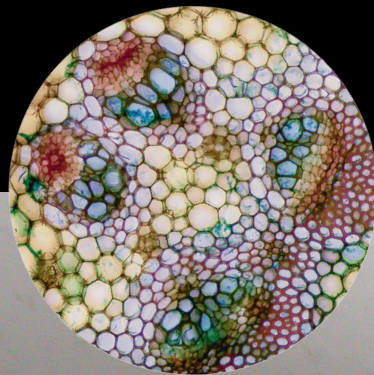
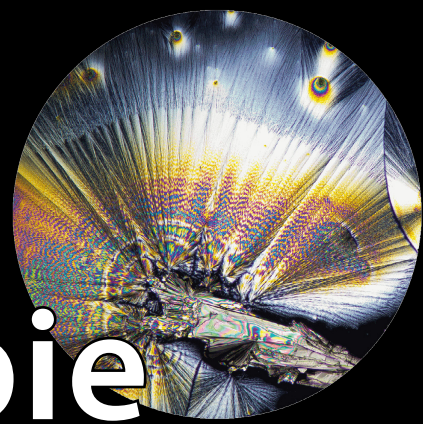


Erik Wischnewski

Mikroskopie

*Theorie aus Sicht eines Astronomen
und Praxis aus Sicht eines Anfängers*



Mikroskopie

**Theorie aus Sicht eines Astronomen
&
Praxis aus Sicht eines Anfängers**

von
Dr. Erik Wischnewski
Astrophysiker und Fachbuchautor
Kaltenkirchen

Erik Wischnewski

Mikroskopie

Theorie aus Sicht eines Astronomen &

Praxis aus Sicht eines Anfängers

24568 Kaltenkirchen, 2020–2024

ISBN 978-3-948774-14-1

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

Dieses E-Book basiert auf der letzten Printausgabe des Buches ›Ein Astronom und sein Mikroskop‹, ISBN 9783948774059.

Satz: Adobe InDesign CS5

Schrift: Haupttext – Minion Pro 10.5 pt
von Robert Slimbach

Tabellen – Myriad Pro 8 pt
von R. Slimbach u. Carol Twombly

Copyright © 2020–2024 Kaltenkirchen,
Dr. Erik Wischnewski und seine Lizenzgeber.
Alle Rechte vorbehalten.

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

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Autors unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Vorwort

Wer träumt nicht davon, mit einem Mikroskop die kleinen Dinge dieser Welt ganz groß zu betrachten?

Dieses etwas andere Buch beschreibt die Mikroskopie aus Sicht eines Astrophysikers, der Lust auf Optik hat, aber keine besonderen Ambitionen zum mühevollen Präparieren verspürt.

In der Theorie gehe ich den Dingen in einer Weise auf den Grund, die mich als Astrophysiker charakterisieren. Neben Fragen zum Auflösungsvermögen und den zahlreichen Kontrastmethoden wie Dunkelfeld, Phasenkontrast und Polarisierung kommen auch Aspekte der Mikrophotographie und der Darstellung auf einem Monitor zur vollen Entfaltung. Die Chemie wird aber auch kurz gestreift.

Im praktischen Teil zeige ich vor allem die Objekte, die mir im Haus und im Garten begünstigen. Ich habe Spaß daran, mein Umfeld

zu erforschen und zu verstehen, aber mit so wenig präparierenden Maßnahmen wie möglich: Nichts ist perfekt, Hauptsache schnell und einfach, alles mit Potential nach oben.

Natürlich fehlt das obligatorische Kapitel zum Thema Präparieren nicht. Außerdem hat mich auch das biologische Umfeld zu dem im Mikroskop Beobachteten interessiert, welches ich ebenfalls kurz skizziere.

Mich interessierten besonders Minerale und Kristalle, das Leben im Teich, Pollen und Pflanzendünnschnitte, Hefepilze, Insekten und Spinnen und vor allem der Mensch und die medizinischen Themen wie beispielsweise das Blut.

So ist dieses Buch in gewisser Hinsicht auch ein Logbuch während meines Tauchgangs in die mikroskopische Welt. Ich lade Sie herzlich ein, mit mir gemeinsam die Reise in den Mikrokosmos anzutreten.

Erik Wischniewski

Inhaltsverzeichnis

Teil I

1	Motivation zur Mikroskopie	11
	Der Autor als Astronom	11
	Thematische Ziele	12
	Der wichtigste Unterschied	13
2	Der Arbeitsplatz	15
	Einführung	15
	Platzwahl	15
	Lichtverhältnisse	18
	Wohlfühlfaktor	19
	Ausrüstung	19
3	Aufbau des Mikroskops	25
	Überblick	25
	Lichtquelle	27
	Kollektor und Kondensor	27
	Objektiv	29
	Tubus	33
	Okular	34
	Zubehör	35
	Gewinde	35
	Anschaffung	35
4	Die Optik und ihre Gesetze	38
	Optische Gesetze	38
	Optische Abbildungsfehler	44
	Beleuchtung	46
	Tubus	47
	Objektiv	48
	Okular	50
	Auflösungsvermögen	53
	Kontrast und Schärfe	59
5	Die Lichtquelle und ihr Spektrum	63
	Lichtquellen	63
	Spektren	65

6	Die Beleuchtung nach Köhler	71
	Motivation 71	
	Eigenschaften 72	
	Funktionsprinzip 73	
	Köhlern 74	
7	Photographie und Monitor	80
	Kameraanschluss 81	
	Bildausschnitt 83	
	Auflösung 85	
	Monitor 90	
	Maßstab 91	
	Vignette 93	
	Überlagerung 97	
	Mosaik 101	
	Was schwingt denn da? 103	
	Schärfung 107	
8	Ohne Kontrast geht gar nichts	108
	Das Wesen von Licht 108	
	Hellfeld 111	
	Dunkelfeld 111	
	Schiefe Beleuchtung 116	
	Phasenkontrast 119	
	Polarisation 126	
	Zusammenfassender Vergleich 134	
	Interferenzkontrast 135	
	Fluoreszenz 135	
	Färbung 137	
9	Die Chemie in der Mikroskopie	138
	Einleitung 138	
	Erstausstattung 140	
	Anorganische Chemie 142	
	Organische Chemie 143	
	Sicherheit 147	

Teil II

10 Lästiges Präparieren 150

Einleitung 150
Sammeln 152
Schneiden 154
Überführen 158
Färben 160
Arrangieren 162
Einschließen 162
Abdichten 164
Reinigen 164
Beschriften 165
Wer bietet was an? 165
Objektträger für Auflicht 166

11 Zum Auftakt 167

Aufgabengebiete 167
Systematik in der Biologie 169
Aufbau einer Zelle 171
Separieren 173

12 Minerale und Kristalle 175

Minerale 175
Kristalle 175
Konoskopie 190

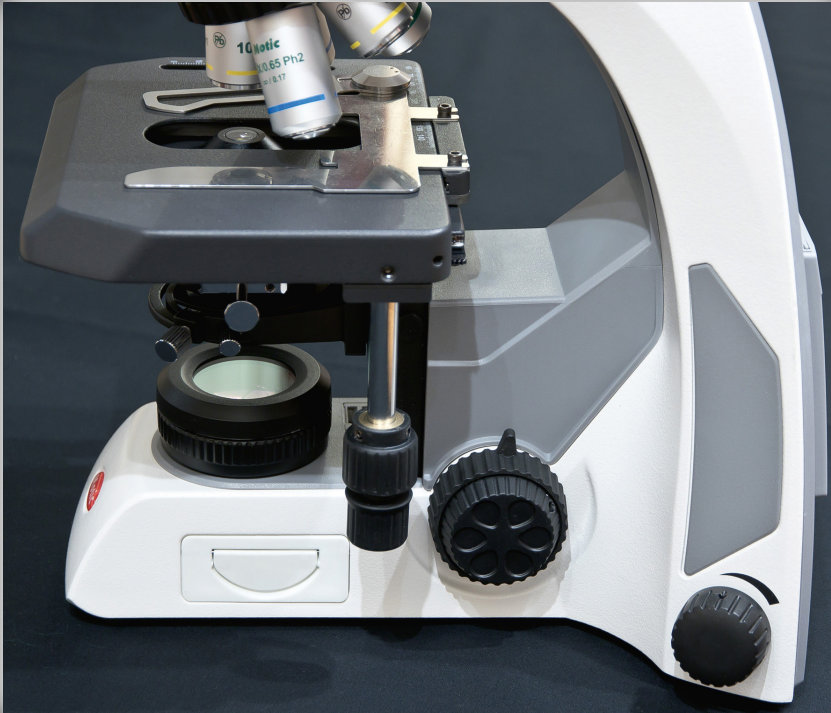
13 Das Leben im Teich 192

Idyllischer Gartenteich 192
Wasserlinse 194
Probenentnahme 196
Grünalgen 197
Kieselalgen 202
Ruderfußkrebse 203
Wasserflöhe 206
Rädertierchen 207
Sonnentierchen 208
Nesseltiere 209
Strahlentierchen 209
Geißeltierchen 210
Wimpertierchen 210
Augentierchen 211
Fabelhaft 212

14	Pollen unterwegs	213
	Bestäubung 213	
	Hibiskus 215	
	Daboecia 216	
	Rhododendron 218	
	Forsythie 219	
	Krokus 220	
	Koniferen 221	
	Pollen im Honig 222	
15	Pflanzen im Dünnschnitt	225
	Zwiebel 225	
	Sprossachsen 227	
16	Pilze im Alltag	251
	Hefepilze 251	
	Pinselschimmel 256	
17	Insekten und Spinnen	257
	Stubenfliege 257	
	Blattlaus 259	
	Spinnenfaden 262	
	Honigbiene 266	
18	Mensch und Medizin	267
	Bakterien 267	
	Mundhöhle 270	
	Haar 274	
	Blut 277	
	Urin 290	
	Sperma 292	
	Kot 294	
19	Sternenhimmel	302
	Einstimmung 302	
	Photometrie 303	

Teil III

A	Bezugsquellen	312
B	Quellennachweis	315
C	Stichwortregister	317



1. Motivation zur Mikroskopie
2. Der Arbeitsplatz
3. Aufbau des Mikroskops
4. Die Optik und ihre Gesetze
5. Die Lichtquelle und ihr Spektrum
6. Die Beleuchtung nach Köhler
7. Photographie und Monitor
8. Ohne Kontrast geht gar nichts
9. Die Chemie in der Mikroskopie

1 Motivation zur Mikroskopie

Dieses Kapitel erzählt von einer etwas anderen Motivation zur Mikroskopie als es landläufig anzutreffen ist. Der Autor ist Astrophysiker mit Schwerpunkt Optik. Und genau hier setzt sein Interesse an: Das Mikroskop als optisches Instrument. Die vorbereitenden Arbeiten mit ätzenden und färbenden Chemikalien, scharfen Messern und offenen Flammen schrecken ihn eher ab. Die Physik des Lichtes und seine Ausbeute stehen im Vordergrund. Wer ähnlich fühlt und denkt, wird in diesem Buch einen wahren Freund finden.

Der Autor als Astronom

Seit dem neunten Lebensjahr interessiert sich der Verfasser für die Sterne und so war es nur konsequent, dass er Physik und Astronomie studierte. Zahlreiche Vorlesungen an Volkshochschulen füllten den Geldbeutel als Schüler und Student. Anno 1980 erschien die erste Ausgabe des späteren Bestsellers ›Astronomie in Theorie und Praxis‹. Nach 40 Jahren wurde die inhaltliche Entwicklung des bis dahin zum Standardwerk der deutschen astronomischen Literatur aufgestiegenen Kompendiums und Nachschlagewerkes beendet.

Das war der Moment, wo nach einer neuen Herausforderung gesucht wurde. Als Physiker mit starkem Interesse an der Optik und dem damit in Zusammenhang stehenden Licht lag es nahe, alle Instrumente dieser Kategorie auszuprobieren. Die Photographie betreibt der Verfasser in allen Facetten schon genauso lange wie die Himmelskunde. Mit dem Fern-

glas wurden Sterne und Natur beobachtet. Das Fernglas ist auch nicht ergiebig genug für ein Fachbuch. Bleibt die alte Leidenschaft zum Mikroskop, die nun ausgelebt wird.

Zwischen einem Teleskop und einem Mikroskop gibt es viele Gemeinsamkeiten: im Aufbau und in der Anwendung. So liegt es für einen Physiker nahe, beide optischen Systeme miteinander zu vergleichen und das Mikroskop näher ›unter die Lupe‹ zu nehmen.

Wie schon im astronomischen Werk des Verfassers wird auch dieses Buch viele unkonventionelle Beschreibungen enthalten und eben solche Verfahren vorstellen. Da Mikroskopie und Astronomie allerdings Begriffe auf zwei verschiedenen Ebenen sind, wird dieses Buch etwas anders ausfallen als das astronomische Kompendium.

Wo liegt der Unterschied?

- Die *Astronomie* ist eine Wissenschaft, die mit instrumentellen Hilfsmitteln (z. B. Teleskope) die kosmischen Objekte erforscht.
- Das *Mikroskop* ist ein instrumentelles Hilfsmittel, das der Untersuchung von kleinen Objekten verschiedener Wissenschaften dient.

Das Pendant zur Mikroskopie wäre Teleskopie. Das Pendant zur Astronomie wäre zum Beispiel Biologie und Kristallographie.

Thematische Ziele

Nach ersten Orientierungsschritten wurde dem Verfasser immer klarer, was er nicht möchte. Diese Themen werden zwar auch behandelt, aber nur sehr kurz. Der Verfasser legt bei diesem Buch Wert darauf, hauptsächlich solche Themen zu behandeln, die ihm gefallen und nicht solche, die schon in vollendeter Tiefe in zahlreichen Büchern behandelt wurden, wie etwa Pilze, Leben im Gartenteich, Bakterien und andere Sehenswürdigkeiten. Es wird auch nicht das perfekte Photo im Vordergrund stehen, wie man es in den Mikro-Foren oft findet.



Abbildung 1.1 Nördlicher Trifidnebel, aufgenommen in Österreich mit einem Spiegelteleskop von 46 cm Öffnung und 2 m Brennweite, einer Astro-CCD-Kamera mit verschiedenen Filtern und einer Gesamtbelichtungszeit von 13.5 Stunden, wobei die einzelnen Aufnahmen bei 4–8 Minuten lagen. Credit: Astro-Kooperation.

Photographie

In der Photographie besteht übrigens eine Verwandtschaft zur Astronomie. Astronomische Foren sind voll mit besten Himmelsaufnahmen, so genannten Deep-Sky-Bildern von Gasnebeln und Galaxien, deren Qualität die großen professionellen Sternwarten mit ihren metergroßen Teleskopen in der Jugend des Verfassers nicht zustande brachten (→ **Abbildung 1.1**). Die Digitalphotographie und die anschließende Bildbearbeitung am Computer ermöglicht heutzutage wahnsinnige Ergebnisse, in der Astronomie ebenso wie in der Mikroskopie. Dieser Faszination kann sich auch der Autor nicht entziehen und so werden viele Tipps zur Photographie auch Teil dieses Buches sein. Auch hier gibt es wieder Parallelen zwischen Astronomie und Mikroskopie: In der Astronomie stellt das Fernrohr ein sehr starkes Teleobjektiv dar, in unserem Fall ist das Mikroskop ein extremes Makroobjektiv. Eine Gemeinsamkeit ist die Bildüberlagerung, das sogenannte Stacking (→ Abschnitt **Überlagerung auf Seite 97**).

Chemie? Nein danke!

Bei der Festlegung der Mikroskopie-Ziele berücksichtigte der Verfasser auch seine geringe Neigung zur Chemie. Als Physiker liebt er das Licht und die Optik, nicht aber das Hantieren mit Flüssigkeiten, und schon gar nicht mit ätzenden, giftigen und färbenden Substanzen. Die Mikroskopie soll quasi im Wohnzimmer auf dem guten Mahagoni-Tisch stattfinden können. Wie im nächsten Kapitel zu sehen sein wird, hat der Verfasser sich sicherheitshalber für eine einfache Tischplatte mit einer Gummiunterlage und einer Glasplatte entschieden. So ganz vermeiden kann man Flüssigkeiten nicht, aber der Verfasser hat diese weitgehend minimiert. Das kommt unter anderem auch dem ganz jungen Mikroskopiker entgegen. Statt Chemie soll die Physik des Lichtes im Vordergrund stehen.

Präparieren? Nein danke!

Eine der Hauptaktivitäten von Mikroskopikern ist das Präparieren. Diese ist notwendig für die Herstellung eines Dauerpräparats, aber auch, um die Details unmittelbar besser sichtbar zu machen, oder um eine vorzeitige Veränderung von biologischem Material zu verhindern. Alle diese oftmals sehr wichtigen und notwendigen Vorarbeiten, bevor man überhaupt zum Eigentlichen, dem Betrachten im Mikroskop, kommen kann, gefällt dem Verfasser überhaupt nicht. Auch der Umgang mit teilweise extrem scharfen Messern zur Erzeugung von Dünnschnitten erzeugt beim Autor ein Unbehagen. Hierfür ist das vorherige Härten der zu schneidenden Probe vielfach notwendig.

Fazit

Nun mag der ernsthafte und erfahrene Mikroskopiker einwenden, ohne diese präparierenden Maßnahmen ginge es aber nicht. Dem soll nicht widersprochen werden, aber in der Astronomie gibt es den Leitsatz:

»Jedes Fernrohr findet seinen Himmel.«

So mag in der Mikroskopie gelten:

»Jede Vorgehensweise findet ihren Reiz.«

Der wichtigste Unterschied

Gerade die zuletzt angesprochene Thematik des Präparierens ist der grundlegende Unterschied zwischen Mikroskopie und Astronomie. Bei der Erforschung des Himmels und seiner Objekte müssen wir alles so nehmen, wie es von Natur aus geboten wird. Wir erhalten Kunde vom Objekt durch die Strahlung, die von diesem zu uns gelangt. Diese Strahlung können wir analysieren. In den meisten Fällen ist es das Licht, das auch in der Mikroskopie eine entscheidende Rolle spielt.

Hier gibt es wieder eine Gemeinsamkeit, nämlich Ernst Carl Abbe (1840–1905). Der

Physiker und Optiker Abbe verbesserte das Auflösungsvermögen von Mikroskopen. Das wichtigste Merkmal dabei ist die Apochromasie, die später auch die Qualität der Teleskope deutlich verbesserte. Die zugehörigen Objektive heißen *Apochromat* und sind nach wie vor recht teuer. Der Preis wird unter anderem nicht nur durch die Zahl der Linsen bestimmt, sondern auch durch deren Glasorte. Bei den besten Objektiven werden fast immer Fluorgläser (z. B. Fluorit Ca_2F) verwendet. Ernst Abbe verwendete noch natürliche Mineralien, was heute unbezahlbar wäre. Glücklicherweise können wir heute viele Fluorgläser künstlich züchten.

Wie in der Astronomie möchte der Verfasser auch bei den Objekten verfahren, die unter das Mikroskop gelegt werden. Aber genau hier ist der Unterschied: Während die kosmischen Objekte so weit entfernt sind, dass wir sie nicht anfassen und manipulieren können¹, legen wir das mikroskopische Objekt der Begierde auf den Objektträger. Wir fassen es also an und sind natürlich in der Versuchung und auch in der Lage, dieses zu verändern (Dünnschnitt, Färbung, usw.). Der Astronom ist zur Passivität verurteilt, der Mikroskopiker zur Aktivität.

So wird dieses Buch eher Verfahren und Themen enthalten, die – wie in der Astronomie – das Objekt nehmen, wie es ist. So wenig wie möglich sollen vorbereitende Maßnahmen durchgeführt werden. Insofern könnte man den Tenor dieses Buches auch so beschreiben: *Mikroskopie aus Sicht eines Astrophysikers.*

Ein Objekt namens Präparat

Der dargestellte Unterschied zwischen Astronomie und Mikroskopie ist auch für den täglichen Sprachgebrauch unter Mikroskopikern verantwortlich: Während der Astronom davon spricht, ein (Himmels-) *Objekt* zu beobachten, wird der zu betrachtende Gegenstand in der Mikroskopie meistens als *Präparat* bezeichnet, wenngleich dieses auf einen Objektträger gelegt und mit einem Objektiv betrachtet wird.

¹ von Objekten des Sonnensystems einmal abgesehen

Die einzelnen Komponenten werden in der Reihenfolge des Lichtweges von der Lampe zum Auge beschrieben.

Lichtquelle

Heute gängige Lichtquellen sind Halogen und LED. Speziell bei LEDs gibt es verschiedene Farbtemperaturen. Gängige Typen sind Tageslicht-LED (5500–6000 K) und Warmlicht-LED (3000–3500 K). Die Premiumhersteller wie Zeiss u. a. bieten für Fluoreszenzmikroskopie schmalbandige Leuchtdioden mit genau spezifizierten Wellenlängen an.

Leuchtdioden haben eine hohe Lichtausbeute, sodass einerseits die Stromkosten geringer sind und andererseits die Erwärmung der Lampen kaum spürbar ist (beim Motoc Panthera C sind es nur 3 W statt 30 W).



Abbildung 3.3 Modul einer Halogenlampe, das gegen ein LED-Modul ausgetauscht werden kann.

Die Lichtausbeute liegt für Halogenlampen (3000 K) etwa bei 28 Lumen/Watt (lm/W). Die Lichtausbeute bei LEDs kann theoretisch maximal 683 lm/W erreichen, in der Praxis schafft man zurzeit 160 lm/W (anno 2019).

Die Angabe des Lichtstroms in Lumen (lm) bezieht sich auf den visuellen Spektralbereich

380–780 nm. Somit hängt der Wert auch von der Farbtemperatur der Lampe ab. Eine Tageslicht-LED (ca. 500 nm) mit 3 W hat demzufolge einen höheren Lichtstrom als eine Warmlicht-LED (ca. 900 nm) mit 3 W, da sie den visuellen Spektralbereich besser abdeckt.

Kollektor und Kondensor

Kollektor und Kondensor dienen der Optimierung der Beleuchtung nach August Köhler (→ *Die Beleuchtung nach Köhler auf Seite 71*). Das diesbezügliche Einstellen des Mikroskops nennt sich *Köhlern* (→ *Seite 74*).

Lampe, Kollektor und Kondensor sind optogeometrisch aufeinander abgestimmt. Da die Lampe und der Kollektor fest im Stativ eingebaut sind und – wenn überhaupt – nur minimale Korrekturen in der Position erlauben, muss der Kondensor demzufolge immer passend zu diesem Mikroskopstativ ausgewählt werden. Kondensoren anderer Hersteller (und oft auch anderer Modelle desselben Herstellers) können in der Regel nicht benutzt werden.



Abbildung 3.4 Kondensor des Motoc BA310E mit direkter Größenangabe der Aperturblende.

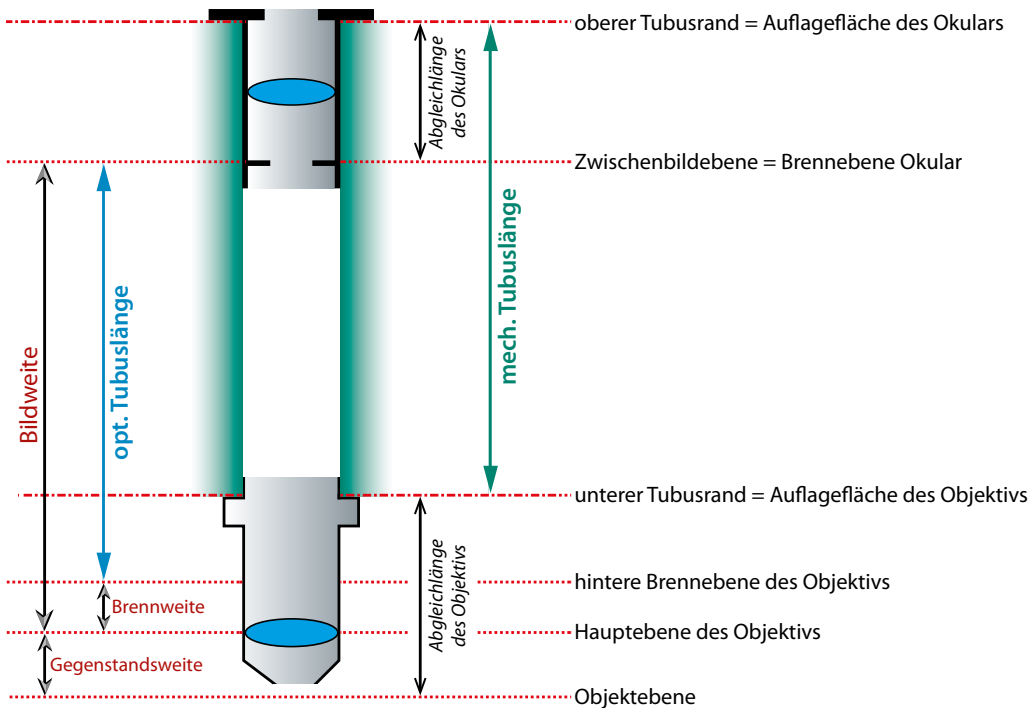


Abbildung 4.4 Optische Strecken und Tubuslängen bei Endlichoptiken (vereinfachte Graphik).

Optik im Mikroskop

Betrachten wir kurz die wesentlichen optischen Komponenten eines Lichtmikroskops:

- beleuchtende Optik
 - Kollektor
 - Kondensor
- abbildende Optik
 - Objektiv
 - ▷ Endlichsystem
 - ▷ Unendlichsystem (mit Tubuslinse)
 - Okular

In diesem Zusammenhang interessieren wir uns für die abbildende Optik. Das Objektiv erzeugt ein reelles Zwischenbild im Tubus, das wir mit dem Okular als Lupe betrachten oder mit einem lichtempfindlichen Sensor aufnehmen können.

Objektiv | Beim Objektiv ist zwischen Endlich- und Unendlichsystem zu unterschei-

den. Endlichobjektive erzeugen direkt das (Zwischen-)Bild. Unendlichobjektive erzeugen dieses im Unendlichen ($b = \infty$), also noch kein reelles Bild. Dieses wird erst durch eine im Tubus integrierte zweite Linse, der sogenannten Tubuslinse, erzeugt.

Endlichoptik | In Endlichsystemen hängen die optischen und mechanischen Strecken miteinander zusammen. Die in **Abbildung 4.4** dargestellten Strecken mögen für nachfolgende Formeln wie folgt symbolisiert werden:

g	Gegenstandsweite
b	Bildweite
f	Brennweite des Objektivs
a_{ok}	Abgleichlänge des Okulars
a_{obj}	Abgleichlänge des Objektivs
t_{mech}	mechanische Tubuslänge
t_{opt}	optische Tubuslänge

Funktionsprinzip

Wie die **Abbildung 6.3** schon erahnen lässt, geht es unter anderem um die Unterscheidung zweier Abbildungen: Zum einen soll das Präparat in der Objekzebene scharf auf der Netzhaut abgebildet werden, zum anderen soll aber die Lichtquelle auf der Netzhaut maximal unscharf erscheinen. Letzteres gelingt, wenn die Lichtquelle in der Augenlinse scharf ist.

Die scharfe Abbildung des Präparats wird im Abbildungsstrahlengang (Lukenstrahlengang) beschrieben. In diesem wird das Licht

der gesamten Lichtquelle in der Ebene der Leuchtfeldblende (Lichtebene) fokussiert, dann wieder im Objekt und in der Zwischenbildebene und zuletzt auf der Netzhaut.

Dort wo im Abbildungsstrahlengang das Licht gebündelt erscheint, ist das betrachtete Bild scharf. Das ist die Leuchtfeldblende als scharfe Begrenzung des beleuchteten Sehfeldes, es ist das Präparat (roter Pfeil) in der Objekzebene und sein Abbild in der Zwischenbildebene und auf der Netzhaut.

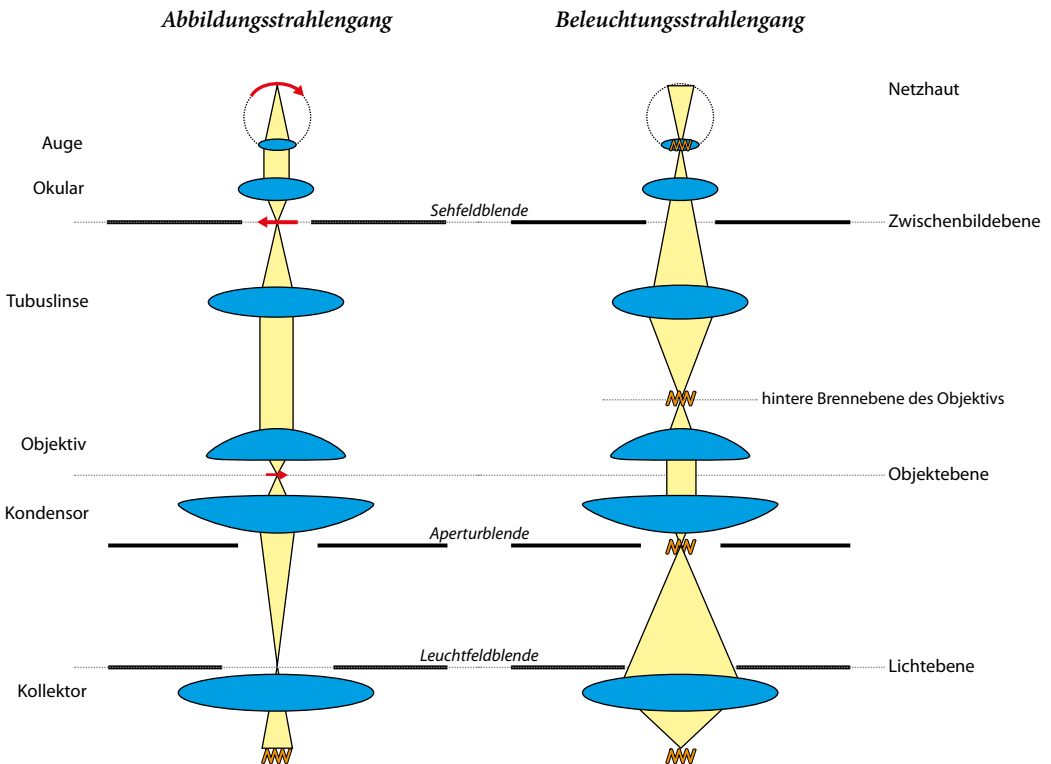


Abbildung 6.3 Konkurrierende Strahlengänge einer Köhler'schen Beleuchtung in einem Unendlichkeitssystem (schematisch).

Links: Abbildender Strahlengang (Lukenstrahlengang), der das Präparat auf der Netzhaut bzw. dem Kamerachip abbildet.

Rechts: Beleuchtender Strahlengang (Pupillenstrahlengang), der die Lichtquelle in solchen Ebenen abbildet, die vom Auge oder der Kamera unscharf (diffus) wahrgenommen werden.

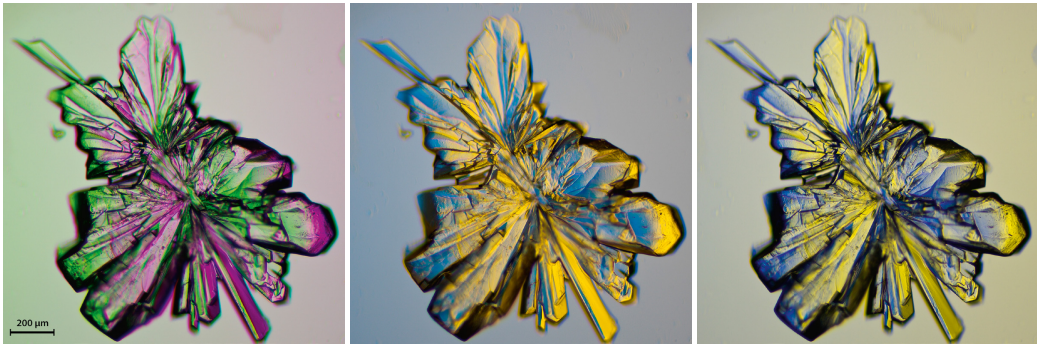


Abbildung 8.11 Ascorbinsäure-Kristalle mit einem Objektiv 10× und drei verschiedenen Rheinbergfiltern:
links: modifizierter Rheinbergfilter mit zwei Rechteckflächen grün/violett.
mittig: klassischer Rheinbergfilter mit blauer Kreisfläche innen und gelbem Umfeld.
rechts: modifizierter Rheinbergfilter mit zwei Rechteckflächen blau/gelb.

Wegen des erheblich leichteren Zurechtschneidens wurde eine quadratische Form gewählt. Außerdem wurden auch analog zur schiefen Beleuchtung Filter erstellt, die keine zentrale Kreisfläche besitzen, sondern ein linkes und ein rechtes Feld besitzen.

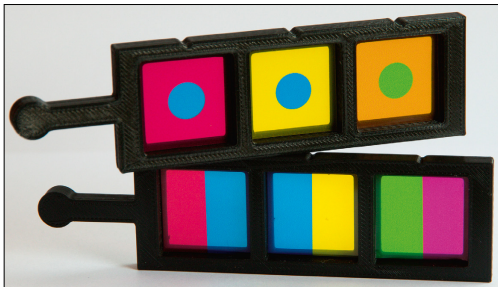


Abbildung 8.12 Im 3D-Drucker aus PLA hergestellte Schieber für das *Motic Panthera C* mit jeweils drei Rheinbergfiltern im Format 24 mm × 24 mm (Kreisfläche hat 10 mm Durchmesser).

Ascorbinsäure | Drei Aufnahmen einer Kristallisation von Ascorbinsäure zeigen den Effekt deutlich. Während beim klassischen Rheinbergfilter mit zentraler Kreisfläche (**Abbildung 8.11** mittig in Blau) der allgemeine Hintergrund auch eher blau erscheint, dominiert im rechten Bild, wo ein modifizierter Rheinbergfilter mit Links-Rechts-Einteilung zum Einsatz, eher die gelbe Farbe. Ansonsten ergeben aber beide ähnliche Ergebnisse.

Schiefe Beleuchtung

Schräger Lichteinfall | Eine Variation der Hellfeld-Mikroskopie ist die schiefe Beleuchtung, bei der bewusst und gewollt von der perfekten Köhler'schen Beleuchtung abgewichen wird. Durch den schrägen Einfall des Lichtes soll eine Art ›Schatten‹ entstehen, der sich als eine Mischung aus geometrischem Schatten, Lichtbrechung und einer Prisse Lichtstreuung (Reflexion) ergibt. Der Effekt ist abhängig vom Präparat.

Vorhandene Schieber | Hierzu kann man beispielsweise die Ringblende für Dunkelfeld oder Phasenkontrast verwenden und nur teilweise in den Strahlengang schieben. Der Phasenringschieber hat sich hierbei besser bewährt. Gleichzeitig muss man aber auch die Aperturblende jeweils optimieren.

Modifizierung | Man kann auch selbst eine Blende bauen, die nur an einer Seite Licht zum Objekt durchlässt: Besitzer eines Dunkelfeld- oder Phasenkontrastschiebers haben darin eine Öffnung für Hellfeldbeobachtung, in das man eine selbstgebastelte ›Halbblende‹ einsetzen kann; auch das Zukleben einer Hälfte ist denkbar.

Zusammenfassender Vergleich

Der Mini-Zuckertropfen wurde in zahlreichen Kontrastvarianten gezeigt: Hell- und Dunkelfeld, schiefe Beleuchtung, Phasenkon-

trast und Polarisation. **Abbildung 8.45** zeigt alle Bilder noch einmal als Zusammenfassung zum direkten Vergleichen. Mehr nicht.

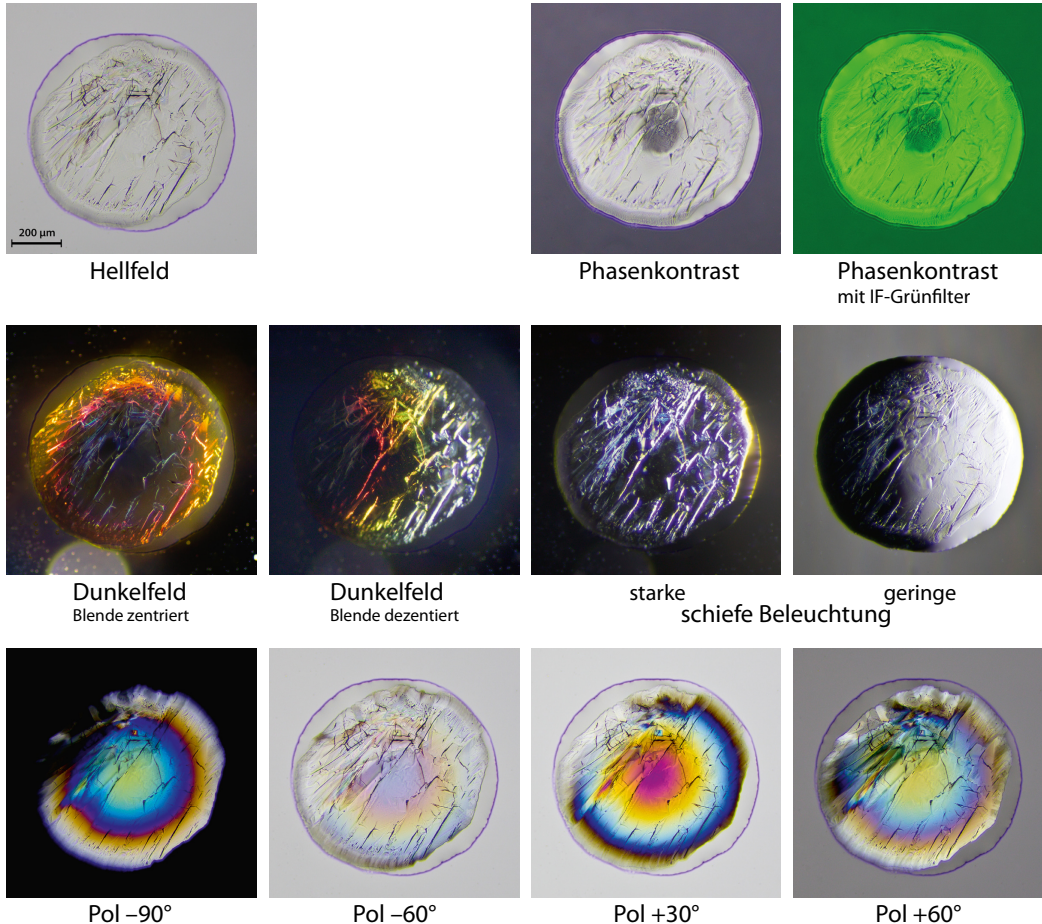


Abbildung 8.45 Übersicht über alle Kontrastverfahren, mit denen der Minitropfen im Zuckerkristall aufgenommen wurde.

Die erste Reihe beginnt mit dem klassischen Hellfeld, welches nur wenig Strukturen zeigt. Die beiden rechten Bilder der ersten Reihe zeigen das Objekt im Phasenkontrast, einmal ohne und einmal mit Interferenzfilter Grün. Der Grünfilter verbessert ein wenig die Darstellung im Zentrum (der Druck gibt dies nicht ausreichend wieder).

Die mittlere Reihe zeigt links zwei Aufnahmen im Dunkelfeld und rechts bei schiefer Beleuchtung. Wenn die Dunkelfeldblende exakt justiert ist, wäre das Bild völlig kreissymmetrisch von der Farbgebung. Das ist im ersten Bild fast der Fall. Für das zweite Bild wurde die Blende bewusst dezentriert. Die dezentrierte Dunkelfeldaufnahme ähnelt dem Bild mit schiefer Beleuchtung, was nicht verwundert. Bei nur geringem Schrägeinfall des Lichtes entsteht ein Bild, wie wir uns den Halbmond vorstellen oder einen anderen halb beleuchteten Planeten wie Merkur.

Die letzte Reihe zeigt vier Aufnahmen im polarisierten Licht: Bei -90° ist der Analysator in Sperrposition zum Polarisator. Jede Winkelposition hat ihr eigenes Erscheinungsbild.

Schneiden

Ausstrich

Um in einem Durchlichtmikroskop Strukturen erkennen zu können, müssen die Objekte so dünn sein, dass quasi nur eine »Informationsebene« existiert. Das ist bei Ausstrichen flüssiger Proben a priori gegeben, wie zum Beispiel bei Blutausstrichen (→ [Seite 281](#)).

Dünnschnitt

Bei Pflanzen sammelt man erst einmal Gewebeproben in Form kleiner Stücke vom Stängel oder den Blättern. Auch bei tierischem Gewebe besitzt man zunächst eine größere Probe. Diese werden sofort konserviert bzw. oftmals gleich fixiert (z. B. in einem Behälter mit Alkohol). Aus diesen werden nun Dünnschnitte gefertigt.

Quetschen und Zerrupfen | Dünne Präparate können in manchen Fällen auch durch Quet-

schen oder Zerrupfen erstellt werden. Beim Zerrupfen spekuliert man darauf, dass auslaufend genügend dünne Abschnitte entstehen. Ein solches Auskeilen genügt in vielen Fällen schon.

Schnitte mit der Klinge

Handschnitte | Mit einer sehr scharfen Klinge gelingen Handschnitte mit einer Dicke von 50–100 µm. Diese Aussage liest man häufiger, geschrieben von sehr geübten Mikroskopikern, die freihändig sogar 10 µm schaffen.

An dieser Stelle muss einmal darauf hingewiesen werden, dass oft von Handschnitten die Rede ist, die Mikrotomschnitten nicht unbedingt unterlegen seien. Mit Mikrotomschnitten sind die mit teuren »vollautomatischen« Maschinen gemeint, mit Handschnitte solche, wo die Hand das Messer bzw. die Klinge führt. Das kann aus freier Hand oder mit einem Handmikrotom, z. B. einem Hand-Zylindermikrotom, erfolgen.



Abbildung 10.2 Schneidewerkzeuge: Skalpell und Rasierklinge für Handschnitte und Klingenhalterung mit Schneidehilfen von Bob Lammert für Zylindermikrotom.

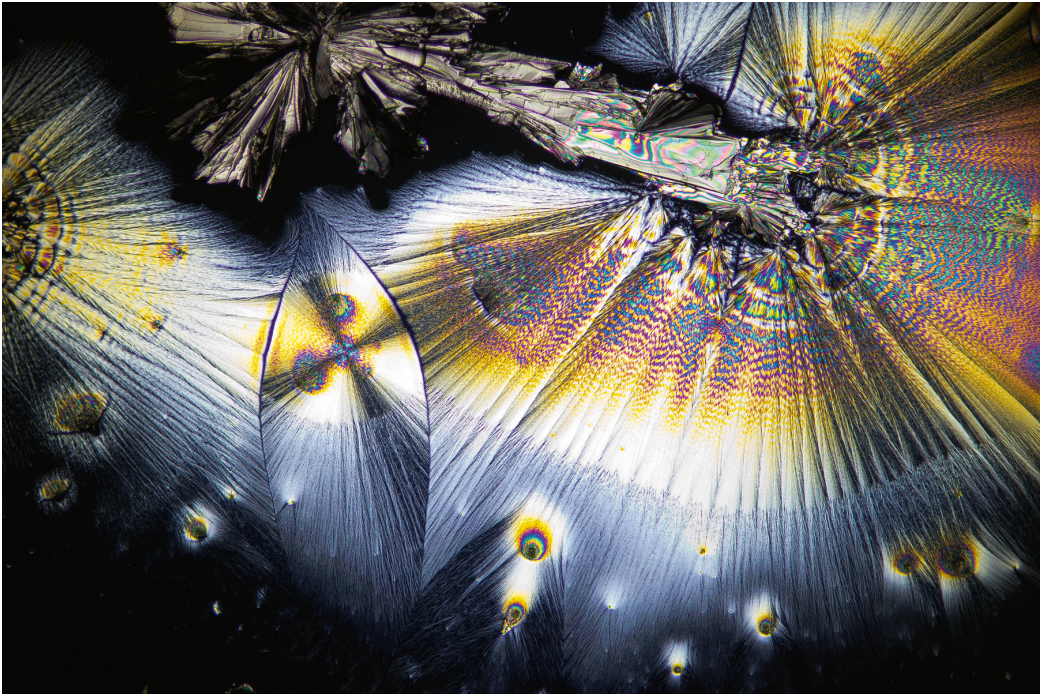


Abbildung 12.32 Kristallbildungen der Ascorbinsäure (Vitamin C) im polarisierten Licht bei 90° (Sperrposition). Kristallsystem = monoklin. Objektiv = 10x.

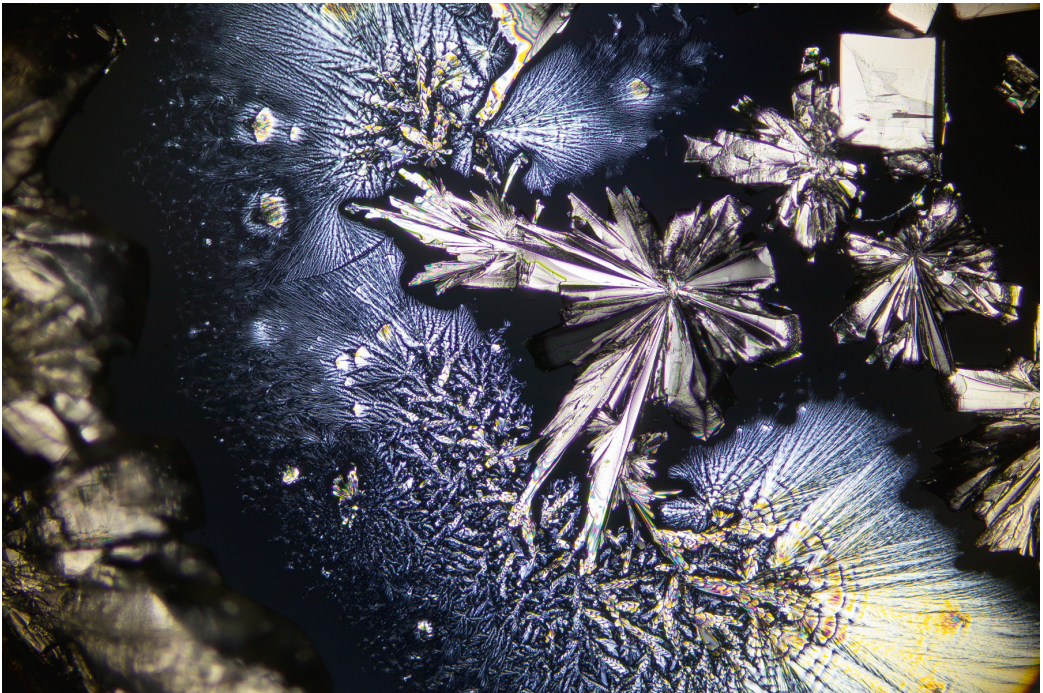


Abbildung 12.33 Kristallbildung der Ascorbinsäure im polarisierten Licht bei 90° (Sperrposition). Kristallsystem = monoklin. Objektiv = 10x.

Nauplius

Fortpflanzung | Das erwachsene Tier ist ein adulter Krebs, der die Geschlechtsreife erreicht hat. In den Vorstadien der Entwicklung spricht man von Larve. Ruderfußkrebse durchlaufen bis zu zwölf Larvenstadien, die jeweils durch eine Häutung eingeleitet werden. Im ersten Larvenstadium spricht man vom Nauplius.¹ Der adulte Krebs lebt danach drei bis sechs Monat, in denen die Eier für die nächste Generation befruchtet werden.

Es ist nicht notwendig, auf eine bestimmte Jahreszeit zu warten, in der die Larven aus den Eiern schlüpfen. Sie sind vielmehr das ganze Jahr über anzutreffen.



Abbildung 13.30 Adulter Ruderfußkrebse mit Eisack (Entnahme der Probe: 10.03.2020). Objektiv = 10×, Hellfeld, Hintergrund mit Eosin angefärbt, Fokusstapel aus 30 Bildern.

¹ Die Bezeichnung »Naupliuslarve« ist genau genommen also doppeltgemoppelt.

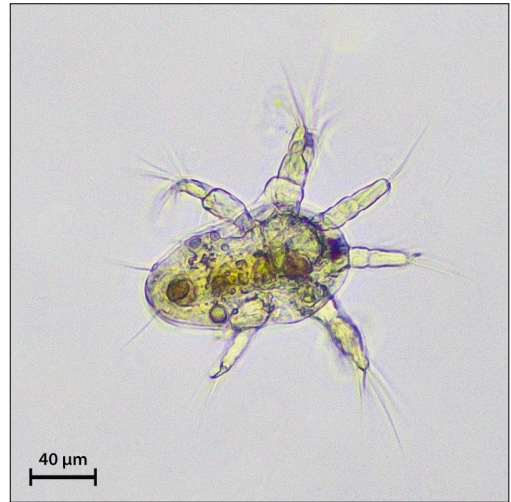


Abbildung 13.31 Nauplius(larve) des Hüpfelings (*Cyclops*), der zu den Ruderfußkrebse (*Copepoda*) gehört (Entnahme der Probe: 12.07.2019). Objektiv = 10×, Hellfeld.

Aufbau | Ein Nauplius besitzt drei Beinpaare: Das erste Beinpaar ist etwas kleiner, nach vorne gerichtet und nennt sich die erste Antenne. Es folgt die zweite Antenne, bei denen es sich um besonders kräftige Beine handelt. Sie sind für die schnelle Fortbewegung verantwortlich. Die hüpfende Bewegung kommt allerdings durch die gleichzeitige Benutzung aller Beinpaare zustande. Das dritte Beinpaar heißt Mandibel, was so viel wie Unterkiefer bedeutet.

Auge | Das auffallendste Merkmal aber ist das mittig befindliche Auge vorne, weshalb die Gattung auch als Zyklopen bezeichnet wird. Es schimmert leicht rötlich. Es wird auch *Naupliusauge* oder wegen der Mittellage auf der Stirn auch *Medianauge* genannt.

Es handelt sich um sogenannte Punktaugen (*Ocellus*), welches aus drei einzelnen Pigmentbecheraugen (*-ocellen*) bestehen. Jedes Pigmentbecherauge ist lichtempfindlich und aufgrund seiner Becherform in der Lage, grob die Richtung, aus der das Licht kommt, zu bestimmen.



Abbildung 14.20 Männliche Blüte einer Kiefer.

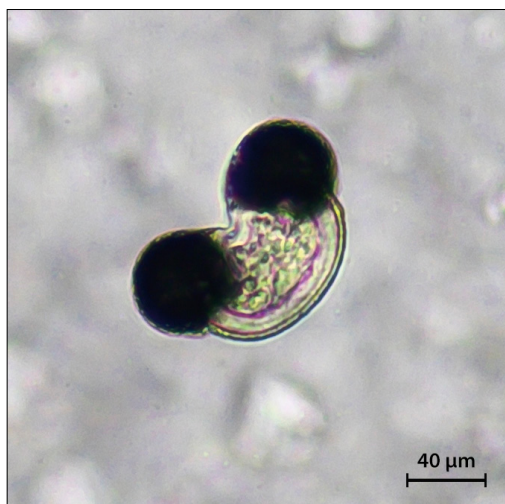


Abbildung 14.21 Pollenkorn einer Konifere, vermutlich einer Kiefer (*Pinus*), mit zwei Luftsäcken, gefunden in einem Raps-Honig. Objektiv = 10×, Hellfeld.

Pollen im Honig

Im Honig findet man viele Pollen, die manchmal leicht und manchmal gar nicht identifiziert werden können. Bei Honig einer bestimmten Tracht, z. B. Heidehonig oder Raps-honig, kann durch eine Pollenanalyse deren ›Echtheit‹ verifiziert werden.

Es gibt aber immer auch fremde Pollen im Honig. Das lässt sich nicht vermeiden. Einige Exemplare sind in den nachfolgenden Abbildungen zu sehen.

Vorgehensweise



Benötigt wird flüssiger Honig. Ist der zu untersuchende Honig fest oder halbfest, so muss man eine kleine Menge davon in ein Schälchen geben und moderat erwärmen, z. B. in einem Wasserbad bei etwa 50 °C. Sodann nimmt man mit einem Stäbchen (z. B. einem dünnen Glasstab) eine tropfengroße Menge auf und verwischt diese auf einem Objektträger. Wer will, kann noch auf die gleiche Weise eine kleine Menge Farbstofflösung zur Hintergrundfärbung hinzugeben (Eosin, Methylenblau o. a.).¹



Abbildung 14.22 Nicht näher bestimmte Pollenart in einem Bio-Honig von Rewe. Objektiv = 10×, Hellfeld.

¹ Für Dauerpräparate oder höhere Ansprüche muss man aufwendiger präparieren. Für einen ersten Überblick genügt das oben genannte Verfahren.

Leitbündel (Schefflera)

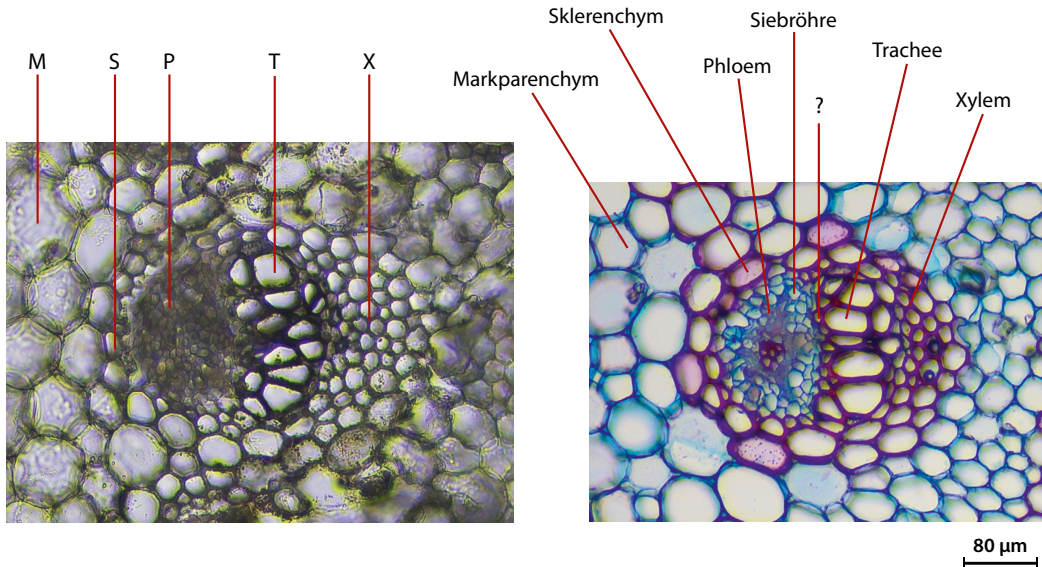


Abbildung 15.10 Leitbündel ($\approx 50 \mu\text{m}$) im Blattstiel einer Strahlenaralie (*Schefflera*). Objektiv = $10\times$, Hellfeld. Links ohne Anfärbung, rechts mit FCA nach Etzold angefärbt (beachte: es handelt sich um zwei verschiedene Leitbündel). Der mit ? gekennzeichnete Bereich könnte das Kambium sein (siehe Erläuterung zu **Abbildung 15.7**). Interessant sind die verholzten Zellen (magenta) in der Mitte des Phloems (blau).

Der Vergleich beider Aufnahmen macht den Nutzen der Anfärbung deutlich: Sklerenchym, Xylem, das fragile Kambium und das verholzte Phloemzentrum heben sich nur bei Anfärbung deutlich von der Umgebung ab.

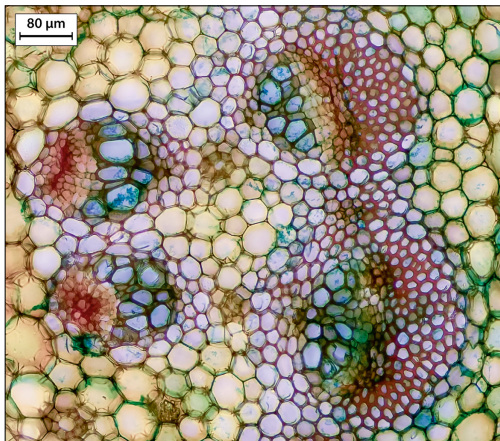


Abbildung 15.11 Leitbündel ($\approx 40 \mu\text{m}$) im Blattstiel einer Strahlenaralie. Objektiv = $10\times$, Hellfeld, W-ASim III nach Herrmann, Fokusstapel aus 15 Bildern.

Die Abbildungen von Leitbündeln, Sekretgängen und Randzonen (Rindenparenchym, Epidermis, Kutikula) sind sowohl mit FCA nach Etzold als auch mit W-ASim III nach Herrmann angefärbt. Erläuterungen findet der Leser überwiegend bei den FCA-Anfärbungen. Der Vergleich mit der modifizierten Wackerfärbung diene als gute Übung, sich in die Strukturen einzuarbeiten.

Die Anfärbung mit FCA bringt eher kalte Farben hervor (magenta, blau), die Anfärbung mit W-ASim III eher warme Farbtöne (orangerot, grün, beige). Dies gilt natürlich nur, wenn keine Bearbeitung der Farben am Computer vorgenommen wurde.

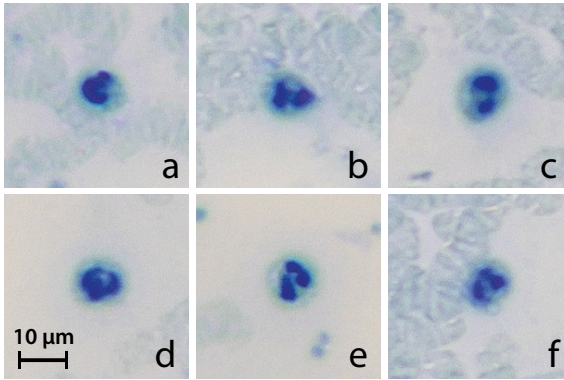


Abbildung 18.35

Granulozyten mit mehreren Kernen, eingefärbt mit Methylenblau. Objektiv = 20×, Hellfeld. Es dürfte sich um neutrophile Granulozyten handeln, deren Durchmesser etwa 13 µm beträgt. Sie besitzen 2–3 Kerne von 2–3 µm.

Pappenheim | Zum Vergleich hat Ute-Katrin Niemann freundlicherweise einen nach Pappenheim gefärbten Blutausstrich zur Verfügung gestellt, dass einerseits Granulozyten und Lymphozyten zeigt und andererseits auch Thrombozyten, die häufig in Gruppen auftreten.

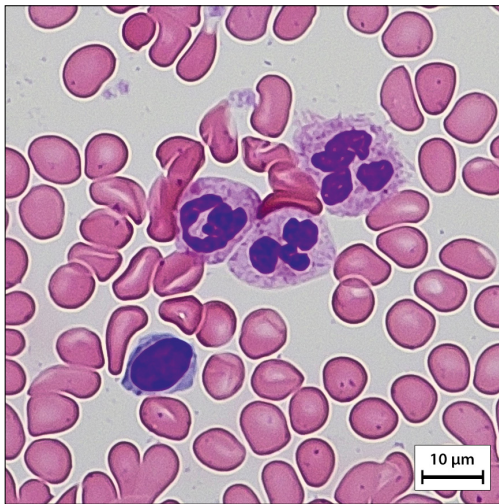


Abbildung 18.36 Leukozyten nach Pappenheim gefärbt: oben drei segmentkernige Granulozyten mit mehreren Kernen ($\approx 15 \mu\text{m}$), darunter ein Lymphozyt ($\approx 13 \mu\text{m}$). Objektiv = 40×, Hellfeld. Präparat: Ute-Katrin Niemann.

In **Abbildung 18.36** ist gut zu erkennen, wie flexibel die Erythrozyten ihre Form verändern können und sich ihrer Umgebung anpassen.

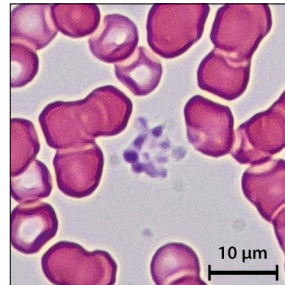


Abbildung 18.37 Thrombozyten nach Pappenheim gefärbt. Aufgrund der geringen Bildschärfe können Schmutzpartikel nicht ausgeschlossen werden. Objektiv = 40×, Hellfeld. Präparat: Ute-Katrin Niemann.

Größe der Blutzellen

Aus den Aufnahmen dieses Kapitels lassen sich folgende Größe der beobachtbaren Blutzellen ableiten:

Größe der Blutzellen			
Zelle	Minimum	Maximum	Mittelwert
Erythrozyten	6.2 µm	8.9 µm	7.6 µm
Neutrophile G..	11.8 µm	15.4 µm	13.3 µm
Thrombozyten	1.3 µm	2.6 µm	1.8 µm

Tabelle 18.6 Größe der Erythrozyten, Leukozyten (neutrophile Granulozyten) und Thrombozyten in den Aufnahmen dieses Kapitels. Die Größe der gefundenen Echinozyten ist mit denen der anderen Erythrozyten identisch.¹

¹ Der Mittelwert ist nicht der Mittelwert aus Minimum und Maximum, sondern der entsprechend der Häufigkeit der Größen gemittelte Wert.



A – Bezugsquellen
B – Quellennachweis
C – Stichwortregister

C Stichwortregister

Symbole

3D-Drucker 117

A

Abbildungsfehler 44
Abbildungsgleichung 39
Abbildungsmaßstab 40 f., 49
Abdichten 164
Abgleichlänge 31
Absorption 109
Abstrich 271
Abteilung 169 f.
Abziehen 156
Abziehpaste 156
Acetaldehyd 145, 148
Acetobacter-Bakterien 145
Aceton 145, 148
Ackerbohne 95, 97
Acridinrot-Acridin-Astrablau (W3A) 161
AE-Lösung 152 f.
AFE-Lösung 152
Akkommodieren 41, 51
Alcianblau 161
Aldehyd 145
Alkohol 142, 144, 146, 153
Alkoholreihe 158
Allium cepa. *Siehe* Zwiebel
Alona rectangula. *Siehe* Rippenkrebschen, braunes
Ameisensäure 145, 148
Amici-Bertrand-Linse 124
Ammoniaklauge 148
Analysator 126 f.
Anfärben 160, 238
Anilinblau 161
Animalia 170
Anion 143
Anorganische Chemie 142, 144
Anschaffung 35
Anycubic i3 Mega-S 117
Aperturblende 111, 123 f.
Aphidoidea. *Siehe* Blattlaus
Apicomplexa 297
Apochromatismus 45
Araneus. *Siehe* Kreuzspinne
Arbeitsabstand 31, 48

Arbeitsplatz 17
Archaeen 170
Archaeophagen 170
Arrangieren 162
Art 169 f.
Arthropoda 203
Ascorbinsäure 116, 186–189
Assimilationsparenchym 227
Astigmatismus 45
Astrablau 161, 230
Astronomie 97, 113, 302–310
Aufbau einer Zelle 171
Aufbewahrung 16, 157
Aufgabengebiete 167
Auflagemass 82
Auflicht 166
Auflösung
 Photographie 85
Auflösungsvermögen 53, 87
Auflösungsverzicht durch Abblenden 54
Auge 55, 61
Augenfleck 211
Augentierchen 211
Ausbreitung des Lichtes 109
Auskeilen 154
Ausrüstung 19
Ausstrich 154
Axopodien 208 f.
Azalee 218–224
Azur 284
Azur-Eosin-Methylenblau 161

B

Bacillariophyta. *Siehe* Kieselalgen
Bacteria 269
Bakterien 170, 267–270, 273
Bakteriophagen 170
Bandbreite 64
Basophile 278, 280
Bayer-Matrix 88
Bazillen 269
Bedecktsamer 213–224
Beleuchtung 46, 71–79
Belichtungsreihe 305–310
Belichtungszeit 105
Bertrand-Linse 190
Beschriften 165

Bestäubung 213
Betäuben 153
Beugung 109
Beugungsbild 53
Beugungsscheibchen 53
Bezugsmöglichkeiten 165
Bierhefe 251, 253–255
Bildauflösung 59
Bildausschnitt 83
Bildfeldwölbung 45
Bildverzerrung 45
Binokulares Sehen 18
Biopolymer 229
Blattlaus 259
Blickfeld 51
Blitzlicht 105
Blut 277
Blutausstrich 281, 284 f., 287
Blutbild 280
Blüte, Aufbau 214–224
Blutkörperchen 277 f.
Blutplasma 277
Blutplättchen 277–279
Blutprobe 280 f.
Blutzellen 277
 Größe 289
BMS 037 LED Pro 26
Bogenlampe 63
Borrelia 269
Botanik 170
Brennkraft 39
Brechung 110, 112
Brechungsindex 110
Brille 104
Butanon 142, 148

C

Calciumoxalat 195
Calciumtartrat 184
Capillus. *Siehe* Haar
Carbonsäure 145, 183
Cavitas oris. *Siehe* Mundhöhle
Cavum oris. *Siehe* Mundhöhle
Cerebrallauge 207
Chemie 22, 138–148
Chemikalien 139
Chitinpanzer 266
Chlamydiae 269

Chlorobi 269
 Chlorophyta. *Siehe* Grünalgen
 Chloroplast 172
 Chromatin 172
 Chrysoidin 230
 Ciliata. *Siehe* Wimpertierchen
 Ciliophora. *Siehe* Wimpertierchen
 Cladocera. *Siehe* Wasserflöhe
 C-Mount 81
 Cnidaria. *Siehe* Nesseltiere
 Cnidocyte. *Siehe* Nesselkapsel
 Copepoda. *Siehe* Ruderfußkrebse
 Corpusculum renale. *Siehe* Nierenkörperchen
 Crocus vernus. *Siehe* Frühlingskrokus
 CS-Mount 81
 Cura 117
 Cuticula 274
 Cyanobacteria 269
 Cygnus 304–310
 Cytoplasma. *Siehe* Zellplasma

D

Daboecia 216–224, 217–224
 Deckglas 230 f., 283
 Deckglaskorrektur 31
 Deckglaslack 164
 Deep-Sky 97
 Denatoniumbenzoat 142, 148
 Diatomeen. *Siehe* Kieselalgen
 Differenzieren 160
 Dioptrienausgleich 104
 Diplokokken 270
 Diskozyt 278
 Domäne 169 f.
 DSLR-Kamera 81
 Dunkelfeld 111, 242, 285
 Dünnschliff 175
 Dünnschnitt 21, 154, 230
 Dynamikbereich 61

E

Echinozyten 286
 EDTA-Röhrchen 280 f.
 Efeu 243–246
 Gemeiner 243
 Waldefeu 243
 Efeutute 250
 Eimeria 300
 Einbetten 158
 Einkeimblättrige 248
 Einklemmen 157
 Einschließen 162, 230 f., 283
 Einschlussmittel 110, 162
 Einstiegsmodelle 37
 Einwirkzeit 160
 Einzeller 170

Ektoplasma 208
 Elektronenmikroskop 38
 Endlichoptik 34, 42 f.
 Endoplasmatisches Retikulum 172, 272
 Endoskelett 209
 Entwässerung 159
 Eosin 161, 284
 Eosinophile 278, 280
 Epidermis 229, 233, 238, 245
 Epipremnum. *Siehe* Efeutute
 Epithelzellen 271 f.
 Erkennungsgrenzen 57
 Erythrozyten 277 f., 286–288
 Erythrozyten-Volumen 290
 Essig 142
 Essigester 143, 146, 148, 153, 196
 Essigsäure 143, 145, 148
 Essigsäureester. *Siehe* Essigester
 Essigsäureethylester. *Siehe* Essigester
 Ester 146
 Ethanol 143, 145, 148
 Ethansäure 145
 Ethylacetat. *Siehe* Essigester
 Ethylalkohol. *Siehe* Ethanol
 Etikettierung 165
 Etzold FCA-blau 161, 230
 Etzold FCA-grün 161
 Etzold FSA 161
 Euglena 211
 Euglenaceae 211
 Euglenales 211
 Euglenozoa 211
 Eukaryoten 170
 Euparal 162 f., 231
 Exkremente 294
 Extine 214–224

F

Fabelwesen 212
 Facula lutea. *Siehe* Gelber Fleck
 Faeces. *Siehe* Fäzes
 Falschfarbenbild 197
 Familie 169 f.
 Fangfaden 262, 264
 Färben 160
 Farbfehler 44
 Farbfilter 111
 Farbkontrast 60, 236
 Farblängsfehler 44
 Farbquerfehler 44
 Farbsensor 88
 Farbstoffe 160 f.
 Färbung 137, 230 f., 283
 Mundhöhle 271
 Farnblatt 118
 Fauna. *Siehe* Zoologie
 Fäzes 294

FCA. *Siehe* Fuchsin-Chrysoidin-Astrablau
 FCA nach Etzold 230
 Festigungsgewebe 229
 Fettkörnchenzelle 292
 Fettspritzer 137
 Fibrinogen 277
 Fichten 213–224
 Fiederhaar 266
 Filterfunktion 70
 Fimbria 274
 Firmicutes 269
 Fixierung 152, 282
 Flagellaten. *Siehe* Geißeltierchen
 Flatfield-Korrektur 94
 Flora. *Siehe* Botanik
 Flotation 173, 296
 Flügel der Stubenfliege 258
 Fluoreszenz 135–137, 277, 294
 Flüssigkeits-Objektträger 196
 Förderliche Vergrößerung 56
 Forensik 294
 Formaldehyd 145, 148, 152
 Formylsäure. *Siehe* Ameisensäure
 Forsythie 219–224
 Fovea centralis. *Siehe* Sehgrube
 FreeCAD 115, 117, 133, 147, 155
 Fruchtknoten 214
 Frühlingskrokus 247–249. *Siehe* Krokus
 FSA. *Siehe* Fuchsin-Safranin-Astrablau
 Fuchsin 161, 230
 Fuchsin-Chrysoidin-Astrablau (FCA) 161
 Fuchsin-Safranin-Astrablau (FSA) 161
 Fungi 170

G

Gartenkreuzspinne 262 f.
 Gartenteich 192–212
 Gasfeuerzeug 24
 Gattung 169 f.
 Gaumendrüsen 270
 Gauß-Fehler 44
 GCODE 117
 Gefahrenklassifizierung 148
 Gegenfärbung 162
 Geißel 201, 210, 269, 274, 293
 Geißeltierchen 210
 Gelber Fleck 55
 Geldrollenform 285
 Geleitzellen 229
 Gemeine Hasel 213–224
 Generative Zelle 214–224
 Gentianaviolett 270
 Gewinde 35
 Kamera 81
 Giardien 300

Glandulae palatinae. *Siehe* Gaumen-
drüsen
Glandula parotis. *Siehe* Ohrspeichel-
drüse
Glandula sublingualis. *Siehe* Unter-
zungendrüse
Glandula submandibularis.
Siehe Unterkieferdrüse
Glattes ER 172
Gliederfüßer 203
Glühbirne 23
Glyceringelatine 163
Golgi-Apparat 172
Golgi-Vesikel 172
Gram-Färbung 270
Granula 278
Granulozyten 278–280, 289
Grat 157
Grenzauflösung 57
Griffel 214
Grünalgen 197
Grünfilter 123
Gürtelalgen 201

H

Haar 274
Haar-Kappenring-Grünalge 199 f.
Habitus 176
Halbstrukturformel 143
Halo 123
Halogen 63
Hämatoxylin 161
Hämatoxylin-Eosin (HE) 161
Handschnitte 154
Hand-Zylindermikrotom. *Siehe* Zylind-
ermikrotom
Hänge-Birke 213–224
Harn 290
Harnschau 290
Harzgang 229, 238
Hauftenkokken 269
Hedera helix. *Siehe* Efeu
Hefepilze 251
Heidekrautgewächse 218, 224
Heliozoa. *Siehe* Sonnentierchen
Hellfeld 111
Helligkeit 129
Inhomogenität 46
Heterophorie 18
Hibiskus 215–224
Hilfsteleskop 190
Histologie 171
Hitzeifixierung 153
Hohlschliff-Objektträger 196
Holundermark 158
Honig 222–224
Honigbiene 266
Hüperling 203–205
Hyaliner Zylinder 291

Hydrocarbonsäure. *Siehe* Ameisen-
säure
Hydroxidgruppe 143

I

Includal A 163, 230
Infrafamilie 170
Interferenzfilter 123, 125
Interferenzkontrast 135
Intine 214–224
Irische Heide 216–224, 217
Isopropanol 142, 148
Isopropylalkohol. *Siehe* Isopropanol

K

Kalilauge 148
Kaliumhydrogentartrat 184
Kalklauge 148
Kalknatronglas 110
Kambium 233
Kameraanschluss 81
Kanten 112
Kapillarkraft 163
Kappenalgen 199 f.
Karotten 157
Kartoffeln 158
Karyologie 171
Kation 143
Kätzchen 213–224
Keratella quadrata 207
Kernhülle 172
Kern-Körperchen 172
Kernlamina 172
Kernmembran 172
Keton 145
Kettenkokken 269
Keulenstäbchen 270
Kiefern 213–224, 222
Kieferngewächse 213–224
Kiefernadel 102
Kieselalgen 110, 202 f.
Klasse 169 f.
Kochsalz 129 f., 176–179
Kohlensäure 148
Köhlern
Schritt für Schritt 74
Köhler'sche Beleuchtung 71–79
Kokkobazillen 270
Kokzidien 300
Kollektor 27 f.
Kollenchym 229
Komplexauge 258, 260
Kondensor 27 f., 47
Koniferen 213–224, 221
Konoskopie 190
Konoskopischer Strahlengang 190
Konservieren 152

Kontrast 59 f., 108–137
Auge 61
Farbkontrast 60
Kritik 59
Michelson-Kontrast 61
Photographie 61
Weber-Kontrast 60
Kontrasteindruck 62
Kontrasterzeugung 108
Kontrastschärfe 59, 62
Kontrastumfang 61
Kontrastverfahren
Vergleich 134
Kopphaare 274
Koproskopie 294
Korkenzieherbakterien 269
Korkenzieherform 270
Körnigkeit 309–310
Kot 294
Kreis 169
Kreuzspinne 262
Kristalle 175–191
Kristallsysteme 175
Kristallviolett. *Siehe* Gentianaviolett
Krokus. *Siehe* Frühlingskrokus
Kryptosporidien 300
Küchenzwiebel 226
Kugelbakterien 269
Kugelgestaltsfehler 45
Kutikula 229, 233, 238, 245

L

Laborartikel 20 f.
Lactobacillales. *Siehe* Milchsäure-
bakterien
Lagerheim 201
Lagerung
Farblösungen 162
Laugen 144
LED 63, 129, 136
Leere Vergrößerung 48
Leitbündel 228
Efeutute 250
Frühlingskrokus 248
Strahlenaralie 233, 237, 241
Lemna. *Siehe* Wasserlinse
Lesebrille 39
Leuchtdichtefunktion 86
Leuchtring 112
Leukozyten 273, 277–279, 288
Licht 108
Lichtquelle 27, 63–70
Lichtverhältnisse 18
Lignin 229
Lindenstängel 30 f., 95 f.
Lineare Auflösung 54
Linsen 38
Linsensysteme 39
Livebild 105

Lufttröhrenwurm 297
Lufttrocknung 153
Lukenstrahlengang 73
Lumineszenz 135
Lupe 41
Lymphozyten 278 f.
Lysosom 172

M

M42-Gewinde 81
Magnesiumhydroxid 148
Makrophotographie 99
Makrozyten 278
Mandibel 204
Markparenchym 227
Markstrahlparenchym 227, 233
Maßstab 91
May-Grünwald 161
May-Grünwald-Giemsa 161
MCV 290
Medianauge 204
Medizin 267–301
Megalozyten 278
Meniskus 38
Menschliches Auge 55, 61
Methanal. *Siehe* Formaldehyd
Methanol 144, 148
Methansäure. *Siehe* Ameisensäure
Methylalkohol. *Siehe* Methanol
Methylenblau nach Löffler 161, 246, 284
Methylethylketon 142
Michelson-Kontrast 61
Mikrometerskala 92
Mikrophotographie 192
Stacking 100
Mikroskop 20
Kollektor 27
Kondensor 27
Lichtquelle 27
Mikrotom 21 f.. *Siehe* Zylinder-
mikrotom
Mikrozyten 278
Milchsäurebakterien 269
Minerale 175
Mitochondrium 172
Möhren 157
Mond 98
Mondkrater Kopernikus 99
Monitor 90
Monokotyle. *Siehe* Einkeimblättrige
Monozyten 278 f.
Mosaik 101, 103
Motic Panthera C 36
Motivation
zum Köhlern 71
Motorneuronen 95 f.
Mundhöhle 270

Mundschleimhaut 272 f.
Musca domestica. *Siehe* Stubenfliege
Muschelkrebse 206
Mykologie 170

N

Nacktsamer 213–224
Nagellack 164
Narbe 214
Natriumchlorid 176
Natriumhydroxid 143
Natronlauge 148
Nauplius 204
Nekton 205
Nematoden 297
Nephron 292
Nesselkapsel 209
Nesseltiere 209
Neutrophile 278, 280
Nierenerkrankung 292
Nierenkanälchen 292
Nierenkörperchen 292
Nucleolus. *Siehe* Kern-Körperchen
Nucleus. *Siehe* Zellkern
Numerische Apertur 31, 48, 50
Kondensor 54
Nyquist-Kriterium 86

O

Objektiv 29 f., 42, 48, 50
Gewinde 35
Oedogonium. *Siehe* Kappenalgen
Oedogonium capillare. *Siehe* Haar-
Kappenring-Grünalge
Ohrspeicheldrüse 270
Okular 34, 49 f., 52
Gewinde 35
Oozyste 297
Opal 209
Ordnung 169 f.
Organellen 172
Organische Chemie 143, 146
Orionnebel 98
Orthoskopischer Strahlengang 190
Ostracoda. *Siehe* Muschelkrebse
Oxalat 195

P

Palisaden 270
Pantoffeltierchen 210
Pappenheim 161, 284, 289
Paraffinschnitt 158
Paramecium. *Siehe* Pantoffeltierchen
Parenchym 227

Parfokalität 31, 103 f.
Pediastrum. *Siehe* Zackenrädchen
Penicillium. *Siehe* Pinselschimmel
Period04 93
Pferdehaar-Alge 198
Phacaceae 211
Phacus 211
Phagocytose 208
Phasenblende 120
Phasenkontrast 119–122, 272
Phasenobjektiv 33, 120
Phasenring 120
Phloem 228, 233
Phosphorsäure 148
Photographie 61, 80–107
Photometrie 303–310
Photoshop 93, 99
pH-Wert 143
Phytoflagellaten 210
Picolay 96, 100
Pilus 269, 274
Pilze 251–256
Pinselschimmel 256
Pithophora. *Siehe* Pferdehaar-Alge
Pixelgröße 85, 88
Planctomycetes 269
Plankton 205
Planktonnetz 21
Plantae 170
Plasma 277
Platzwahl 15
Plejaden 308–310
Polarisation 111, 126, 187, 240 f., 275
Polarisator 126 f.
Pollen 213, 213–224
Honig 222
Pollenkitt 214, 216
Pollenkorn, Aufbau 214
Pollensack 214
Polregion 306–310
Polymer-Verzögerungsfolie 132
Präparieren 150–166
Premiummarken 37
Probenentnahme 196
Proerythroblast 277
Prokaryoten 170
Propanon 145
Proteobacteria 269
Pseudopodien 209
Pupillenstrahlengang 73
Pushen 309–310

Q

Quarzglas 110
Querschnitt 230, 233–235, 239 f., 242, 244, 248, 250
Quetschen 154

R

Rädertierchen 207
Radialfaden 264
Radiolaria. *Siehe* Strahlentierchen
Radnetz 263
Rasierstaub 275–277
Raues ER 172
Rayleigh-Kriterium 53
Rechtsmedizin 294
Reelles Bild 40
Referenzwellenlänge 54
Reflexionen 46
Reich 169 f.
Reinigen 164
Rheinbergfilter 115
Rhodamin 161
Rhododendron 218–224
Rhopalosiphum nymphaeae.
 Siehe Wasserlilienblattlaus
Ribosomen 172
Rindenparenchym 227, 233, 245
Ringblende 119
Rippenkrebschen, braunes 206
Rote Blutkörperchen. *Siehe* Erythro-
zyten
Rotifera. *Siehe* Rädertierchen
Ruderfußkrebse 203 f.

S

Saccharomycetes. *Siehe* Hefepilze
Saccharose 180
Safranin 161
Safranin-Anilinblau 161
Salpetersäure 148
Salze 144
Salzsäure 148
Sammeln 152
Sarcinen 270
Saugrüssel 261
Säuren 144, 146
SC-Anschluss 81
Scenedesmus. *Siehe* Gürtelalgen
Schärfe 59, 61
 Klinge 155
Schärfen 107, 156
Schärfentiefe 62
Schefflera. *Siehe* Strahlenaralie
Scheinfüßchen 209
Schiefe Beleuchtung 116, 242
Schleifen 156
Schleifpaste 156
Schneidehilfe 158
Schneiden 154
Schnittkonsistenz 157
Schubladeneinsatz 147
Schwärzungskurve 306–310
Schwefelsäure 148
Schwingungen 104

Sedimentation 173, 296
Sehgrube 55
Seidenfaden 263–265
Sekretgang 229, 238
Sektion 169
Sensorfunktion 67
Separieren 173
Serum 277
Sichelhaar 266
Sicherheitshinweise 148
Sichtbarkeitsindex 110
Siebengestirn 308–310
Siebröhren 233
Siphon 260 f.
Siphunculus. *Siehe* Siphon
Skelettformel 143
Sklerenchym 229, 233
Sklerenchymkappen 233
Solarisation 306–310
Sonnentierchen 208
Speichel 126, 270
Spektroskopie 65
Spektrum 63–70, 129, 136
Spermium 292–294
Spiegelrückschlag 104
Spiegelverriegelung 105
Spinnenfaden 262–265
Spiralbakterien 269
Spiritusbrenner 23
Spirochaetae. *Siehe* Spiralbakterien
Spirochaetes 269
Sporozysten 297
Sporozysten 297, 300
Sprossachsen 227 f.
Stamm 169 f., 227
Stängel 227
Star Analyser 66
Staubbeutel 214, 218–224
Staubblatt 214–224
Staubfaden 214
Stechapelform 278
Stechapfelzelle 278
Stechsaugrüssel 259
Stempel 214–224, 218–224
Sternenhimmel 302–310
STL-Format 117
Strahlenaralie 231, 233–235, 237,
 239–242
Strahlengang 73, 190
Strahlentierchen 209
Strahlteilung 80
Streichriemen 156
Streptobacillus 270
Streptokokke 267
Streptokokken 269 f., 300
Streulicht 46
Streuung 111 f.
Strukturauflösung 57
Strukturformel 143
Stubenfliege 257 f.

Substrukturen 58
Summenformel 143
Systematik 170
Systematik in der Biologie 169

T

T2-Anschluss 81
Tannen 213–224
Taurus 308–310
Taxonomie 169
 Alona rectangula 206
 Azalee 218
 Borrelia 269
 Efeu 243
 Forsythie 219
 Frühlingskrokus 247
 Gartenkreuzspinne 262
 Geißeltierchen 210
 Gürtelalgen 201
 Hibiskus 215
 Hüpfertier 203
 Irische Heide (Daboecia) 217
 Kappenalgen 199
 Keratella quadrata 207
 Kieferngewächse 221
 Kieselalgen 202
 Lagerheim 201
 Nesseltiere 209
 Pantoffeltierchen 210 f.
 Pferdehaar-Alge 198
 Sonnentierchen 208
 Strahlenaralie 232
 Strahlentierchen 210
 Streptokokken 269
 Stubenfliege 257
 Wasserflöhe 206
 Wasserlilienblattlaus 259
 Wasserlinse 195
 Wimpertierchen 210
 Zackenrädchen 198
 Zwiebel 226
Teelicht 23
Teich 192–212
TESA-Film 131 f., 164
Tetrade 217–224
Tetraden 270
Theka 214
Thrombozyten 277–279, 289
Tierblütler 213
Tischhalterung 147
Toaster 23
Töten 153
Toxoplasma 300
Tracheen 228, 233
Tracht 176
Trematoden 297
Tribus 169 f.
Trinokulartubus 33

Trocknung 282
Tubulus. *Siehe* Nierenkanälchen
Tubus 33, 47
Tubuslänge 47
Tubuslinse 47
Tunica mucosa oris. *Siehe* Epithelzellen

U

Überführen 158
Überlagerung 97
Umrechnungsfunktion 306–310
Umschließen 157
Unendlichoptik 34
Unendlichsystem 43
Unterhaar 266
Unterkieferdrüse 270
Unterzungendrüse 270
Urin 290 f.
Urinprobe 290
Urinsedimentuntersuchung 290
Uroskopie 290
Uterus vom Schwein 32 f.
UV-Auflicht 137, 277, 294
UV-Taschenlampe 136

V

Vakuole 172
VAREL-Kontrast 126
Vegetative Zelle 214–224
Vergrößerung 40 f., 48 f.
 förderliche 56
Verzeichnung 45
Verzögerungsplatte 131
Vignette 46, 93
Virion 170
Virtuelles Bild 41
Virus 170
Vitamin C 186
Vorratsdepot 17

W

W3A nach Wacker 161
W3A Sim II nach Müller 161
Wärmestation 23
W-ASim III nach Herrmann 161
Wasser 142
Wasserbad 23
Wasserflöhe 206 f.
Wasserlilienblattlaus 260 f.
Wasserlinse 194 f.
Wavelett 107
Weber-Kontrast 60
Weinhefe 251
Weinstein 184 f.

Weißer Blutkörperchen. *Siehe* Leukozyten
Wimpertierchen 210
Windblütler 213
Winkelfehlsichtigkeit 18
Winkelmessung
 Polarisation 127
Winkelskala 128
Wohlfühlfaktor 19

X

Xylem 228, 233

Z

Zackenrädchen 198 f.
Zelle
 pflanzliche 171
 tierische 172
Zellkern 172, 272
Zellmembran 172
Zellplasma 172
Zellwand 172
Zentralwellenlänge 64
Zentrierteleskop 123, 190
Zentrierung
 Dunkelfeldblende 112
 Phasenring 123 f.
Zentrifugalkraft 173
Zentrifuge 21, 173
Zentrifugenformel 174
Zentrifugieren 290
Zentriol 172
Zerrupfen 154
Ziehschnitt 156
Zitronensäure 183
Zooflagellaten 210
Zoologie 170
Zucker 113, 118, 125, 129–132, 180 f., 191
Zuckerhefe 251
Zungenabstrich 273
Zwiebel 225 f.
Zylindermikrotom 155, 157 f.
Zysten 297
Zytologie 171