

Die der Lichtmikroskopie gesetzten Grenzen hat Ernst Abbe (siehe S. 425 f.) im Jahre 1876 erkannt; sie sind in der Wellennatur des Lichtes gegeben. Seither wurden Strahlen von immer kürzerer Wellenlänge zur Abbildung von Gefügestrukturen herangezogen, so daß ein gerader Weg von der Lichtoptik über die Ultraviolettmikroskopie und die Röntgeninterferometrie zur Elektronenoptik führt.

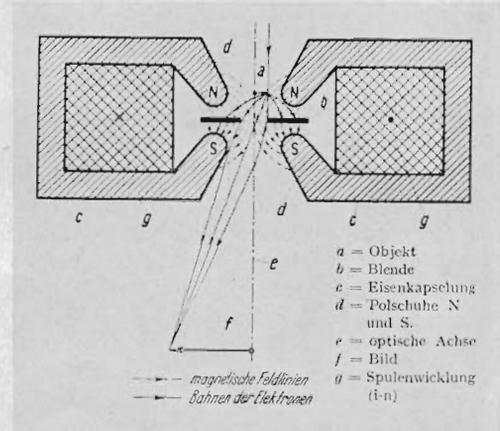
Nachdem Louis de Broglie 1924 die Wellennatur der Elektronenstrahlen erkannt hatte, konnte Hans Busch (geb. 1884) 1927 auch mathematisch belegen, daß eine kurze magnetische Spule auf freie Elektronen wirkt wie eine Linse auf das Licht, sie bündelt die Elektronenstrahlen. Weitere theoretische und technische Fortschritte der Elektronenoptik folgten schnell. Max Knoll und Ernst Ruska haben 1931 in gemeinsamer Arbeit festgestellt, daß die Brennweite der magnetischen Linsen von der Stärke des Spulenstromes abhängig ist. Sie schufen ferner die Eisenkapselung der Spule und untersuchten außer magnetischen auch elektrostatische Linsen, eine Arbeit, mit der sich zur gleichen Zeit Ernst Brüche (geb. 1900) sowie Clinton Joseph Davisson (geb. 1881) und Calbick befaßten.

Der Bau der frühesten Versuchsinstrumente wurde sofort nach den ersten deutschen Veröffentlichungen auch in Belgien, England und Amerika aufgenommen; es handelte sich zunächst eigentlich mehr um den Nachweis, daß damit überhaupt eine für Abbildungen ausreichende Auflösung zu erzielen war. Elektronenoptische Bilder von biologischen Objekten, von Zellen und Bakterien, hat als erster L. Marton in Brüssel im Jahre 1937 veröffentlicht.

Es kann nicht die Aufgabe dieses Artikels sein, alle Wege der technischen Ausgestaltung des Übermikroskopes im einzelnen zu verfolgen. Hervorgehoben sei nur, daß zweierlei Arten von «Linsen» entwickelt worden sind. Das erste hochauflösende Elektronenmikroskop (E. Ruska und B. v. Borries, 1933) hatte elektromagnetische Linsen, ebenso das holländische Elektronenmikroskop von Le Poole (Delft), das englische von Vickers (Manchester) und das kanadische von Hillier und Prebus (Toronto). Elektromagnetische Linsen von schwachem Brechungsvermögen lassen sich sehr exakt an-

fertigen und sind auch äußerst leicht regulierbar. Sie verursachen aber nicht nur eine Ablenkung, sondern auch eine Drehung der Strahlen, so daß deren Weg Kurven auf der Mantelfläche einer Spindel mit gekrümmter Achse beschreibt. Diese Quelle möglicher Abbildungsfehler gibt es bei den elektrostatischen Linsen nicht; sie stehen in ihrer Wirkungsweise den Glaslinsen der lichtmikroskopischen Objektive viel näher. Ausschließlich mit solchen elektrostatischen Linsen ausgerüstet war das von Ernst Brüche und H. Johannson (1932) konstruierte Instrument. Das von Manfred von Ardenne (geb. 1907) in den Jahren 1938–1940 entwickelte Universal-Elektronenmikroskop kann wechselweise mit elektromagnetischer oder elektrostatischer Optik gebraucht werden, es ermöglicht zudem außer Hellfeld- und Dunkelfelduntersuchung auch stereoskopische Aufnahmen. Kombiniert verwendet G. Induni die beiden Arten der Elektronenoptik im schweizerischen Elektronenmikroskop. Er wählte für den beleuchtenden Teil – dem Kondensator des Lichtmikroskopes entsprechend – eine elektromagnetische Linse; ihre genaue Regulierbarkeit macht sie für diesen Zweck besonders geeignet. An Stelle der eigentlichen, vergrößernden Optik, also des Objektives und des Okulars bzw. Photookulars beim Lichtmikroskop, sind elektrostatische Linsen eingebaut; eine schwache, leicht regulierbare elektromagnetische Linse ist nur

Magnetische Elektronenlinse kurzer Brennweite mit eingezeichnetem Strahlengang. Nach B. von Borries, E. und H. Ruska. Aus «Bakterien und Virus in übermikroskopischer Aufnahme». Klinische Wochenschrift, 17. Jg., 1938.



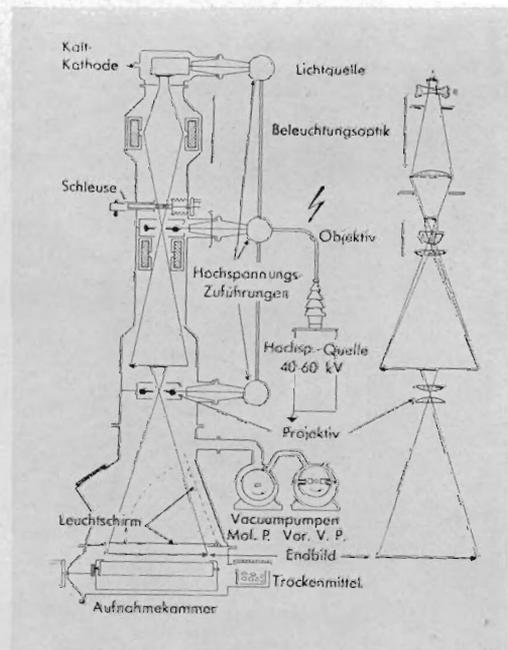
dazwischen geschoben, um die Scharfeinstellung des Objektivs zu ermöglichen, sie ersetzt also gleichsam die Mikrometerschraube des Lichtmikroskopes.

Während bei der Entwicklung der Elektronenlinsen wissenschaftliches Neuland zu bearbeiten war, sind die übrigen Probleme der Übermikroskopie rein technischer Art. Um eine geradlinige und mit gleichbleibender Geschwindigkeit erfolgende Ausbreitung der Elektronenstrahlen zu erzielen, ist ein hohes Vakuum erforderlich. Dieses zu erzeugen ist technisch nicht schwierig, es bietet nur konstruktive Probleme z. B. für den Objektwechsel, der bei allen neueren Instrumenten durch eine Schleuseneinrichtung ermöglicht wird.

Verschiedenartig sind in den Elektronenmikroskopen der einzelnen Herstellerfirmen auch die Strahlenquellen. Während Siemens z. B. von der ursprünglich gebrauchten kalten zur Glühkathode übergegangen ist, die auch Le Poole im Delfter Elektronenmikroskop benutzt, hat die schweizerische Konstruktion neuester Bauart (Trüb, Täuber & Co.) die kalte Elektrode beibehalten. Diese ist zwar weniger hell, sie leidet aber bei einem durch unsachgemäße Handhabung möglichen Zusammenbruch des Vakuums nicht.

Die Abbildung des Präparates erfolgt auf einem mit fluoreszierenden Substanzen beschickten Leuchtschirm, da die Elektronenstrahlen dem Auge ja nicht direkt sichtbar sind. Zur Auswertung der Befunde dienen photographische Aufnahmen auf entsprechendem Plattenmaterial. Die Schwärzungsunterschiede der Schicht kommen dadurch zustande, daß die annähernd parallel auf das Objekt auftreffenden Elektronenstrahlen je nach Dicke und Dichte des Objektes mehr oder weniger stark zerstreut werden; dabei fallen die Elektronenstrahlen, die unter einem sehr großen Winkel streuen, außerhalb der kleinen Objektivöffnung. Je größer die Massendicke (Dichte mal durchstrahlte Dicke) ist, um so dunkler gibt das Positivbild die betreffende Stelle wieder. Da das Auflösungsvermögen der Elektronenoptik 80-mal größer ist als das des Lichtmikroskopes, können damit günstigenfalls direkte Bilder bis zu 40 000-facher Vergrößerung gewonnen werden; ihre Schärfe läßt sogar noch eine weitere optische Vergrößerung zu.

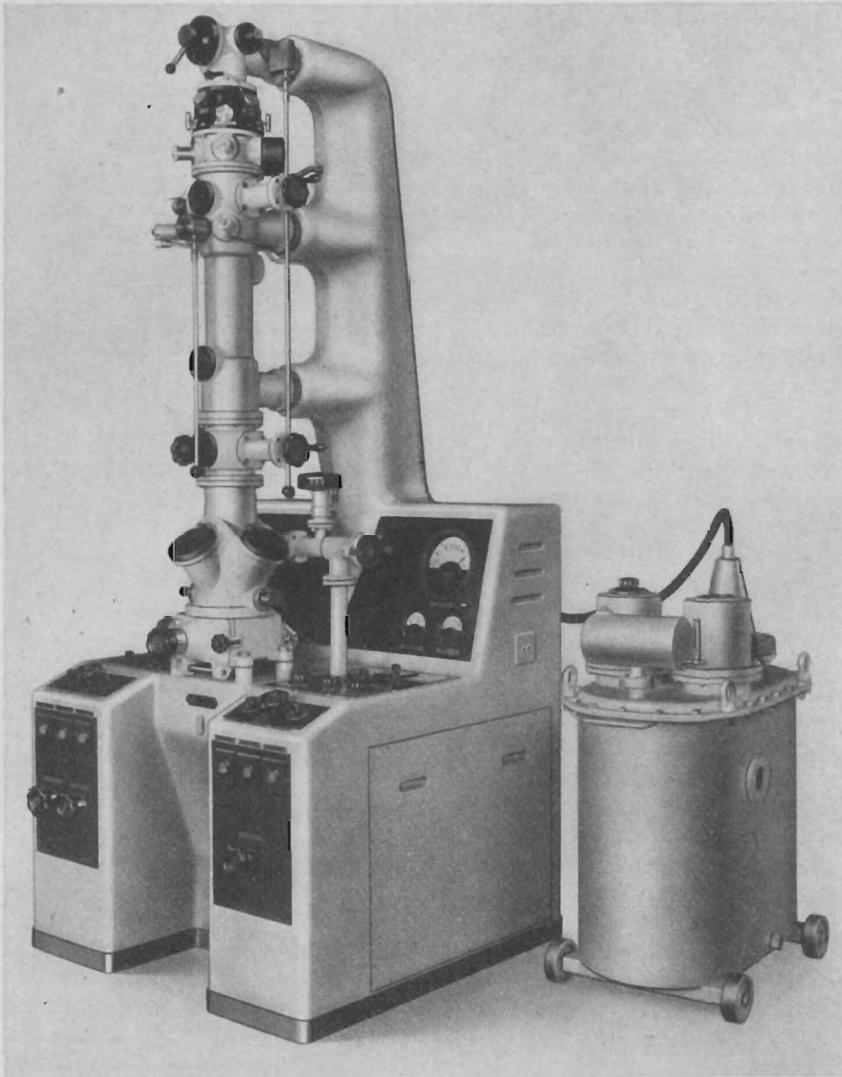
Über die elektronenmikroskopische Untersuchungstechnik besteht schon eine umfangreiche Spezialliteratur. Da die Elektronen eine



*Strahlengang im Elektronenmikroskop Trüb, Täuber & Co., Zürich. Zum Vergleich ist rechts der Strahlengang eines Lichtmikroskopes von demselben Aufbau dargestellt. Aus Giovanni Indani «Das schweizerische Elektronenmikroskop». Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft Zürich, Jahrgang 90, 1945.*

äußerst geringe Durchdringungsfähigkeit besitzen, sind nur sehr dünne Präparate zur Untersuchung geeignet. Als Objektträger bewähren sich am besten Kollodium- oder Lackfolien von etwa 20  $\mu$  Dicke. Ausstriche von Bakterien- oder Viruskulturen und isolierte Gewebsbestandteile, wie z. B. kollagene Fibrillen, ferner feinste Häutchen bedürfen keiner besonderen Vorbehandlung. Schwieriger sind dagegen die Präparationsverfahren zur Untersuchung von Organschnitten. Durch Konstruktion elektrisch betriebener Mikrotome mit sehr dünnen, schnell rotierenden Messern und unter Verwendung von Kampher-Naphthalin-Gemischen als Einbettungsmasse haben E. F. Fullam und A. E. Gessler 1946 Leberschnitte anfertigen können, die nur Bruchteile eines  $\mu$  dick sind. So ist zu hoffen, daß auch die Histologie aus den neuen Untersuchungsmethoden bald in gleicher Weise Nutzen ziehen kann, wie es die Bakteriologie und die Virusforschung schon getan haben.

Daß mit den neuartigen Methoden auch neue Fehlerquellen verbunden sind, sei nicht verschwiegen. Es ist klar, daß biologisches



Das Elektronen-  
mikroskop der  
Firma Trüb,  
Täuber & Co.,  
Zürich.  
Modell 1946.

Material durch die im Hochvakuum eintretenden Wasserverluste im Sinne einer Entquellung verändert wird; dazu kommen noch die möglichen Schädigungen der Objekte durch die Elektronenstrahlen selbst.

Zum Schluß sollen in aller Kürze noch ein paar Anwendungsgebiete elektronenmikroskopischer Forschung in der medizinischen Biologie genannt sein. Das Studium der Beißelung, der Nukleole und der Teilungsbilder von Bakterien hat eine bedeutende Förderung erfahren, ebenso die Virus- und die

Bakteriophagenerforschung. Neue Erkenntnisse über den Blutgerinnungsvorgang und die gewerbemedizinisch so bedeutsame Staubuntersuchung sind gleichfalls klinisch wichtig. In der Histologie gelangen interessante Beobachtungen über den Feinbau der Bindegewebs- und der Muskelfibrillen sowie von Nervenfasern, in denen ein «neurotubulärer Apparat» an Stelle der Neurofibrillen erkannt worden ist, alles Befunde, die für die Zukunft weiteres erhoffen lassen, wenn einmal die Untersuchungstechnik ausgebaut sein wird.

*Herausgeber: CIBA Aktiengesellschaft, Basel (Schweiz)*

*Mit der Redaktion beauftragt: Dr. med. Karl Reuckert, Basel*

*Vertretung für Oesterreich: Ciba Gesellschaft m. b. H., Wien VII, Neustiftgasse 11*