

Inhalt

Danksagung	11
Vorwort und Einführung	15

I Von der Strahlenoptik zum einfachen Mikroskop . . . 19

1 Optische Grundlagen – Strahlenoptik	20
1.1 Was ist Licht? – Ein historischer Überblick	20
1.2 Lichtquellen: Selbst- und Nichtselbstleuchter	26
1.2.1 Wie entsteht Licht?	26
1.3 Begriffe der Strahlenoptik	27
1.3.1 Lichtstrahl und Strahlenbündel	27
1.3.2 Punktlichtquellen zur einfachen grafischen Darstellung von Strahlengängen.	28
1.4 Axiome der Strahlenoptik	29
1.4.1 Erstes Axiom der Strahlenoptik	30
1.4.2 Zweites Axiom der Strahlenoptik	30
1.4.3 Drittes Axiom der Strahlenoptik	36
1.4.4 Viertes Axiom der Strahlenoptik	36
1.5 Brechung des Lichts beim Durchgang durch verschiedene optische Bauelemente	37
1.5.1 Planparallele Platte	37
1.5.2 Brechung an kugelförmigen Grenzflächen	38
1.5.3 Brechung an Linsen	40
1.6 Wie entstehen Bilder?	45
1.6.1 Abbildungen durch Linsen	45
1.6.2 Abbildungen durch Prismen	55
1.6.3 Abbildungen durch Spiegel	57
1.7 Zusammenfassung	58

2	Auge, Lupe und einfaches Mikroskop	59
2.1	Das Auge	59
2.1.1	Der Aufbau des menschlichen Auges	59
2.1.2	Netzhaut	60
2.1.3	Dioptrik des Auges	62
2.2	Optische Instrumente und Vergrößerung	72
2.2.1	Lupe	73
2.2.2	Vergrößerungsglas, Lupe und einfaches Mikroskop	75
2.3	Zusammenfassung	80
II	Das zusammengesetzte Mikroskop	81
3	Allgemeines zum Mikroskop	82
3.1	Der Strahlengang eines Mikroskops	82
3.2	Die Vergrößerung durch das Mikroskop	85
3.3	Das zusammengesetzte und das einfache Mikroskop im Vergleich	89
3.4	Zusammenfassung	91
4	Der Aufbau eines Mikroskops	92
4.1	Allgemeiner Aufbau eines Mikroskops	92
4.2	Die mechanischen Bestandteile eines Mikroskops	92
4.2.1	Stative	92
4.2.2	Mikroskoptuben	96
4.2.3	Objekttische	100
4.3	Zusammenfassung	103
5	Mikroskopobjektive	104
5.1	Objektive mit endlicher und unendlicher Bildweite	104
5.1.1	Objektive mit endlicher Bildweite	104
5.1.2	Objektive mit unendlicher Bildweite	106
5.2	Vergrößerung und Abbildungsmaßstab	107
5.3	Die numerische Apertur	110
5.3.1	Bedeutung der numerischen Apertur	111
5.3.2	Numerische Apertur und Öffnungswinkel	112
5.3.3	Numerische Apertur und Immersion	113
5.4	Homogene Immersion	114
5.5	Immersionsmittel und -objektive	116
5.5.1	Immersionsmittel	116
5.5.2	Anwendung eines Immersionsobjektivs	118
5.6	Numerische Apertur und förderliche Vergrößerung	119
5.7	Abbildungsfehler und deren Korrektur	120
5.7.1	Abbildungsfehler	120
5.7.2	Monochromatische Aberrationen	120

5.7.3	Chromatische Aberration	124
5.8	Korrektionsklassen oder Objektivklassen	125
5.8.1	Der Achromat	125
5.8.2	Fluoritobjektive oder Semiapochromate	127
5.8.3	Der Apochromat	127
5.8.4	Planobjektive	129
5.9	Spezialobjektive	130
5.9.1	Objektive mit Quarzglas	130
5.9.2	Phasenkontrastobjektive	131
5.9.3	Objektive für die Polarisationsmikroskopie	131
5.10	Deckglasdicke	131
5.11	Korrektionsring bei Objektiven	133
5.12	Federfassung zum Schutz der Frontlinse	133
5.13	Objektive mit Irisblende	134
5.14	Zusammenfassung	136
6	Mikroskopokulare	137
6.1	Allgemeines zum Okular	137
6.2	Okulartypen	141
6.3	Okularangaben und ihre Bedeutung	144
6.3.1	Vergößerung	144
6.3.2	Sehfeldzahl	144
6.3.3	Großfeld- oder Weitwinkelokulare	147
6.3.4	Dioptrienausgleich	147
6.3.5	Brillenträgerokular	147
6.4	Okulare für Demonstrations-, Zähl- oder Messzwecke	148
6.5	Zusammenfassung	152
7	Die Beleuchtungseinrichtung eines Mikroskops	153
7.1	Die Beleuchtung	153
7.2	Lichtquellen und ihre optimale Einstellung	154
7.3	Der Kondensor	155
7.3.1	Allgemeiner Aufbau eines Kondensors	155
7.3.2	Funktion des Kondensors: Ausleuchtung des Präparats	155
7.3.3	Funktion des Kondensors: Beleuchtungsapertur	157
7.3.4	Einstellung der Kondensorblende	158
7.3.5	Bauformen von Kondensoren	161
7.4	Mikroskopbeleuchtungen	163
7.4.1	Die kritische Beleuchtung	163
7.4.2	Die Köhlersche Beleuchtung	164
7.5	Zusammenfassung	174

8	Einteilung der Mikroskope	175
8.1	Kursmikroskope	175
8.2	Routine- oder Labormikroskope	178
8.3	Forschungsmikroskope oder Universalmikroskope	178
8.4	Zusammenfassung	180
9	Stereomikroskope und Makroskope	181
9.1	Stereomikroskope	181
9.1.1	Greenough-Systeme oder Greenough-Mikroskope	183
9.1.2	Teleskop- oder Fernrohrsysteme	184
9.1.3	Beleuchtung	185
9.1.4	Anwendungsgebiete	185
9.2	Makroskope	186
9.3	Zusammenfassung	187
III	Theorie der mikroskopischen Abbildung	189
10	Grundlagen der Wellenoptik	190
10.1	Der dunkle Raum: Warum die Wellenoptik zum Verständnis des Mikroskops so bedeutend ist	190
10.2	Optische Beugung und Interferenz.	194
10.3	Schwingungen	198
10.4	Wellen	199
10.4.1	Mathematische Beschreibung von Wellen	201
10.4.2	Wasserwellen als Modell für Transversalwellen	203
10.4.3	Ausbreitung von Lichtwellen	204
10.5	Interferenz von Wellen	205
10.5.1	Wasserwellen	205
10.5.2	Lichtwellen	206
10.6	Modelle zur Lichtwellenausbreitung: Huygens-Fresnelsches Prinzip und Fresnelsche Beugung	209
10.7	Fresnelsche und Fraunhofersche Beugungen	218
10.8	Zusammenfassung	220
11	Beugung im Mikroskop	221
11.1	Beobachtung von Beugungsbildern	222
11.1.1	Die Beugung von Licht in der Fraunhofer-Versuchsanordnung	222
11.1.2	Die Beugung von Licht im Abbeschen Diffraktionsapparat	223
11.1.3	Möglichkeiten zur Beobachtung des primären Beugungsbildes im normalen, aufrechten Mikroskop	224
11.2	Einfachspalt, Doppelspalt und optische Gitter	225
11.2.1	Die Beugung von Licht am Einfachspalt	226
11.2.2	Beugung am Doppelspalt und am Strichgitter	230

11.2.3	Kreuzgitter	234
11.3	Mikroskopische Präparate als Beugungsgitter	236
11.4	Bedeutung der Lichtbeugung für die Bildentstehung: Ausblenden der Nebenmaxima	237
11.5	Zusammenfassung	239
12	Die Theorie der Bildentstehung nach Abbe	240
12.1	Die Abbesche Theorie der mikroskopischen Abbildung	241
12.2	Auflösungsvermögen eines Mikroskops nach Abbe	244
12.3	Abbe-Formel für das Auflösungsvermögen eines Mikroskops	249
12.4	Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops (Abbe-Limit)	252
12.5	Das Auflösungsvermögen eines Mikroskops nach von Helmholtz	254
12.6	Auflösungsvermögen und förderliche Vergrößerung	254
12.7	Theorie der mikroskopischen Abbildung nach Abbe und der dunkle Raum	258
12.8	Ausblick	258
12.9	Zusammenfassung	259

IV Elektronenmikroskopische Verfahren 261

13	Das Transmissionselektronenmikroskop	262
13.1	Elektronen zur Abbildung von Strukturen prägen die Vorstellungswelt der Biologen	263
13.2	Die Geschichte der Elektronenmikroskopie beginnt mit dem Transmissionselektronenmikroskop	266
13.3	Aufbau und Funktionsweise eines Transmissionselektronenmikroskops	274
13.4	Korrektoren zur Minimierung von Linsenfehlern im TEM	279
13.5	Bildentstehung im TEM	281
13.6	Möglichkeiten eines Energiefilters im TEM	284
13.7	Probenpräparation für TEM	289
13.7.1	Objektträger für Untersuchungen im TEM	291
13.7.2	Präparation von Einzelpartikeln für TEM	292
13.7.3	Gibt es eine ideale Fixierungsmethode?	293
13.7.4	Herstellung von Proben-Dünnschnitten	296
13.7.5	Kontrastierung der Proben	298
13.7.6	Probenpräparation für analytische EFTEM-Methoden	298
13.8	TEM-Anwendungen in den Lebenswissenschaften	298
13.8.1	Visualisierung von Ultrastrukturen und subzellulärer Lokalisation von Molekülen im TEM	298
13.8.2	Analyse von biologischen Proben durch Kryo-TEM	299
13.8.3	Einsatz des TEM in der Strukturbioogie	300

13.8.4	3D im TEM – TEM-Tomographie	301
13.9	Die Interpretation von TEM Aufnahmen	303
13.10	Limits und Trends in der Transmissionselektronenmikroskopie	304
13.11	Zusammenfassung	305
14	Das Rasterelektronenmikroskop	307
14.1	Rasterelektronenmikroskopie – Fortsetzungsreise ins Reich der kleinen Dinge	307
14.1.1	Allgemeines Funktionsprinzip des REM	308
14.1.2	Die Geschichte der Rasterelektronenmikroskopie	308
14.2	Aufbau eines Rasterelektronenmikroskops	313
14.2.1	Elektronenstrahlerzeugende Systeme und Elektronenemitter	313
14.2.2	Linsen	322
14.2.3	Rastereinheit	326
14.3	Bildentstehung im REM: Wechselwirkungen zwischen Elektronenstrahl und Probe und ihr Informationsgehalt	328
14.4	Detektion und Kontraste	337
14.4.1	Everhart-Thornley-Detektor (ETD)	338
14.4.2	Dedizierte Rückstreuelektronendetektoren	341
14.4.3	Spezielle Detektoren und Abbildungsverfahren	343
14.4.4	Die Bedeutung von Kontrast, Signal und Rauschen	348
14.5	Wie kommt man zu einem guten Bild? – Probenpräparation und Einstellungen am REM	350
14.6	Trends in der Rasterelektronenmikroskopie	354
14.7	Zusammenfassung	357
	 Literaturverzeichnis	 359
	Kapitel 1–12	359
	Kapitel 13	365
	Kapitel 14	368
	Anhang	371
	Symbole und Konstanten	371
	Grundgrößen und abgeleitete Größen	372
	Brechungsindizes wichtiger Immersionsmittel und Luft	372
	Formeln	373
	Konventionen	374
	Quellennachweis	375
	Tabellen	375
	Abbildungen	375
	Sachverzeichnis	381
	Autorenverzeichnis	396