

## Das Übermikroskop als Fortsetzung des Lichtmikroskops.

VON BODO V. BORRIES UND ERNST RUSKA, Berlin-Siemensstadt.

Mitteilung aus dem Laboratorium für Elektronenoptik der Siemens & Halske A.G.

1. *Das Mikroskop.* Das Übermikroskop verwendet zur Abbildung der zu untersuchenden Objekte nicht Lichtstrahlen wie das gewöhnliche Mikroskop, sondern Elektronenstrahlen. Als Linsen benutzt man nicht geschliffene Glaskörper, sondern geeignet geformte Magnetfelder.

Der Aufbau und die Ansicht des Gerätes sind in Fig. 1 dargestellt. Die Strahlrichtung ist um-

Flächen, die selbst Elektronen aussenden (Glühkathoden, Photokathoden oder Sekundärkathoden). Ein mit elektrischen Linsen arbeitendes Mikroskop wurde von BRÜCHE und JOHANNSON im Forschungs-Institut der AEG. entwickelt. Das heute meist verwendete magnetische Emissionsmikroskop wurde von KNOLL, HOUTERMANS und SCHULZE angegeben. So interessante Untersuchungen über die Art der

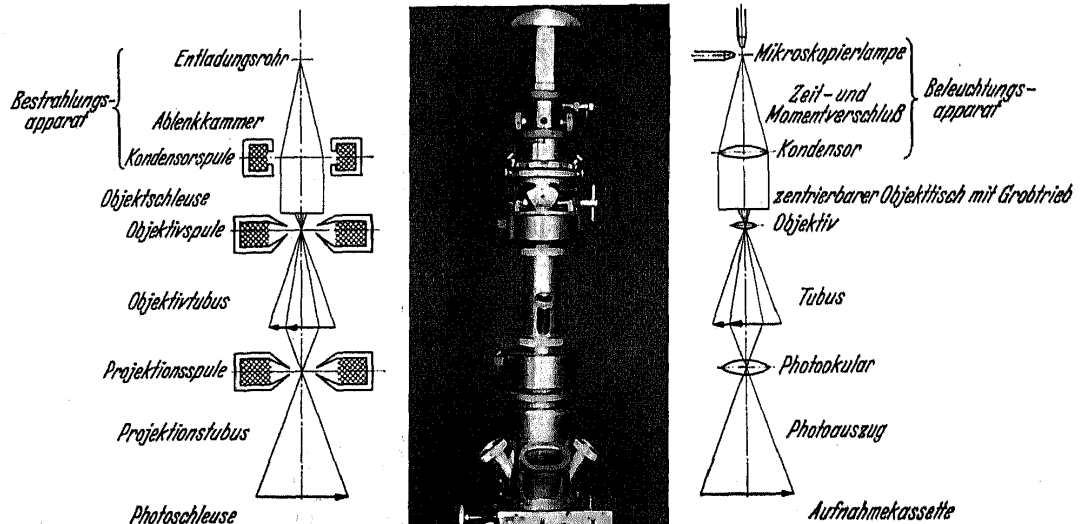


Fig. 1. Siemens-Übermikroskop nach RUSKA und VON BORRIES.

gekehrt wie beim üblichen Lichtmikroskop, sie läuft von oben nach unten. Die Elektronen treten oben aus einer Glühkathode aus und werden durch eine Gleichspannung von etwa 80000 V auf etwa halbe Lichtgeschwindigkeit beschleunigt. Damit sie sich innerhalb des Gerätes quasi-optisch, d. h. geradlinig, fortpflanzt, muß im Gerät ein Vakuum von etwa  $10^{-4}$  mm Hg herrschen; dieses Vakuum wird durch eine dauernd laufende Quecksilber-Diffusionspumpe aufrechterhalten. In den Gang der Elektronen sind 3 magnetische Linsen gebracht:

1) Die Kondensorenlinse, welche die von der Glühkathode divergent ausgehenden Elektronen auf das Objekt richtet.

2) Die Objektivlinse, welche von dem Objekt in etwa 80facher Vergrößerung auf den Zwischenbildleuchtschirm das Zwischenbild entwirft.

3) Die Projektionslinse, welche den mittelsten, durch ein Loch des Zwischenbildleuchtschirms durchfallenden Teil des Zwischenbildes etwa 300fach zum endgültigen Bild weiter vergrößert.

Das endgültige Bild kann man bei etwa 25000-facher Vergrößerung auf einem Leuchtschirm betrachten, der unter dem Aufprall der Elektronen ähnlich aufleuchtet wie ein Röntgenschirm. Statt auf einen Leuchtschirm kann man das Bild auch auf eine photographische Platte fallen lassen und auf diese Weise festhalten.

An dieser Stelle möchten wir erwähnen, daß es noch andere Elektronenmikroskope gibt. Die sog. Emissionsmikroskope dienen zur Abbildung von

Elektronen-Emission und über gewisse kristallographische Fragen mit diesem Instrument vorgenommen werden konnten, so wurden doch Auflösungen, die die Leistungsfähigkeit des Lichtmikroskops erreicht hätten, nicht erzielt. — Ein anderes Gerät, das Elektronen-Raster-Mikroskop, ist von v. ARDENNE kürzlich entwickelt worden. Es arbeitet wie das Übermikroskop mit magnetischen Linsen, rastert aber das Objekt mit einer feinen Elektronensonde fernsehrasterähnlich ab. Trotz kurzer Entwicklungszeit konnte v. ARDENNE bereits die SONDENSCHÄRFE

über das Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops steigern, doch erreichen seine Bilder vorerst noch nicht die Bildgüte des Übermikroskops.

Die Fig. 2 zeigt den Aufbau einer magnetischen Polschuh-Linse, wie sie für die 2 Abbildungslinsen des Übermikroskops benutzt wird. Um die Strahlachse ist eine runde Spule gelegt, die von einem Gleichstrom in vielen Windungen durchflossen wird. Die Spule ist eisengekapselt, so daß der eine runde Polschuh zum Nordpol, der andere zum Südpol wird. Zwischen beiden bildet sich ein sehr starkes, kurzes, rotationssymmetrisches Magnetfeld aus. Man kann sich vorstellen, daß ein magnetisches Feld auf ein fliegendes Elektron, das ja eine elektrische Ladung transportiert und demgemäß einen elektrischen Strom darstellt, eine Kraft ausübt und dadurch die Bahn des Elektrons beeinflusst. Die Tatsache, daß ein Magnetfeld auf einen Strom eine Kraft ausübt, ist ja vom Elektromotor her allgemein bekannt. In unserem Falle ist nun die

Wechselwirkung zwischen Magnetfeld und fliegendem Elektron im einzelnen recht verwickelt; insgesamt wirkt aber das Feld auf die Gesamtheit aller Elektronen so, wie eine Sammellinse auf Lichtstrahlen wirkt.

Das Objekt ist kurz vor der Mittelebene des Objektivs angebracht. Die vom Kondensator kommenden Elektronen treffen auf das Objekt und

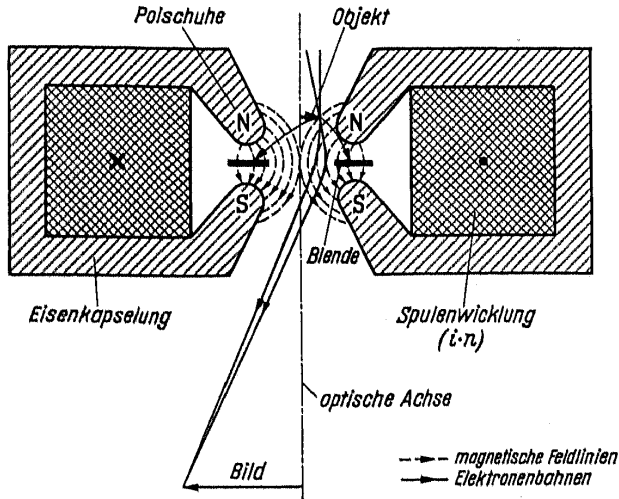


Fig. 2. Polschuh-Linse.

werden je nach der am einzelnen Objektpunkt vorhandenen Masse mehr oder weniger abgestreut: Ist relativ viel Masse vorhanden, ist das Objekt an dem betreffenden Punkt also dick oder dicht, so werden relativ viel Elektronen abgestreut, fallen hinter die Objektivblende und tragen daher zur Bildherstellung nicht bei; entsprechend wenig Elektronen durchdringen das Objekt ungestreut, treten durch die Blende und werden zum Bild fokussiert, das demnach einen relativ dunklen Punkt zeigen wird. Ist im Objektpunkt wenig Masse vorhanden, so treten entsprechend mehr Elektronen in die Linse, und der Bildpunkt ist infolgedessen hell. Das übermikroskopische Bild gibt also ähnlich wie das Röntgenbild die Verteilung der Masse im Objekt wieder.

2. *Objektträger und Objektpräparation.* Nach dem eben Dargelegten gibt es für die Elektronenstrahlen keine Materie, die für sie so „durchsichtig“ wäre wie Glas für Licht; daher können wir nicht ohne weiteres die Objekte auf Objektträger legen, vielmehr muß, wenn wir überhaupt einen solchen verwenden wollen, seine Dicke klein sein gegenüber der Dicke der zu betrachtenden Objekte. Diese Bedingung läßt sich mit Kollodiumfilmen von etwa  $2 \times 10^{-5} \text{ mm} = 20 \text{ m}\mu$  Dicke erfüllen. Bei den hohen Vergrößerungen benötigt man nur sehr kleine Objektfelder. Wir verwenden daher als Objektträger kleine runde Plättchen aus Goldplatin von etwa 4 mm Durchmesser und etwa  $\frac{1}{2}$  mm Dicke. Diese Plättchen haben in der Mitte eine Bohrung von  $\frac{1}{10} - \frac{1}{30}$  mm Durchmesser; über dieses sehr kleine Loch wird der Objektträgerfilm gespannt, der wegen des kleinen freien Durchmessers trotz seiner sehr kleinen Dicke noch recht stabil ist. Man kann beispielsweise zur Betrachtung des Objekts im Lichtmikroskop eine Ölimmersion auf den Film bringen und hinterher wieder abwaschen. Die Fig. 3 zeigt Ihnen das übermikroskopische Bild eines solchen Trägerfilms. Sie erkennen, daß die Aufgabe, „glasklare“ Objektträger zu schaf-

fen, als praktisch gelöst gelten kann, denn der Film ist kaum dunkler als der Bereich, auf dem kein Film ist. Rechts ist ein unsorgfältig hergestellter Film mit daraufliegenden Verunreinigungen dargestellt.

Die Herstellung des Films ist grundsätzlich einfach: Man läßt einen Tropfen einer Kollodium-Amylacetat-Lösung auf einem Wasserspiegel sich ausbreiten und das Amylacetat abdunsten. Der schwimmende Film wird dann auf dem Objektträger aufgebracht.



Fig. 3. Objektträgerfilme. el.opt. 24.000 : 1. (1)

Die Objekte — Bakterien, Kolloide, Staube oder dgl. — läßt man aus einer wässrigen Aufschwemmung, von der man einen Tropfen auf den Film bringt, aufdunsten. Vor der Untersuchung

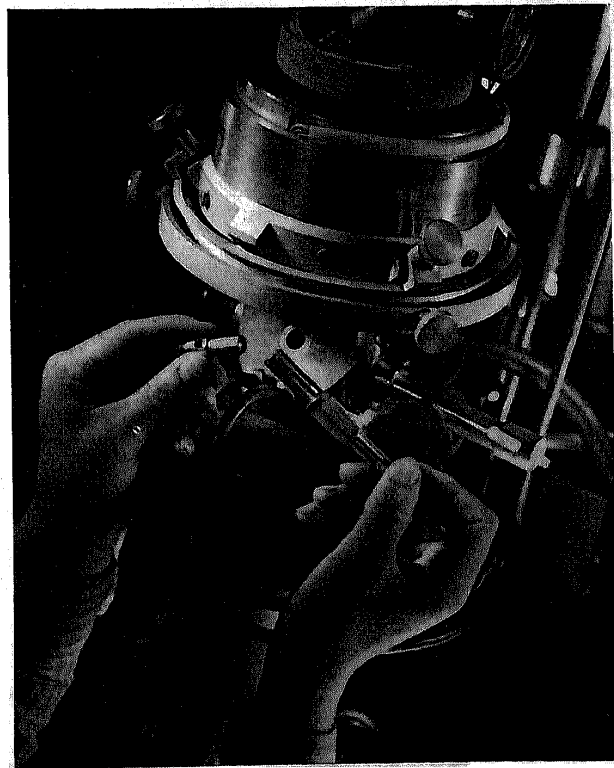
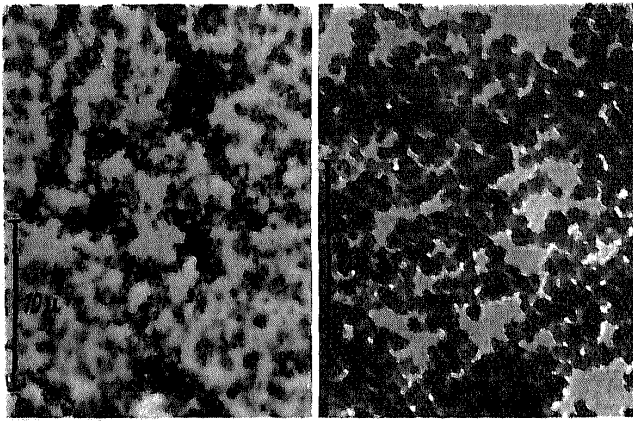


Fig. 4. Objektschleuse.

im Übermikroskop kann man das Objekt leicht im Lichtmikroskop betrachten.

3. *Das Mikroskopieren.* Das Objekt muß zur Untersuchung ins Vakuum gebracht werden. Zu diesem Zwecke wird es eingeschleust, ohne daß das Vakuum der Apparatur zerstört zu werden



lichtopt. 2000:1. el.opt. 24000:1.  
Fig. 5. Ruß.

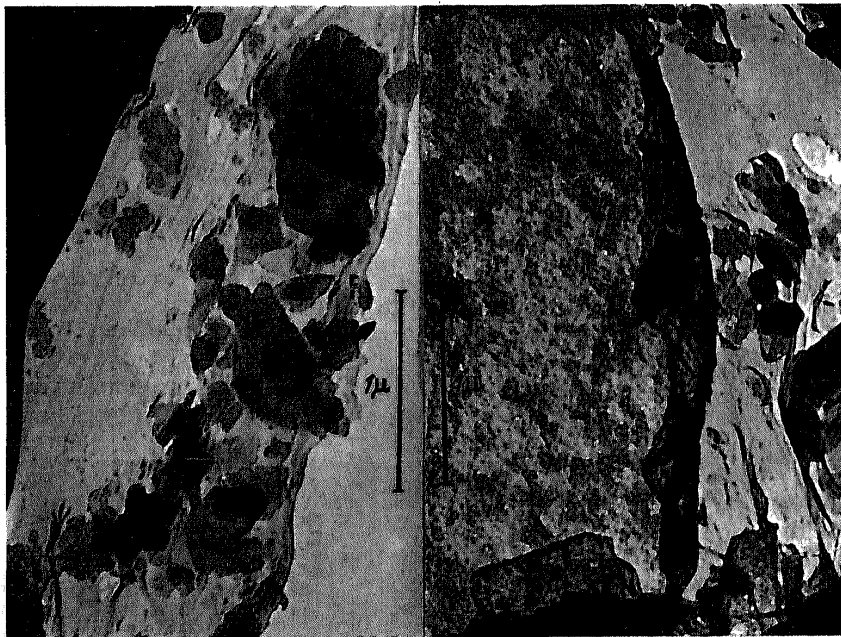


Fig. 6. Synthetisches Kaolin. el.opt. 23000:1.

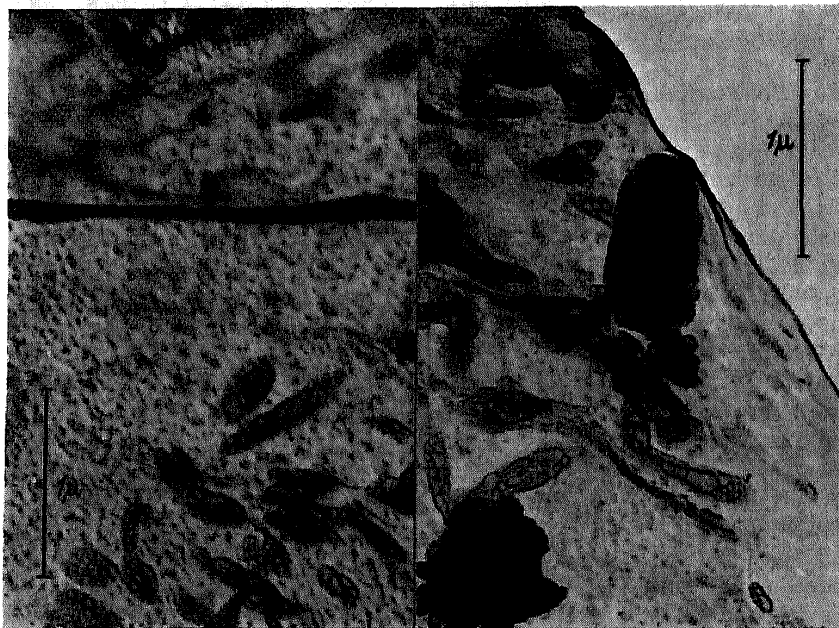


Fig. 7. Zementteilchen. el.opt. 23000:1.

braucht. Die Fig. 4 zeigt die Objektschleuse; der Vakuumkörper ist an der Stelle der Objektschleuse als großer Hahn mit eingeschlif- fenen und

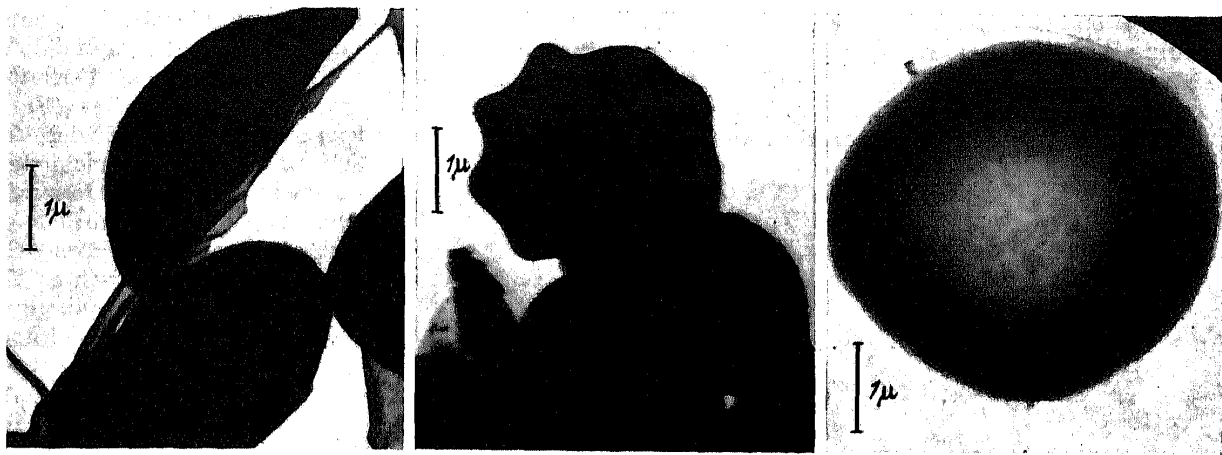
gefettetem Kükten ausgebildet. Das Kükten des Hahnes ist durchbohrt und kann so gedreht werden, daß die Bohrung in einer bestimmten Stellung Verbindung mit der Außenluft hat. In dieser Stellung wird das an einer Patrone befestigte Objekt in die Bohrung des Hahn-Kükten gebracht; sodann wird dieses gedreht, so daß die Bohrung mit der Patrone und dem Objekt in die Achse der Apparatur und damit ins Vakuum gebracht wird. Der Objektwechsel vom Ausschalten des Mikroskops bis zur Beobachtung des neuen Objekts dauert nur 1 Minute.

Hat man das Objekt eingebracht, so schaltet man die Hochspannung und damit den Elektronenstrahl ein. Durch Änderung des Stromes der 3 Linsen kann man deren Brennweite ändern und damit die Helligkeit einstellen und die Scharfstellung bewirken. Das Bild beobachtet man durch Fenster der Apparatur auf dem Leuchtschirm. (Auch das Zwischenbild kann man durch Fenster auf dem Zwischenbildleuchtschirm beobachten.) Da eine dem Kreuztisch entsprechende Anordnung vorgesehen ist, kann man das Objekt während der Beobachtung verschieben und damit nach interessierenden Bereichen absuchen. Hat man eine wichtige Stelle gefunden, so bewerkstelligt man die Aufnahme dadurch, daß man den Leuchtschirm beiseite klappt. Die Belichtungszeit beträgt etwa 1 bis 3 Sekunden. Für die Auswechslung der Platte ist eine Schleuse vorgesehen; der Plattenwechsel dauert bis zur neuen Aufnahmebereitschaft 1 Minute.

4. *Schmalfilmvorführung.* Das Arbeiten mit dem Gerät kann Ihnen am besten ein kurzer Film zeigen, der Ihnen auch über die Größenverhältnisse des Gerätes Auskunft gibt.

5. *Untersuchungen mit dem Übermikroskop.* An einigen Beispielen von übermikroskopischen Bildern soll nun gezeigt werden, warum wir überhaupt Übermikroskopie betreiben und was wir vom Übermikroskop erwarten dürfen. Fig. 5 zeigt links ein Rußpräparat mit der besten, mittels des Lichtmikroskops erreichbaren Auflösung, die man bei der noch förderlichen Vergrößerung von 2000 gewinnt. Rechts ist Ruß dargestellt, mit dem Übermikroskop in 24000facher Vergrößerung aufgenommen.

Das Bild ist trotz der über 10fach höheren Vergrößerung immer noch mindestens ebenso scharf wie das linke. Diese höhere Auflösung



a el.opt. 9500 : 1.

b el.opt. 9500 : 1.

c el.opt. etwa 10000 : 1.

Fig. 8. a) Seiten- und Vorderansicht normaler roter Blutkörperchen. b) Stechapfelform. c) Hämoglobinarmes Blutkörperchen.

beruht auf den im folgenden dargestellten Tatsachen:

Das Auflösungsvermögen des Lichtmikroskops ist bekanntlich dadurch begrenzt, daß das Licht, wenn wir zu sehr kleinen Abmessungen heruntergehen, nicht mehr stetig verteilt ist; vielmehr besteht es aus elektromagnetischen Schwingungen, die eine gewisse Wellenlänge haben. Die kleinste, noch auflösbare Strecke ist proportional der Wellenlänge der abbildenden Strahlung und umgekehrt proportional der numerischen Apertur des Objektivs. Es ist nicht möglich, Gegenstände formgetreu abzubilden, die wesentlich kleiner sind als die Wellenlänge des abbildenden Mediums, auch wenn man Objektive der größtmöglichen Öffnung (numerische Apertur 1,4) verwendet. Das Grenzauflösungsvermögen des Lichtmikroskops beträgt etwa  $0,2 \mu$ . Die Wellenlänge der Elektronenstrahlen ist nun 10000mal kleiner als die der Lichtstrahlen. Da aber die Elektronenlinsen bisher schlechter sind als die Lichtlinsen, kann man nicht mit den in der Lichtoptik üblichen hohen Objektivaperturen arbeiten, sondern verwendet bisher Abbildungsaperturen von etwa ein Tausendstel. Damit ist das Auflösungsvermögen immer noch beträchtlich höher als beim Lichtmikroskop, und außerdem hat man im Bild trotz der hohen Vergrößerung wegen der kleinen Abbildungsapertur eine viel größere Tiefenschärfe als bei den Lichtobjektiven hoher Öffnung. Dieser Vorteil ist für das praktische Mikroskopieren sehr wichtig; im Rußbild rechts ist er gut erkennbar, denn der Ruß stellt einen räumlich verteilten Schwamm dar, und man beobachtet innerhalb des Bildfeldes keine Schärfenunterschiede. — Die Auflösung, die im Übermikroskop bisher erreicht wurde, beträgt  $10 \text{ m}\mu$ , also etwa  $\frac{1}{30}$  des Lichtmikroskops.

Schöne Aufschlüsse über das Wesen der Werk-

stoffe kann man mit dem Übermikroskop in der Technik der Steine und Erden gewinnen. Die Herren Prof. EITEL und Dr. RADZEWski vom Kaiser Wilhelm-Institut für Silikatforschung und Herr Dipl.-Ing. H. O. MÜLLER haben Bilder von

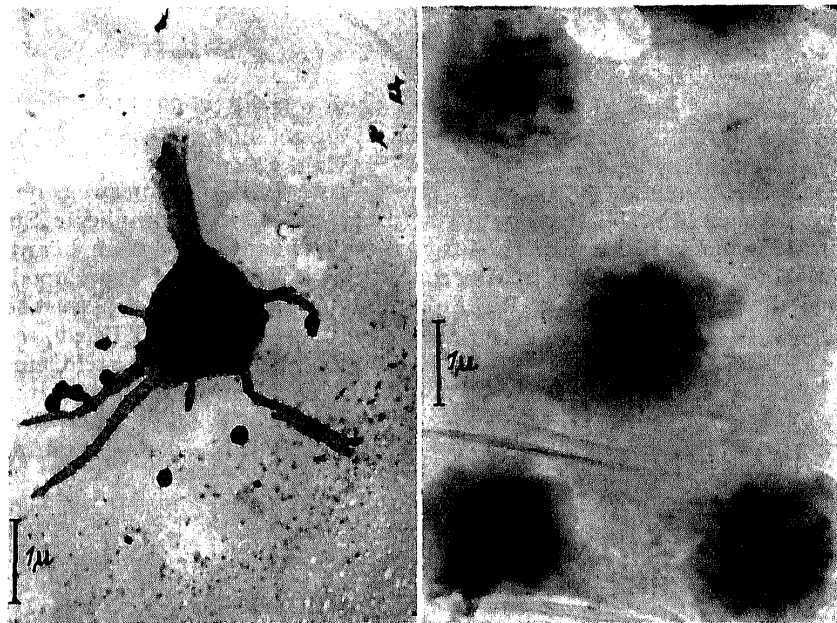


Fig. 9. Blutplättchen nach verschiedener Vorbehandlung. el.opt. etwa 10000 : 1.

Tonen und Zementen aufgenommen, über die von den genannten Herren ausführlicher berichtet wurde (2). Fig. 6 zeigt Aufnahmen von synthetischem Kaolin. Besonders interessant ist die Wiedergabe der kristallinen Struktur; man beobachtet deutlich, wie sich an einzelnen Stellen bestimmte kleine Kristalle übereinanderschieben, wobei die Form beider Kristalle gut beobachtbar bleibt. Bei der Untersuchung von Zementen wurde eine große Vielfalt von Erscheinungsformen gefunden. Die in Fig. 7 herausgegriffene Darstellung zeigt einzelne Zementteilchen, die wabenförmige Innenstrukturen aufweisen.

An weiteren technischen Anwendungen seien genannt: Staubtechnik (3), Farbenchemie, Kolloidchemie. Bei letzterer ist es uns am Übermikroskop heute geläufig, selbst sehr kleine Kolloide



nach Form und Größe vor uns zu sehen, nachdem BEISCHER und KRAUSE 1937 erstmalig Kolloide im Übermikroskop dargestellt hatten.

In Zusammenarbeit mit der Ersten medizinischen Universitätsklinik der Charité untersuchten

eingehendere Untersuchungen hierüber an, über die in nächster Zeit in einem Zusammenhang berichtet wird, der das physiologische Verhalten der Blutplättchen zum Gegenstand hat (Fig. 9 und 10). Diese Körper nehmen, je nach der Vor-

behandlung, ganz verschiedene Formen an. Im kreisenden Blut haben sie vermutlich die rechts dargestellte Form, bei der der mittlere dichte Teil von einer zarten Hülle umgeben ist. Unter gewissen physiologischen Bedingungen aber stoßen sie aus dieser Hülle pseudopodienartige Fortsätze aus, deren Rolle für die Blutgerinnung noch untersucht wird. Die gezeigten Bilder sind bei der nur mäßigen Vergrößerung von 10000:1 aufgenommen worden. Auch die linke Hälfte von Fig. 10 zeigt in nur mäßiger Vergrößerung Blutplättchen. Es ist aber möglich, im Übermikroskop von einem Objekt zunächst ein Übersichtsbild herzustellen und dann einen besonders interessierenden Bereich in höchster Vergrößerung darzustellen. Bei der Fig. 10 zeigt sich dabei in der rechten Hälfte, daß die Pseudopodien



el.opt. 4900:1.

el.opt. 26000:1.

Fig. 10. Blutplättchen.

Dr. C. H. WOLPERS und Dr. H. RUSKA rote Blutkörperchen (Fig. 8). Diese sind so dick, daß man im allgemeinen innere Strukturen nicht erkennt. Wohl aber erkennt man in außerordentlicher Klarheit die äußeren Umrisse. Der linke Teil des Bildes

keineswegs einheitlich sind, sondern vielmehr eine granulante Struktur haben.

Man könnte nun einwenden, daß das, was wir für Pseudopodien der Blutplättchen halten, bereits Fibringerüst sei. Die Fig. 11 zeigt aber, daß Fibrin im Übermikroskop erheblich anders aussieht. Das Bild stellt einen Gefrierschnitt aus einem Fibringerinnsel dar; es ist gleichzeitig ein Beispiel dafür, daß man im Übermikroskop unter gewissen Umständen sehr gut auch Dünnschnitte untersuchen kann.

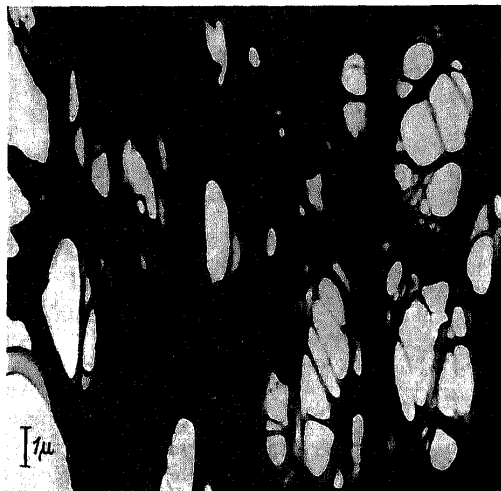
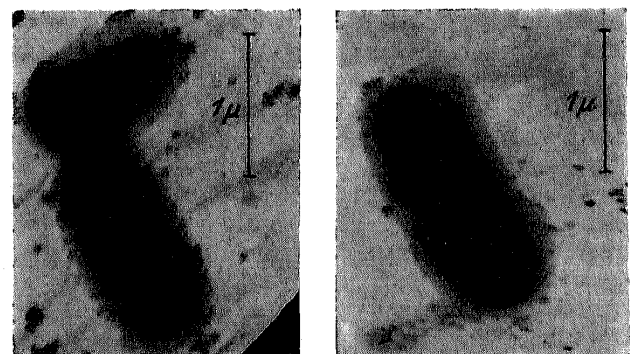


Fig. 11. Gefrierschnitt aus einem Fibringerinnsel.  
el.opt. etwa 5000:1.

zeigt normale Blutkörper, deren einer von der Seite gesehen ist. In der Mitte ist eine Stechapfelform dargestellt, und rechts sieht man ein hämoglobinares Blutkörperchen, das durchstrahlbar ist. Hier scheint eine gewisse Innenstruktur sichtbar zu werden.

Interessanter stellen sich bei übermikroskopischen Untersuchungen die Blutplättchen dar. Dr. C. H. WOLPERS und Dr. H. RUSKA stellten



el.opt. 17300.

el.opt. 16800.

Fig. 12. Bakterien der Y-Ruhr.

Ein Beispiel aus der Bakteriologie zeigt Fig. 12. Es stellt Bacillen der Y-Ruhr dar. Der Fortschritt ist offensichtlich, wenn man sich vorstellt, daß man die Begleitkörper im Lichtmikroskop überhaupt nicht gesehen hat. Diese Begleitkörper treten in der Hülle gehäuft auf, so daß man für möglich halten könnte, es seien Ausscheidungen der Bakterien, vielleicht filtrierbare Toxine. Die Kruse-Shiga-Ruhr hat eine andere Form, zartere Hülle

und größere Begleitkörper, so daß mit dem Übermikroskop die bisher nicht mögliche morphologische Trennung der Y-Ruhr und der Kruse-Shiga-Ruhr in Aussicht steht.

Die Kürze der Zeit verbietet es, Bilder von anderen Bakterien, z. B. Koli, Thyphus, Parathyphus, Bang und verschiedenen Eitererregern zu zeigen. Wir übersehen schon heute, daß das Übermikroskop eine neue Morphologie der Bakterien bringen wird; sehen wir doch Eigenheiten im Umriß, Innenstrukturen, Hüllen, Begleitkörper und Auswirkungen der Bakterien auf ihre Umgebung in einer Klarheit vor uns, die weit tiefer in das

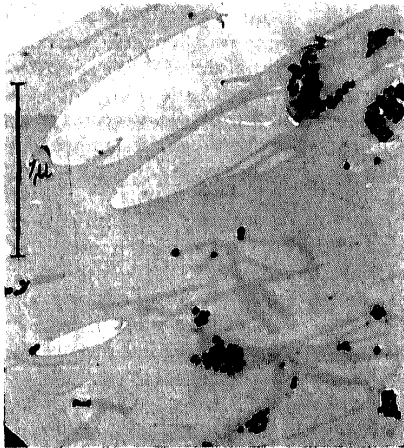


Fig. 13. Tabakmosaikvirus. el.opt. 20000 : 1. (4)

Wesen der Bakterien eindringen läßt, als das bisher möglich war. Auch einzelne tierische Viren konnten bereits dargestellt werden, so die Kuhpocken, das Kaninchenmyxom und die Mäuseektromelie.

Die Herren Dr. KAUSCHE und Reg.-Rat Dr. PFANKUCH von der Biologischen Reichsanstalt und Dr. H. RUSKA haben das ultraviolette Virus der Tabakmosaik-Krankheit untersucht (4). Von diesem Virus ist bekannt, daß das lösliche Eiweiß befallener Pflanzen zu 80 % Viruseiweiß ist. Es kann rein dargestellt werden und gilt seit den Untersuchungen von STANLEY als ein kristallisierbarer, äußerst hochmolekularer Eiweißkörper. Die Lösung ist selbst in Verdünnungen von etwa 1:10<sup>9</sup> noch infektiös. Die Träger der Infektion gelten als einheitliche fadenförmige Moleküle, über deren Größe in der Literatur nach indirektem Meßverfahren außerordentlich schwankende Angaben gemacht werden. Es wurde nun ein Präparat untersucht,

das PFANKUCH und KAUSCHE rein dargestellt hatten und das in wässriger Lösung vorlag. Es enthielt in der Trockensubstanz 99,7 % Virus bei einem Salzgehalt von weniger als 0,01 %. Fig. 13 zeigt ein typisches Bild, in dem das Virus zu langen, netzartigen Fäden zusammengelagert ist. Die danebenliegenden tiefschwarzen runden Punkte stellen zwischengemengte Goldkolloide dar, mit denen die Tabakmosaik-Viruslösung versetzt wurde, um eine scharfe Einstellung, die bei dem kontrastarmen Virus schwierig ist, zu ermöglichen. Bestimmtes können wir heute noch nicht darüber aussagen, ob wir die Anfänge der Kristallisation vor uns sehen oder ob die kleinsten sichtbaren Fäden den Elementarkörper des Virus selbst darstellen. Wenn man sich auf den Standpunkt stellt, daß die zuletzt genannten Fäden die Elementarkörper sind, und wenn man diese Elementarkörper als einheitliche Riesenmoleküle auffaßt, so zeigt das Bild erstmalig in geometrisch getreuer Wiedergabe Riesenmoleküle abgebildet.

#### Zusammenfassung.

Das Übermikroskop erlaubt heute, von zahlreichen Objekten Bilder zu gewinnen, die bei etwa 25 000facher Vergrößerung ein Auflösungsvermögen von 10 m $\mu$  haben. Die Objektpräparation und das Mikroskopieren ist so vereinfacht, daß es Naturwissenschaftlern und Medizinern zugänglich ist. Damit besteht die Möglichkeit, in den Feinbau der Materie der unbelebten und belebten Welt 20 mal so weit einzudringen, als das Lichtmikroskop uns dies bisher erlaubte. Wenn wir uns vergegenwärtigen, welche Fülle von Erkenntnissen auf fast allen Gebieten der Forschung und Technik dieses wohl erfolgreichste Gerät zur Verschärfung unserer Sinne uns gebracht hat, und wenn wir uns vorstellen, daß das Lichtmikroskop aus unseren Prüfstellen, Laboratorien und Kliniken überhaupt nicht mehr wegzudenken ist, dann dürfen wir vom Übermikroskop viel erwarten. Die Übermikroskopie steht am Anfang ihrer Entwicklung; was sie uns an Vertiefung der Erkenntnis und an technischem Fortschritt bringen wird, ist heute schon auf einer Anzahl von Arbeitsgebieten vorauszusehen.

#### Literatur.

1. H. RUSKA, Naturwiss. 27, 287 (1939). —
2. W. EITEL, H. O. MÜLLER u. O. E. RADCZEWSKI, Berichte der deutschen Keramischen Gesellschaft 20, 165 (1939). —
3. H. FRIESS u. H. O. MÜLLER, Die Gasmaske 11, 1 (1939). —
4. G. A. KAUSCHE, E. PFANKUCH u. H. RUSKA, Naturwiss. 27, 292 (1939).

## Erkenntnisgewinn und Fortschritte in der Methode für das Gebiet der Physiologie.

Von H. REIN, Göttingen.

### Autoreferat.

Wie in kaum einem anderen Abschnitt der Naturforschung ist das Ringen um Erkenntnisse über die letzten Zusammenhänge des Lebensgeschehens — der Inhalt der physiologischen Forschung — ein Ringen um Methoden. Dabei gilt es nicht nur die Unzulänglichkeiten unserer Sinnesorgane als Detektoren für die zu beobachtenden Geschehnisse zu verbessern, etwa im Sinne einer Erhöhung des Sehvermögens in

die Dimensionen des Ultraviolettens u. dgl. m. Das sind die primitivsten methodischen Selbstverständlichkeiten, und es ist klar, daß jeder Fortschritt der optischen Technik, sei es auf dem Gebiete der mikroskopischen Technik, der Mikrophotographie oder der Kinematographie zu neuen Einsichten auf dem Gebiete der Physiologie führen mußte. Die Forderungen gehen dahin, das dynamische Geschehen der lebenden Substanz