

Erik Wischnewski

Ein Astronom und sein Mikroskop

*Erfahrungen eines Neulings
in der Mikroskopie*

3. Auflage



Ein Astronom und sein Mikroskop

Erfahrungen eines Neulings in der Mikroskopie.

von
Dr. Erik Wischnewski
Astrophysiker und Fachbuchautor
Kaltenkirchen

Erik Wischnewski

Ein Astronomen und sein Mikroskop
Erfahrungen eines Neulings in der
Mikroskopie

24568 Kaltenkirchen, 2020–2026

Bibliografische Information der Deutschen
Nationalbibliothek:

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

1., stark limitierte Auflage, April 2020

2., überarbeitete Auflage, Juli 2020

3., korrigierte Auflage, Februar 2026

Copyright © 2020–2026 Kaltenkirchen,
Dr. Erik Wischnewski und seine Lizenzgeber.
Alle Rechte vorbehalten.

ISBN 978-3-948774-15-8

Printed in Germany with love

Lektorat: Brigitte Oertel

Druck+Verarbeitung: Online-Druck GmbH, Paderborn

Titelbild: Kristalle der Ascorbinsäure im polarisierten Licht

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

Redaktionsschluss 2. Auflage: 01. 07. 2020

Redaktionsschluss 3. Auflage: 12. 02. 2026

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.

Die wundervolle Welt im Mikrokosmos wird in zahlreichen Büchern und Onlineartikeln ausführlich und präzise aus Sicht erfahrener Mikroskopiker erklärt. Dieses Buch will hingegen den Erkenntnisgewinn eines Astronomen beschreiben.

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 Polarisation kommen auch Aspekte der Mikrophotographie und der Dar-

stellung 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 begnügen. Ich habe Spaß daran, mein Umfeld zu erforschen und zu verstehen, aber mit so wenig präparierenden Maßnahmen wie möglich: nichts perfektioniert, Hauptsache schnell und einfach, alles mit Potential nach oben.

Natürlich fehlt das obligatorische Kapitel zum Thema Präparieren nicht. Mich hat auch das biologische Umfeld zu dem im Mikroskop Beobachteten interessiert.

So ist ›Ein Astronom und sein Mikroskop‹ in gewisser Hinsicht auch ein Logbuch während meines Tauchgangs in die mikroskopische Welt. Ich lade Sie herzlichst ein, mit mir gemeinsam die Reise in den Mikrokosmos anzutreten.

Kaltenkirchen, Juli 2020
Erik Wischniewski

tabulae summae

Teil I: Theorie

1 Motivation zur Mikroskopie 15

Der Autor als Astronom 15
Thematische Ziele 16
Der wichtigste Unterschied 17

2 Der Arbeitsplatz 19

Einführung 19
Platzwahl 19
Lichtverhältnisse 22
Wohlfühlfaktor 23
Ausrüstung 23

3 Aufbau des Mikroskops 29

Überblick 29
Lichtquelle 31
Kollektor und Kondensor 31
Objektiv 33
Tubus 37
Okular 38
Zubehör 39
Gewinde 39
Anschaffung 39

4 Die Optik und ihre Gesetze 43

Optische Gesetze 43
Optische Abbildungsfehler 49
Beleuchtung 51
Tubus 52
Objektiv 53
Okular 55
Auflösungsvermögen 58
Kontrast und Schärfe 64

5 Die Lichtquelle und ihr Spektrum 69

Lichtquellen 69
Spektren 71

6 Die Beleuchtung nach Köhler 77

Motivation 77

Eigenschaften 78

Funktionsprinzip 79

Köhlern 80

7 Photographie und Monitor 87

Kameraanschluss 88

Bildausschnitt 90

Auflösung 92

Monitor 97

Maßstab 98

Vignette 100

Überlagerung 104

Mosaik 108

Was schwingt denn da? 110

Schärfung 114

8 Ohne Kontrast geht gar nichts 115

Das Wesen von Licht 115

Hellfeld 118

Dunkelfeld 118

Schiefe Beleuchtung 123

Phasenkontrast 126

Polarisation 133

Zusammenfassender Vergleich 141

Interferenzkontrast 142

Fluoreszenz 142

Färbung 144

9 Die Chemie in der Mikroskopie 145

Einleitung 145

Erstausstattung 147

Anorganische Chemie 149

Organische Chemie 150

Sicherheit 154

Teil II: Praxis

10 Lästiges Präparieren 159

Einleitung 159
Sammeln 161
Schneiden 163
Überführen 167
Färben 169
Arrangieren 171
Einschließen 171
Abdichten 173
Reinigen 173
Beschriften 174
Wer bietet was an? 174
Objektträger für Auflicht 175

11 Zum Auftakt 177

Aufgabengebiete 177
Systematik in der Biologie 179
Aufbau einer Zelle 181
Separieren 183

12 Minerale und Kristalle 185

Minerale 185
Kristalle 185
Konoskopie 200

13 Das Leben im Teich 203

Idyllischer Gartenteich 203
Wasserlinse 205
Probenentnahme 207
Grünalgen 208
Kieselalgen 213
Ruderfußkrebse 214
Wasserflöhe 217
Rädertierchen 218
Sonnentierchen 219
Nesseltiere 220
Strahlentierchen 220
Geißeltierchen 221
Wimpertierchen 221
Augentierchen 222
Fabelhaft 223

14 Pollen unterwegs 225

Bestäubung 225
Hibiskus 227
Daboecia 228
Rhododendron 230
Forsythie 231
Krokus 232
Koniferen 233
Pollen im Honig 234

15 Pflanzen im Dünnschnitt 237

Zwiebel 237
Sprossachsen 239

16 Pilze im Alltag 263

Hefepilze 263
Pinselschimmel 268

17 Insekten und Spinnen 269

Stubenfliege 269
Blattlaus 271
Spinnenfaden 274
Honigbiene 278

18 Mensch und Medizin 279

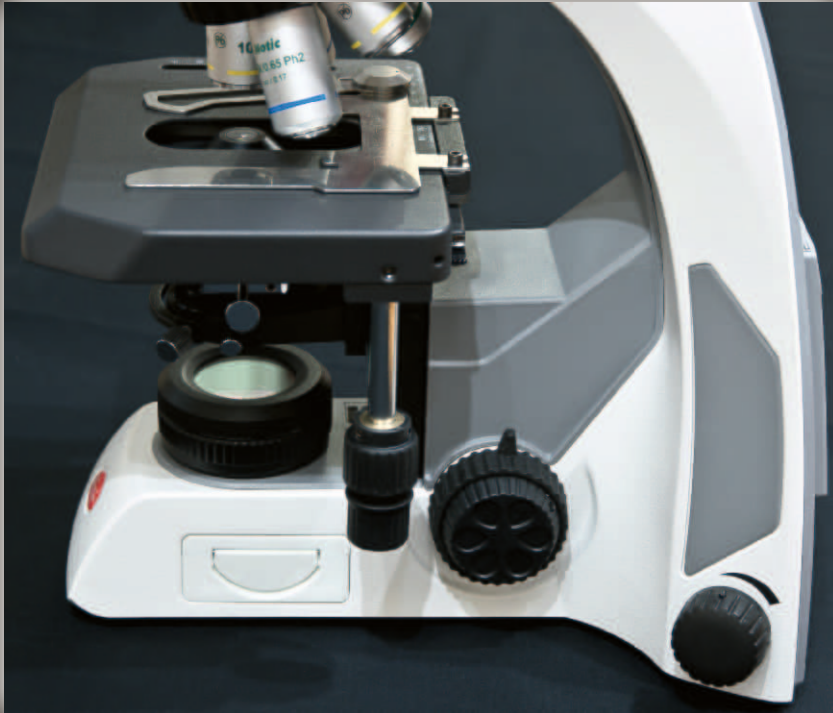
Bakterien 279
Mundhöhle 282
Haar 286
Blut 289
Urin 302
Sperma 304
Kot 306

19 Sternenhimmel 315

Einstimmung 315
Photometrie 316

Teil III: Anhang

A	Bezugsquellen	327
B	Quellennachweis	331
C	Stichwortverzeichnis	333



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 Parallele 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 104).

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 Motic 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 77). Das diesbezügliche Einstellen des Mikroskops nennt sich *Köhlern* (→ Seite 80).

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 Motic BA310E mit direkter Größenangabe der Aperturblende.

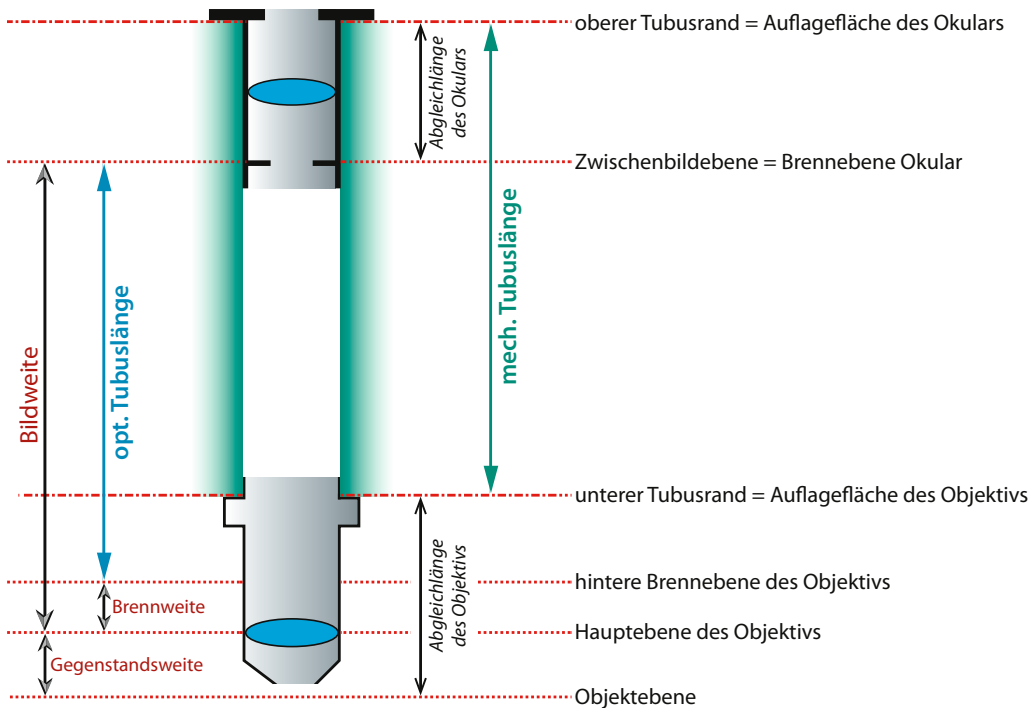


Abbildung 4.4 Optische Strecken und Tubuslängen bei Endlichoptiken (vereinfachte Graphik).

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 (Lichtebe)ne) 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 Zwischenebene und auf der Netzhaut.

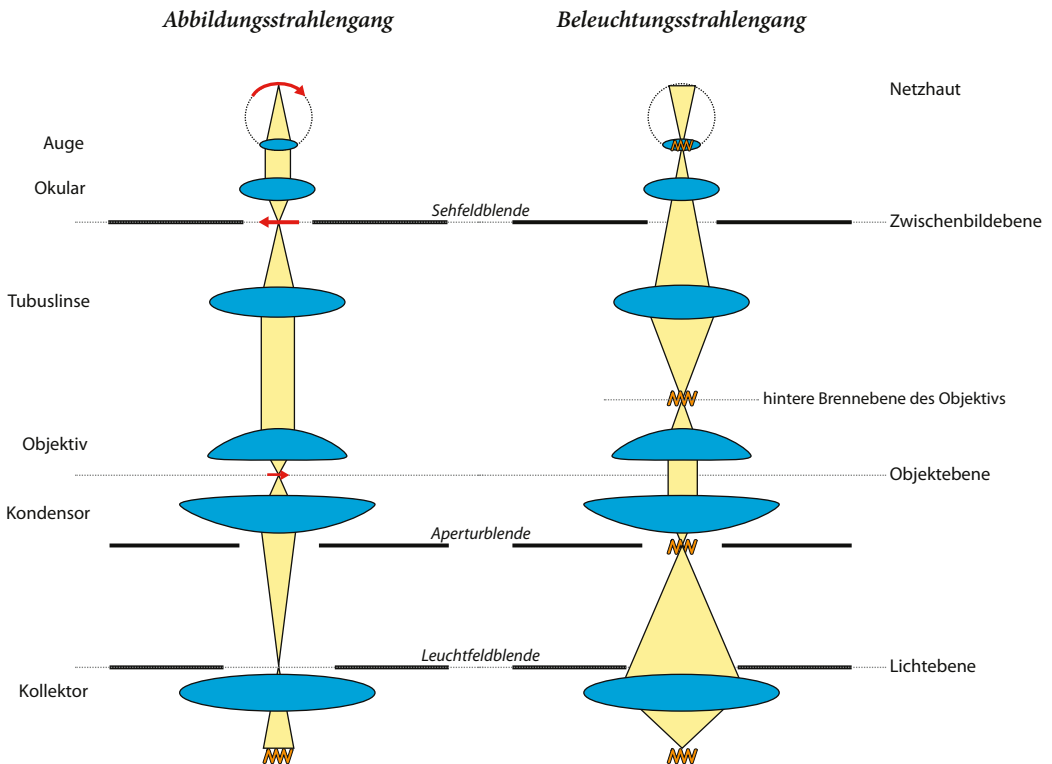


Abbildung 6.3 Konkurrierende Strahlengänge einer Köhler'schen Beleuchtung in einem Unendlichkeitssystem (schematisch).

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.

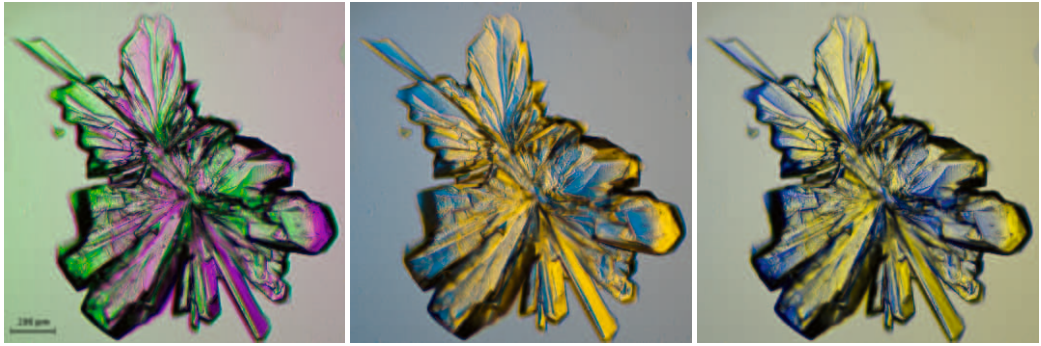


Abbildung 8.11 Ascorbinsäure-Kristalle mit einem Objektiv 10× und drei verschiedenen Rheinbergfiltern:
links: modifizierter Rheinbergfilter mit zwei Rechteckflächen grün/violett.
mittig: klassischer Rheinbergfilter mit blauer Kreisfläche innen und gelbem Umfeld.
rechts: modifizierter Rheinbergfilter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

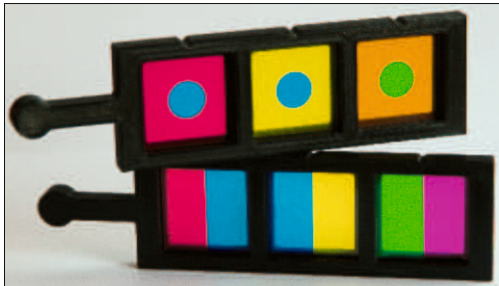


Abbildung 8.12 Im 3D-Drucker aus PLA hergestellte Schieber für das *Motic Panthera C* mit jeweils drei Rheinbergfiltern im Format 24 mm × 24 mm (Kreisfläche hat 10 mm Durchmesser).

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.

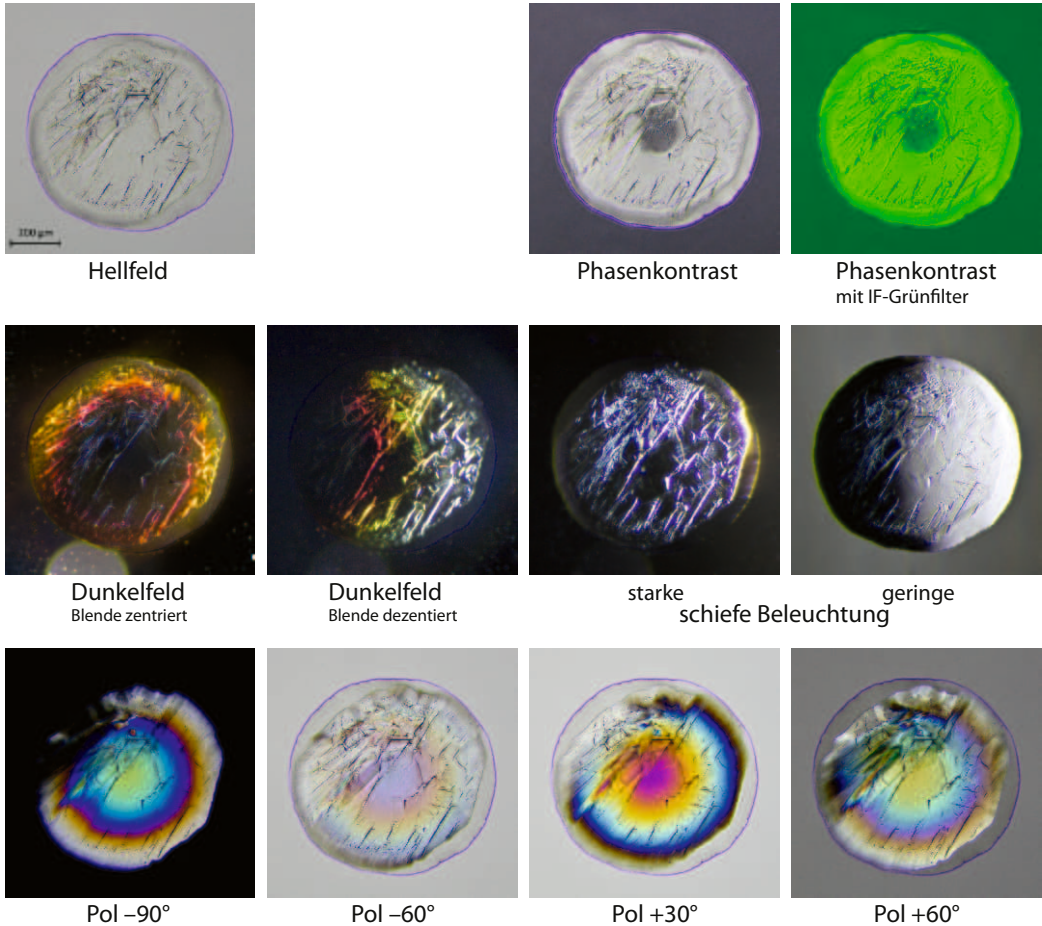
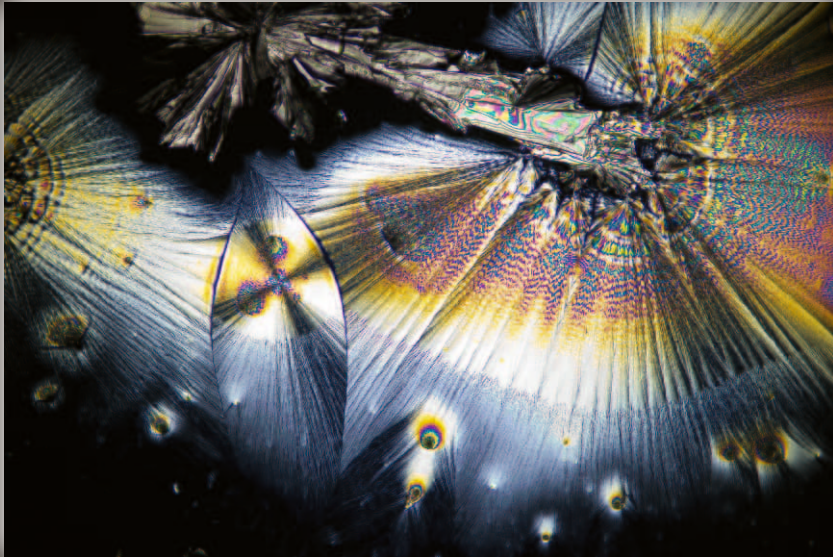


Abbildung 8.45 Übersicht über alle Kontrastverfahren, mit denen der Minitropfen im Zuckerkristall aufgenommen wurde.

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.



- 10. Lästiges Präparieren
- 11. Zum Auftakt
- 12. Minerale und Kristalle
- 13. Das Leben im Teich
- 14. Pollen unterwegs
- 15. Pflanzen im Dünnschnitt
- 16. Pilze im Alltag
- 17. Insekten und Spinnen
- 18. Mensch und Medizin
- 19. Sternenhimmel

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 293).

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.

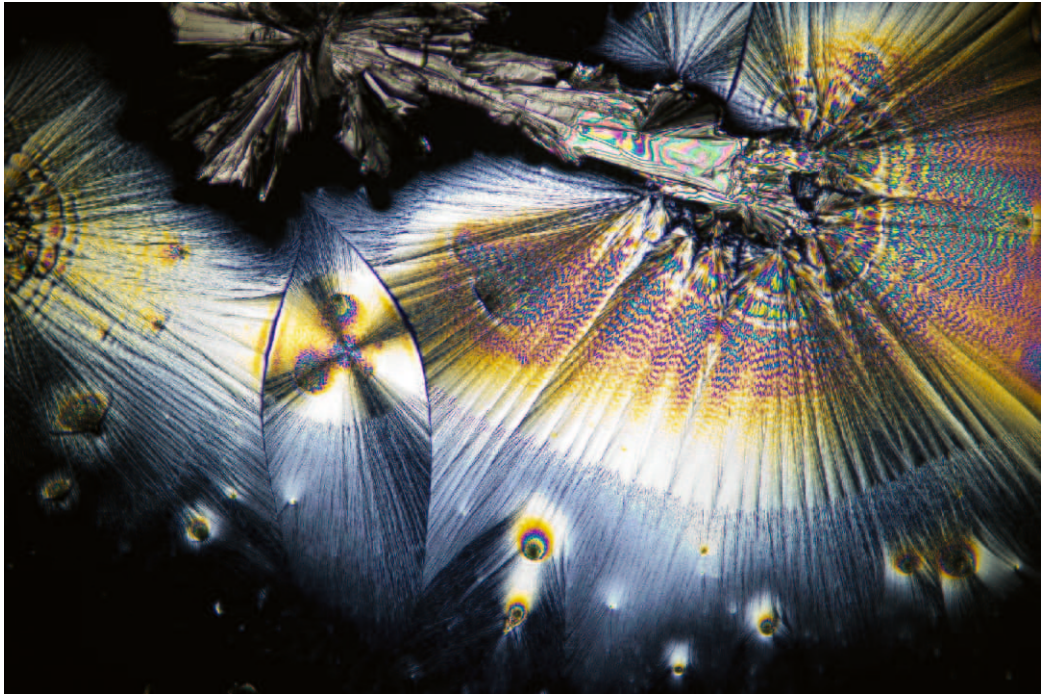


Abbildung 12.32 Kristallbildungen der Ascorbinsäure (Vitamin C) im polarisierten Licht bei 90° (Sperrposition). Kristallsystem = monoklin. Objektiv = 10 \times .

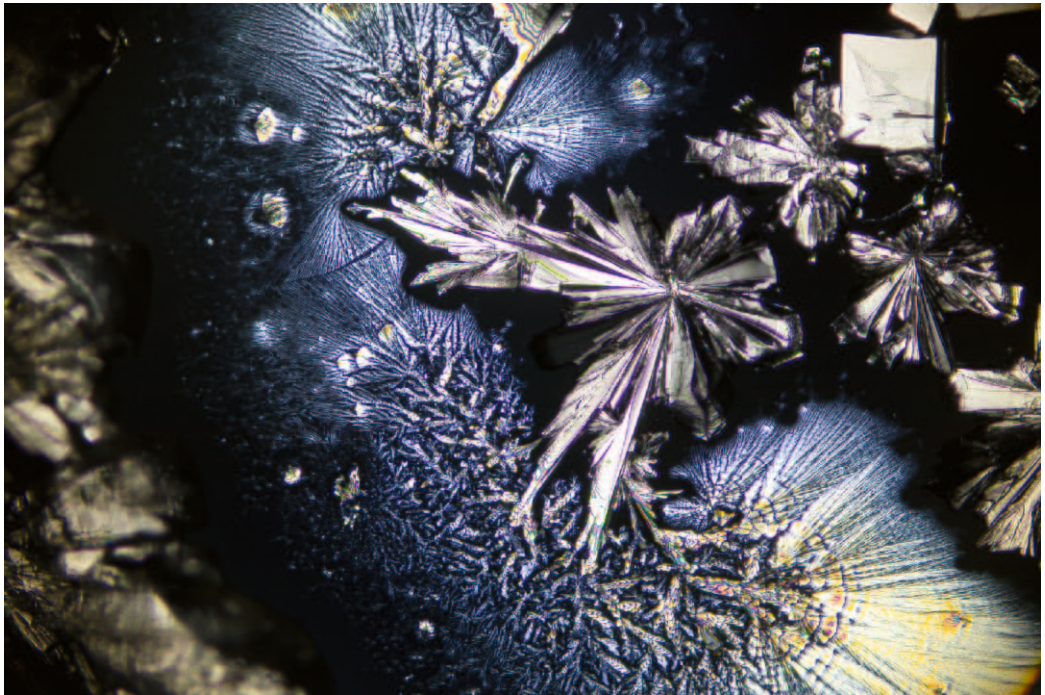


Abbildung 12.33 Kristallbildung der Ascorbinsäure im polarisierten Licht bei 90° (Sperrposition). Kristallsystem = monoklin. Objektiv = 10 \times .

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 Ruderfußkreb mit Eisack (Entnahme der Probe: 10.03.2020). Objektiv = 10×, Hellfeld, Hintergrund mit Eosin angefärbt, Fokustapel aus 30 Bildern.

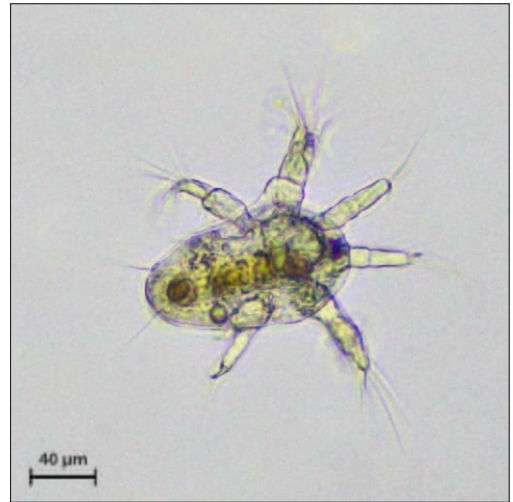


Abbildung 13.31 Nauplius(larve) des Hüpferlings (*Cyclops*), der zu den Ruderfußkrebsen (*Copepoda*) gehört (Entnahme der Probe: 12.07.2019). Objektiv = 10×, Hellfeld.

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 auffallenste 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.

1 Die Bezeichnung ›Naupliuslarve‹ ist genau genommen also doppeltgemoppelt.



Abbildung 14.20 Männliche Blüte einer Kiefer.

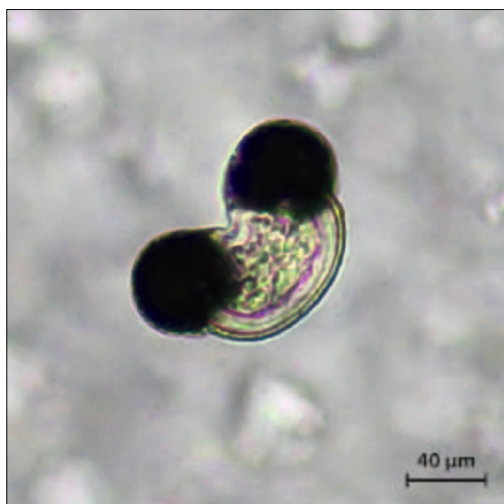


Abbildung 14.21 Pollenkorn einer Konifere, vermutlich einer Kiefer (*Pinus*), mit zwei Luftsäcken, gefunden in einem Raps-Honig. Objektiv = 10x, Hellfeld.

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 = 10x, Hellfeld.

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

Leitbündel (*Schefflera*)

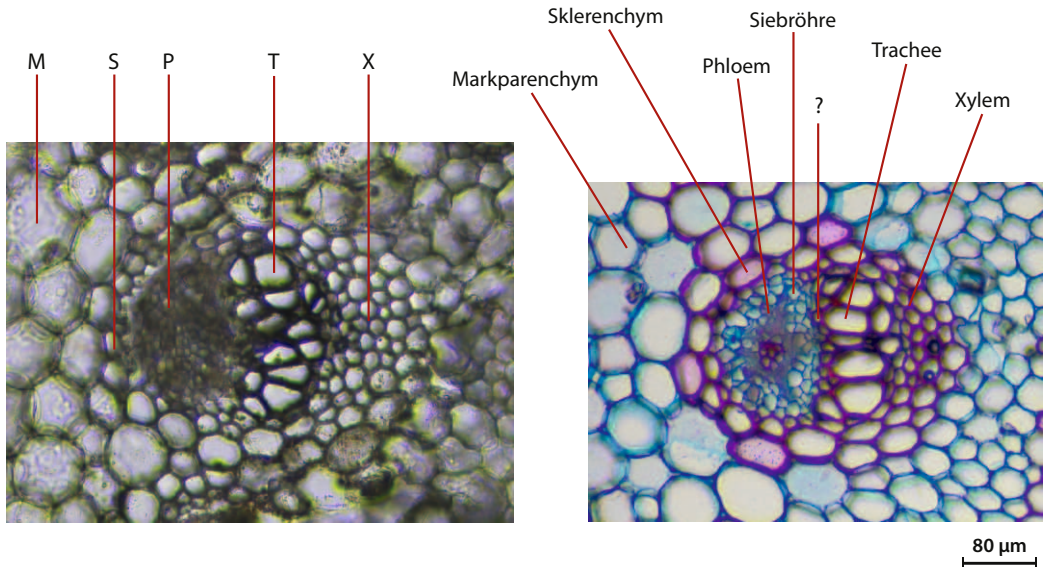


Abbildung 15.10 Leitbündel ($\approx 50 \mu\text{m}$) im Blattstiel einer Strahlenaralie (*Schefflera*). Objektiv = $10\times$, Hellfeld. Links ohne Anfärbung, rechts mit FCA nach Etzold angefärbt (beachte: es handelt sich um zwei verschiedene Leitbündel). Der mit ? gekennzeichnete Bereich könnte das 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.

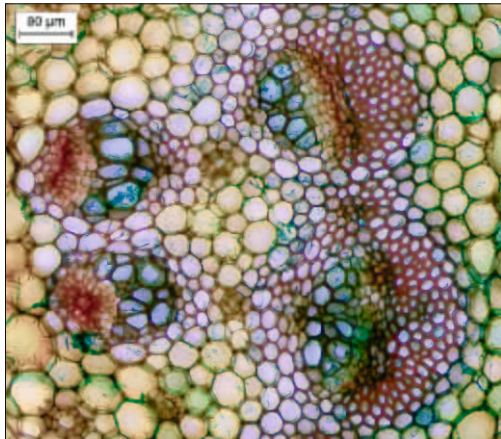


Abbildung 15.11 Leitbündel ($\approx 40 \mu\text{m}$) im Blattstiel einer Strahlenaralie. Objektiv = $10\times$, Hellfeld, W-ASim III nach Herrmann, Fokusstapel aus 15 Bildern.

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.

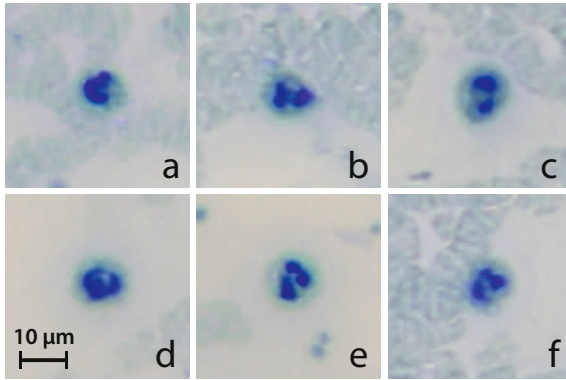


Abbildung 18.35

Granulozyten mit mehreren Kernen, eingefärbt mit Methylenblau. Objektiv = 20x, 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.

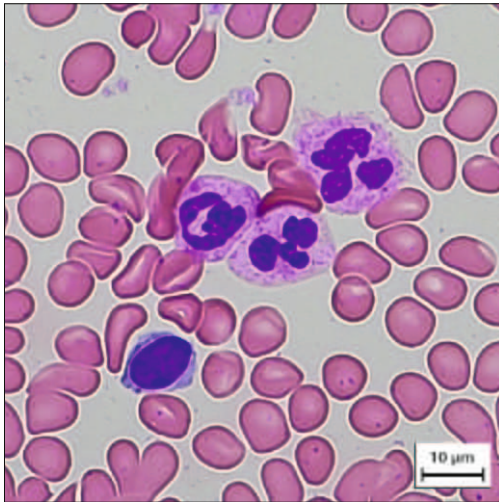


Abbildung 18.36 Leukozyten nach Pappenheim gefärbt: oben drei segmentkernige Granulozyten mit mehreren Kernen ($\approx 15 \mu\text{m}$), darunter ein Lymphozyt ($\approx 13 \mu\text{m}$). Objektiv = 40x, Hellfeld. Präparat: Ute-Katrin Niemann.

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

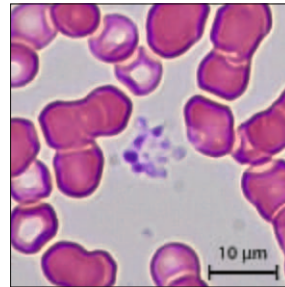


Abbildung 18.37 Thrombozyten nach Pappenheim gefärbt. Aufgrund der geringen Bildschärfe können Schmutzpartikel nicht ausgeschlossen werden. Objektiv = 40x, Hellfeld. Präparat: Ute-Katrin Niemann.

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.

C Stichwortverzeichnis

Symbole

3D-Drucker 124

A

Abbildungsfehler 49
Abbildungsgleichung 44
Abbildungsmaßstab 45 f., 54
Abdichten 173
Abgleichlänge 35
Absorption 116
Abstrich 283
Abteilung 179 f.
Abziehen 165
Abziehpaste 165
Acetaldehyd 152, 155
Acetobacter-Bakterien 152
Aceton 152, 155
Ackerbohne 102, 104
Acridinrot-Acridin-Astrablau (W3A) 170
AE-Lösung 161 f.
AFE-Lösung 161
Akkommodieren 46, 56
Alcianblau 170
Aldehyd 152
Alkohol 149, 151, 153, 162
Alkoholreihe 167
Allium cepa. *Siehe* Zwiebel
Alona rectangula. *Siehe* Rippenkrebschen, braunes
Ameisensäure 152, 155
Amici-Bertrand-Linse 131
Ammoniaklauge 155
Analysator 133 f.
Anfärben 169, 250
Anilinblau 170
Animalia 180
Anion 150
Anorganische Chemie 149, 151
Anschaffung 39
Anyubic i3 Mega-S 124
Aperturblende 118, 130 f.
Aphidoidea. *Siehe* Blattlaus
Apicomplexa 309
Apochromatismus 50
Araneus. *Siehe* Kreuzspinne
Arbeitsabstand 35, 53

Arbeitsplatz 21
Archaeen 180
Archaeophagen 180
Arrangieren 171
Art 179 f.
Arthropoda 214
Ascorbinsäure 123, 196–199
Assimilationsparenchym 239
Astigmatismus 50
Astrablau 170, 242
Astronomie 104, 120, 315–324
Aufbau einer Zelle 181
Aufbewahrung 20, 166
Aufgabengebiete 177
Auflagemaß 89
Auflicht 175
Auflösung
 Photographie 92
Auflösungsvermögen 58, 94
Auflösungsverzicht durch Abblendung 59
Auge 60, 66
Augenfleck 222
Augentierchen 222
Ausbreitung des Lichtes 116
Auskeilen 163
Ausrüstung 23
Ausstrich 163
Axopodien 219 f.
Azalee 230–236
Azur 296
Azur-Eosin-Methylenblau 170

B

Bacillariophyta. *Siehe* Kieselalgen
Bacteria 281
Bakterien 180, 279–282, 285
Bakteriophagen 180
Bandbreite 70
Basophile 290, 292
Bayer-Matrix 95
Bazillen 281
Bedecktsamer 225–236
Beleuchtung 51, 77–86
Belichtungsreihe 318–324
Belichtungszeit 112
Bertrand-Linse 200
Beschriften 174

Bestäubung 225
Betäuben 162
Beugung 116
Beugungsbild 58
Beugungsscheibchen 58
Bezugsmöglichkeiten 174
Bierhefe 263, 265–267
Bildauflösung 64
Bildausschnitt 90
Bildfeldwölbung 50
Bildverzerrung 50
Binokulares Sehen 22
Biopolymer 241
Blattlaus 271
Blickfeld 56
Blitzlicht 112
Blut 289
Blutausstrich 293, 296 f., 299
Blutbild 292
Blüte, Aufbau 226–236
Blutkörperchen 289 f.
Blutplasma 289
Blutplättchen 289–291
Blutprobe 292 f.
Blutzellen 289
 Größe 301
BMS 037 LED Pro 30
Bogenlampe 69
Borrelia 281
Botanik 180
Breckkraft 44
Brechung 117, 119
Brechungsindex 117
Brille 111
Butanon 149, 155

C

Calciumoxalat 206
Calciumtartrat 194
Capillus. *Siehe* Haar
Carbonsäure 152, 193
Cavitas oris. *Siehe* Mundhöhle
Cavum oris. *Siehe* Mundhöhle
Cerebralaug 218
Chemie 26, 145–156
Chemikalien 146
Chitinpanzer 278
Chlamydiae 281

Chlorobi 281
Chlorophyta. *Siehe* Grünalgen
Chloroplast 182
Chromatin 182
Chrysoidin 242
Ciliata. *Siehe* Wimpertierchen
Ciliophora. *Siehe* Wimpertierchen
Cladocera. *Siehe* Wasserflöhe
C-Mount 88
Cnidaria. *Siehe* Nesseltiere
Cnidocyte. *Siehe* Nesselkapsel
Copepoda. *Siehe* Ruderfußkrebse
Corpusculum renale. *Siehe* Nierenkörperchen
Crocus vernus. *Siehe* Frühlingskrokus
CS-Mount 88
Cura 124
Cuticula **286**
Cyanobacteria 281
Cygnus 317–324
Cytoplasma. *Siehe* Zellplasma

D

Daboecia 228–236, 229–236
Deckglas 242 f., 295
Deckglaskorrektur 35
Deckglaslack 173
Deep-Sky 104
Denatoniumbenzoat 149, 155
Diatomeen. *Siehe* Kieselalgen
Differenzieren 169
Dioptrienausgleich 111
Diplokokken 282
Diskozyt 290
Domäne 179 f.
DSLR-Kamera 88
Dunkelfeld 118, 254, 297
Dünnschliff 185
Dünnschnitt 25, 163, 242
Dynamikbereich 66

E

Echinozyten 298
EDTA-Röhrchen 292 f.
Efeu 255–258
 Gemeiner 255
 Waldefeu 255
Efeutute 262
Eimeria 312
Einbetten 167
Einkeimblättrige 260
Einklemmen 166
Einschließen 171, 242 f., 295
Einschlussmittel 117, 171

Einstiegsmodelle 41
Einwirkzeit 169
Einzeller 180
Ektoplasma 219
Elektronenmikroskop 43
Endlichoptik 38, 47 f.
Endoplasmatisches Retikulum 182, 284
Endoskelett 220
Entwässerung 168
Eosin 170, 296
Eosinophile 290, 292
Epidermis 241, 245, 250, 257
Epipremnum. *Siehe* Efeutute
Epithelzellen 283 f.
Erkennungsgrenzen 62
Erythrozyten 289 f., 298–300
Erythrozyten-Volumen 302
Essig 149
Essigester 150, 153, 155, 162, 207
Essigsäure 150, 152, 155
Essigsäureester. *Siehe* Essigester
Essigsäureethylester. *Siehe* Essigester
Ester 153
Ethanol 150, 152, 155
Ethansäure 152
Ethylacetat. *Siehe* Essigester
Ethylalkohol. *Siehe* Ethanol
Etikettierung 174
Etzold FCA-blau 170, 242
Etzold FCA-grün 170
Etzold FSA 170
Euglena 222
Euglenaceae 222
Euglenales 222
Euglenozoa 222
Eukaryoten 180
Euparal 171 f., 243
Exkreme 306
Extine 226–236

F

Fabelwesen 223
Facula lutea. *Siehe* Gelber Fleck
Faeces. *Siehe* Fäzes
Falschfarbenbild 208
Familie 179 f.
Fangfaden 274, 276 f.
Färben 169
Farbfehler 49
Farbfilter 118
Farbkontrast 65, 248
Farblängsfehler 49
Farbquerfehler 49
Farbsensor 95
Farbstoffe 169 f.

Färbung 144, 242 f., 295
 Mundhöhle 283
Farnblatt 125
Fauna. *Siehe* Zoologie
Fäzes 306
FCA. *Siehe* Fuchsin-Chrysoidin-Astrablau
FCA nach Etzold 242
Festigungsgewebe 241
Fettkörnchenzelle 304
Fettspritze 144
Fibrinogen 289
Fichten 225–236
Fiederhaar 278
Filterfunktion 76
Fimbria 286
Firmicutes 281
Fixierung 161, 294
Flagellaten. *Siehe* Geißeltierchen
Flatfield-Korrektur 101
Flora. *Siehe* Botanik
Flotation 183, 308
Flügel der Stubenfliege 270
Fluoreszenz 142–144, 289, 306
Flüssigkeits-Objektträger 207
Förderliche Vergrößerung 61
Forensik 306
Formaldehyd 152, 155, 161
Formylsäure. *Siehe* Ameisensäure
Forsythie 231–236
Fovea centralis. *Siehe* Sehgrube
FreeCAD 122, 124, 140, 154, 164
Fruchtknoten 226
Frühlingskrokus 259–261. *Siehe* Krokus
FSA. *Siehe* Fuchsin-Safranin-Astrablau
Fuchsin 170, 242
Fuchsin-Chrysoidin-Astrablau (FCA) 170
Fuchsin-Safranin-Astrablau (FSA) 170
Fungi 180

G

Gartenkreuzspinne 274 f.
Gartenteich 203–224
Gasfeuerzeug 28
Gattung 179 f.
Gaumendrüsen 282
Gauß-Fehler 49
GCODE 124
Gefahrenklassifizierung 155
Gegenfärbung 171
Geißel 212, 221, 281, 286, 305
Geißeltierchen 221
Gelber Fleck 60

Geldrollenform 297
 Geleitzellen 241
 Gemeine Hasel 225–236
 Generative Zelle 226–236
 Gentianaviolett 282
 Gewinde 39
 Kamera 88
 Giardien 312
 Glandulae palatinae. *Siehe* Gaumen-
 drüsen
 Glandula parotis. *Siehe* Ohrspeichel-
 drüse
 Glandula sublingualis. *Siehe* Unter-
 zungendrüse
 Glandula submandibularis.
 Siehe Unterkieferdrüse
 Glattes ER 182
 Gliederfüßer 214
 Glühbirne 27
 Glycingelatine 172
 Golgi-Apparat 182
 Golgi-Vesikel 182
 Gram-Färbung 282
 Granula 290
 Granulozyten 290–292, 301
 Grat 166
 Grenzauflösung 62
 Griffel 226
 Grünalgen 208
 Grünfilter 130
 Gürtelalgen 212

H

Haar 286
 Haar-Kappenring-Grünalge 210f.
 Habitus 186
 Halbstrukturformel 150
 Halo 130
 Halogen 69
 Hämatoxylin 170
 Hämatoxylin-Eosin (HE) 170
 Handschnitte 163
 Hand-Zylindermikrotom. *Siehe* Zylind-
 ermikrotom
 Hänge-Birke 225–236
 Harn 302
 Harnschau 302
 Harzgang 241, 250
 Haufenkokken 281
 Hedera helix. *Siehe* Efeu
 Hefepilze 263
 Heidekrautgewächse 230–236, 236
 Heliozoa. *Siehe* Sonnentierchen
 Hellfeld 118
 Helligkeit 136
 Inhomogenität 51

Heterophorie 22
 Hibiskus 227–236
 Hilfsteleskop 200
 Histologie 181
 Hitze-fixierung 162
 Hohl-schliff-Objektträger 207
 Holundermark 167
 Honig 234–236
 Honigbiene 278
 Hüpfervling 214–216
 Hyaliner Zylinder 303
 Hydrocarbonsäure. *Siehe* Ameisen-
 säure
 Hydroxidgruppe 150

I

Includal A 172, 242
 Infracfamilie 180
 Interferenzfilter 130, 132
 Interferenzkontrast 142
 Intine 226–236
 Irische Heide 228–236, 229
 Isopropanol 149, 155
 Isopropylalkohol. *Siehe* Isopropanol

K

Kalilauge 155
 Kaliumhydrogentartrat 194
 Kalklauge 155
 Kalknatronglas 117
 Kambium 245
 Kameraanschluss 88
 Kanten 119
 Kapillarkraft 172
 Kappenalgen 210f.
 Karotten 166
 Kartoffeln 167
 Karyologie 181
 Kation 150
 Kätzchen 225–236
 Keratella quadrata 218
 Kernhülle 182
 Kern-Körperchen 182
 Kernlamina 182
 Kernmembran 182
 Keton 152
 Kettenkokken 281
 Keulenstäbchen 282
 Kiefern 225–236, 234
 Kieferngewächse 225–236
 Kiefernadel 109
 Kieselalgen 117, 213f.
 Klasse 179f.
 Kochsalz 136f., 186–189

Kohlensäure 155
 Köhlern
 Schritt für Schritt 80
 Köhler'sche Beleuchtung 77–86
 Kokkobazillen 282
 Kokzidien 312
 Kollektor 31f.
 Kollenchym 241
 Komplexauge 270, 272
 Kondensor 31f., 52
 Koniferen 225–236, 233
 Konoskopie 200
 Konoskopischer Strahlengang 200
 Konservieren 161
 Kontrast 64f., 115–144
 Auge 66
 Farbkontrast 65
 Kritik 64
 Michelson-Kontrast 66
 Photographie 66
 Weber-Kontrast 65
 Kontrasteindruck 67
 Kontrasterzeugung 115
 Kontrastschärfe 64, 67
 Kontrastumfang 66
 Kontrastverfahren
 Vergleich 141
 Kopfhaare 286
 Koproskopie 306
 Korkenzieherbakterien 281
 Korkenzieherform 282
 Körnigkeit 322–324
 Kot 306
 Kreis 179
 Kreuzspinne 274
 Kristalle 185–202
 Kristallsysteme 185
 Kristallviolett. *Siehe* Gentianaviolett
 Krokus. *Siehe* Frühlingskrokus
 Kryptosporidien 312
 Küchenzwiebel 238
 Kugelbakterien 281
 Kugelgestaltsfehler 50
 Kutikula 241, 245, 250, 257

L

Laborartikel 24f.
 Lactobacillales. *Siehe* Milchsäurebak-
 terien
 Lagerheim 212
 Lagerung
 Farblösungen 171
 Laugen 151
 LED 69, 136, 143
 Leere Vergrößerung 53
 Leitbündel 240

Efeutute 262
Frühlingskrokus 260
Strahlenaralie 245, 249, 253
Lemna. *Siehe* Wasserlinse
Lesebrille 44
Leuchtdichtefunktion 93
Leuchtring 119
Leukozyten 285, 289–291, 300
Licht 115
Lichtquelle 31, 69–76
Lichtverhältnisse 22
Lignin 241
Lindenstängel 34 f., 102 f.
Lineare Auflösung 59
Linsen 43
Linsensysteme 44
Livebild 112
Lufttröhrenwurm 309
Lufttrocknung 162
Lukenstrahlengang 79
Lumineszenz 142
Lupe 46
Lymphozyten 290 f.
Lysosom 182

M

M42-Gewinde 88
Magnesiumhydroxid 155
Makrophotographie 106
Makrozyten 290
Mandibel 215
Markparenchym 239
Markstrahlparenchym 239, 245
Maßstab 98
May-Grünwald 170
May-Grünwald-Giemsa 170
MCV 302
Medianauge 215
Medizin 279–314
Megalozyten 290
Meniskus 43
Menschliches Auge 60, 66
Methanal. *Siehe* Formaldehyd
Methanol 151, 155
Methansäure. *Siehe* Ameisensäure
Methylalkohol. *Siehe* Methanol
Methylenblau nach Löffler 170, 258, 296
Methylethylketon 149
Michelson-Kontrast 66
Mikrometerskala 99
Mikrophotographie 203
Stacking 107
Mikroskop 24
Kollektor 31
Kondensor 31
Lichtquelle 31

Mikrotom 25 f.. *Siehe* Zylindermikrotom
Mikrozyten 290
Milchsäurebakterien 281
Minerale 185
Mitochondrium 182
Möhren 166
Mond 105
Mondkrater Kopernikus 106
Monitor 97
Monokotyle. *Siehe* Einkeimblättrige
Monozyten 290 f.
Mosaik 108, 110
Motic Panthera C 40
Motivation
zum Köhlern 77
Motorneuronen 102 f.
Mundhöhle 282
Mundschleimhaut 284 f.
Musca domestica. *Siehe* Stubenfliege
Muschelkrebse 217
Mykologie 180

N

Nachtsamer 225–236
Nagellack 173
Narbe 226
Natriumchlorid 186
Natriumhydroxid 150
Natronlauge 155
Nauplius 215
Nekton 216
Nematoden 309
Nephron 304
Nesselkapsel 220
Nesseltiere 220
Neutrophile 290, 292
Nierenerkrankung 304
Nierenkanälchen 304
Nierenkörperchen 304
Nucleolus. *Siehe* Kern-Körperchen
Nucleus. *Siehe* Zellkern
Numerische Apertur 35, 53, 55
Kondensor 59
Nyquist-Kriterium 93

O

Objektiv 33 f., 47, 53, 55
Gewinde 39
Oedogonium. *Siehe* Kappenalgen
Oedogonium capillare. *Siehe* Haar-Kappenring-Grünalge
Ohrspeicheldrüse 282
Okular 38, 54 f., 57
Gewinde 39

Oozyste 309
Opal 220
Ordnung 179 f.
Organellen 182
Organische Chemie 150, 153
Orionnebel 105
Orthoskopischer Strahlengang 200
Ostracoda. *Siehe* Muschelkrebse
Oxalat 206

P

Palisaden 282
Pantoffeltierchen 221
Pappenheim 170, 296, 301
Paraffinschnitt 167
Paramecium. *Siehe* Pantoffeltierchen
Parenchym 239
Parfokalität 35, 110 f.
Pediastrum. *Siehe* Zackenrädchen
Penicillium. *Siehe* Pinselschimmel
Period04 100
Pferdehaar-Alge 209
Phacaceae 222
Phacus 222
Phagocytose 219
Phasenblende 127
Phasenkontrast 126–129, 284
Phasenobjektiv 37, 127
Phasenring 127
Phloem 240, 245
Phosphorsäure 155
Photographie 66, 87–114
Photometrie 316–324
Photoshop 100, 106
pH-Wert 150
Phytoflagellaten 221
Picolay 103, 107
Pilus 281, 286
Pilze 263–268
Pinselschimmel 268
Pithophora. *Siehe* Pferdehaar-Alge
Pixelgröße 92, 95
Planctomycetes 281
Plankton 216
Planktonnetz 25
Plantae 180
Plasma 289
Platzwahl 19
Plejaden 321–324
Polarisation 118, 133, 197, 252 f., 287
Polarisator 133 f.
Pollen 225, 225–236
Honig 234
Pollenkitt 226–236, 228–236
Pollenkorn, Aufbau 226
Pollensack 226
Polregion 319–324

Polymer-Verzögerungsfolie 139
Präparieren 159–176
Premiummarken 41
Probenentnahme 207
Proerythroblast 289
Prokaryoten 180
Propanon 152
Proteobacteria 281
Pseudopodien 220
Pupillenstrahlengang 79
Pushen 322–324

Q

Quarzglas 117
Querschnitt 242, 245–247, 251 f., 254,
256, 260, 262
Quetschen 163

R

Rädertierchen 218
Radialfaden 277
Radiolaria. *Siehe* Strahlentierchen
Radnetz 275
Rasierstaub 287–289
Raues ER 182
Rayleigh-Kriterium 58
Rechtsmedizin 306
Reelles Bild 45
Referenzwellenlänge 59
Reflexionen 51
Reich 179 f.
Reinigen 173
Rheinbergfilter 122
Rhodamin 170
Rhododendron 230–236
Rhopalosiphum nymphaeae.
Siehe Wasserlilienblattlaus
Ribosomen 182
Rindenparenchym 239, 245, 257
Ringblende 126
Rippenkrebsschen, braunes 217
Rote Blutkörperchen. *Siehe* Erythro-
zyten
Rotifera. *Siehe* Rädertierchen
Ruderfußkrebse 214 f.

S

Saccharomycetes. *Siehe* Hefepilze
Saccharose 190
Safranin 170
Safranin-Anilinblau 170
Salpetersäure 155
Salze 151

Salzsäure 155
Sammeln 161
Sarcinen 282
Saugrüssel 273
Säuren 151, 153
SC-Anschluss 88
Scenedesmus. *Siehe* Gürtelalgen
Schärfe 64, 66
Klinge 164
Schärfen 114, 165
Schärfentiefe 67
Schefflera. *Siehe* Strahlenaralie
Scheinfüßchen 220
Schiefe Beleuchtung 123, 254
Schleifen 165
Schleifpaste 165
Schneidehilfe 167
Schneiden 163
Schnittkonsistenz 166
Schubladeneinsatz 154
Schwärzungskurve 319–324
Schwefelsäure 155
Schwingungen 111
Sedimentation 183, 308
Sehgrube 60
Seidenfaden 275–277
Sekretgang 241, 250
Sektion 179
Sensorfunktion 73
Separieren 183
Serum 289
Sichelhaar 278
Sicherheitshinweise 155
Sichtbarkeitsindex 117
Siebgestirn 321–324
Siebröhren 245
Siphon 272 f.
Siphunculus. *Siehe* Siphon
Skelettformel 150
Sklerenchym 241, 245
Sklerenchymkappen 245
Solarisation 319–324
Sonnentierchen 219
Speichel 133, 282
Spektroskopie 71
Spektrum 69–76, 136, 143
Spermium 304–306
Spiegelrückschlag 111
Spiegelverriegelung 112
Spinnenfaden 274–277
Spiralbakterien 281
Spiritusbrenner 27
Spirochaetae. *Siehe* Spiralbakterien
Spirochaetes 281
Sporozysten 309, 312
Sprossachsen 239 f.
Stamm 179 f., 239

Stängel 239
Star Analyser 72
Staubbeutel 226, 230–236
Staubblatt 226–236
Staubfaden 226
Stechapfelform 290
Stechapfelzelle 290
Stechsaugrüssel 271
Stempel 226–236, 230–236
Sternenhimmel 315–324
STL-Format 124
Strahlenaralie 243, 245–247, 249,
251–254
Strahlengang 79, 200
Strahlentierchen 220
Strahlteilung 87
Streichriemen 165
Streptobacillus 282
Streptokokke 279
Streptokokken 281 f., 312
Streulicht 51
Streuung 118 f.
Strukturauflösung 62
Strukturformel 150
Stubenfliege 269 f.
Substrukturen 63
Summenformel 150
Systematik 180
Systematik in der Biologie 179

T

T2-Anschluss 88
Tannen 225–236
Taurus 321–324
Taxonomie 179
Alona rectangula 217
Azalee 230
Borrelien 281
Efeu 255
Forsythie 231
Frühlingskrokus 259
Gartenkreuzspinne 274
Geißeltierchen 221
Gürtelalgen 122
Hibiskus 227
Hüpfertling 214
Irische Heide (Daboecia) 229
Kappenalgen 210
Keratella quadrata 218
Kiefernengewächse 233
Kieselalgen 213
Lagerheim 212
Nesseltiere 220
Pantoffeltierchen 221 f.
Pferdehaar-Alge 209
Sonnentierchen 219

Strahlenaralie 244
 Strahlentierchen 221
 Streptokokken 281
 Stubenfliege 269
 Wasserflöhe 217
 Wasserlilienblattlaus 271
 Wasserlinse 206
 Wimpertierchen 221
 Zackenrädchen 209
 Zwiebel 238
 Teelicht 27
 Teich 203–224
 TESA-Film 138 f., 173
 Tetrade 229–236
 Tetraden 282
 Theka 226
 Thrombozyten 289–291, 301
 Tierblütler 225
 Tischhalterung 154
 Toaster 27
 Töten 162
 Toxoplasma 312
 Tracheen 240, 245
 Tracht 186
 Trematoden 309
 Tribus 179 f.
 Trinokulartubus 37
 Trocknung 294
 Tubulus. *Siehe* Nierenkanälchen
 Tubus 37, 52
 Tubuslänge 52
 Tubuslinse 52
 Tunica mucosa oris. *Siehe* Epithelzellen

U

Überführen 167
 Überlagerung 104
 Umrechnungsfunktion 319–324
 Umschließen 166
 Unendlichoptik 38
 Unendlichesystem 48
 Unterhaar 278
 Unterkieferdrüse 282
 Unterzungendrüse 282
 Urin 302 f.
 Urinprobe 302
 Urinsedimentuntersuchung 302
 Uroskopie 302
 Uterus vom Schwein 36 f.
 UV-Auflicht 144, 289, 306
 UV-Taschenlampe 143

V

Vakuole 182
 VAREL-Kontrast 133
 Vegetative Zelle 226–236

Vergrößerung 45 f., 53 f.
 förderliche 61
 Verzeichnung 50
 Verzögerungsplatte 138
 Vignette 51, 100
 Virion 180
 Virtuelles Bild 46
 Virus 180
 Vitamin C 196
 Vorratsdepot 21

W

W3A nach Wacker 170
 W3A Sim II nach Müller 170
 Wärmestation 27
 W-ASim III nach Herrmann 170
 Wasser 149
 Wasserbad 27
 Wasserflöhe 217 f.
 Wasserlilienblattlaus 272 f.
 Wasserlinse 205 f.
 Wavelett 114
 Weber-Kontrast 65
 Weinhefe 263
 Weinstein 194 f.
 Weiße Blutkörperchen. *Siehe* Leukozyten
 Wimpertierchen 221
 Windblütler 225
 Winkelfehlsichtigkeit 22
 Winkelmessung
 Polarisation 134
 Winkelskala 135
 Wohlfühlfaktor 23

X

Xylem 240, 245

Z

Zackenrädchen 209 f.
 Zelle
 pflanzliche 181
 tierische 182
 Zellkern 182, 284
 Zellmembran 182
 Zellplasma 182
 Zellwand 182
 Zentralwellenlänge 70
 Zentrierteleskop 130, 200
 Zentrierung
 Dunkelfeldblende 119
 Phasenring 130 f.
 Zentrifugalkraft 183
 Zentrifuge 25, 183
 Zentrifugenformel 184

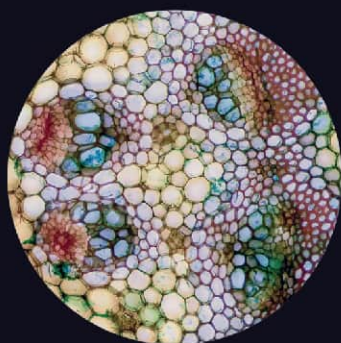
Zentrifugieren 302
 Zentriol 182
 Zerrupfen 163
 Ziehschnitt 165
 Zitronensäure 193
 Zooflagellaten 221
 Zoologie 180
 Zucker 120, 125, 132, 136–139, 190 f., 201
 Zuckerhefe 263
 Zungenabstrich 285
 Zwiebel 237 f.
 Zylindermikrotom 164, 166 f.
 Zysten 309
 Zytologie 181

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

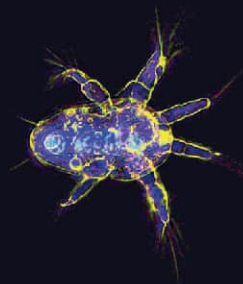
Dieses etwas andere Buch beschreibt die Mikroskopie aus Sicht eines Astrophysikers, der Lust auf Optik hat, aber keine besonderen Ambitionen zum mühevollen Präparieren verspürt. Die wundervolle Welt im Mikrokosmos wird in zahlreichen Büchern und Onlineartikeln ausführlich und präzise aus Sicht erfahrener Mikroskopiker erklärt. Dieses Buch will hingegen den Erkenntnisgewinn eines Astronomen beschreiben.

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 begegnen. Ich habe Spaß daran, mein Umfeld zu erforschen und zu verstehen, aber mit so wenig präparierenden Maßnahmen wie möglich: nichts perfektioniert, Hauptsache schnell und einfach, alles mit Potential nach oben. Natürlich fehlt das obligatorische Kapitel zum Thema Präparieren nicht. Mich hat aber auch das biologische Umfeld zu dem im Mikroskop Beobachteten



450 Abbildungen
79 Tabellen
47 Gleichungen
61 Infoboxen
430 Querverweise
863 Stichwörter



ISBN 978-3-948774-15-8



9 783948 774158