

Inhaltsverzeichnis

Einleitung IX

Eine kurze Geschichte der Mikroskopie XIII

Referenzen XVIII

Teil I Das Lichtmikroskop als optisches Instrument 1

1 Optische Vergrößerungen: Von der Lupe zum Mikroskop 3

- 1.1 Die Lupe 3
- 1.2 Höhere Vergrößerungen: Das zusammengesetzte Mikroskop 5
 - 1.2.1 Strahlengang im zusammengesetzten Mikroskop 6
 - 1.2.2 Numerische Apertur und laterales Auflösungsvermögen 8
 - 1.2.3 Axiales Auflösungsvermögen: Schärfentiefe 13
 - 1.2.4 Vergrößerung und numerische Apertur – was ist möglich? 14
 - 1.2.5 Die Beleuchtung des Mikroskops: Von kritisch zu Köhler 17
 - 1.2.6 Die Aperturblende und ihre Funktion 21
 - 1.2.7 Die Pupillen 23
- 1.3 Wichtige mechanische Abmessungen des Mikroskops 25
 - 1.3.1 Optik nach DIN: Endliche Tubuslänge 25
 - 1.3.2 Unendlichoptik 27
- Referenzen 30

2 Das aufrechte Durchlichtmikroskop: Aufbau und Funktionsweise 31

- 2.1 Das Mikroskopstativ 31
- 2.2 Die Beleuchtung 33
 - 2.2.1 Halogenlampen 34
 - 2.2.2 Linienstrahler: Quecksilber-Hochdrucklampen 36
 - 2.2.3 Leuchtdioden 38
- 2.3 Kondensoren 40
 - 2.3.1 Prinzipieller Aufbau 41
 - 2.3.2 Besondere Bauformen 42

VI | *Inhaltsverzeichnis*

2.4	Fokussierung und Mikroskopisch	43
2.4.1	Fokussierung	44
2.4.2	Mikroskopisch	45
2.4.3	Ergonomie	47
2.5	Objektive	48
2.5.1	Kennzeichnungen von Objektiven	48
2.5.2	Farbkorrektion: Achromate und Apochromate	51
2.5.3	Ebene Bilder: Planobjektive	54
2.5.4	Ergänzung: Bestimmung der numerischen Apertur	58
2.6	Okulare	60
2.6.1	Kennzeichnungen von Okularen, Vergrößerung und Sehfeldzahl	60
2.6.2	Bauformen von Okularen	62
2.6.3	Exkurs: Messen mit dem Mikroskop	64
2.7	Beobachtungstuben	66
2.7.1	Beobachtungstuben: Von monokular bis trinokular	66
2.7.2	Optische Mitbeobachtung: Diskussionsbrücken	70
2.8	Bilddokumentation	71
2.8.1	Bildsensoren für Kameras – ein kurzer Überblick	72
2.8.2	Kompaktkameras	75
2.8.3	Systemkameras	76
2.8.4	C-Mount-Kameras	78
2.8.5	Softwarepakete, Tipps zum Kauf	81
	Referenzen	81
3	Das aufrechte Auflichtmikroskop	83
3.1	Aufbau und Funktionsweise	83
3.2	Die Beleuchtung	84
3.3	Objektive für die Auflichtmikroskopie	86
3.4	Fokussierung und Mikroskopisch	87
	Referenzen	89
4	Das inverse Mikroskop: Aufbau und Funktionsweise	91
4.1	Das Mikroskopstativ	91
4.2	Beleuchtung und Optik	92
4.3	Mikroskopisch und Fokussierung	94
	Referenzen	96
5	Das Stereomikroskop: Aufbau und Funktionsweise	97
5.1	Stereomikroskop – optischer Aufbau	97
5.2	Stative und Beleuchtung	101
	Referenzen	105

Teil II Unsichtbares sichtbar machen 107

6 Kontrastierverfahren in der Mikroskopie 109

- 6.1 Hellfeldmikroskopie 109
- 6.1.1 Durchlicht-Hellfeldmikroskopie 110
- 6.1.2 Auflicht-Hellfeldmikroskopie 114
- 6.2 Schiefe Beleuchtung 117
- 6.2.1 Funktionsprinzip und Komponenten 117
- 6.2.2 Weiterentwicklung: Der Hoffman-Modulationskontrast 118
- 6.2.3 Schiefe Beleuchtung im Durchlicht 120
- 6.2.4 Schiefe Beleuchtung im Auflicht 121
- 6.3 Dunkelfeldmikroskopie 122
- 6.3.1 Funktionsprinzip und Komponenten 122
- 6.3.2 Durchlicht-Dunkelfeldmikroskopie 122
- 6.3.3 Auflicht-Dunkelfeldmikroskopie 127
- 6.4 Phasenkontrastmikroskopie 128
- 6.4.1 Funktionsprinzip und Komponenten 128
- 6.4.2 Anwendungsbeispiel: Zählung von Asbestfasern 136
- 6.4.3 Anwendungsbeispiel: Untersuchung von Belebtschlamm 137
- 6.5 Polarisationsmikroskopie 139
- 6.5.1 Orthoskopie: Funktionsprinzip und Komponenten 140
- 6.5.2 Orthoskopie: Anwendungsbeispiele 146
- 6.5.3 Konoskopie: Funktionsprinzip und Komponenten 148
- 6.6 Differenzieller Interferenzkontrast 153
- 6.6.1 Funktionsprinzip und Komponenten 153
- 6.6.2 Differenzieller Interferenzkontrast im Durchlicht 159
- 6.6.3 Differenzieller Interferenzkontrast im Auflicht 161
- 6.7 Fluoreszenzmikroskopie 163
- 6.7.1 Funktionsprinzip und Komponenten 163
- 6.7.2 Auflicht-Fluoreszenzmikroskopie: Beispiele 169
- 6.8 Kontrastierverfahren in der Stereomikroskopie 174
- Referenzen 177

Teil III Weiterentwicklungen – Über die Weitfeldmikroskopie hinaus 181

7 Moderne mikroskopische Verfahren 183

- 7.1 Modellierung der Punktbildverwaschungsfunktion 183
- 7.1.1 Dekonvolution: Bildverbesserung durch Software 183
- 7.1.2 Konfokalmikroskopie 184
- 7.1.3 Das 4Pi-Mikroskop 187
- 7.1.4 Das STED-Mikroskop 189
- 7.2 Höchstaufösung durch Eingriffe in die Beleuchtungsgeometrie 191
- 7.2.1 Strukturierte Beleuchtung 192

VIII | *Inhaltsverzeichnis*

- 7.2.2 Lichtblattmikroskopie 194
- 7.2.3 Lokalisationsmikroskopie durch Photoaktivierung 195
- 7.3 Nahfeldverfahren 196
 - 7.3.1 Nahfeldmikroskopie 197
 - 7.3.2 Interne Totalreflexionsmikroskopie 198
- 7.4 Quantitative mikroskopische Verfahren 200
 - 7.4.1 Fluorescence Recovery after Photobleaching (FRAP) 200
 - 7.4.2 Zeitaufgelöste Messungen 201
- 7.5 Nichtlineare Effekte: Raman- und Zwei-Photonen-Mikroskopie 204
 - 7.5.1 Raman-Mikroskopie 204
 - 7.5.2 Zwei-Photonen-Mikroskopie 206
- Referenzen 207

Danksagung 211

Nachweis der mikroskopischen Aufnahmen 213

Stichwortverzeichnis 215