

# Der Stand des Übermikroskopes

Von B. v. Borries und E. Ruska, Berlin-Siemensstadt

Mitteilung aus dem Laboratorium für Elektronenoptik des Wernerwerks der Siemens & Halske, A.-G.

Vor drei Jahren haben die Verfasser in dieser Zeitschrift<sup>1)</sup> über die Grundlagen und den damaligen Stand der verschiedenen Elektronenmikroskope berichtet. Inzwischen sind auf dem Gebiete des mit schnellen Elektronen und Durchstrahlungsverfahren arbeitenden magnetischen Elektronenmikroskopes, für das die Verfasser zur Unterscheidung von den nur der Untersuchung von Elektronenstrahlern dienenden Elektronenmikroskopen die Bezeichnung „Übermikroskop“ vorgeschlagen haben, so beachtliche Fortschritte erzielt, daß das Gerät auch für die Ingenieurforschung bereits praktische Bedeutung erlangt hat. Es soll daher über die wichtigsten Stufen dieser Entwicklung anhand der neueren Arbeiten zusammenfassend berichtet werden. Anschließend sollen eigene, neue Ergebnisse mitgeteilt werden.

## Entwicklung des Übermikroskopes seit 1935

Nach dem Vorgehen von E. Ruska<sup>2)</sup> hat L. Marton am Physikalischen Institut der Universität Brüssel ein magnetisches Elektronenmikroskop gebaut und damit eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt<sup>3)</sup>. Ihm gelang es erstmalig, elektronenoptische Aufnahmen von biologischen Zellen und auch von Bakterien zu erhalten. Bild 1 zeigt die erste Bakterienaufnahme, die er erhielt.

An dem ersten, 1933 von E. Ruska<sup>2)</sup> gebauten Übermikroskop haben F. Krause<sup>4)</sup> sowie D. Beischer und F. Krause<sup>5)</sup> bemerkenswerte Untersuchungen durchgeführt. F. Krause untersuchte Diatomeen (Kieselalgen) und konnte klarere Aufnahmen von Zellen gewinnen, Bild 2, als sie L. Marton vorher schon gewonnen hatte, sowie bei Bakterienaufnahmen ultraviolett (unter-sichtbare) Begleitkörper von Bakterien feststellen, Bild 3. D. Beischer und F. Krause erhielten erstmalig übermikroskopische Aufnahmen von Kolloiden, indem sie Goldkolloide auf Gelatinefolien auftröckneten, Bild 4. Außerdem konnten sie Aufnahmen von Goldkolloiden in Glas (Rubinglas) und von kolloidalen Eisenfäden gewinnen und bildeten erstmalig Ultrafilter (Kolloidumfilme) ab.

In England ist von L. C. Martin, R. V. Whelpton und D. H. Parnum ein

<sup>1)</sup> B. v. Borries und E. Ruska, Z. VDI Bd. 79 (1935) S. 519. Wir benutzen diese Gelegenheit zu einer Berichtigung: In einer weiteren Arbeit in Z. VDI Bd. 80 (1936) S. 989 muß es auf S. 992 in Gl. (3) statt 48 400 heißen: 48,4.

<sup>2)</sup> E. Ruska, Z. Phys. Bd. 87 (1934) S. 580.

<sup>3)</sup> L. Marton, Bull. Acad. Belg. Classe des Sciences Bd. 20 (1934) S. 439, Bd. 21 (1935) S. 553, 606, Bd. 22 (1936) S. 1936, Bd. 23 (1937) S. 672.

<sup>4)</sup> F. Krause, Z. Phys. Bd. 102 (1936) S. 417; Naturwiss. Bd. 25 (1937) S. 817; F. Krause in: Beiträge zur Elektronenoptik, Leipzig 1937, S. 55.

<sup>5)</sup> D. Beischer u. F. Krause, Naturwiss. Bd. 25 (1937) S. 825.

Elektronenmikroskop für hohe Auflösungen gebaut worden<sup>6)</sup>. Bemerkenswerte Ergebnisse mit diesem Instrument sind bisher jedoch nicht bekannt geworden.

Neuerdings sind auf Vorschlag der Verfasser bei Siemens & Halske, A.-G., Arbeiten zur technischen Weiterentwicklung der Übermikroskope aufgenommen worden. Über das im Zuge dieser Arbeiten gebaute Versuchsgeschütz wurde jüngst berichtet<sup>7)</sup>. Während die bisherigen Übermikroskope im allgemeinen Vergrößerungen bis zu 4 000 lieferten, arbeitet das neue Mikroskop, Bild 5 und 6, mit bis zu 30 000facher Vergrößerung. Sein Auflösungsvermögen beträgt im jetzigen Entwicklungszeitpunkt  $10 \text{ m}\mu = 10^{-5} \text{ mm}$ . Die genannten Zahlen stellen weder bezüglich der Vergrößerung noch bezüglich der Auflösung Grenzleistungen dar; vielmehr wird sich beides durch Verbesserung der magnetischen Linsen und weitere

<sup>6)</sup> L. C. Martin, R. V. Whelpton u. D. H. Parnum, J. sci. Instrum. Bd. 14 (1937) S. 14.

<sup>7)</sup> B. v. Borries u. E. Ruska, Wiss. Veröff. Siemens-Werke Bd. 17 (1938) 1. H. S. 99.

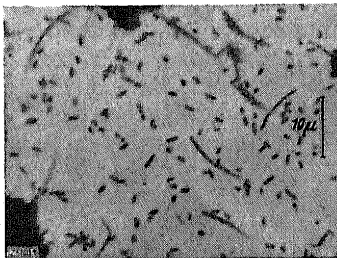


Bild 1 (links) Chromobakterium prodigiosum, fixiert mit Chromsäure und gefärbt mit Fuchsin. Erste elektronenmikroskopische Bakterienaufnahme nach L. Marton<sup>3)</sup>.

Vergr. elektronenoptisch 750fach.

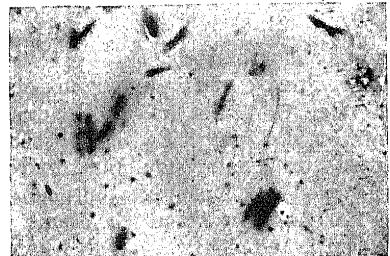


Bild 3. Heubakterien auf einem Trägerhäutchen, mit Formalin fixiert, nach F. Krause<sup>4)</sup>.

Vergr. elektronenoptisch 2600fach.

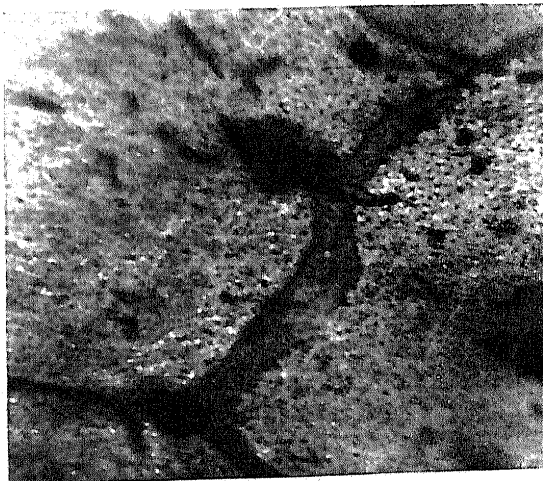


Bild 2. Zellrand zweier Epithelzellen vom Schlammteufel, mit Kaliumbichromatlösung von 2% Gehalt fixiert, nach F. Krause<sup>4)</sup>.

Vergr. elektronenoptisch 2000fach.



Bild 4. Goldkolloide auf Gelatinefilm nach D. Beischer und F. Krause<sup>5)</sup>.

Teilchengröße 50 bis 100 m $\mu$ .  
Vergr. elektronenoptisch 2900fach.

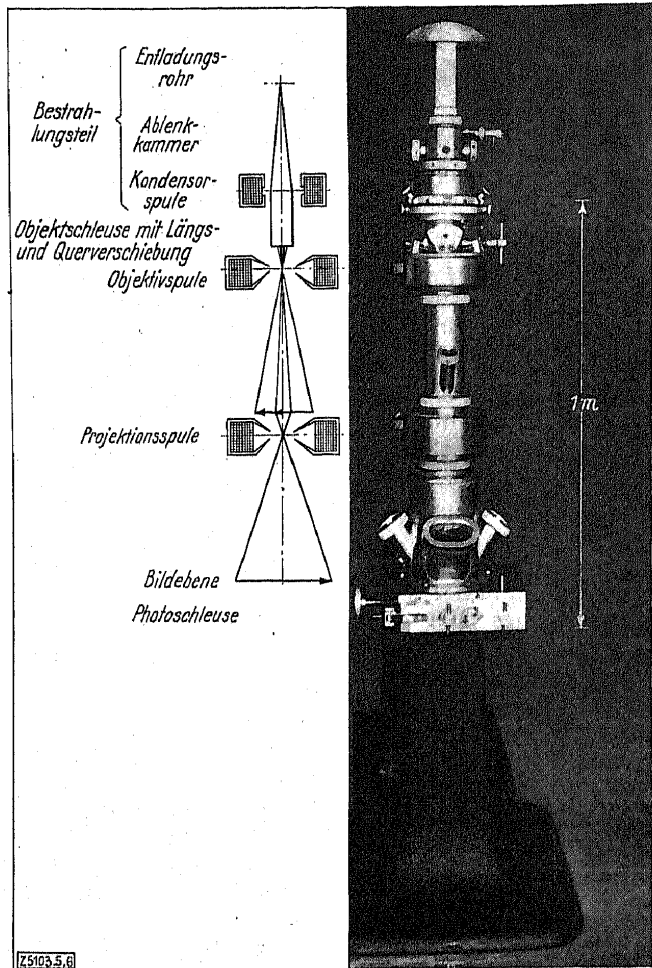


Bild 5. Strahlengang. Bild 6. Ansicht.  
Bild 5 und 6. Übermikroskop nach E. Ruska und B. v. Borries.

Übersichtstafel 1. Arbeitsbereich der verschiedenen Abbildungsgeräte.

Beispiele von Anwendungsgebieten		Größenordnung	Abbildungsgeräte und Auflösungs-grenzen $\delta = \frac{\lambda}{2An}$ ; $\lambda = \sqrt{\frac{15}{U}} m\mu$ $\delta =$ auflösbarer Abstand $\lambda =$ Wellenlänge der Strahlung $A_n =$ numerische Apertur $U =$ Beschleunigungsspannung der Elektronen (Volt)
Chemie	Medizin Biologie		
Beobachtung von Reaktionsabläufen Farbenerscheinungen Niederschlagsbildungen Nebel- und Rauchbildungen	Makroskopische Anatomie	1 mm	Auge ohne Hilfsmittel
Niederschlagsteilchen	Histologie (Gewebeaufbau)	100 $\mu$	Lupe (um 1000)
Metalloberflächen	Zytologie (Zellen, Kerne, Fasern)	10 $\mu$	Mikroskop (um 1650)
Nebel- und Rauchteile Stäube Kolloide Riesensmoleküle	Bakteriologie (Bakterien)	1 $\mu$ (10 <sup>-6</sup> mm)	Ultraviolett-mikroskop (1934)
Eiweiß organische Moleküle Kristallgitter anorganische Moleküle Atome	Virusforschung (Virus)	100 m $\mu$	Übermikroskop (1934)
		10 m $\mu$	
		1 m $\mu$ (10 <sup>-5</sup> mm)	
		(1 $\text{Å}$ ) 100 m $\mu$	
		10 $\mu$	

beugungsaufnahmen, Ultrazentrifugen<sup>6)</sup>, Filter, Ultramikroskopie, um wenigstens das Vorhandensein, die Größe, Art und Häufigkeit irgendwelcher Teilchen mittelbar zu bestimmen.

Gegenüber all diesen vielfach mit langwierigem Rechenaufwand verknüpften Verfahren bedeutet der mit dem Übermikroskop zu gewinnende unmittelbare Einblick in diese Größenverhältnisse einen erheblichen Fortschritt. Das Übermikroskop wird im Anschluß an das Lichtmikroskop einen ebenso großen Bereich des Kleinsten neu erschließen, Übersichtstafel 1, wie es diesem bei seiner Entstehung vor 250 Jahren bestimmt war. Das Lichtmikroskop vermag noch Teilchen im Abstand von  $2 \cdot 10^{-4}$  mm getrennt darzustellen, das Übermikroskop trennt heute schon Teilchen im Abstand von  $10^{-6}$  mm voneinander; in der nächsten Zeit sind weitere Fortschritte zu erwarten. Einigen wir uns darauf, daß wir von einem Körper dann ein genügend unterscheidbares charakteristisches Bild erhalten, wenn dieser zehnmal so groß ist wie die Auflösungskraft des Mikroskopes, so bildet uns das Lichtmikroskop noch Körper von  $2 \cdot 10^{-3}$  mm (2  $\mu$ ) formatreu ab, das Übermikroskop aber jetzt schon solche von  $10^{-4}$  mm (0,1  $\mu$ ). Für die Forschung und Technik bedeutet das, daß auf manchen Arbeitsgebieten jetzt überhaupt erst ein ebenso unmittelbarer Einblick erhalten werden kann, wie es durch das Lichtmikroskop auf anderen Gebieten ermöglicht wurde; auf anderen Arbeitsgebieten kann der vom Lichtmikroskop her schon bekannte Einblick entsprechend verfeinert werden. Wichtig für die praktische Anwendung und Einführung des Übermikroskopes war es, das Mikroskopieren einfach und für jedermann zugänglich zu gestalten sowie die verschiedensten interessierenden Objekte für das Übermikroskop zugänglich zu machen.

Beruhigung der elektrischen Verhältnisse durch Gleichhalten der Ströme und Spannungen noch erheblich steigern lassen. Das Gerät ist in der Handhabung dadurch sehr vereinfacht, daß das Ein- und Ausschleusen eines neuen Objektes nur 1 min, das Ein- und Ausschleusen einer photographischen Platte nur 2 min in Anspruch nimmt. Außerdem ist es möglich, das Objekt, das in der Mehrzahl der Fälle auf einem Kollodiumhäutchen aufgebracht ist, während des Mikroskopierens quer zur Achse und in Richtung der Achse zu verschieben, so daß sowohl der interessierende Teil des Objektes herausgesucht als auch die Gesichtsfeldgröße je nach den Erfordernissen gewählt werden können. Einen Einblick in die Leistungsfähigkeit des Gerätes vermittelt Bild 7.

### Bedeutung des Übermikroskopes

Das Übermikroskop stellt eine neue Erweiterung unseres wichtigsten Sinnes, des Gesichtssinnes, dar. Einer solchen Erweiterung über das Lichtmikroskop hinaus schien durch die Natur des sichtbaren und ultravioletten Lichts eine nicht mehr übersteigbare Naturgrenze gesetzt. Es wurden daher die mannigfaltigsten mittelbaren Verfahren entwickelt, wie Röntgen- und Elektronen-

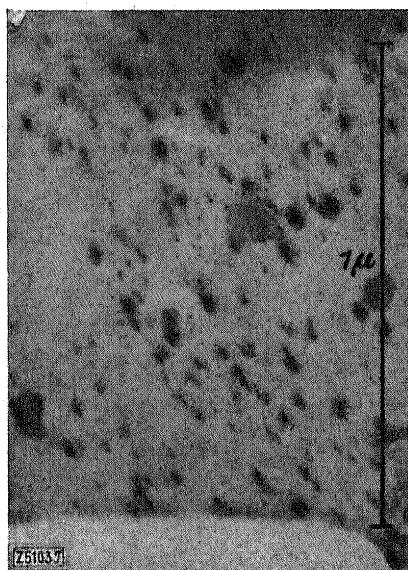


Bild 7. Kolloidales Silber (Argosubtil) auf einem Kollodiumfilm nach B. v. Borries und E. Ruska<sup>7)</sup>. Teilchengröße 5 bis 50 m $\mu$ . Vergr. elektronenoptisch 16500fach, Nachvergr. lichtoptisch 3,6fach, Gesamtvergr. also rd. 60000fach.

<sup>6)</sup> Vgl. z. B. W. Keil, Z. VDI Bd. 82 (1938) Nr. 5 S. 115.

## Anwendungsgebiete

### Medizin und Biologie

Von den Verfassern wurden gemeinsam mit *H. Ruska*<sup>9)</sup> mehrere Arten von Krankheitserregern untersucht<sup>10)</sup>. Kolibazillen (Darmbazillen) zeigten eine überraschende Mannigfaltigkeit der Formen, der Dichte und der Innenstruktur, deren biologische Deutung erst nach eingehenden, besonderen Untersuchungen dieser Erscheinungen wird gegeben werden können. Bei Diphtheriebazillen konnten die bekannten Polkörper beobachtet werden; sie zeigen kennzeichnende Formen und konnten daher sowohl am einzelnen Bazillus als auch getrennt für sich in besonders schöner Weise nachgewiesen werden.

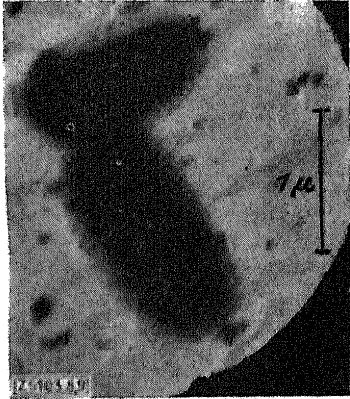


Bild 8. Bakterien der Y-Ruhr mit Begleitkörpern von 20 bis 100  $m\mu$  Größe.  
Vergr. elektronenoptisch  
17300fach.

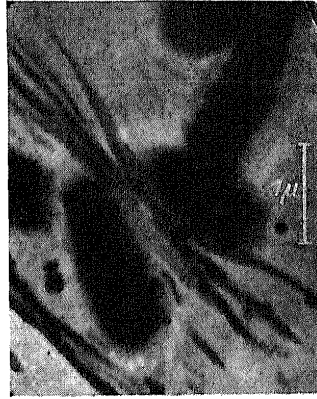


Bild 9. Bakterien der Kruse-Shiga-Ruhr mit Begleitkörpern von 50 bis 250  $m\mu$  Größe. Die Kollodiumhaut hat sich gefaltet.  
Vergr. elektronenoptisch  
12500fach.

Bild 8 und 9. Ruhrbakterien nach *B. v. Borries*, *E. Ruska* und *H. Ruska*<sup>9)</sup>.

Neben den Bakterien konnten auf den Trägerhäuten, Kollodiumhäuten von 20  $m\mu$  Dicke, die verschiedenartigsten Gebilde bis herunter zu 10  $m\mu$  Größe festgestellt werden. An Ruhr- und Bangbazillen wurden bisher unbekannte Hüllen, an Bangbazillen außerdem ein bisher unbekannter Formwechsel des Innenkörpers gefunden; verschiedene Ruhrarten, Bild 8 und 9, konnten nach ihrer Gestalt (morphologisch) getrennt werden, die bislang nur durch ihre Giftwirkung (toxikologisch) oder serologisch unterschieden werden konnten.

Im Übermikroskop hören die Bakterien auf, als einheitliche Gebilde zu erscheinen. Man erhält Einblick in ihr Inneres und gewinnt Aufschlüsse über ihre Umwelt. Begleitkörper und vielleicht auch geformte Stoffwechselprodukte wurden gefunden. Elementarkörper (Viren) der Pocken, der Ektromelie, Bild 10, und des Myxoms wurden dargestellt. Ein Virus dieser Größe konnte bisher nur dargestellt werden, indem man es durch gewisse Färbeverfahren so belud, daß seine Größe über die Sichtbarkeitsgrenze, die bei 0,16  $\mu$  liegt, gehoben wurde. Dabei blieb erstens unklar, ob bei der Färbung die Form erhalten bleibt, und zweitens konnte das Lichtmikroskop bei dieser Größe nur eine Kunde über das Dasein der Teilchen, nicht aber über ihre Form geben. In

Bild 10 sehen wir dagegen eine sehr charakteristische und durchaus nicht etwa kreisrunde Form.

Die Bedeutung des Übermikroskopes für die Medizin und Biologie erhellt sofort, wenn man bedenkt, daß die Erreger der Tollwut, Masern, Influenza, Maul- und Klauenseuche und rd. hundert anderer Krankheiten von Mensch und Tier Viren sind, die zum größten Teil bisher als unter der Sichtbarkeitsgrenze liegend (ultravisiibel) gelten mußten, jetzt aber im Übermikroskop darstellbar werden. Die Virusforschung kann hierdurch einen neuen Antrieb erhalten.

Mit der Untersuchung der Krankheitserreger ist das Interesse der Medizin am Übermikroskop aber keineswegs erschöpft, vielmehr gibt es eine ganze Anzahl von Fragen, bei denen es gilt, feinere als mikroskopische Strukturen zu sehen; die gesamte Histologie, d. i. die Lehre vom Aufbau der Gewebe, kann eine Erweiterung und Vertiefung erfahren. Zu denken ist hier unter anderem an Untersuchungen von Membranen, an denen z. B. in der Lunge der Gasaustausch zwischen Luft und Blut stattfindet; ferner wären die Untersuchung feinsten Nervenverzweigungen zu nennen und viele Einzelfragen mehr, die sich auch auf das Gebiet der krankhaften Veränderungen erstrecken. Ein sehr wichtiges Anwendungsgebiet wird voraussichtlich die Untersuchung von Chromosomen und Genen werden. Hier gilt es, die aus

statistischen Untersuchungen der Vererbungslehre gefolgerten Gesetze des Aufbaues der Chromosomen durch unmittelbare Beobachtung zu unterbauen.

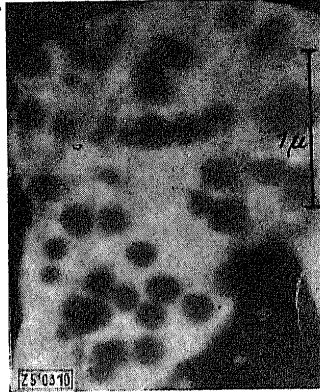


Bild 10  
Virus der Ektromelie der weißen Maus nach *B. v. Borries*, *E. Ruska* und *H. Ruska*<sup>9)</sup>.  
Vergr. elektronenoptisch  
20000fach.

### Kolloidchemie

Als kolloidale Körper bezeichnet man Teilchen eines Stoffes, die etwa zwischen 1 und 100  $m\mu$  ( $10^{-6}$  und  $10^{-4}$  mm) liegen. Bei der Untersuchung kolloidaler Systeme ist eine der wichtigsten Aufgaben, die Teilchen



Bild 11. Vergr. elektronenoptisch  
14000fach.

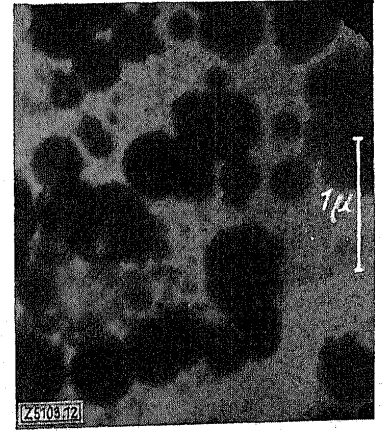


Bild 12. Vergr. elektronenoptisch  
16600fach.

Bild 11 und 12. Zwei handelsübliche Sorten Zinkweiß ( $ZnO$ ). Die außerordentliche Verschiedenheit der Teilchenform, die lichtmikroskopisch nicht mehr feststellbar ist, erlaubt Aussagen über das physikalische Verhalten der Farben.

<sup>9)</sup> *B. v. Borries*, *E. Ruska* u. *H. Ruska*, Wiss. Veröff. Siemens-Werke Bd. 17 (1938) 1. H. S. 107; Kln. Wochenschr. Bd. 17 (1938) Nr. 27 S. 021.

<sup>10)</sup> Diese Untersuchungen wurden in Zusammenarbeit mit der ersten Medizinischen Universitätsklinik der Charité, Berlin, durchgeführt. Deren Direktor, Herrn Prof. Dr. R. Stiebeck, danken wir für sein frühzeitiges Eintreten für die Verwendung des Übermikroskopes in der Medizin und für Bereitstellung der Hilfsmittel seiner Klinik.

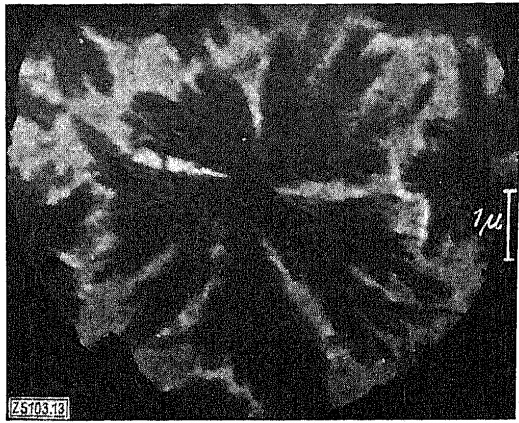


Bild 13. Käufliche dunkelrote Stoff-Farbe auf einer Kollodiumhaut.

Vergr. elektronenoptisch 8800fach.

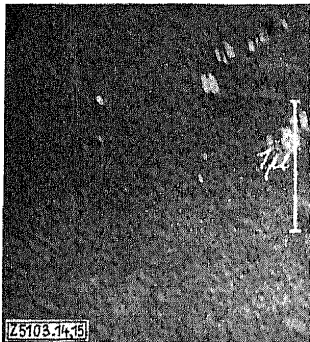


Bild 14. Farbstoff frisch gelöst; die Lösung ist im Reagenzglas völlig durchsichtig.

Vergr. elektronenoptisch 16400fach.

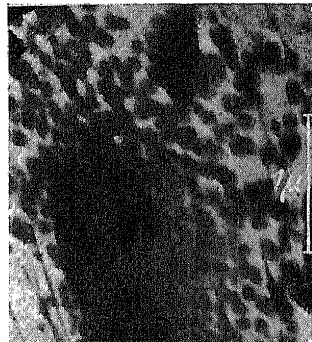


Bild 15. Farbstoff 10 h abgestanden; die Lösung sieht im Reagenzglas leicht trübe aus.

Vergr. elektronenoptisch 17000fach.

Bild 14 und 15. Kongorot, aus wässriger Lösung auf einer Kollodiumhaut aufgetrocknet.

form und die Häufigkeitsverteilung der Teilchengröße zu bestimmen. Während dies bisher nur mit außerordentlich langwierigen, mittelbaren Verfahren möglich war, kann man, wie Bild 4 und 7 zeigen, aus einer übermikroskopischen Aufnahme die gesuchten Größen finden. Es ist danach wohl offenbar, wie wichtig das Übermikroskop für die Kolloidchemie werden wird.

#### Farbenchemie

Bild 11 und 12 stellen Elektronenbilder zweier handelsüblicher Sorten Zinkweiß dar, die chemisch gesehen ZnO sind; die Verschiedenheit der Form und Größe ihrer Teilchen kommt klar zum Ausdruck. Man wird aus solchen Aufnahmen auf das physikalische Verhalten, z. B. Deckkraft und Haftfähigkeit, der Farben wertvolle Schlüsse ziehen können. Bild 13 zeigt ein Präparat aus einer käuflichen dunkelroten Stoff-Farbe. Man erkennt, wie der Farbstoff auf der als Objektträger wirkenden Kollodiumhaut verteilt ist. Es ist möglich, daß man aus solchen Aufnahmen auf den Färbeporgang selbst wird interessante Rückschlüsse ziehen können.

An zwei Aufnahmen von Kongorot, Bild 14 und 15, einem in der Medizin vielfach gebrauchten organischen Farbstoff, der sich in Wasser kolloidal löst, soll nachgewiesen werden, daß die Vorgänge des Zusammenballens von Kolloidteilchen gut im Übermikroskop verfolgt werden können. Da jede Bewegung durch das Abdunsten der Flüssigkeit im Vakuum des Elektronenmikroskopes aufgehört, kann man beim augenblicklichen Stand der Ent-

wicklung im Gegensatz zum Lichtmikroskop nicht den Ablauf der Vorgänge beobachten, sondern nur einzelne Zustände festhalten. Man kann aber hieraus, wie Bild 14 und 15 zeigen, gute Einblicke gewinnen.

#### Staubtechnik

Ein sehr wichtiges Gebiet der Staubtechnik ist die Aufbereitung armer Erze aus Mahlgut. Bild 16 und 17 zeigen Aufnahmen eines solchen Erzes nach verhältnismäßig langer Mahldauer<sup>11)</sup>. Die aus der wäßrigen Aufschwemmung kurz nach dem Schütteln auf der Folie haftenden verhältnismäßig großen Teile in Bild 16 zeigen eigenartige Formen mit bestimmten Winkeln; zu beachten ist auch die verschiedene Dicke oder Dichte der Teilchen. Der Mineraloge wird unschwer nach seiner Kenntnis der Bestandteile des Erzes die Einzelteile benennen können. In Bild 17 erkennt man Schwebeteilchen, deren Durch-

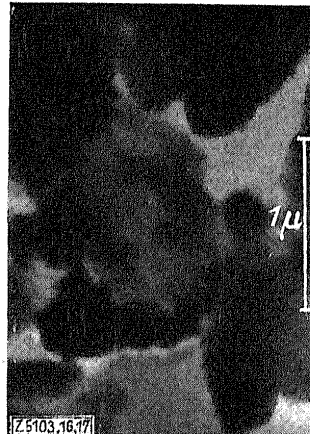


Bild 16. Frische Aufschüttelung.  
Vergr. elektronenoptisch 21500fach.

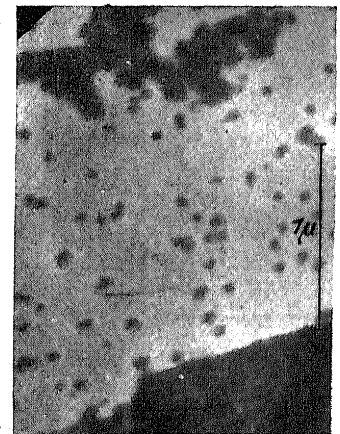


Bild 17. Aufschüttelung 18 h abgestanden.  
Vergr. elektronenoptisch 23100fach.

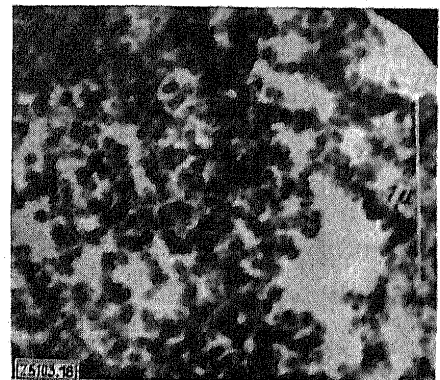
Bild 16 und 17. Armes, staubförmiges Erz in Wasser aufgeschüttelt und auf Kollodiumhaut aufgetrocknet.

Bemerkenswert ist, daß die in Bild 17 sichtbaren, kleinsten Teilchen sich in Bild 16 nicht finden. Vielleicht ziehen sich die leichtbeweglichen, kleinsten Körper beim Auftrocknen mit dem zurückweichenden Wasser zurück, sofern noch größere Teile vorhanden sind. Bei Bild 17 war die Flüssigkeit im Reagenzglas völlig durchsichtig; der eine größere Kristall am unteren Rand ist wahrscheinlich beim Aufbringen der Probe von der Wand des Reagenzglases abgebrochen.

Bild 18  
Rußteilchen frei im Strahlengang (ohne Trägerfolie).

Vergr. elektronenoptisch 23000fach.

Man kann erkennen, daß die einzelnen Rußteilchen eine sechseckige Gestalt haben.



messer rd. 40 mμ beträgt; der Teilchendurchmesser ist, wie Vergleichsaufnahmen zeigten, stark von der Mahldauer abhängig. Es ist wahrscheinlich, daß das Übermikroskop wertvolle Aufschlüsse über den Gang des Aufbereitungsvorganges liefern kann.

<sup>11)</sup> Herr Dipl.-Ing. Fuchs vom Amt für Betriebsführung der Deutschen Arbeitsfront stellte uns freundlicherweise die Erzproben zu Verfügung, wofür wir ihm unseren besten Dank sagen.

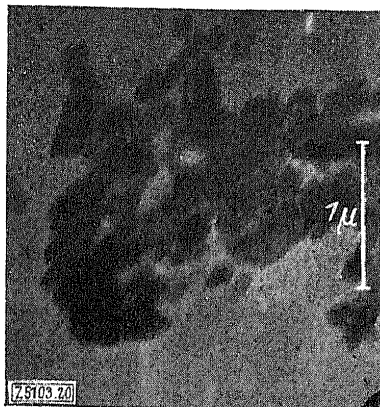
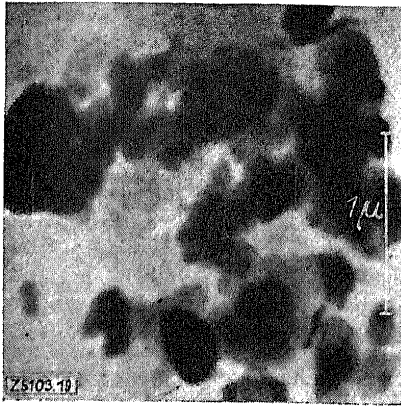


Bild 19. Magerer Ton.  
Vergr. elektronenoptisch 22300fach.

Bild 20. Fetter Ton.  
Vergr. elektronenoptisch 18400fach.

Bild 19 und 20. Feinste Teile aus der wässrigen Aufschwemmung von Tonen auf Kollodiumhaut aufgetrocknet.

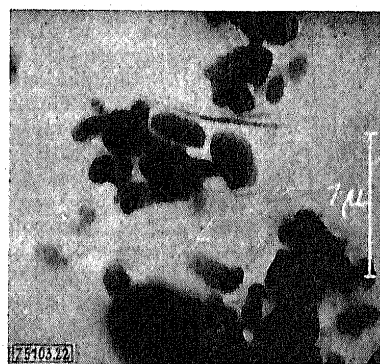
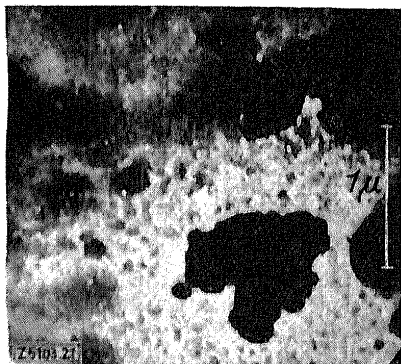


Bild 21. Zement A.

Bild 22. Zement B.

Bild 21 und 22. Feinste Teile aus einer Aufschwemmung von Zementen in Xylol auf Kollodiumhaut aufgetrocknet.  
Vergr. elektronenoptisch 17800fach.

Als Baustein zu vielen chemischen Verbindungen und als aktive Kohle spielt der Ruß eine außerordentlich große Rolle. Wie Bild 18 zeigt, ist Ruß der Abbildung im Übermikroskop gut zugänglich. Die Einzelteile sind in ihrer Größe mit etwa  $40 \mu$  bestimmbar, und auch über ihre Form kann man schon etwas aussagen. Vielleicht ist das Übermikroskop berufen, in manche ungeklärte Fragen über unterschiedliches Verhalten verschiedener Rußsorten Licht zu bringen.

### Technik der Steine und Erden

Als Beispiel dafür, daß das Übermikroskop auch auf dem Gebiet der Steine und Erden Aufschlüsse liefern kann, sind in Bild 19 und 20 zwei Tone wiedergegeben<sup>12)</sup>. Dabei sind nur die Teilchen auf die Trägerhaut gebracht, die sich in einer wäßrigen Aufschwemmung nach mehrstäbigem Absteigen in schwachalkalischem Wasser schwebend gehalten hatten. Man erkennt, daß in dem fetten Ton die kleinsten Teilchen, von denen die Plastizität des Tons abhängt, besonders häufig sind. Den Gehalt eines Tones an Teilchen verschiedener Größe bestimmte man bisher durch das Absetzverfahren (Sedimentation) bei gleichzeitiger Messung der Lichtdurchlässigkeit der Aufschwemmung mittels photometrischer Verfahren. Dabei entzogen sich aber gerade die feinsten, für die Eigenschaften des Tons so wichtigen Teile der unmittelbaren Beobachtung. Mit dem Übermikroskop werden sie in ihrer wahren Form und Größe abgebildet und können be-

züglich ihrer Massendicke (Dichte  $\times$  durchstrahlte Dicke) vergleichend beurteilt werden.

Ein weiteres, sehr wichtiges Anwendungsgebiet für das Übermikroskop könnte die Erforschung und Überwachung des Zements werden. Auch bei diesem Werkstoff sind wesentliche Eigenschaften, z. B. die Abbindefähigkeit, von dem Gehalt an feinsten Teilchen abhängig. Die Bestimmung dieser kleinsten Teile begegnete bisher großen Schwierigkeiten. Wie Bild 19 und 22 zeigen, ergibt die Beobachtung von Zement im Übermikroskop klare, kennzeichnende Formen<sup>13)</sup>.

### Ausblick

Von den Möglichkeiten der Weiterentwicklung, die in unserer früheren Arbeit<sup>1)</sup> angedeutet wurden, ist heute schon eine Reihe in die Wirklichkeit umgesetzt. Das Übermikroskop ist jetzt so weit durchentwickelt und in seiner Bedienbarkeit so vereinfacht, daß es auch den Wissenschaftlern und Technikern, die selbst keine Fachleute auf dem Gebiet des Übermikroskops sind, konkrete Fragen ihres Arbeitsgebiets beantworten kann.

Von der Verwendung des Übermikroskopes kann man sich auf zahlreichen Wissensgebieten eine entscheidende Belebung der Forschungen versprechen, ist es doch die gerade Fortsetzung des Lichtmikroskopes, das so außerordentliche Fortschritte gebracht hat. Mit ihm füllt sich das Gebiet zwischen der bisherigen Auflösungsgrenze des Lichtmikroskopes und den molekularen Größenordnungen mit einer unübersehbaren Fülle interessantester Einzelheiten. Ihr Vorhandensein wurde zwar bisher nicht in Abrede gestellt, sie boten jedoch wegen des Fehlens geeigneter Untersuchungsverfahren dem Forscher keine besonderen Erkenntnisse und drangen damit kaum in seine bewußte Vorstellungswelt ein. Heute treten diese Einzelheiten in geometrisch getreuer Abbildung zutage.

Aber nicht nur als Forschungsgerät, sondern auch als Hilfsmittel bei laufenden Untersuchungen wird das Übermikroskop wichtig sein. Angesichts der Tatsache, daß viele Großverfahren der Werkstoffaufbereitung über den kolloidalen Zustand der Baustoffe gehen, kann das Übermikroskop zur Betriebsüberwachung wichtig werden. Ebenso wie das Lichtmikroskop und die Röntgenanlage wird vielleicht auch das Übermikroskop in die Krankenhäuser Eingang finden und dort im täglichen Betrieb dem Arzt als diagnostisches Hilfsmittel zur Verfügung stehen.

### Zusammenfassung

Im Anschluß an eine frühere Arbeit wird über die Entwicklung des Übermikroskopes bis zum heutigen Stand berichtet. Weiterhin wird an einigen Beispielen, die aus den Gebieten der Medizin, Biologie, Kolloidchemie, Farbenchemie, Staubtechnik und der Technik der Steine und Erden herausgegriffen sind, gezeigt, daß das Übermikroskop über den engen Kreis der Elektronenoptik hinaus heute schon das Interesse der Wissenschaft und der Technik allgemein beanspruchen darf. Es zeigt in dem Größengebiet zwischen der Auflösungsgrenze des Lichtmikroskopes und den Abmessungen der Moleküle die Einzelheiten der Stoffe in geometrisch getreuer Form und setzt damit das Lichtmikroskop, eines der erfolgreichsten Instrumente der Forschung, in gerader Linie fort.

<sup>13)</sup> Die Proben wurden uns von den Herren Prof. Dr. W. Eitel und Dr. A. Dietzel vom Kaiser-Wilhelm-Institut für Silikatforschung überlassen, die auch die Deutung der Ergebnisse übernahmen. Für ihre Hilfe sei ihnen herzlich gedankt.