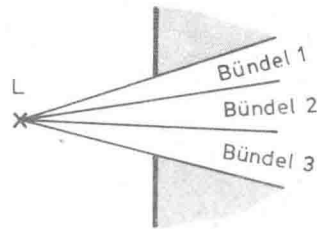


Abb. 1.2. Zerlegung und Zusammensetzung von Lichtbündeln

1.1.1 Lichtstrahlen

Das naturwissenschaftliche Verständnis des Lichtes hat starke historische Wandlungen durchgemacht. Während Newton (1643-1727), den man wegen seiner Arbeiten zur Mechanik den Begründer der modernen Naturwissenschaften nennen kann, sich Licht als Teilchen vorstellte, die von der Lichtquelle geradlinig weglaufen, zwangen später die Erscheinungen der Beugung und der Interferenz zu einer Wellentheorie (Huygens 1678, Fresnel 1818). Aus den bereits genannten Gründen wollen wir diese Wellentheorie erst in den Abschnitten 1.4 bis 1.6 behandeln. Wir beschreiben optische Erscheinungen zunächst im Rahmen der Strahlenoptik, die sich weder auf Teilchen- noch auf Wellenvorstellungen stützt, sondern mit dem anschaulichen Begriff des Lichtstrahls arbeitet.

Der Begriff Lichtstrahl entsteht durch Idealisierung aus dem Begriff Lichtbündel. Ein *Lichtbündel* erzeugt man, indem man aus dem von einer punktförmigen Quelle kommenden Licht durch eine Blende ein "Bündel" herausblendet (Abb.1.1). Indem wir in unserer Vorstellung den Öffnungswinkel des Lichtbündels kleiner und kleiner werden lassen und damit das Bündel unendlich schmal machen, gelangen wir zur Abstraktion des *Lichtstrahls*, der sich wie eine gerade Linie von der Quelle ins Unendliche erstreckt. Dabei lassen wir außer acht, daß es in der Realität keine streng punktförmigen Lichtquellen gibt – ebenso wenig wie wegen der Beugungsphänomene ein reales Bündel durch eine Blende wirklich unendlich schmal gemacht werden kann (Abschnitt 1.5). Wie wir einzelne benachbarte Lichtbündel zu einem Bündel mit größerem Öffnungswinkel zusammensetzen können (Abb.1.2), können wir uns jedes Lichtbündel aus unendlich vielen Lichtstrahlen aufgebaut denken. Das Verhalten dieser Lichtstrahlen untersucht die geometrische Optik.

1.1.2 Reflexion von Lichtstrahlen

Fällt Licht auf eine glatte Oberfläche, so wird es reflektiert. Die Idealisierung einer glatten Oberfläche nennen wir einen Spiegel. Es ist eine empi-