

Der Ausbau des Mikroskopes zum modernen Forschungsinstrument

Von Prof. Dr. E. Hintzsche

Noch in der Mitte des 18. Jahrhunderts gelangen der wissenschaftlichen Mikroskopie ihre Fortschritte so gut wie ausschließlich mit Hilfe stark vergrößernder Einzellinsen oder einfacher Linsensysteme, die wir heute Lupen nennen würden. Die Überlegenheit zusammengesetzter Mikroskope konnte erst zur Geltung kommen, nachdem die in den Brechungsgesetzen des Lichtes gelegenen störenden Faktoren erforscht und Möglichkeiten zu ihrem Ausgleich gefunden worden waren. Lange hatte man sich mit der Wölbung der Bildebene als einem unvermeidlichen Übel abgefunden und höchstens versucht, sie durch Einschalten von Lochblenden zu verringern, was natürlich nur auf Kosten der Bildhelligkeit und der Sehfeldgröße geschehen konnte. Weit mehr gestört hatte dagegen die un-

gleiche Zerstreung der Komponenten des Sonnenlichtes auf seinem Wege durch die Linsen; sie bewirkte, daß die Konturen der Einzelteile in jedem Präparat farbig und unscharf waren.

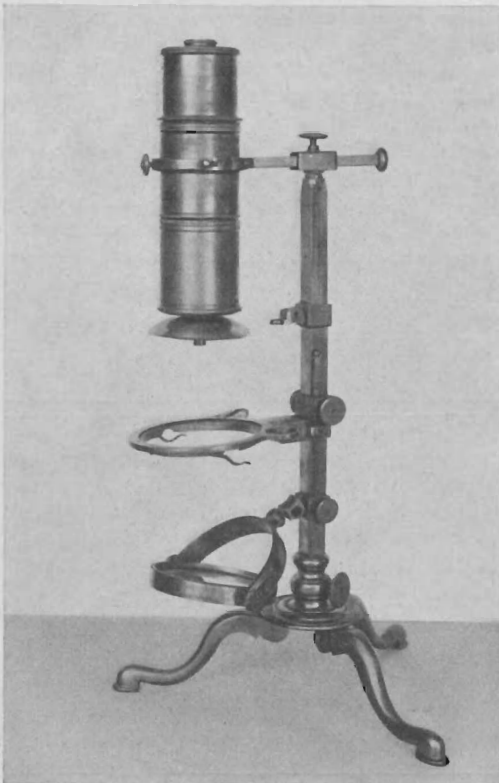
In grundlegenden Versuchen über den Gang der Lichtstrahlen durch Linsen hatten Christiaan Huyghens (1629–1695) und Isaac Newton (1643–1727) die Kenntnisse über die Fernrohr- und Mikroskop-Optik vertieft. Die Farbzerstreung des Lichtes war bekannt, das Mittel zu ihrer Abhilfe hatte der Professor der Mathematik und Astronomie David Gregory (1661–1708) im Prinzip schon 1695 in der Kombination von brechenden Medien verschiedener Farbzerstreung gefunden. Auf Grund unzureichender Versuchsanordnungen hatte Newton zwar den Bau achromatischer Linsensysteme für praktisch unmöglich erklärt, die Praxis widerlegte jedoch seine Meinung: Chestor Moor Hall (1704–1771), ein englischer Edelmann, konstruierte 1733 ein achromatisches Fernrohr-objektiv aus je einer Kron- und einer Flintglaslinse. Handelsmäßig stellte John Dollond (1706–1761) solche Objektive von 1758 an her, nachdem er von der Erfindung Halls Kenntnis erhalten hatte.

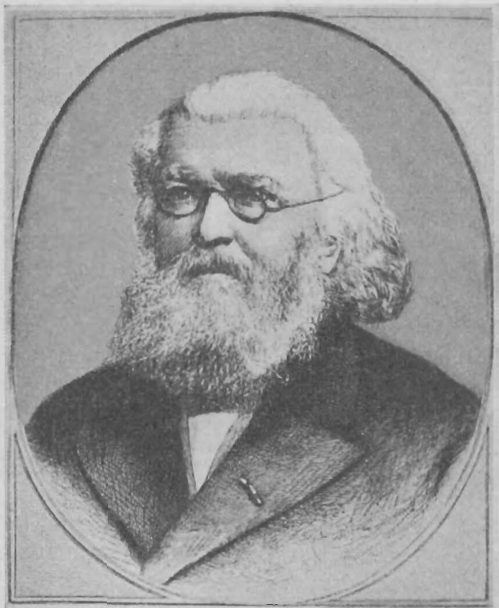
Leonhard Euler (1707–1783) konnte 1771 nach längeren Vorarbeiten den Wert dieser Konstruktion auch theoretisch begründen; nachdem er selbst schon 1768 über ein neues Mikroskop mit sechs Linsen berichtet hatte, veranlaßte er 1774 Nicolaus Fuß (1755–1826) ein achromatisches Mikroskop zu berechnen.

Das von dem damals in Leiden lebenden Dellebarre herausgebrachte Mikroskop war angeblich nach diesen Berechnungen von Euler konstruiert worden, was jedoch nicht zutrifft. Das Instrument erfüllte auch die Erwartungen nicht, denn die im Okular vereinigten zwei oder drei Paare von je einer Kron- und einer Flintglaslinse ermöglichten allein keine völlige Achromasie. Seine Objektive dagegen hatten bei weitem Gesichtsfeld nur eine den bisherigen überlegene Vergrößerung.

Interessanterweise waren es Dilettanten, denen die Konstruktion achromatischer Mikroskop-Objektive gelang. 1784 schuf der russische Staatsrat Franz Ulrich Theodor

Für Auflichtbeleuchtung eingerichtetes Mikroskop mit Ringhohlspiegel um das Objektiv, konstruiert von Louis-François Dellebarre (1726–1805), Leiden, Ende 18. Jahrhundert. Medizinhistorisches Museum, Kopenhagen.





Pieter Harting (1812–1885), der sich eingehend mit der Geschichte der Mikroskopie befaßte. Aus Bruno Pincherle «La vita e l'opera di Alfonso Corti». Rom 1932.

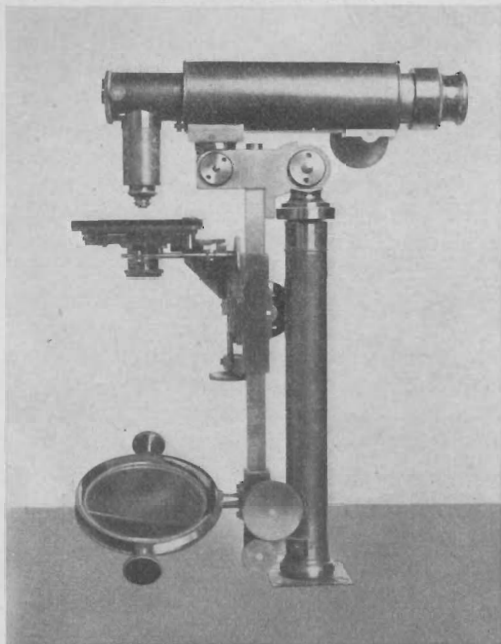
Aepinus (1724–1802) einen mehr einem Fernrohr-Objektiv gleichenden Achromaten von 60- bis 70-facher Vergrößerung und sieben Zoll (17,8 cm) Brennweite, den er in einem sogenannten Megaloskop verwendete. Mehr Erfolg hatte 1791 der holländische Kavallerieoberst François Gerardzoon Beeldsnyder (1755–1808); Pieter Harting (s. Abb. oben) untersuchte ein zu dessen Nachlaß gehöriges achromatisches Objektiv aus zwei bikonvexen Linsen von Kronglas und einer dazwischen eingeschlossenen bikonkaven von Flintglas; es hatte 21 mm Brennweite, und seine Linsen waren nicht ganz 4 mm dick.

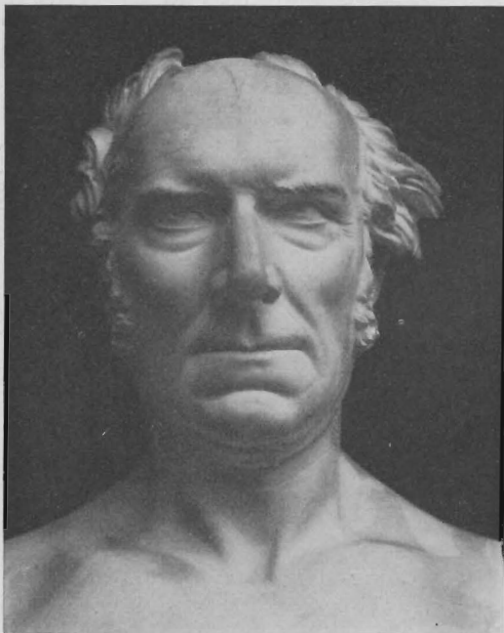
Das Ziel beim Bau achromatischer Objektive mußte die Steigerung der Vergrößerung bei guter Bildschärfe sein. Schwierig war die dazu nötige Herstellung sehr kleiner Linsen. Sie gelang 1807 dem Optiker Harmanus van Deijl (1738–1809) in Amsterdam; eines seiner Mikroskope wird im Physikalischen Kabinett in Utrecht aufbewahrt. Es hat achromatische Objektive von gutem Auflösungsvermögen, die bei 18 und 13 mm Brennweite bis 170-mal vergrößern. Von schlechterer Qualität waren die achromatischen Mikroskop-Objektive, die Domet in Frankreich, Tulley in England und Giovanni Battista Amici (1786 bis 1863) in Italien zu Anfang des 19. Jahrhunderts konstruierten; ebenso litten an zu ge-

ringer Vergrößerung die frühen achromatischen Systeme, die Joseph von Fraunhofer (1787–1826) von 1811 an in Benediktbeuren, später in München anfertigte. Sein Werk ist für die weitere Entwicklung der optischen Industrie sehr bedeutsam geworden, doch erlaubt die hier gebotene Kürze nicht, Einzelheiten aus der Geschichte des optischen Glases anzuführen. Interessenten seien auf die umfassenden Studien von Moritz von Rohr (1868–1940) verwiesen.

Fraunhofer arbeitete auch eine Zeitlang zusammen mit dem Schweizer Glastechniker Pierre-Louis Guinand (1748–1824) in der optischen Werkstätte von Utzschneider in Benediktbeuren südlich München. Er schuf sich die nötigen Grundlagen für die Vorausberechnung der Objektive und der Okulare in Versuchen und Messungen über die spektrale Zerlegung des Lichtes, wobei er die nach ihm benannten dunklen Linien des Sonnenspektrums als am besten geeignete Meßpunkte erkannte. Fraunhofer bemerkte auch, daß es möglich sei, durch Änderungen der Bestandteile Glasarten zu erzeugen, bei denen der Gang der Teilzerstreuungen des Lichtes

Achromatisches Universal-Mikroskop von Charles-Louis Chevalier (1804–1859), Paris. Das Instrument kann mit horizontalem oder vertikalem Tubus gebraucht werden, es ist außerdem am oberen Ende der Säule kippbar. Grob- und Feineinstellung erfolgen durch Bewegung des Objektives. Institut d'Histologie et d'Embryologie, Genf.





Giovanni Battista Amici (1786–1863). Photo Alinari.

günstiger sei als bei den bis dahin gebräuchlichen Glassorten.

Nur nebenher sei erwähnt, daß David Brewster (1781–1868) im Jahre 1820 vorschlug, einen ganz anderen Weg zu gehen; er empfahl, durch Prismen oder Filterung gewonnenes monochromatisches Licht anzuwenden, um so die Farbzerstreuung der Linsen unwirksam zu machen.

Selligie führte im Jahre 1824 der Akademie in Paris ein nach seinen Angaben von Jacques-Louis-Vincent Chevalier (1770–1840) und dessen Sohn Charles-Louis (1804–1859) gebautes Mikroskop vor, bei dem mehrere Paare achromatischer Linsen hintereinander geschraubt und so zu einem Objektivsystem vereinigt waren. Unter Einschaltung einer bikonkaven Zwischenlinse wurde damit bei künstlicher Beleuchtung eine befriedigende Auflösung erzielt. Bei anderen Objektiven vereinigten die beiden Chevalier zum ersten Mal die Linsenglieder mittels Kanadabalsams. An ihrem Mikroskop war ferner unter dem Tisch eine drehbare Blendenscheibe angebracht, eine Vorrichtung, die früher nur bei Lupen verwendet worden war.

Die Chevaliersche Konstruktion achromatischer Objektive hatte außerordentlichen Erfolg. Alle fortschrittlichen Optiker wandten sich sofort ihrer Herstellung zu, so auch Giovanni Battista Amici (s. S. 4251) in Modena.

Seine früheren Versuche, achromatische Objektive zu bauen, waren fehlgeschlagen. Er hatte sich darauf mit der Anfertigung katadioptrischer Mikroskope beschäftigt, bei denen Hohlspiegel an die Stelle von Linsen treten. Jetzt übernahm er für die Achromatkonstruktion zwar das Prinzip von Selligie-Chevalier, bei der Ausführung ging er indessen eigene Wege. Das von ihm entwickelte Objektiv hatte drei mit der Planseite nach unten gekehrte Doppellinsen, bei den zugehörigen Okularen waren die ebenen Linsenflächen dem Auge zugewandt. Ein total reflektierendes Prisma über dem Objektiv ermöglichte es, das Mikroskoprohr rechtwinklig abzubiegen, so daß man horizontal in das Instrument hineinblicken konnte. Diese in der Folge auch von Chevalier und Georg Merz (1793–1867) übernommene Form des Mikroskopes wurde wegen der durch einen dreifüßigen Ständer bedingten Höhe notwendig; sie erhielt sich bis über die Mitte des vorigen Jahrhunderts hinaus. Neu eingeführt hat Amici ferner die Kombination achromatischer Linsen von verschiedener Brennweite in einem fest zusammengefügt Objektiv. Er verzichtete damit zwar auf die Einzelverwendung der Teilstücke, hatte aber infolge besserer Zentrierung und genauerer Einhaltung der Abstände der verschiedenen Linsenpaare den Vorteil großer Lichtstärke und hoher Bildschärfe. Da Amici 1829 auch die Bedeutung der Deckglasdicke für die Güte der Abbildung erkannte und seine Systeme dementsprechend korrigierte, ist es verständlich, daß diese bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts als höchstwertig galten.

Um nicht für jede Deckglasdicke ein besonderes Objektiv verwenden zu müssen, erfand Andrew Ross (1798–1859) 1837 einen Korrektionsmechanismus, indem er die Vorderlinsen gegenüber den Hinterlinsen beweglich machte. Heute wird nach dem Vorschlag von Francis Herbert Wenham (1824–1908) die Korrekturfassung der starken Trockensysteme gewöhnlich so konstruiert, daß die Hinterlinsen verstellbar sind.

Die erheblich verbesserte Brauchbarkeit der Objektive macht es verständlich, daß seit jener Zeit die einfachen Mikroskope, die Lupen, für die wissenschaftliche Forschung mehr und mehr an Bedeutung verloren haben. Sie sind zwar durch speziellen Schliff und eine besondere Anordnung der Linsen verbessert worden, dienen aber jetzt meist nur noch als schwach vergrößernde Instrumente zur Ge-



Ernst Abbe (1840–1905), nach einer Federzeichnung von Heinrich Eduard Linde-Walther (geb. 1868). Aus Felix Auerbach «Ernst Abbe». Leipzig 1919.

winnung von Übersichtsbildern. Der Bedarf an zusammengesetzten Mikroskopen dagegen ist mit ihrer Vervollkommnung schnell angestiegen. Um die Herstellung optisch guter, mechanisch auf das Notwendige beschränkter und deshalb nicht zu kostspieliger Mikroskope bemühten sich neben den alten Firmen, wie der von Fraunhofer und seinem Nachfolger Merz in München (s. S. 4251 f.), auch viele neue. Hier können nur die bekanntesten Namen angeführt werden, wie etwa der von Georg Oberhäuser (1798–1868) aus Alsfeld (Hessen), der sich 1830 in Paris mit Trécourt und Bouquet verband, bald aber die Firma allein weiterführte. Seine Mikroskope galten als optisch ausgezeichnet, lieferte er doch für jede Vergrößerung ein festgefügtes Objektiv. Dabei waren die Instrumente dank der Verwendung des bekannten Trommelstativs billig zu haben. Harting gibt an, daß aus dieser Werkstätte bis 1859 mehr als 3000 Mikroskope hervorgegangen seien.

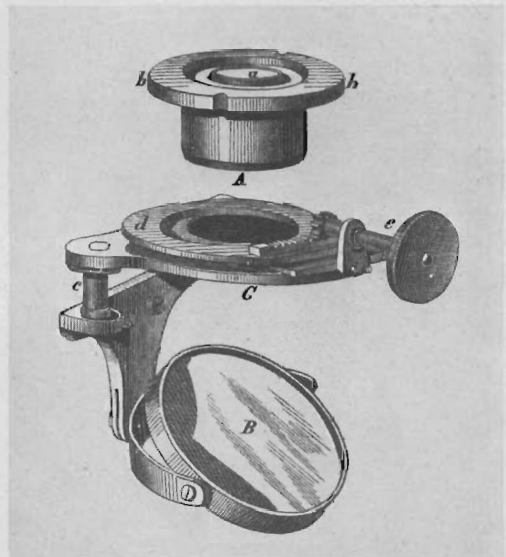
Gleichfalls im Jahre 1830 begann in Wien Simon Plöbl (1794–1868) Mikroskope zu bauen. Seine Stative lehnten sich weitgehend an die von Jones und Martin (s. S. 4249) entwickelten Formen an. Dasselbe gilt von den Instrumenten, die in Berlin von 1831 an Karl

Philipp Heinrich Pistor (1778–1847) und F. W. Schiek (geb. 1790), später Schiek allein, produzierten. Daß auch England nicht zurückblieb, beweist die Tätigkeit der Mikroskope produzierenden Firmen Ross (seit 1832) und Powell and Lealand (seit 1834).

Um kurz anzudeuten, welche Fortschritte die mikroskopische Forschung damals der Biologie brachte, seien einige der wichtigsten Entdeckungen aus jener Zeit in Erinnerung gerufen: 1827 fand Carl Ernst von Baer (1792 bis 1876) das Säugetierei, 1831 sah Robert Brown (1773–1858) als erster den Zellkern bei Orchideen, aus dem Jahre 1835 stammen die ersten Beschreibungen der Trichine von James Paget (1814–1899) und Richard Owen (1804–1892), im selben Jahr erkannte Agostino Bassi (1773–1856) (Abb. s. Ciba Zeitschrift Nr. 14, S. 471) einen Pilz als Ursache der Seidenraupenkrankheit, und 1836 beschrieb Charles Cagniard de la Tour (1777–1859) die Bedeutung der Hefepilze für den Gärungsvorgang. Für jedes folgende Jahr könnte man weitere bedeutende Forschungsergebnisse nennen, allen voran steht die feste Begründung der Zellenlehre durch Matthias Jakob Schleiden (1804–1881) und Theodor Schwann (1810–1882).

Die gegenseitige Konkurrenzierung leistungsfähiger Instrumentenmacher und Optiker wirkte sich nicht nur in einer ständigen Verbesserung, sondern auch in einer Verbilli-

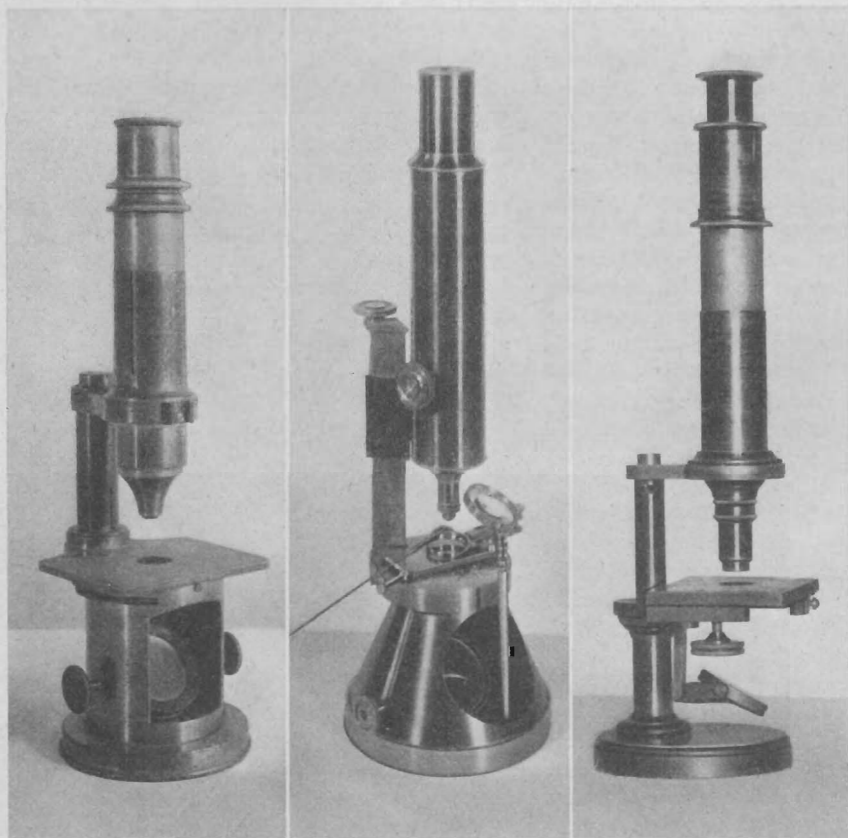
Älteste Form des Abbeschen Beleuchtungsapparates. Nach einem im «Archiv für mikroskopische Anatomie», Band 9, 1873, wiedergegebenen Holzschnitt.



gung der Mikroskope aus; jede der oben genannten Firmen lieferte neben großen Forschungsinstrumenten auch für den praktischen Arzt und für Studierende geeignete Mikroskope. Chevalier in Paris fertigte z. B. um die Mitte des vorigen Jahrhunderts kleine Mikroskope mit grober Einstellung durch Verschiebung des Tubus in einer Hülse und mit Feineinstellung mittels einer in die Säule eingebauten Schraube an. Auf einen soliden Metallfuß montiert, haben sich ähnliche Instrumente noch bis weit in unser Jahrhundert hinein als Kursmikroskope erhalten. Die Abbildungen auf dieser Seite zeigen einige solcher Typen; sie unterscheiden sich vor allem in der Art der Feineinstellung, die teils durch Hebung der Tischplatte mittels einer Schraube, teils durch Bewegung des Tubus vorgenommen wird. Auch der Solidität des Fußes wurde zunehmend Beachtung geschenkt. Die heute dafür gebräuchliche Hufeisenform gab z. B. Oberhäuser (s. S. 4253) 1848 seinem großen Mikroskop, um die Beleuchtungseinrichtung besser zugänglich zu machen. Ein derartiges, durch Gröbeinstellung mittels eines Zahn-

rades und einer Zahnstange vervollkommenes Instrument von Oberhäusers Nachfolger Edmund Hartnack (1826–1891) ist in der Abbildung auf S. 4255 zu sehen. Auffällig ist daran besonders, daß der Objektstisch zusammen mit dem ganzen Oberteil des Mikroskopes axial drehbar ist. Auf diese Weise war es möglich, das Objekt aus verschiedener Richtung schief zu beleuchten, ohne die Lage des Präparates zu verändern. Abgesehen davon, daß diese Konstruktion jetzt nicht mehr üblich ist, hatte das Stativ eine Form, die es auch heute noch bescheidenen Ansprüchen genügen ließe.

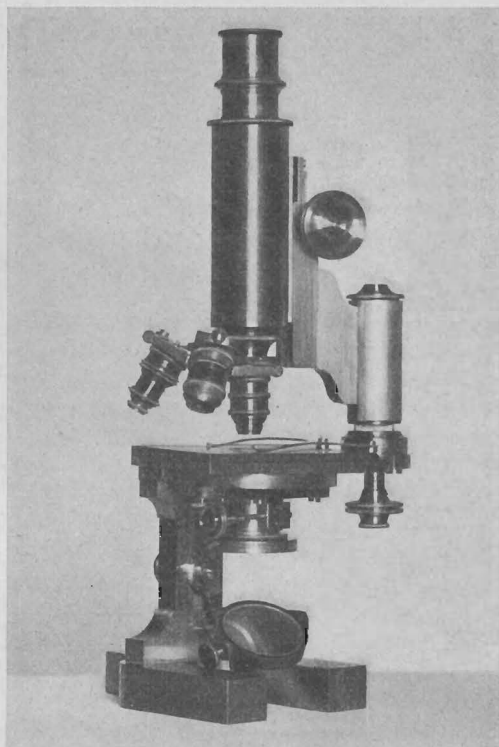
Aufgabe und Umfang dieses Artikels machen es unmöglich, Firmen zu nennen, deren Instrumente sich nur durch kleine konstruktive Änderungen am Stativ unterscheiden, dagegen soll noch ein kurzer Blick auf die Entwicklung der Kondensoren geworfen werden, einer Einrichtung, die vor allem englische Mikroskopiker gefördert haben. Nachdem Brewster 1813 zunächst für das einfache Mikroskop erwiesen hatte, daß die Objekte möglichst in der Brennebene des Beleuch-



Von links nach rechts:
Trommelmikroskop der Firma Nachet, Paris. Historisches Museum, Bern.
Kleines Seibert-Mikroskop. Feineinstellung durch Kippen des Tisches mittels seitlich angebrachter Schraube. Anatomisches Institut, Bern.

tungsapparates liegen müssen, baute William Hyde Wollaston (1766–1828) einen nach diesem Prinzip berechneten Kondensator, der schließlich auch für zusammengesetzte Mikroskope benutzbar war, nachdem George Dollond (1774–1852) weitere Verbesserungen an ihm angebracht hatte. Felix Dujardin (1801–1860) gebrauchte als Beleuchtungseinrichtung ein Objektivsystem aus zwei oder drei achromatischen Doppellinsen, eine Methode, die auch Amici übernahm. Besonders lange hat sich diese Art der Beleuchtungseinrichtung an englischen Mikroskopen, z. B. denen der Firmen Ross, Powell and Lealand und Smith, erhalten. Für spezielle Zwecke sind noch jetzt zentrierbare Schiebhülsen im Handel, die es ermöglichen, Objektive an Stelle der Kondensoren zu verwenden. Die Irisblende ist anscheinend von der Firma Chevalier zu Anfang der siebziger Jahre des 19. Jahrhunderts eingeführt worden; aus der gleichen Zeit stammt auch die noch heute nicht übertroffene Konstruktion des Abbeschen Kondensators (s. Abb. S. 4253).

Parallel mit diesen Verbesserungen der Beleuchtungseinrichtung gingen wichtige Fortschritte im Bau der Objektive und der Okulare. Richtungweisend wurde, wie schon erwähnt, Giovanni Battista Amici (s. S. 4252), der Trockensysteme bauen konnte, die dank der Verwendung einer halbkugelförmigen Frontlinse allen früheren Objektiven überlegen waren. Er übertraf diese seine Leistung aber bald durch den Bau einer Wasserimmersion (1850). Zwischen das Deckglas und das Objektiv brachte er Wasser und konnte dadurch gewisse, für die Bilderzeugung besonders wichtige Strahlenbündel zusätzlich nutzbar machen. Mit der zunächst rein empirisch erzielten Steigerung des Auflösungsvermögens ging ferner eine Verbesserung der Abbildungsfehler einher, da jetzt allgemein die gewollte Über- und Unterkorrektur auf mehrere Glieder des Linsensystemes verteilt wurde. Dieses zuerst von Amici systematisch angewandte Prinzip bauten später Robert Bruce Tolles und Charles A. Spencer (1813–1881) noch weiter aus, eine theoretische Begründung erhielt es indessen erst durch die Berechnungen von Ernst Abbe (1840–1905). Nach seinem Vorschlag wird noch heute die Leistungsfähigkeit eines Objektivs durch die numerische Apertur ausgedrückt, d. h. durch die Zahl, die sich ergibt als Produkt aus dem Brechungsindex des Mediums zwischen Front-

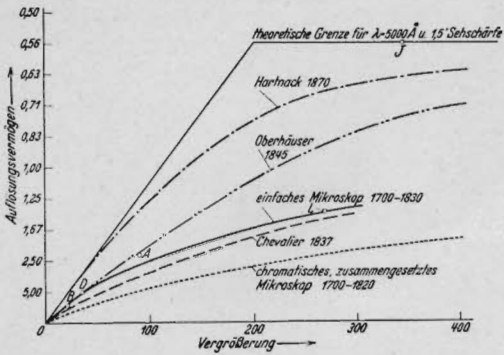


Großes Hartnack-Mikroskop, dessen Tisch samt dem daran befestigten Oberteil drehbar ist. Es ist ausgestattet mit dreifachem Revolver, Beleuchtungsapparat und Hufeisenfuß. Anatomisches Institut, Bern.

linse und Präparat und dem Sinus des halben Öffnungswinkels des betreffenden optischen Systems.

Auflösungsvermögen und Vergrößerung älterer Mikroskope hat anschaulich Karl Fischer (1935) dargestellt auf Grund der Untersuchungen, die Pieter Hendrik van Cittert 1934 an Mikroskopen der Utrechter Sammlung vorgenommen hatte (s. Abb. S. 4256). Daraus geht einmal die besondere Leistungsfähigkeit der Leeuwenhoek'schen Linsen hervor, zum andern zeigt die graphische Darstellung, wie gering Auflösungsvermögen und Vergrößerung der ersten achromatischen Mikroskop-Objektive waren.

Bedeutende Fortschritte brachten auf diesem Gebiet erst die neuen Konstruktionen von Ernst Abbe. Er hatte als Sohn eines Spinners mit knappsten Mitteln seine Hochschulstudien in Jena und Göttingen absolviert, war dann zwei Jahre als Lehrer der Physik in Frankfurt am Main tätig gewesen und wirkte von Ostern 1863 an als Privatdozent für Physik in Jena, wo Carl Zeiß (1816–1888) damals



Auflösungsvermögen und Vergrößerung von Mikroskopen aus den Jahren 1700-1870. L = Mikroskop von Leeuwenhoek, 270-fach vergrößernd. B = Achromat 1791 von Beeldsnijder, D = Achromat 1806 von van Deijl, A = Achromat 1832 von Amici, J = Mikroskop Hartnack mit Wasserimmersion, um 1870. Nach P. H. van Cittert, aus K. Fischer «Die Utrechter Mikroskope». Zeitschrift für Instrumentenkunde, Bd. 55, 1935.

Universitätsmechaniker war. Bei ihm lernte Abbe die Praxis des Instrumentenbaues. Die dabei gesammelten Erfahrungen kamen ihm später sehr zustatten.

Angeregt durch den Botaniker Matthias Jakob Schleiden (s. S. 4253) hatte Carl Zeiß in Jena den Bau zusammengesetzter Mikroskope aufgenommen. Bald aber erkannte er, daß mit der allgemein üblichen Methode des Ausprobierens nichts den Durchschnitt Überragendes geleistet werden konnte. Er suchte deshalb nach einem Physiker, der ihm durch Vorausberechnung die Grundlagen zu einer systematischen Zusammensetzung des optischen Systemes der Mikroskope schaffen sollte und fand den geeigneten Mann in Ernst Abbe. Einen glänzenden Erfolg ihrer auf wissenschaftlicher Basis beruhenden Gemeinschaftsarbeit stellte die 1878 gelungene Konstruktion einer homogenen Ölimmersion dar.

Der Gedanke, Öle wegen ihres hohen Lichtbrechungsvermögens als Immersionsflüssigkeit zu verwenden, war nicht neu. Schon Brewster hatte 1813 über entsprechende Versuche berichtet. Auf Grund der überraschend guten Ergebnisse hatte er aber später vorgeschlagen, die Immersion zur Erzielung der Achromasie auszunutzen. Um die Mitte des 19. Jahrhunderts hatte Amici Studien über die Brauchbarkeit von Anisöl angestellt. Angeregt von John Ware Stephenson in London, fand endlich Ernst Abbe in Zusammenarbeit mit Carl Zeiß eine brauchbare Lösung; sie hat sich manchen anfänglichen Wi-

derständen zum Trotz durchgesetzt, besonders nachdem in dem eingedickten Zedernöl ein ideales Immersionsmittel gefunden worden war. Alle diese Verbesserungen des optischen Systems sind in erster Linie der bakteriologischen Forschung zugute gekommen, deren großer Aufschwung in den Sechziger- und Siebzigerjahren des vorigen Jahrhunderts erfolgte. Allerdings haben dazu auch andere methodische Fortschritte, z. B. der Färbe- und der Kulturverfahren, beigetragen. Daß auch die Lehre vom Feinbau der Zelle sowie die normale und die pathologische Histologie Nutzen aus den neuen Forschungsmitteln gezogen haben, ist zur Genüge bekannt, so daß Beispiele hier überflüssig erscheinen.

1879, also nur ein Jahr nach der erfolgreichen Einführung der Ölimmersion, wandte sich Abbe einem anderen Grundproblem der mikroskopischen Optik zu, der Korrektur der Farbzerstreuung des Lichtes beim Durchgang durch Linsen. Er erkannte als einen wichtigen Grundsatz, daß sich die sphärische und die chromatische Abweichung nicht durch gleichartige Maßnahmen überwinden lassen. Außer dem lange bekannten Kron- und Flintglas hatte schon Amici einige andere Glasarten für die Herstellung der Linsen seiner Systeme benutzt. Versuche zur Erzeugung neuer Glassorten hatten auch William Vernon Harcourt (1789 bis 1871) und der Physiker George Gabriel Stokes (1819-1903) angestellt, aber in nur unzureichender Form publiziert. Abbe schuf in gemeinsamer Arbeit mit dem Glastechniker Friedrich Otto Schott (1851-1935) neue Glasarten mit ganz bestimmten Konstanten; vor allem Borat- und Phosphatgläser wiesen die optischen Eigenschaften auf, die für eine weitere Verbesserung der Objektive nötig waren. Von 1883 an wurden bei Zeiß in Jena auf dieser Grundlage, zunächst probeweise, Apochromate angefertigt. Nachdem 1884 das «Glastechnische Laboratorium Schott und Gen.» in Jena die Fabrikation von Gläsern für optische Zwecke im großen aufgenommen hatte, konnten die Apochromate im August 1886 in den Handel gebracht werden. Daß ihr Preis auch heute noch hoch ist, erklärt sich aus den Schwierigkeiten des Baues und aus der reichlichen Verwendung von Fluoritlinsen. Flußspat weist geringe Lichtbrechung bei gleichzeitig geringer Farbzerstreuung auf, eine Kombination optischer Eigenschaften, die bis jetzt durch Glasschmel-

zen noch nicht hat erreicht werden können. So ist man immer noch genötigt, dieses Naturprodukt zu verwenden. Die Apochromate zeigen eine bis dahin nicht erreichte Vereinigung dreier verschiedener Farben des Spektrums in einem Punkt der Achse, außerdem ist die Korrektur der sphärischen Aberration für zwei Farben statt wie früher nur für eine erreicht. Die auf diese Weise wesentlich verbesserten Objektive fanden zusammen mit den neuen Kompensationsokularen, die eine annähernd gleichförmige Bildschärfe im ganzen Sehfeld ermöglichten, bald allseitige Anerkennung. Ihrer weiten Verbreitung kam zu-
statten, daß Schott und Gen. die neuen Glas-
sorten allen optischen Firmen abgeben mußten. Das kam auch den achromatischen Objektiven stärkerer Vergrößerung zugute, deren bewährte einfache Bauart zwar beibehalten, für deren Linsen jetzt aber die neuen optischen Gläser benutzt wurden, was einen weitgehend dem der Apochromaten gleichkommenden Korrektionszustand bei geringerem Verbrauch von Flußspatmaterial ermöglichte. Als Fluoritsysteme oder Halbapochromate sind solche Objektive noch immer sehr geschätzt.

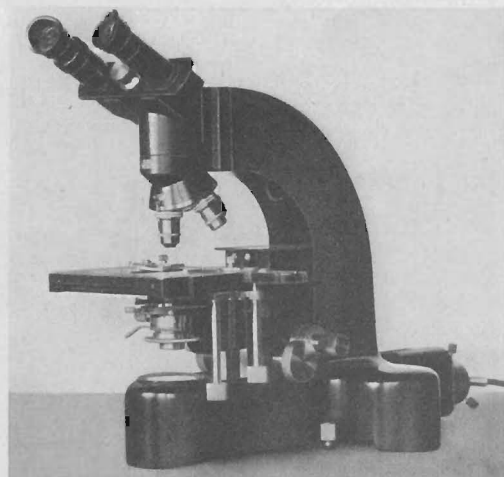
Neben Jena wurde vor allem Wetzlar wegen seiner optischen Werkstätten bekannt, deren erste schon im Juli 1849 von Karl Kellner (1826–1855) gegründet worden war. Den Bau zusammengesetzter Mikroskope hatte er 1851 aufgenommen, schon nach Verlauf von zwei Jahren bildeten sie das Hauptzeugnis der Firma. Unter seinem Nachfolger Fritz Belthle (gest. 1869) wurde 1865 der Mechaniker Ernst Leitz sen. (1843–1920) Mitinhaber des Geschäftes. Er führte in den optischen Werkstätten die straffe Arbeitsteilung ein, die er während seiner Wanderjahre in der schweizerischen Uhrenindustrie kennengelernt hatte. Diese neuen Methoden machten die Fabrikate von Leitz konkurrenzfähig gegenüber den Produkten der Pariser Optiker Oberhäuser-Hartnack, Camille-Sébastien Nacet (1798 bis 1881) und Chevalier, die noch immer den kontinentalen Markt beherrschten.

Als bedeutende Wetzlarer Firma ist weiter die 1866 gegründete optische Werkstätte Seibert und Krafft (vorher Gundlach, jetzt W. und H. Seibert) zu nennen. Sie ist besonders wegen ihrer Zusammenarbeit mit Robert Koch (1843–1910) bekannt geworden, der in den Jahren 1870 und 1878 seine bakteriologischen Untersuchungen mit einem Seibertischen Mikroskop anstellte und die Ergebnisse

dieser Forschungen durch mikro-photographische Aufnahmen weiten Kreisen zugänglich machte. Die Mikroskope von Seibert hatten eine besonders leicht spielende Feineinstellung, wie sie seinerzeit Gundlach eingeführt hatte. Die größere Sicherheit der Führung wurde dadurch erzielt, daß der Tubus mit der festen Säule durch zwei eingelenkte parallele Zwischenstücke verbunden wurde. Diese sogenannte Parallelogrammbewegung übernahmen zeitweilig auch Leitz in Wetzlar und Reichert in Wien. Bei den Mikroskopen anderer Firmen war mit Ausnahme einiger Spezialkonstruktionen bis zum Ende des 19. Jahrhunderts die von Oberhäuser entwickelte Bauart der Feineinstellung gebräuchlich, wo eine Schraube gegen eine Spiralfeder wirkt. Eine sichere Führung wird dabei erzielt, indem man einen entsprechend geformten Hohlzylinder über ein dreikantiges Stahlprisma gleiten läßt.

Die englischen und vor allem die amerikanischen Mikroskope waren damals fast nur in ihren Ursprungsländern verbreitet. Die größeren, für Forschungszwecke geeigneten Modelle hatten zum Teil hervorragende Linsen, sie waren aber speziell in der mechanischen Ausrüstung äußerst kompliziert und deswegen sehr teuer, so daß es kaum möglich war, sie auf dem Kontinent abzusetzen, wo genügend optisch vollwertige Instrumente hergestellt wurden. Indessen gestalteten die französischen und die deutschen Firmen nach englischen Vorbildern den Tisch des Mikro-

Großes Forschungsmikroskop mit tiefliegenden Triebsschrauben und in den Fuß eingebauter Lichtquelle. Ortholux Leitz, Modell 1938. Veterinär-anatomisches Institut, Bern.



skopes um; sie machten ihn dreh- und zentrierbar und versahen ihn zum Teil auch schon nach Art der jetzt gebräuchlichen Kreuztische mit zwei zueinander senkrechten Führungen.

Auch die neue Anregung zum Bau binokularer Mikroskope ging von England aus. Im Prinzip werden dabei entweder die aus einem Objektiv austretenden Strahlenbündel in zwei Richtungen abgelenkt, was durch Brechung in Prismen oder durch Reflexion an deren Grenzflächen geschehen kann, oder das Mikroskop wird mit zwei gekoppelten Objektiven ausgerüstet, deren Strahlengänge unter 14° gegen einander geneigt sind. Ursprünglich waren diese binokularen Mikroskope nur für schwach vergrößernde Systeme zu gebrauchen. Die Fachleute bewerteten ihren Nutzen recht verschieden. Nachdem H. S. Greenough 1897 aber für das binokulare Sehen neues Verständnis geweckt hatte, bemühten sich die optischen Firmen um Neukonstruktionen für verschiedene Bedürfnisse. Den Präpariermikroskopen mit Objektivpaaren sind wegen des erforderlichen Arbeitsabstandes Grenzen der Vergrößerung gesetzt; bei monobjektiven binokularen Mikroskopen dagegen ist die Bildhelligkeit beschränkt. Leitz schuf 1913 ein großes binokulares Mikroskop; Reichert und Zeiß entwickelten zunächst gerade binokulare Aufsätze zur Verwendung auf gewöhnlichen Mikroskopen. Diese sind aber wegen ihres Gewichtes und ihrer für die Arbeit unbequemen Länge wieder aufgegeben worden. Heute baut jede größere optische

Werkstätte spezielle binokulare Mikroskope, die mit Halbfeldblenden stereoskopisches Sehen auch bei starker Vergrößerung möglich machen.

In den letzten Jahrzehnten haben besonders die mechanischen Teile des Mikroskopes eine Ausgestaltung erfahren; neue, gefälligere Formen des Statives sind entwickelt und die Feineinstellung ist verbessert worden, Vorrichtungen zum schrägen Einblick bei horizontal stehendem Mikroskopisch und die Tieflagerung der Triebsschrauben ermöglichen eine bequemere Körperhaltung und machen so das Mikroskopieren weniger ermüdend. Die in den Fuß der großen Stative eingebauten elektrischen Lampen, wie sie etwa das «Ortholux» (Leitz) (s. Abb. S. 4257) und das «Lumipan» (Zeiß) aufweisen, schaffen optimale Beleuchtungsverhältnisse.

Daß das Lichtmikroskop aus rein optischen Gründen am Ende seiner Entwicklung angekommen sei, wie man gelegentlich behaupten hört, ist keineswegs richtig. Man denke nur an die Fortschritte, die die Untersuchung in monochromatischem oder polarisiertem Licht ermöglicht hat, an die Konstruktion einer Monobromnaphthalin-Immersion, an Dunkelfeldkondensoren und Opak-Illuminatoren zur Lebendbeobachtung sowie an das Phasenkontrastverfahren, das für die Untersuchung ungefärbter Objekte so wertvoll ist. Ihre Bedeutung rechtfertigt es, von diesen und anderen optischen Hilfsmitteln des Mikroskopikers in einem besonderen Artikel zu berichten.

Rasche Beruhigung und

Schmerzstillung durch

Cibalgin-Tabletten

Zur Zeit voll lieferbar