

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 verzeichnetet  
diese Publikation in der Deutschen National-  
bibliografie; detaillierte bibliografische Daten  
sind im Internet über <http://www.dnb.de> ab-  
rufbar.

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 Handels-  
namen, Warenbezeichnungen usw. in diesem  
Werk berechtigt auch ohne besondere Kenn-  
zeichnung nicht zu der Annahme, dass solche  
Namen im Sinne von Warenzeichen- und  
Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu be-  
trachten wären und daher von jedermann  
benutzt werden dürfen.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist  
urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung  
außerhalb der engen Grenzen des Urheber-  
rechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des  
Autors unzulässig und strafbar. Das gilt  
insbesondere für Vervielfältigungen, Über-  
setzungen, Mikroverfilmungen und die Ein-  
speicherung und Verarbeitung in elektro-  
nischen 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 begegneten. 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 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 Wischnewski



# Teil I: Theorie

<b>1</b>	<b>Motivation zur Mikroskopie</b>	<b>15</b>
Der Autor als Astronom	15	
Thematische Ziele	16	
Der wichtigste Unterschied	17	
<b>2</b>	<b>Der Arbeitsplatz</b>	<b>19</b>
Einfühlung	19	
Platzwahl	19	
Lichtverhältnisse	22	
Wohlfühlfaktor	23	
Ausrüstung	23	
<b>3</b>	<b>Aufbau des Mikroskops</b>	<b>29</b>
Überblick	29	
Lichtquelle	31	
Kollektor und Kondensor	31	
Objektiv	33	
Tubus	37	
Okular	38	
Zubehör	39	
Gewinde	39	
Anschaffung	39	
<b>4</b>	<b>Die Optik und ihre Gesetze</b>	<b>43</b>
Optische Gesetze	43	
Optische Abbildungsfehler	49	
Beleuchtung	51	
Tubus	52	
Objektiv	53	
Okular	55	
Auflösungsvermögen	58	
Kontrast und Schärfe	64	
<b>5</b>	<b>Die Lichtquelle und ihr Spektrum</b>	<b>69</b>
Lichtquellen	69	
Spektren	71	

---

<b>6</b>	<b>Die Beleuchtung nach Köhler</b>	77
Motivation	77	
Eigenschaften	78	
Funktionsprinzip	79	
Köhler	80	
<b>7</b>	<b>Photographie und Monitor</b>	87
Kameraanschluss	88	
Bildausschnitt	90	
Auflösung	92	
Monitor	97	
Maßstab	98	
Vignette	100	
Überlagerung	104	
Mosaik	108	
Was schwingt denn da?	110	
Schärfung	114	
<b>8</b>	<b>Ohne Kontrast geht gar nichts</b>	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	
<b>9</b>	<b>Die Chemie in der Mikroskopie</b>	145
Einleitung	145	
Erstausstattung	147	
Anorganische Chemie	149	
Organische Chemie	150	
Sicherheit	154	

# Teil II: Praxis

<b>10</b>	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	
<b>11</b>	Zum Auftakt	177
Aufgabengebiete	177	
Systematik in der Biologie	179	
Aufbau einer Zelle	181	
Separieren	183	
<b>12</b>	Minerale und Kristalle	185
Minerale	185	
Kristalle	185	
Konoskopie	200	
<b>13</b>	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	

<b>14</b>	Pollen unterwegs	225
Bestäubung	225	
Hibiskus	227	
Daboezia	228	
Rhododendron	230	
Forsythie	231	
Krokus	232	
Koniferen	233	
Pollen im Honig	234	
<b>15</b>	Pflanzen im Dünnschnitt	237
Zwiebel	237	
Sprossachsen	239	
<b>16</b>	Pilze im Alltag	263
Hefepilze	263	
Pinselschimmel	268	
<b>17</b>	Insekten und Spinnen	269
Stubenfliege	269	
Blattlaus	271	
Spinnenfaden	274	
Honigbiene	278	
<b>18</b>	Mensch und Medizin	279
Bakterien	279	
Mundhöhle	282	
Haar	286	
Blut	289	
Urin	302	
Sperma	304	
Kot	306	
<b>19</b>	Sternenhimmel	315
Einstimmung	315	
Photometrie	316	

# **Teil III: Anhang**

<b>A</b>	Bezugsquellen	327
<b>B</b>	Quellennachweis	331
<b>C</b>	Stichwortverzeichnis	333

# Theorie



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.

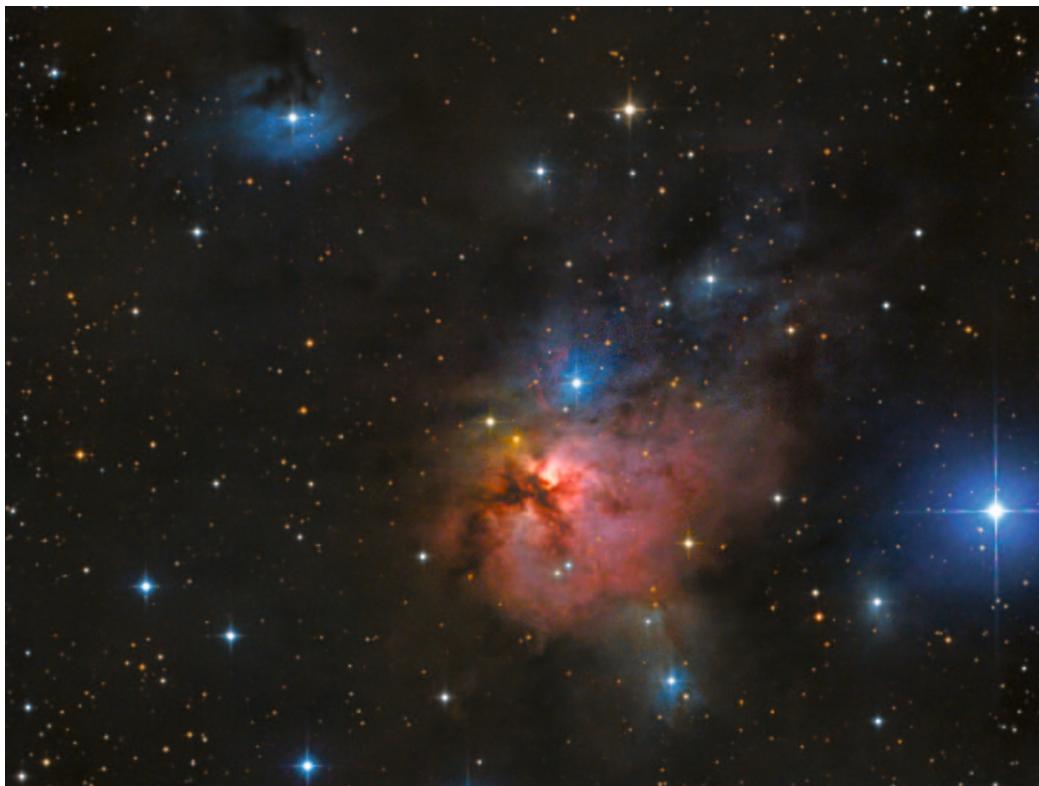
## Wo liegt der Unterschied?

- 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 Beobachten 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 Härteln 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 Glassorte. Bei den besten Objektiven werden fast immer Fluorgläser (z. B. Fluorit  $\text{Ca}_2\text{F}$ ) 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 können<sup>1</sup>, 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.

<sup>1</sup> 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 Tagesslicht-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 Tagesslicht-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.

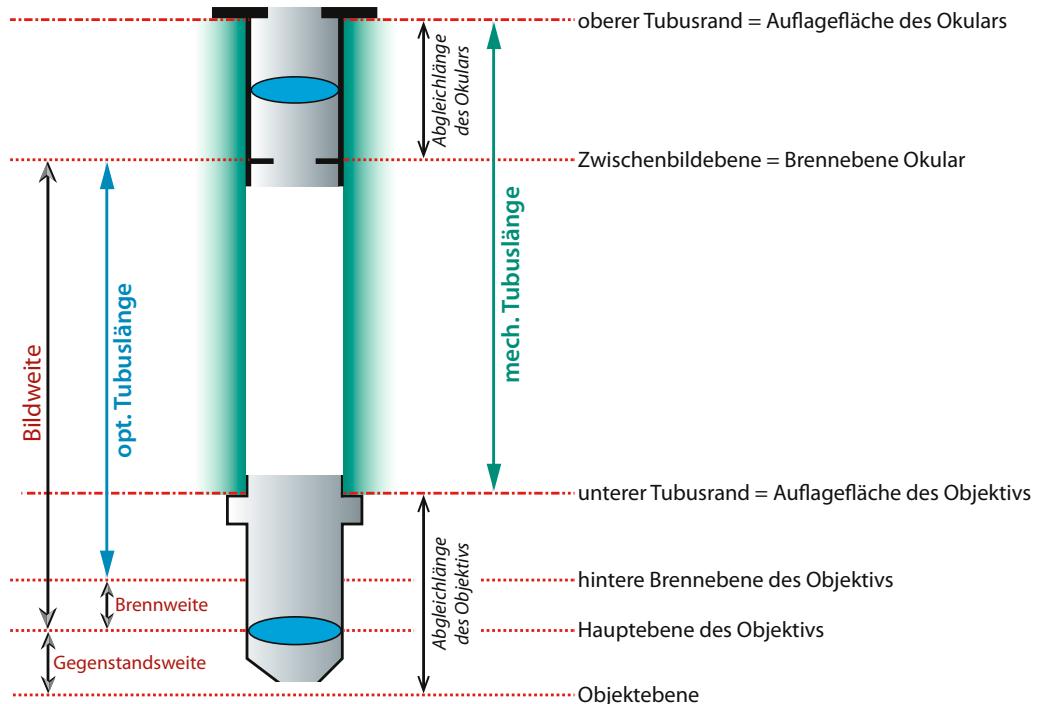
## Kollektor und Kondensor

Kollektor und Kondensor dienen der Optimierung der Beleuchtung nach August Köhler ( $\rightarrow$  *Die Beleuchtung nach Köhler* auf Seite 77). Das diesbezügliche Einstellen des Mikroskops nennt sich *Köhlnern* ( $\rightarrow$  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
$a_{\text{ök}}$	Abgleichlänge des Okulars
$a_{\text{obj}}$	Abgleichlänge des Objektivs
$t_{\text{mech}}$	mechanische Tubuslänge
$t_{\text{opt}}$	optische Tubuslänge

# Funktionsprinzip

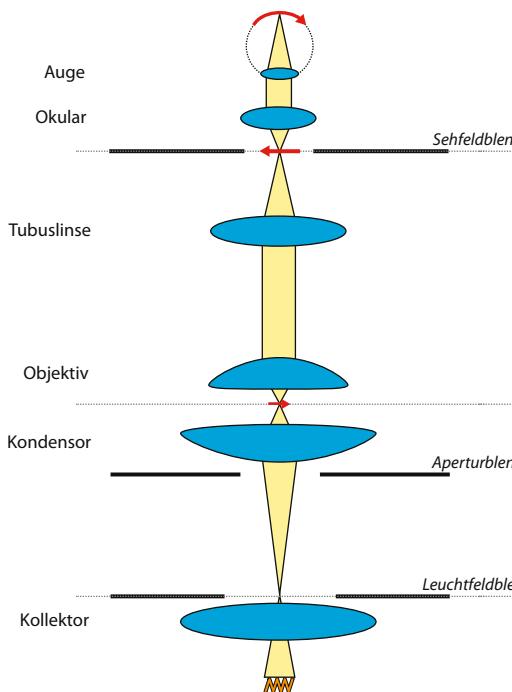
Wie die Abbildung 6.3 schon erahnen lässt, geht es unter anderem um die Unterscheidung zweier Abbildungen: Zum einen soll das Präparat in der Objektebene scharf auf der Netzhaut abgebildet werden, zum anderen soll aber die Lichtquelle auf der Netzhaut maximal unscharf erscheinen. Letzteres gelingt, wenn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

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

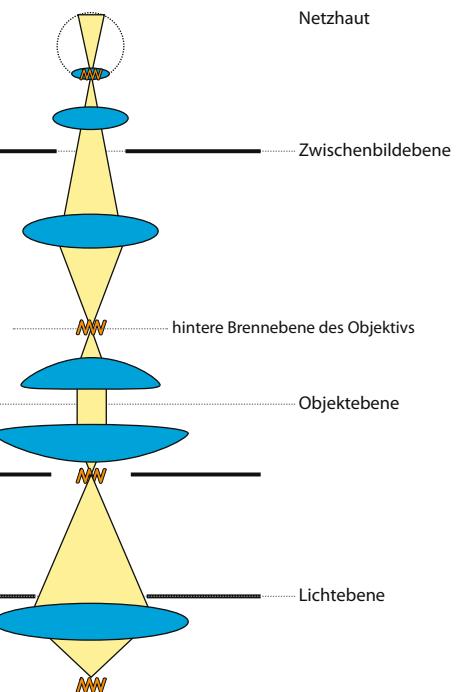
der gesamten Lichtquelle in der Ebene der Leuchtfeldblende (Lichtebene) fokussiert, dann wieder im Objekt und in der Zwischenbildebene und zuletzt auf der Netzhaut.

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 Objektebene und sein Abbild in der Zwischenebene und auf der Netzhaut.

Abbildungsstrahlengang



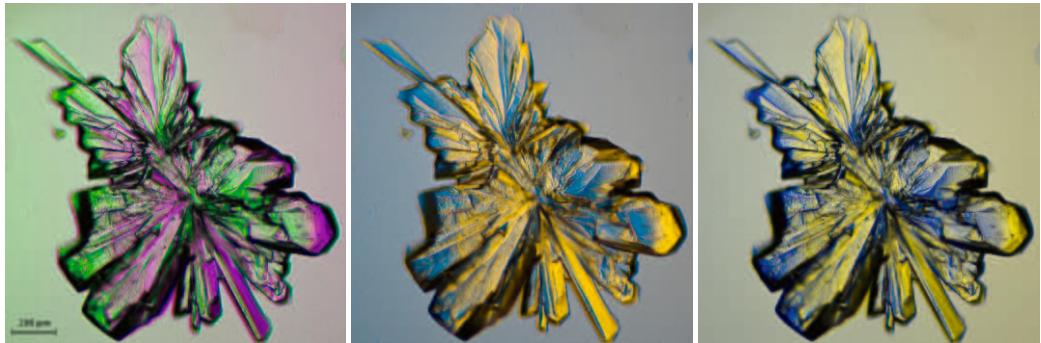
Beleuchtungsstrahlengang



**Abbildung 6.3** Konkurrierende Strahlengänge einer Köhler'schen Beleuchtung in einem Unendlichsystem (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 10x 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 Prise Lichtstreuung (Reflexion) ergibt. Der Effekt ist abhängig vom Präparat.

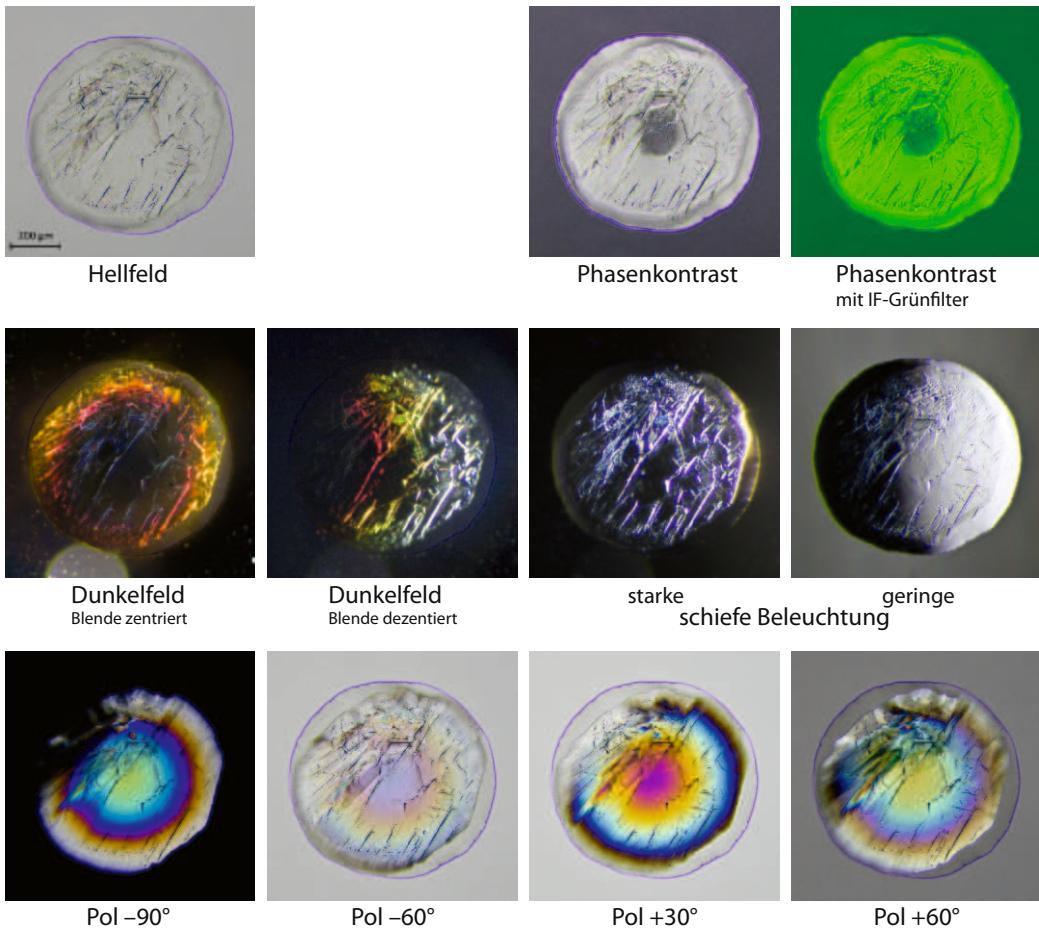
**Vorhandene Schieber** | Hierzu kann man beispielsweise die Ringblende für Dunkelfeld oder Phasenkontrast verwenden und nur teilweise in den Strahlengang schieben. Der Phasenringschieber hat sich hierbei besser gewährt. Gleichzeitig muss man aber auch die Aperturblende jeweils optimieren.

**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 die 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.



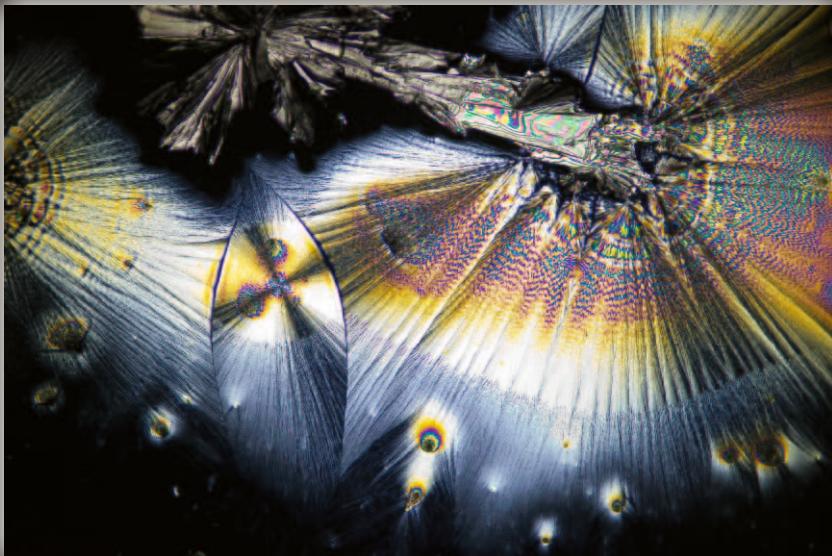
**Abbildung 8.45** Übersicht über alle Kontrastverfahren, mit denen der Minitropfen im Zuckerkristall aufgenommen wurde.

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 schiefen Beleuchtung. Wenn die Dunkelfeldblende exakt justiert ist, wäre das Bild völlig kreissymmetrisch von der Farbbebung. Das ist im ersten Bild fast der Fall. Für das zweite Bild wurde die Blende bewusst dezentriert. Die dezentrierte Dunkelfeldaufnahme ähnelt dem Bild mit schiefem 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  $-90^\circ$  ist der Analysator in Sperrposition zum Polarisator. Jede Winkelposition hat ihr eigenes Erscheinungsbild.

## Teil II



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).

## Dünnabschnitt

Bei Pflanzen sammelt man erst einmal Gewebe-Proben 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 Dünnabschnitte 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.

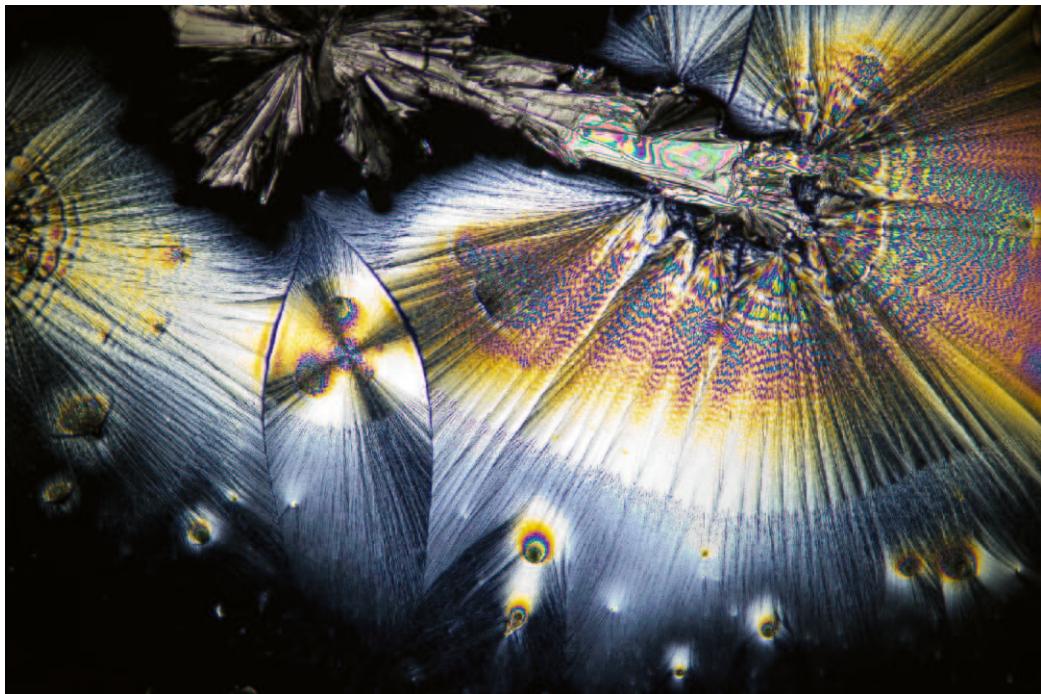
## Schnitte mit der Klinge

**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.

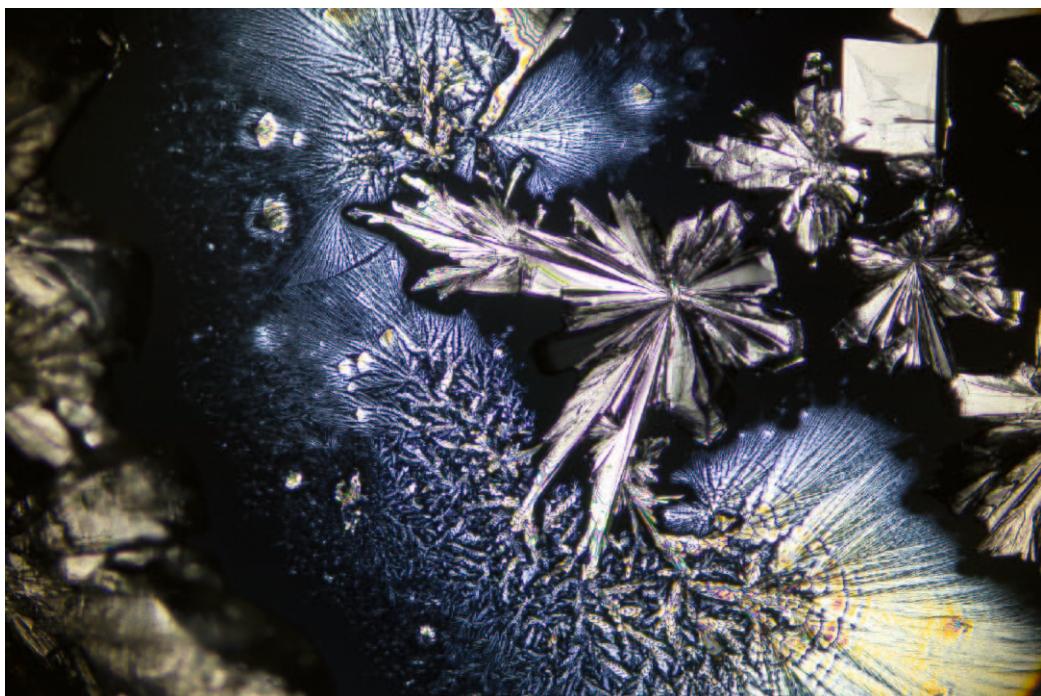
An dieser Stelle muss einmal darauf hingewiesen werden, dass oft von Handschnitten die Rede ist, die Mikrotomschnitten nicht unbedingt unterlegen seien. Mit Mikrotomschnitten sind die mit teuren ›vollautomatischen‹ Maschinen gemeint, mit Handschnitte solche, wo die Hand das Messer bzw. die Klinge führt. 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×.

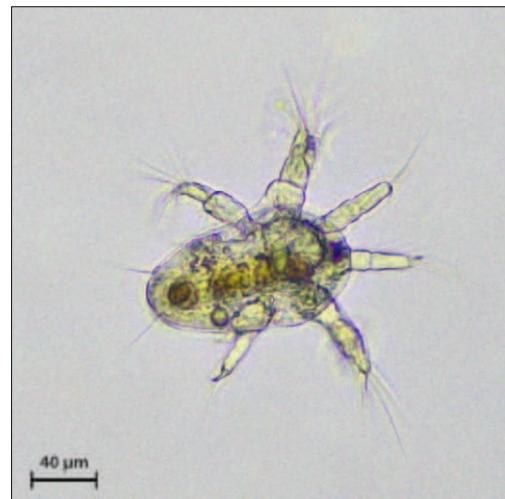


**Abbildung 12.33** Kristallbildung der Ascorbinsäure im polarisierten Licht bei 90° (Sperrposition). Kristallsystem = monoklin. Objektiv = 10×.

## 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.<sup>1</sup> 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 13.31** Nauplius(larve) des Hüpfers (Cyclops), der zu den Ruderfußkrebsen (Copepoda) gehört (Entnahme der Probe: 12.07.2019). Objektiv = 10x, Hellfeld.



**Abbildung 13.30** Adulter Ruderfußkrebs mit Eisack (Entnahme der Probe: 10.03.2020). Objektiv = 10x, Hellfeld, Hintergrund mit Eosin angefärbt, Fokus-stapel aus 30 Bildern.

<sup>1</sup> Die Bezeichnung »Naupliuslarve« ist genau genommen also doppeltgemoppelt.

**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 = 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

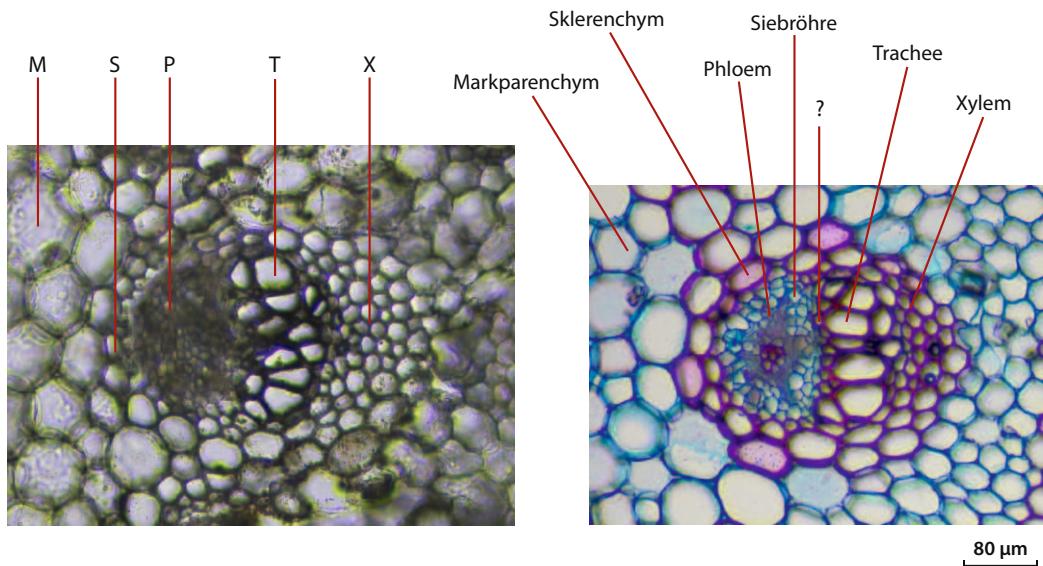
Benötigt wird flüssiger Honig. Ist der zu untersuchende Honig fest oder halbfest, so muss man eine kleine Menge davon in ein Schälchen geben und moderat erwärmen, z. B. in einem Wasserbad bei etwa 50 °C. Sodann nimmt man mit einem Stäbchen (z. B. einem dünnen Glasstab) eine tropfengroße Menge auf und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



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

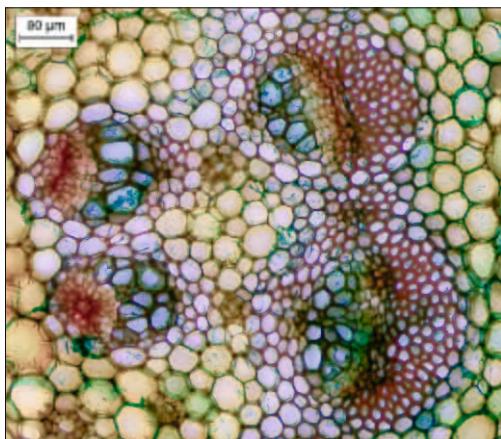
<sup>1</sup> Für Dauerpräparate oder höhere Ansprüche muss man aufwendiger präparieren. Für einen ersten Überblick genügt das oben genannte Verfahren.

## Leitbündel (*Schefflera*)



**Abbildung 15.10** Leitbündel ( $\approx 50 \mu\text{m}$ ) im Blattstiel einer Strahlenaralie (*Schefflera*). Objektiv = 10x, 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).

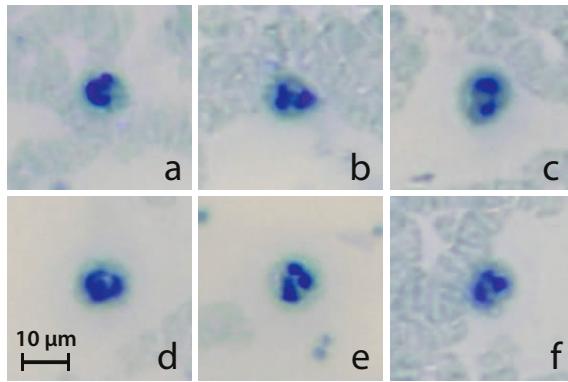
Der Vergleich beider Aufnahmen macht den Nutzen der Anfärbung deutlich: Sklerenchym, Xylem, das fragliche Kambium und das verholzte Phloemzentrum heben sich nur bei Anfärbung deutlich von der Umgebung ab.



**Abbildung 15.11** Leitbündel ( $\approx 40 \mu\text{m}$ ) im Blattstiel einer Strahlenaralie. Objektiv = 10x, 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.

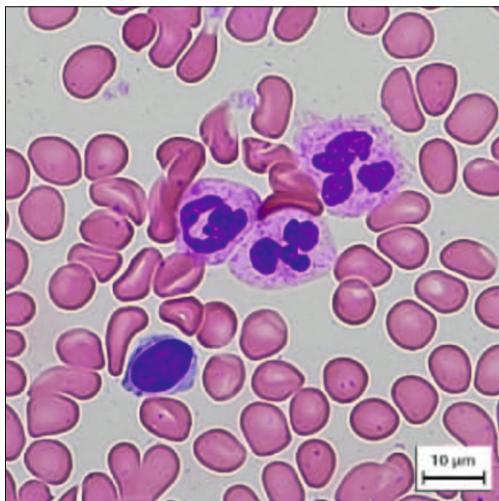
Die Anfärbung mit FCA bringt eher kalte Farben hervor (magenta, blau), die Anfärbung mit W-ASim III eher warme Farbtöne (orange-rot, grün, beige). Dies gilt natürlich nur, wenn keine Bearbeitung der Farben am Computer vorgenommen wurde.



**Abbildung 18.35**

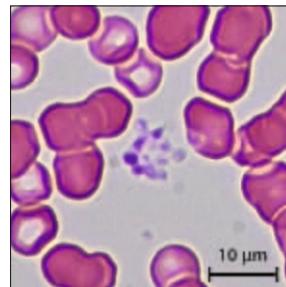
Granulozyten mit mehreren Kernen, eingefärbt mit Methylenblau. Objektiv = 20x, Hellfeld. Es dürfte sich um neutrophile Granulozyten handeln, deren Durchmesser etwa 13 µm beträgt. Sie besitzen 2–3 Kerne von 2–3 µm.

**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.<sup>1</sup>

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

# C Stichwortverzeichnis

## Symbolen

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-Acriflavin-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  
Anschaufung 39  
Anycubic 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  
Auflucht 175  
Auflösung  
    Photographie 92  
Auflösungsvermögen 58, 94  
Auflösungsverzicht durch Abblenden 59  
Auge 60, 66  
Augenfleck 222  
Augentierchen 222  
Ausbreitung des Lichtes 116  
Auskeilen 163  
Ausrüstung 23  
Aussstrich 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  
Borrelien 281  
Botanik 180  
Brechkraft 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  
Cerebralauge 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

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

## E

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

Einstiegsmodelle 41  
Einwirkzeit 169  
Einzeller 180  
Ektoplasma 219  
Elektronenmikroskop 43  
Endlichoptik 38, 47f.  
Endoplasmatisches Retikulum 182, 284  
Endoskelett 220  
Entwässerung 168  
Eosin 170, 296  
Eosinophile 290, 292  
Epidermis 241, 245, 250, 257  
Epipremnum. *Siehe* Efeutute  
Epithelzellen 283f.  
Erkennungsgrenzen 62  
Erythrozyten 289f., 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 171f., 243  
Exkremente 306  
Extine 226–236

## F

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

Färbung 144, 242f., 295  
  Mundhöhle 283  
Farnblatt 125  
Fauna. *Siehe* Zoologie  
Fäzes 306  
FCA. *Siehe* Fuchsin-Chrysoidin-Astrablau  
FCA nach Etzold 242  
Festigungsgewebe 241  
Fettkörnchenzelle 304  
Fettspritzer 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-Objekträger 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 274f.  
Gartenteich 203–224  
Gasfeuerzeug 28  
Gattung 179f.  
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 palatinæ. *Siehe* Gaumendrüsen  
Glandula parotis. *Siehe* Ohrspeicheldrüse  
Glandula sublingualis. *Siehe* Unterzungendrüse  
Glandula submandibularis.  
*Siehe* Unterkieferdrüse  
Glattes ER 182  
Gliederfüßer 214  
Glühbirne 27  
Glyceringelatine 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 210 f.  
Habitus 186  
Halbstrukturformel 150  
Halo 130  
Halogen 69  
Hämatoxylin 170  
Hämatoxylin-Eosin (HE) 170  
Handschnitte 163  
Hand-Zylindermikrotom. *Siehe* Zylindermikrotom  
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  
Hitzefixierung 162  
Hohlschliff-Objektträger 207  
Holundermark 167  
Honig 234–236  
Honigbiene 278  
Hüpferling 214–216  
Hyaliner Zylinder 303  
Hydrocarbonsäure. *Siehe* Ameisenäsäre  
Hydroxidgruppe 150

## I

Includal A 172, 242  
Infrafamilie 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 210 f.  
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, 213 f.  
Klasse 179 f.  
Kochsalz 136 f., 186–189

Kohlensäure 155  
Köhlnern  
Schritt für Schritt 80  
Köhler'sche Beleuchtung 77–86  
Kokkobazillen 282  
Kokzidien 312  
Kollektor 31 f.  
Kollenchym 241  
Komplexauge 270, 272  
Kondensor 31 f., 52  
Koniferen 225–236, 233  
Konoskopie 200  
Konoskopischer Strahlengang 200  
Konservieren 161  
Kontrast 64 f., 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 282  
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 24 f.  
Lactobacillales. *Siehe* Milchsäurebakterien  
Lagerheim 212  
Lagerung  
Farblösungen 171  
Laugen 151  
LED 69, 136, 143  
Leere Vergroßerung 53  
Leitbündel 240

Efeutute 262  
Frühlingskrokus 260  
Strahlenaralie 245, 249, 253  
Lemma. Siehe Wasserlinse  
Lesebrille 44  
Leuchtdichtefunktion 93  
Leuchtring 119  
Leukozyten 285, 289–291, 300  
Licht 115  
Lichtquelle 31, 69–76  
Lichtverhältnisse 22  
Lignin 241  
Lindenstägel 34f., 102f.  
Lineare Auflösung 59  
Linsen 43  
Linsensysteme 44  
Livebild 112  
Lufttröhrenwurm 309  
Lufttrocknung 162  
Lukenstrahlengang 79  
Lumineszenz 142  
Lupe 46  
Lymphozyten 290f.  
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  
Megalozysten 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 290f.  
Mosaik 108, 110  
Motic Panthera C 40  
Motivation  
zum Köhlern 77  
Motorneuronen 102f.  
Mundhöhle 282  
Mundschleimhaut 284f.  
Musca domestica. Siehe Stubenfliege  
Muschelkrebs 217  
Mykologie 180

## N

Nacktsamer 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 Kappalgen  
Oedogonium capillare. Siehe Haar-Kappenring-Grünalge  
Ohrspeicheldrüse 282  
Okular 38, 54f., 57  
Gewinde 39

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

## P

Palisaden 282  
Pantoffeltierchen 221  
Pappenheim 170, 296, 301  
Paraffinschnitt 167  
Paramecium. Siehe Pantoffeltierchen  
Parenchym 239  
Parfokalität 35, 110f.  
Pediastrum. Siehe Zackenräddchen  
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  
Planctomyces 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  
Puppenstrahlengang 79  
Pushen 322–324

---

## Q

Quarzglas 117  
Querschnitt 242, 245–247, 251f., 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 179f.  
Reinigen 173  
Rheinbergfilter 122  
Rhodamin 170  
Rhododendron 230–236  
Rhopalosiphum nymphaeae.  
Siehe Wasserlilienblattlaus  
Ribosomen 182  
Rindenparenchym 239, 245, 257  
Ringblende 126  
Rippenkrebschen, braunes 217  
Rote Blutkörperchen. Siehe Erythrozyten  
Rotifera. Siehe Rädertierchen  
Ruderfußkrebse 214f.

---

## 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 Strahlenralie  
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  
Siebengestirn 321–324  
Siebröhren 245  
Siphon 272f.  
Siphunculus. Siehe Siphon  
Skelettformel 150  
Sklerenchym 241, 245  
Sklerenchymkappen 245  
Solarisation 319–324  
Sonnen tierchen 219  
Speichel 133, 282  
Spektroskopie 71  
Spektrum 69–76, 136, 143  
Spermium 304–306  
Spiegelrückenschlag 111  
Spinnenfaden 274–277  
Spiralbakterien 281  
Spiritusbrenner 27  
Spirochaetae. Siehe Spiralbakterien  
Spirochaetes 281  
Sporoziten 309  
Sporozysten 309, 312  
Sprossachsen 239f.  
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  
Strahlenralie 243, 245–247, 249,  
251–254  
Strahlengang 79, 200  
Strahlentierchen 220  
Strahlteilung 87  
Streichen 165  
Streptobacillus 282  
Streptokokke 279  
Streptokokken 281f., 312  
Streulicht 51  
Streuung 118f.  
Strukturauflösung 62  
Strukturformel 150  
Stubenfliege 269f.  
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 212  
Hibiskus 227  
Hüpferling 214  
Irische Heide (Daboecia) 229  
Kappenalgen 210  
Keratella quadrata 218  
Kiefern gewächse 233  
Kieselalgen 213  
Lagerheim 212  
Nesseltiere 220  
Pantoffeltierchen 221f.  
Pferdehaar-Alge 209  
Sonnen tierchen 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  
Tetraden 229–236  
Tetraden 282  
Theka 226  
Thrombozyten 289–291, 301  
Tierblütlar 225  
Tischhalterung 154  
Toaster 27  
Töten 162  
Toxoplasma 312  
Tracheen 240, 245  
Tracht 186  
Trematoden 309  
Tribus 179 f.  
Trinokularstutus 37  
Trocknung 294  
Tubulus. *Siehe* Nierenkanälchen  
Tubus 37, 52  
Tubuslänge 52  
Tubuslinse 52  
Tunica mucosa oris. *Siehe* Epithelzellen

---

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  
Windblütlar 225  
Winkelfehlsichtigkeit 22  
Winkelmessung  
Polarisation 134  
Winkelskala 135  
Wohlfühlfaktor 23

---

## U

Überführen 167  
Überlagerung 104  
Umrechnungsfunktion 319–324  
Umschließen 166  
Unendlichoptik 38  
Unendlichsystem 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

---

**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

---

## V

Vakuole 182  
VAREL-Kontrast 133  
Vegetative Zelle 226–236

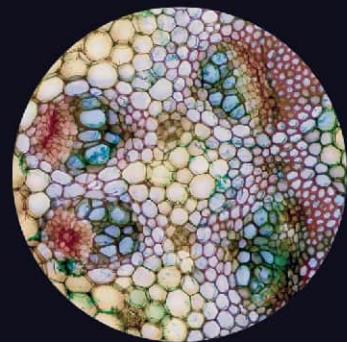
Zentrifugieren 302  
Zentriol 182  
Zerrupfen 163  
Ziehschnitt 165  
Zitronensäure 193  
Zooflagellaten 221  
Zoologie 180  
Zucker 120, 125, 132, 136–139, 190 f., 201  
Zuckerhefe 263  
Zungenabstrich 285  
Zwiebel 237 f.  
Zylindermikrotom 164, 166 f.  
Zysten 309  
Zytologie 181

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

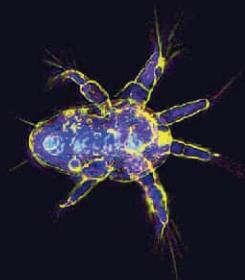
Dieses etwas andere Buch beschreibt die Mikroskopie aus Sicht eines Astrophysikers, der Lust auf Optik hat, aber keine besonderen Ambitionen zum mühevollen Präparieren verfügt. Die wundervolle Welt im Mikrokosmos wird in zahlreichen Büchern und Onlineartikeln ausführlich und präzise aus Sicht erfahrener 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 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 begegneten. 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

