

DIE ENTWICKLUNG UND DER GEGENWÄRTIGE STAND DER MIKROSKOPIE

Hiezu 3 Abbildungen
Seite 46, 47 und 48

Von DR. FRITZ BRÄUTIGAM, Wien

Das Erscheinen einer neuen Zeitschrift für Mikroskopie und ihre Anwendung in Wissenschaft und Technik rechtfertigt wohl den Versuch, einen Überblick über die Entwicklung und den derzeitigen Stand dieses Wissensgebietes zu geben. Zu diesem Zwecke will ich zuerst die gebräuchlichsten mikroskopischen Instrumente in ihrem heutigen Entwicklungsstand beschreiben, dann die Arbeitsmethoden zur Steigerung ihrer Leistungsfähigkeit erörtern und schließlich an Hand von Beispielen zeigen, welche weitgehende Verbreitung die mikroskopischen Untersuchungsmethoden in fast allen Disziplinen der Wissenschaft und der Technik gefunden haben.

Monokulare, binokulare und Stereo-Mikroskopie.

Im allgemeinen Sprachgebrauch versteht man unter „Mikroskop“ ein für die Betrachtung mit nur einem Auge bestimmtes „Monokulares Mikroskop“. In der Mehrzahl aller Fälle findet man auch tatsächlich mit der Betrachtung mit nur einem Auge sein Auslangen. Demgemäß werden auch die von den optischen Firmen in großen Serien erzeugten Instrumente — letzten Endes auch aus preistechnischen Gründen — nur als monokulare Mikroskope gebaut. Aber jeder Mensch, der über zwei gesunde Augen verfügt, ist von Natur aus bestrebt, sie beide zu benutzen. Es ist auch nicht zu leugnen, daß die Arbeit mit beiden Augen nicht nur angenehmer und weniger ermüdend ist, sondern daß auch die unserem Gehirn vermittelten Sinneseindrücke irgendwie lebendiger und eindrucksvoller sind. Es ist daher nicht verwunderlich, daß die Bemühung um die Schaffung eines „Binokularen Mikroskopes“ sehr weit zurückliegen; schon im Jahre 1678 wird erstmalig ein binokulares Mikroskop erwähnt. Der Grundgedanke dieser Konstruktion lag im Zusammenbau zweier optisch selbständiger Mikroskope. Diese Bauart fand ihren Abschluß um die Jahrhundertwende in den „Binobjektiven-binokularen Mikroskopen“. Sie sind, da sie durch ein zwischen den Objektiven und den Okularen eingebautes Umkehrsystem aufrechte und seitenrichtige Bilder liefern, auch heute noch für viele Zwecke, insbesondere für Präparationen unentbehrlich. Allerdings können diese Geräte nur für schwache und mittlere Vergrößerungen verwendet werden, denn es ist technisch unmöglich, zwei stärkere Objektive sowohl genügend knapp nebeneinander als auch hinreichend nahe vom Präparat anzuordnen. Um die binokulare Betrachtung auch für stärkere und stärkste Vergrößerungen verwerten zu können, wurden dann die „Monobjektiven-binokularen Mikroskope“ entwickelt. Bei diesen wird, wie beim monokularen Instrument, nur ein einziges Objektiv verwendet, aber das von diesem gelieferte Lichtbündel wird entweder durch entsprechend angeordnete Prismen

(geometrische Strahlenteilung) (HEIMSTÄDT [1]) oder mit Hilfe einer halbdurchlässigen Spiegelschicht (physikalische Strahlenteilung) (HEIMSTÄDT [2]) geteilt und beiden Augen je eine Hälfte zugeführt. Die genau halbdurchlässige Spiegelschicht liefert ein Bild, das auch bei den stärksten Vergrößerungen dem monokularen in bezug auf Auflösung kaum nachsteht. Es ist daher begreiflich, daß heute die für schwierigere Arbeiten erzeugten wertvolleren Mikroskope fast durchwegs binokular ausgeführt werden.

Das Sehen mit beiden Augen ist aber nicht nur angenehmer und eindrucksvoller, sondern durch die paarweise Anordnung unserer Sehorgane wird überhaupt erst das räumliche, das stereoskopische Sehen vermittelt. Aus diesem Grunde ging das Bestreben dahin, auch das Mikroskop nicht nur als binokulares Instrument, sondern auch als stereoskopisches auszubilden. Für schwache und mittlere Vergrößerungen war das Problem des Stereo-Mikroskopes durch das oben schon beschriebene binobjektiv-binokulare Stereo-Mikroskop vollkommen gelöst. Es ist ja ohne weiteres verständlich, daß die beiden optisch selbständigen Mikroskope dieser Type den beiden Augen parallaktisch verschiedene Bilder zuführen und so zwangsweise eine räumliche Anschauung vermitteln. Nicht so einfach ist die konstruktive Lösung für das monobjektive binokulare Stereo-Mikroskop. Dieses Problem wurde nach verschiedenen wohl brauchbaren, aber nicht vollwertigen Versuchen in der Weise gelöst, daß die zur physikalischen Strahlenteilung verwendete halbdurchlässige Spiegelschicht nicht in ihrer ganzen Fläche gleichartig, sondern von links nach rechts stetig ansteigend, auf das Teilungsprisma aufgebracht wird (HEIMSTÄDT [3]), wodurch eine parallaktische Verschiedenheit der den beiden Augen zugeordneten Bilder erreicht wird.

Die Auflichtmikroskopie.

Die Beleuchtung mit auffallendem Lichte stellt eigentlich die ursprünglichste dar. Durch Konzentration des Lichtes mit Hilfe einer mit Wasser gefüllten Glaskugel, durch Linsen oder Spiegel wurde das Objekt ursprünglich von oben beleuchtet. Erst seitdem es den Mikroskopikern gelang, von der zu untersuchenden Materie so dünne Schnitte herzustellen, daß ihre Durchleuchtung möglich wurde, begann man im Durchlicht zu arbeiten, und zwar in einem Ausmaß, daß darüber die Auflichtmikroskopie fast vollkommen in Vergessenheit geriet. Erst als in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts das Mikroskop zur Materialprüfung herangezogen wurde und sich besonders die Metallographie rasch entwickelte, kam die Auflichtmikroskopie wieder zu einer gewissen Wertschätzung. Diese Beleuchtungsmethode entwickelte sich im Laufe der Zeit zu solcher Bedeutung, daß man heute behaupten kann, die neuesten Fortschritte der Technik seien letzten Endes dem durch die Auflichtmikroskopie möglich gemachten genauesten Studium der Materialbeschaffenheit zu verdanken. Die einfachsten Auflichtbeleuchtungseinrichtungen („Opakilluminatoren“) waren in den mikroskopischen Strahlengang

eingebaute, unter 45° zur optischen Achse gestellte Plättchen aus klarem Glas („Planplättchen“) oder einseitig angeordnete Prismen oder Spiegel. Da bei dieser Art der Auflichtbeleuchtung das beleuchtende Licht durch das Innere des Mikroskop-Objektives auf das Präparat geführt wird, bezeichnet man sie als „Auflicht-Innenbeleuchtung“. Das Verfahren eignet sich sehr gut zur Untersuchung hochglanzpolierter, metallographischer Schriffe, wobei die glänzende Metallfläche hell, die Strukturdetails, besonders die Korngrenzen, dunkel erscheinen; man spricht daher auch von einem „Auflicht-Hellfeld“. So gut die Auflicht-Innenbeleuchtung für die Untersuchung von hochglanzpolierten Metallschliffen geeignet ist, so wenig eignet sie sich für die Arbeit mit biologischen Objekten und rauhen Materialien. Für solche Untersuchungen wurde eine eigene Methode der Auflicht-Beleuchtung entwickelt (P. RAMSTHALER [4]), bei welcher das Licht durch das Mikroskop-Objektiv umgebende ringförmige Prismen oder Spiegel auf das Präparat geführt wird. Da also in diesem Falle die Lichtzuführung außerhalb des Mikroskop-Objektives erfolgt, spricht man von einer „Auflicht-Außenbeleuchtung“. Wird diese Beleuchtungsmethode bei hochglanzpolierten, metallographischen Schriffen verwendet, so entsteht ein Effekt, der sich zu dem mit Auflicht-Innenbeleuchtung erhaltenen ungefähr wie ein Negativ zu einem Positiv verhält. Glänzende Metallflächen erscheinen nämlich bei der Auflicht-Außenbeleuchtung dunkel, während die Strukturdetails hell aufleuchten. Das Verfahren wird daher auch als „Auflicht-Dunkelfeld“ bezeichnet, ein Ausdruck, der aber nicht sehr glücklich gewählt ist, denn die Auflicht-Außenbeleuchtung zeigt bei biologischen und rauhen Objekten — für welche sie ja eigens entwickelt wurde — helle Bilder ohne Andeutung irgend eines dunklen Hintergrundes.

Die Polarisationsmikroskopie.

Im weiten Gebiet der mikroskopischen Untersuchungsmethoden überhaupt nehmen die Untersuchungen im polarisierten Lichte eine nur bescheidene Stelle ein. Obwohl die Konstruktion des Polarisationsmikroskopes schon etwa 130 Jahre zurückliegt, waren die Untersuchungen im polarisierten Lichte bis vor kurzem fast ausschließlich das ureigenste Privileg der Mineralogen, denn vor allem ihr Untersuchungsmaterial verhält sich in gewöhnlichem Lichte anders als im polarisierten. Geht polarisiertes Licht durch ein Objekt, das sich nicht nach allen Richtungen hin optisch gleichartig („optisch isotrop“) verhält, sondern nach kristallographisch verschiedenen Richtungen verschieden („optisch anisotrop“) ist, oder fällt polarisiertes Licht auf ein solches Objekt, so treten Erscheinungen auf, die sich von denen in gewöhnlichem Lichte durchaus unterscheiden. Diese Effekte wurden in der Mineralogie zu einem wichtigen diagnostischen Merkmal der zu untersuchenden Materie entwickelt. Lange Jahre hindurch beschränkten sich diese Untersuchungen nur auf die Polarisations-Durchlichtmikroskopie. Mit der Entwicklung der Auflichtmikroskopie wurden aber die

Untersuchungen mit polarisiertem Lichte auch auf diesem Gebiet mit Erfolg angewendet. Die so entstandene **Polarisations-Auflichtmikroskopie** hat sich zu einer selbständigen Wissenschaft hauptsächlich für die Untersuchung der Erze entwickelt. Eine wesentliche Erweiterung fand die Polarisationsmikroskopie durch die sogenannten Polarisationsfilter, mit welchen jedes biologische Mikroskop einfach und billig für Untersuchungen mit polarisiertem Licht ausgebaut werden kann. Heute gehören polarisationsmikroskopische Untersuchungen bereits zu den selbstverständlichen Methoden auch des Biologen, des Mediziners und des Technologen, und sie haben einen wesentlichen Anteil an der Erforschung des strukturellen Aufbaues anorganischen wie organischen Materiales.

Die Deutlichkeit des mikroskopischen Bildes.

Man kann die Objekte der mikroskopischen Untersuchungen nur dann deutlich erkennen, wenn sie zwei Bedingungen entsprechen:

1. Das zu untersuchende Objekt muß sich in seinem Lichtbrechungsvermögen (Brechzahl!) wesentlich von seiner Umgebung, dem „Medium“, unterscheiden („Diffraktionsbild“) oder aber

2. das zu untersuchende Objekt muß sich in seiner Farbe (selektive oder generelle Absorption) wesentlich von seiner Umgebung, dem „Medium“, unterscheiden („Absorptionsbild“).

Da die meisten zu mikroskopierenden Materialien den eben genannten Forderungen nur wenig entsprechen, wurden eine ganze Reihe von Methoden zur Verdeutlichung des mikroskopischen Bildes entwickelt, die — von größter Wichtigkeit für die gesamte Mikroskopie — im folgenden besprochen werden.

E i n b e t t u n g.

Ganz allgemein ist es in der Mikroskopie gebräuchlich, zu untersuchende Objekte in ein Medium einzubetten, dessen Brechzahl sich möglichst stark von der des Objektes unterscheidet. Die diesbezüglichen Möglichkeiten sind aber nur beschränkt und bringen in vielen Fällen nur unzureichende Ergebnisse.

F ä r b u n g.

So begrenzt die Möglichkeiten der Verdeutlichung im Wege der Einbettung sind, so groß sind sie bei den Färbemethoden. Durch die Anwendung besonders ausgewählter organischer Farbstoffe gelingt es, so gut wie alle organischen — tierische, menschliche wie pflanzliche — Gewebe außerordentlich intensiv anzufärben, wodurch sie in ihrer ungefärbten Umgebung bequem und deutlich sichtbar werden. Im Laufe der Jahre hat sich die mikroskopische Färbung geradezu zu einer Spezialwissenschaft entwickelt, welche es möglich macht, durch allerdings oft ziemlich langwierige und komplizierte Verfahren verschiedene Gewebsarten in verschiedenen scharf kontrastierenden Farben

anzufärben. Eine reiche Literatur kann über die schier zahllosen Verfahren unterrichten.

Dunkelfeld-Mikroskopie.

Es gibt aber eine Reihe von Fällen, bei welchen eine Verdeutlichung des mikroskopischen Bildes weder durch die Wahl eines entsprechenden Einbettungsmittels, noch durch Färbung möglich ist, so vor allem bei der Untersuchung von lebenden Mikro-Organismen, die man zumeist nicht färben, jedenfalls aber nicht leicht umbetten kann. Um solche Objekte bequem und deutlich sichtbar zu machen, wird eine eigenartige Beleuchtungsmethode angewendet. Bei der normalen Durchlichtmikroskopie wird das Objekt von dem vom Kondensator gelieferten Licht durchleuchtet wie ein Diapositiv. Die Details erscheinen also mehr oder weniger dunkel in einem hellen Feld („H e l l f e l d“) und gehen in ungünstigen Fällen in der Überfülle des durchströmenden Lichtes verloren. Beim „D u n k e l f e l d“ wird das Licht wohl auch vom Mikroskopkondensator geliefert, zur Beleuchtung werden aber nur so flach schräg verlaufende Beleuchtungsstrahlen verwendet, daß diese wohl das Präparat a n - leuchten, selbst aber nicht in das Mikroskop-Objektiv und damit auch nicht in das Auge des Beobachters gelangen können. Das Ergebnis ist ein Bild, in welchem die Details des Präparates hell beleuchtet auf dunklem Grund erscheinen und jede Überstrahlung ausgeschlossen ist. Mit einem nach den Angaben von O. HEIMSTÄDT (6) von der Firma Optische Werke C. REICHERT gebauten Dunkelfeldkondensator gelang es vor rund 40 Jahren den beiden österreichischen Forschern LANDSTEINER und MUCHA (5) im Allgemeinen Krankenhaus in Wien, den Erreger der Syphilis, die Spirochaeta pallida, erstmalig lebend im frischen Sekretausstrich festzustellen.

Optische Färbung („Opticolor-Verfahren“).

Eine geschickte Weiterentwicklung des Dunkelfeldes stellt die optische Färbung dar. Bei dieser erfolgt die Beleuchtung ähnlich wie beim Dunkelfeld. Die steil verlaufenden Beleuchtungsstrahlen werden aber nicht ausgeblendet, sondern man erteilt den durchleuchtenden und den a n leuchtenden Beleuchtungsstrahlen durch einen ringförmigen Zweifarbenfilter verschiedene Buntfarben. Der Erfolg ist ein Bild, bei welchem sich die Einzelheiten des Präparates mit Licht einer Farbe, z. B. rot beleuchtet, von ihrer mit Licht einer Kontrastfarbe, z. B. grün, durchleuchteten Umgebung prägnant abheben.

Fluoreszenzmikroskopie.

Im allgemeinen muß jedes mikroskopische Präparat, um es überhaupt sehen zu können, mit Tageslicht oder Kunstlicht durchleuchtet oder angeleuchtet werden. Bei der Fluoreszenzmikroskopie liegt die Sache insoweit anders, als bei ihr das Präparat künstlich zum Selbstleuchter gemacht wird. Im wesent-

lichen beruht das Verfahren darauf, daß fast alle biologischen Gewebe und sehr viele organische und anorganische Stoffe bei Bestrahlung mit dem zwar lichtähnlichen, aber unsichtbaren Ultraviolett selbständig aufleuchten, daß sie „fluoreszieren“. Um die Methode auf das Mikroskop zu übertragen, ist zweierlei notwendig: Fürs erste ist eine kräftige Ultraviolett-Strahlungsquelle notwendig; dazu wurden anfangs hochbelastete Kohlenbogenlampen, später Eisenbogenlampen und in den letzten Jahren Quecksilberdampfbogenlampen (sogenannte „Quarzlampen“) verwendet. Zweitens muß das von jeder dieser Strahlungsquellen in großer Menge mitgelieferte gewöhnliche, sichtbare Licht entfernt werden, da es mit seiner Fülle jede Beobachtung der doch nur lichtschwachen Fluoreszenzerscheinungen unmöglich machen würde; die Trennung gelingt leicht durch entsprechende Filter. Die Beobachtung selbst erfolgt durch ein normales Mikroskop.

Das erste Fluoreszenz-Mikroskop (HEIMSTÄDT [8]) wurde schon 1911 von der Firma Optische Werke C. REICHERT (REICHERT [9]) entwickelt. Die Apparatur war nicht sonderlich bequem im Gebrauch, aber die grundlegenden Untersuchungen konnten doch mit ihr gemacht werden. Trotz ermutigender Anfangserfolge verfiel die Fluoreszenzmikroskopie dann in eine Art Dornröschenschlaf, aus welchem sie erst in den dreißiger Jahren dieses Jahrhunderts von Dr. h. c. MAX HAITINGER erweckt wurde. Ihm ist sowohl die Entwicklung brauchbarer Ultraviolettstrahler als auch die Einführung der sogenannten „Fluorochrome“ zu danken. Sehr viele Materialien zeigen bereits im ganz unbehandelten Naturzustand eine deutliche Fluoreszenz in bestimmter Farbe, man nennt dies die „Primär-Fluoreszenz“. Manche Materialien fluoreszieren dagegen im unbehandelten Zustand entweder gar nicht oder nur sehr schwach oder aber es fluoreszieren stofflich verschiedene Materialien in gleicher Farbe. Behandelt man solche nicht oder wenig oder gleichfarbig fluoreszierende Stoffe mit bestimmten Chemikalien, den „Fluorochromen“, so gelingt es in den meisten Fällen, sie zu kräftiger Fluoreszenz anzuregen und wesensverschiedene Stoffe auch durch unterschiedliche Fluoreszenzfarben zu charakterisieren; man nennt die durch die Fluorochrome verstärkte oder modifizierte Fluoreszenz die „Sekundärfluoreszenz“. Das Fluoreszenzverfahren hat in manchen Gebieten die Färbemethoden ziemlich verdrängt, einerseits weil sich mit ihm die vielfältigsten Differentialfärbungen unvergleichlich einfacher und rascher erreichen lassen, andererseits, weil bei der Fluoreszenzmethode die bei den gewöhnlichen Färbungen oft unvermeidlichen groben physikalischen und chemischen Eingriffe in das Untersuchungsmaterial vermieden werden (P. DANKWORTH [10]) (M. HAITINGER [11 u. 12]).

Phasenkontrastverfahren.

Nur kurz sei noch eine neue Methode zur Verdeutlichung des mikroskopischen Bildes erwähnt, das „Phasenkontrastverfahren“. Während eine Darstellung seines Prinzipes (F. ZERNIKE [13]) im vor-

liegenden Rahmen nicht gegeben werden kann, sei über seine Wirkung nur so viel bemerkt, daß die mit ihm gewonnenen Bilder irgendwie zwischen Hellfeld und Dunkelfeld stehen; wie beim Hellfeld erscheinen die Einzelheiten dunkel auf hellem Grund, wie beim Dunkelfeld tritt aber eine ganz beträchtliche Steigerung der Kontraste ein.

Das Auflösungsvermögen des Mikroskopes

Die verschiedenen eben erwähnten Verfahren dienen durchwegs nur der Verdeutlichung des mikroskopischen Bildes, dagegen bewirkt keines von ihnen eine Steigerung des Auflösungsvermögens des Mikroskopes. Dieses letztere ist bekanntlich abhängig von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes und der numerischen Apertur des Mikroskop-Objektives, eine Verbesserung des Auflösungsvermögens kann also nur von diesen Seiten her erfolgen. Was die numerische Apertur anlangt, so sind die modernen Objektivkonstruktionen schon ziemlich an der Grenze des technisch Möglichen angelangt und die obere Grenze ist so ziemlich erreicht. Eine Erhöhung des Auflösungsvermögens kann daher nur mehr von der Seite der Wellenlänge der Strahlung erwartet werden.

Ultraviolett-Mikroskopie.

Ein Versuch zur Steigerung des Auflösungsvermögens durch Herabsetzung der Wellenlänge ist die „Ultraviolett-Mikroskopie“ (A. KÖHLER [7]). Bei dieser wird statt mit sichtbarem Licht (Wellenlänge im Mittel 5500 \AA) mit Ultraviolett der Wellenlänge 2800 \AA gearbeitet. Die Überlegung war zwar richtig, das Ergebnis einer aufs Doppelte gesteigerten Auflösung steht aber in keinem rechten Verhältnis zum Aufwand an Apparatur und zur Unbequemlichkeit des Verfahrens, weshalb die Ultraviolett-Mikroskopie heute so ziemlich aufgegeben ist. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, daß das Ultraviolett bei der Mikroskopie in drei durchaus verschiedenen Weisen verwendet wird, welche leider — auch von Sachkundigen — vielfach verwechselt werden:

1. Zur Steigerung des Auflösungsvermögens („Ultraviolett-Mikroskopie“ nach KÖHLER),
2. zur Feststellung des selektiven Absorptions- und Reflexionsvermögens eines Materiales gegenüber Ultraviolett,
3. als Erregerstrahlung bei der Fluoreszenzmikroskopie.

Elektronenmikroskop.

Eine wirkliche, und zwar eine ganz gewaltige Steigerung des mikroskopischen Auflösungsvermögens wurde durch das in der letzten Zeit viel genannte „Elektronenmikroskop“ oder „Übermikroskop“ erreicht. Die Beschreibung dieses Gerätes und des ihm zugrunde liegenden Verfahrens gehört

aber nicht in den Rahmen dieser Betrachtungen, denn beim Elektronenmikroskop handelt es sich überhaupt um kein optisches Gerät, sondern um eine ausschließlich elektrische Apparatur, deren Wesen und Handhabung mit dem herkömmlichen „Lichtmikroskop“ nichts gemein hat. Nur so viel sei vermerkt, daß sich heute das große Gebiet der Mikroskopie in zwei Sektoren geteilt hat: was größer ist als rund $\frac{1}{2000}$ mm, gehört dem Lichtmikroskop zu, was kleiner ist, dem Elektronenmikroskop.

Literatur

1. *Heimstädt, O.*, Ein stereoskopischer Aufsatz für Mikroskope. Z. wiss. Mikroskop. mikroskop. Techn. **38** (1921): 321—333
2. *Heimstädt, O.*, Eine neue Strahlenteilung für stereoskopische Mikroskope. Z. wiss. Mikroskop. mikroskop. Techn. **40** (1923): 271—278
3. *Heimstädt, O.*, Eine Strahlenteilung für binokulare Mikroskope mit stetig wachsender Dichte des Belages. Z. wiss. Mikroskop. mikroskop. Techn. **46** (1929): 470—475
4. *Ramsthaler, P.*, Über einen neuen Opakilluminator. Z. wiss. Mikroskop. mikroskop. Techn. **54** (1937): 318—327
5. *Landsteiner, K., Mucha, V.*, Zur Technik der Spirochätenuntersuchung. Wien. klin. Wschr. **19** (1906): 1349—1350
6. *Heimstädt, O.*, Apparate und Arbeitsmethoden der Ultramikroskopie und der Dunkelfeldbeleuchtung. Stuttgart, 1915
7. *Köhler, A.*, Mikrophotographische Untersuchungen im ultravioletten Licht. Z. wiss. Mikroskop. mikroskop. Techn. **21** (1904): 273—304
8. *Heimstädt, O.*, Das Fluoreszenzmikroskop. Z. wiss. Mikroskop. mikroskop. Techn. **28** (1911): 330—337
9. *Reichert, K.*, Das Fluoreszenzmikroskop. Physik. Z. **12** (1911): 1010—1011
10. *Danckwortt, P.*, Lumineszenzanalyse im filtrierten ultravioletten Licht. Leipzig, 1940
11. *Haitinger, M.*, Die Fluoreszenzanalyse in der Mikrochemie. Wien, Leipzig, 1937
12. *Haitinger, M.*, Fluoreszenzmikroskopie. Ihre Anwendung in der Histologie und Chemie. Leipzig, 1938
13. *Zernike, F.*, Das Phasenkontrastverfahren bei der mikroskopischen Beobachtung. Z. techn. Physik. **16** (1935): 454—457

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Mikroskopie - Zentralblatt für Mikroskopische Forschung und Methodik](#)

Jahr/Year: 1946/1947

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Bräutigam Fritz

Artikel/Article: [Die Entwicklung und der gegenwärtige Stand der Mikroskopie. 56-63](#)