

Aus dem Laboratorium für Elektronenoptik der Siemens & Halske A. G.

Zur Entwicklung der Übermikroskopie und über ihre Beziehungen zur Kolloidforschung

Von E. Ruska (Berlin).

(Eingegangen am 20. März 1944)

1. Einleitung.
2. Systematik der Elektronenmikroskope.
3. Zur Entwicklung der Durchstrahlungs-
übermikroskopie.
4. Feldarten und Linsenformen der Durch-
strahlungsübermikroskope.
5. Weitere Durchbildung der Durchstrah-
lungsübermikroskope.
6. Zusammenstellung der bis Ende 1943 er-
schienenen übermikroskopischen Arbeiten
auf dem Gebiet der Kolloidforschung.

1. Einleitung.

Die Zahl der Untersuchungsverfahren kolloider Systeme ist in den letzten Jahren durch die Konstruktion von Übermikroskopen um ein weiteres von allgemeiner Anwendbarkeit vermehrt worden. Bei wissenschaftlichen Untersuchungsverfahren, die einen größeren technischen Aufwand erfordern, besteht häufig eine starke wechselseitige Befruchtung zwischen den Anforderungen des Arbeitsgebietes an das Forschungsgerät und den Ergebnissen, die dieses Werkzeug der Forschung ermöglicht. Nachdem heute 10 Jahre verstrichen sind, seitdem der Verfasser im Hochspannungsinstitut Neubabelsberg der Technischen Hochschule Berlin das erste Übermikroskop (1) bauen konnte, mag es gerechtfertigt sein, einige Beziehungen zwischen der Entwicklung der Übermikroskopie und den Aufgaben der Kolloidforschung aufzuzeigen. Wir werden dabei auf Unterschiede, aber auch auf manche Parallelen zum Werden und Wachsen der Ultramikroskopie stoßen. Der Wert dieser beiden Mikroskopierarten für die Erforschung kolloider Systeme leuchtet unmittelbar ein, wenn man sich die Dimensionsdefinition der Kolloide (Wo. Ostwald) vergegenwärtigt, wonach die kolloide Zerteilung bei Abmessungen von Lichtwellenlänge beginnt und sich bis zu atomaren Dimensionen erstreckt. Durch die Lichtwellenlänge ist die Auflösefähigkeit des Lichtmikroskops beschränkt, wesentlich kleinere Abmessungen können nicht mehr geometrisch ähnlich abgebildet werden. Aber auch die Anwesenheit entsprechend kleiner Teilchen ist im Lichtmikroskop nicht mehr nachweisbar. Deshalb bedeutete die Einführung der Ultramikroskopie von H. Siedentopf und R. Zsigmondy (2), durch die 1903 die bisherige Grenze des Lichtmikroskops in der bloßen Sichtbarmachung von kleinen Teilchen wesentlich überschritten wurde, für die Untersuchung von Kolloiden einen entscheidenden Fortschritt. Während Zsigmondy, der den

Gedanken der seitlichen mikroskopischen Beobachtung des Tyndall-Kegels faßte, Kolloidforscher war, hat Siedentopf als Optiker im wesentlichen die Durchbildung des Spaltultramikroskops vorgenommen. Beide Forscher haben das von ihnen geschaffene Verfahren dann selbst systematisch zur Untersuchung kolloider Systeme angewandt und es deren Erfordernissen in der weiteren Entwicklung angepaßt, wobei das größere Gewicht auch der späteren Arbeiten von Siedentopf auf der optischen Seite und der von Zsigmondy auf der Anwendung der Ultramikroskopie lag. Die Übermikroskopie ist nicht aus der Kolloidforschung oder aus einem anderen der Arbeitsgebiete herausgewachsen, für die sie heute eine fruchtbare Methode darstellt, sie ist vielmehr von Ingenieuren und Physikern geschaffen worden, die keine Spezialisten auf einem Arbeitsgebiet der Mikroskopie gewesen sind. Allerdings sind dann sehr bald auch von Forschern der verschiedenen Fachgebiete wertvolle Impulse für die Ausbreitung der neuen Mikroskopie ausgegangen.

Neben die Ultramikroskopie traten in der Folgezeit weitere Verfahren, die bei der fehlenden Möglichkeit einer unmittelbaren Abbildung wenigstens die Wahrnehmung und Vermessung von kolloiden Teilchen und Größen erlaubten. Besonders wichtig sind für die Kolloidwissenschaft die verschiedenen Verfahren geworden, die auf der 1912 von Friedrich, Knipping und v. Laue (3) entdeckten Röntgenbeugung aufbauen, sowie seit 1927 auch die entsprechenden Möglichkeiten der Elektronenbeugung [Davisson und Germer (4)]. Die bisher angenommene Alternative: Wellenstrahlung oder Korpuskularstrahlung, war schon 1924/1925 mit der Erkenntnis von de Broglie (5) gefallen, nach der jeder bewegten Materie auch Welleneigenschaften zuzuordnen sind. Experimentell erfolgte dann die Ausweitung von den bisher bekannten Wellenstrahlungen auf Korpuskeln zunächst für die Elektronen, und zwar zuerst bei Beugungsuntersuchungen. Nachdem 1926/1927 die Linseneigenschaften drehsymmetrischer magnetischer und elektrischer Felder durch Busch (6) gezeigt worden waren, wurde der Übergang zur Elektronenstrahlung 1931 auch in der Mikroskopie, zunächst von Knoll und Ruska (7) insbesondere für Nichtselbstleuchter, kurz darauf auch von Brüche und Johannson (8) für Selbstleuchter durchgeführt. Der apparative Aufwand der Übermikroskopie mit Elektronen ist heute

nicht unerheblich, er wird aber in Kauf genommen, weil ein übermikroskopisches Bild besonders anschaulich ist und sehr viel aufschlußreicher sein kann als z. B. ein Sedimentationsdiagramm einer Ultrazentrifuge. Aber auch die Ultrazentrifugierung nach Svedberg (9) hat wegen ihrer grundsätzlichen Bedeutung für die Kolloidforschung trotz sehr umfangreichen Aufwandes kompletter Apparaturen eine wachsende Verbreitung gefunden.

Neben den aufgeführten Verfahren zur Vermessung kolloider Teilchen, die in die Kolloidforschung Eingang gefunden haben, möge auch ein Vorschlag (10) erwähnt werden, der in dieser Form bisher nicht verwirklicht worden ist. Obwohl es sich bei dieser Idee um eine Art Registrierphotometer handelt, ist sie nach der erfolgreichen Einführung der Übermikroskopie seit 1940 öfters zu Unrecht als erster Gedanke oder erster Vorschlag des Elektronenübermikroskops hingestellt worden (11). Immerhin zeigt uns dieser Vorschlag, welche Komplikationen der Autor in Kauf zu nehmen bereit war, um aus der durch das Lichtmikroskop gegebenen Begrenzung wenigstens teilweise herauszukommen. Stintzings DRP. 485155 „Verfahren und Einrichtung zum automatischen Nachweis, Messung und Zählung von Einzelteilchen beliebiger Art, Form und Größe“ will die mikroskopischen Auszählverfahren, die zeitraubend und nicht frei von subjektiven Fehlern sind, durch Übergang zu einem automatischen Verfahren ablösen und sie dabei in Richtung auf kleinere Dimensionen erweitern. Dabei soll ein feiner Strahl von einem die Größe der zu registrierenden Teilchen unterschreitenden Querschnitt über das Präparat bewegt werden. Als Strahlenart für sehr kleine Teilchen werden Röntgenstrahlen und fein ausgeblendete Korpuskularstrahlen vorgeschlagen. Die Korpuskularstrahlen sollen zur Registrierung der Teilchen durch elektrische und magnetische Felder über dem Präparat abgelenkt werden. Der durch die Einwirkung des Teilchens modulierte, wegen seines geringen Querschnitts sehr energiearme Strahl soll dann, nachdem er mittels einer geeigneten Aufnahmevorrichtung in einen elektrischen Wert umgesetzt worden ist, mit einer Elektronenröhre verstärkt werden, so daß eine Aufzeichnung der verstärkten Strahlintensität erfolgen kann. Dadurch, daß dem Strahl gegenüber dem Objekt eine langsame, dem Aufzeichnungsträger aber eine mit der ersten Bewegung gekoppelte sehr viel schnellere Bewegung erteilt wird, kann die Teilchenabmessung in der Bewegungsrichtung des Strahls vergrößert und so unmittelbar gemessen werden. Das Präparat soll vom Strahl in vor- und rücklaufenden Zeilen abgetastet werden, wobei den übereinanderliegen-

den Zeilen übereinanderliegende Registrierkurven entsprechen. Viele übereinanderliegende Registrierausschläge bedeuten demnach ein über mehrere Zeilen ausgedehntes Teilchen. Durch ein automatisches Zählwerk werden die Ausschläge eines an den Verstärker angeschlossenen Galvanometers registriert. Dieser Vorschlag verzichtet demnach zur Erfassung submikroskopischer Teilchen bewußt auf das Prinzip der Abbildung. Weder von der kleinen Wellenlänge der Korpuskularstrahlen, noch von Linsen, noch speziell von Elektronenstrahlen ist bei Stintzing die Rede, eine Mikrophotographie wird sogar ausdrücklich abgelehnt. Die angeführten Auslegungen (11) des Stintzingschen Patents als erster Gedanke eines Elektronenübermikroskops sind daher irreführend. Besonders angeifbar sind diese und andere Ausführungen, bei denen das Stintzing-Patent durch die gleiche Autorengruppe im Fachschrifttum verwertet wird, dadurch, daß in allen Fällen die tatsächliche Einführung der Elektronenmikroskopie durchstrahlter Objekte durch Knoll und den Verfasser (7) und der Bau des ersten Übermikroskops durch den Verfasser (1) unerwähnt bleibt.

2. Systematik der Elektronenmikroskope.

Praktisch brachte nach der Einführung der Ultramikroskopie erst wieder die Entwicklung der Elektronenmikroskopie zur Übermikroskopie einen neuen wesentlichen Fortschritt in der unmittelbaren Beobachtung kolloider Teilchen. Nach dem Bau der ersten Elektronenmikroskope konnte das Auflösungsvermögen beim Durchstrahlungsverfahren bald weit über die Lichtmikroskopische Grenze gesteigert werden und beträgt heute beim Durchstrahlungsübermikroskop mit magnetischen Linsen etwa $2\text{ m}\mu$. Damit sind selbst bisher amikroskopische Teilchen in ihrer Gestalt abbildbar oder wenigstens sichtbar geworden.

In den 12 seit Beginn der Elektronenmikroskopie (7) vergangenen Jahren haben sich mehrere für die Kolloidforschung verschiedenen wichtige mit Elektronenstrahlen vergrößern Geräte herausgebildet, die daher alle als Elektronenmikroskope zu bezeichnen sind. Infolge der gegenüber Licht um rund 5 Größenordnungen kleineren Elektronenwellenlängen war es möglich, mit Elektronenmikroskopen die Leistungsgrenze des Lichtmikroskops wesentlich zu unterschreiten. Elektronenmikroskope von überlichtmikroskopischer Leistungsfähigkeit werden Elektronenübermikroskope oder kurz Übermikroskope genannt. Da sich zur Fokussierung der Elektronenstrahlen magnetische und elektrische Felder verwenden lassen, können Elektronen- und Übermikroskope mit magnetischen und elektrischen Linsen ar-

beiten. Ebenso wie beim Lichtmikroskop können wir auch im Elektronenmikroskop die Objekte in durchfallender mit Durchstrahlungsmikroskopen und in auffallender Strahlung mit Rückstrahlungsmikroskopen untersuchen, oder wir können „selbsteleuchtende“ Körper mit Emissionsmikroskopen betrachten. Der optischen Anordnung des Lichtmikroskops entsprechen Elektronenmikroskope, die das Objekt mit zwei vergrößernden Linsen abbilden (Fokussierungsmikroskope). Bei Elektronenmikroskopen sind darüber hinaus auch noch andere Anordnungen erprobt worden, bei denen die Objekte

durch eine Punktprojektion (Schattenmikroskope, Spitzenemissionsmikroskope) und durch Ab rasterung (Rastermikroskope) abgebildet werden. Tabelle I gibt einen Überblick über diese Möglichkeiten. Sie zeigt, wann die Anordnungen zum erstenmal benutzt wurden und wann sie die Leistung von Übermikroskopen erreichten. Das heute erreichte Auflösungsvermögen und die Zahl der bis Ende 1943 erschienenen wissenschaftlichen Veröffentlichungen über mit diesen Instrumenten erzielte Forschungsergebnisse zeigt die praktische Bedeutung der einzelnen Geräte.

Tabelle I. Systematik der Elektronenmikroskope (optische Anordnung, Strahlbeeinflussung durch das Objekt, Linsenart, zur Zeit erreichte Auflösung) und die praktische Bedeutung der einzelnen Geräte (Zahl der deutschen Veröffentlichungen bis einschließlich 1943, in denen neue übermikroskopische Abbildungen aus den verschiedenen Anwendungsgebieten vorgelegt werden).

Abbildung mittels	Durchstrahlung	Rückstrahlung	Emission
Vergrößerungslinsen (Fokussierungsmikroskope)	Wichtigstes Gerät für zahlreiche Gebiete magn. L. elektr. L. EM 1931 EM 1933 UM 1933 UM 1939 2 m μ 8 m μ	Gerät für metallographische Untersuchungen magn. L. elektr. L. EM 1933 — UM 1940 — 25 m μ	Gerät für metallographische und Kathoden-Untersuchungen magn. L. elektr. L. EM 1932 EM 1931 UM 1942 UM 1942 140 m μ 40 m μ
	341 Arbeiten	6 Arbeiten	5 Arbeiten
Punktprojektion (Schattenmikroskope, Spitzenemissionsmikroskope)	Auflösung durch Verzeichnung beschränkt magn. L. elektr. L. EM — EM — UM — UM 1939 25 m μ		Spezialgerät zur Untersuchung feinsten Spitzen magn. L. elektr. L. EM — EM — UM — UM 1937 4 m μ
	5 Arbeiten		7 Arbeiten
Abrasterung (Rastermikroskope)	Auflösung durch Zeilenstruktur beschränkt magn. L. elektr. L. EM — EM — UM 1938 UM — 40 m μ	Abbildungsverfahren möglich; bisher keine mikroskopischen Anordnungen bekannt geworden	Abbildungsverfahren möglich; bisher keine mikroskopischen Anordnungen bekannt geworden
	2 Arbeiten		

Abkürzungen: magn. L. = magnetische Linse, elektr. L. = elektrische Linse, EM = Elektronenmikroskop, UM = Übermikroskop.

Von den in Tabelle I aufgeführten verschiedenen Mikroskopbauarten hat für die Kolloidforschung bisher lediglich das nach dem Durchstrahlungsverfahren und dem Fokussierungsprinzip arbeitende Übermikroskop praktische Bedeutung erlangt. Sowohl die frühesten als auch weitaus die meisten dieser Arbeiten sind mit den optisch besonders leistungsfähigen magnetischen Übermikroskopen (Ruska, v. Borries) durchgeführt worden, da deren besonders hohes Auflösungsvermögen zur deutlichen Abbildung kleiner Kolloide meist notwendig ist.

Die Elektronenmikroskopie nahm mit dem Bau des Durchstrahlungs-Fokussierungsmikroskops ihren Anfang; die Übermikroskopie verdankt den besonders betriebssicheren und leicht zu handhabenden, mit magnetischen Linsen ausgerüsteten Geräten dieser Art ihre rasche Ausbreitung.

3. Entwicklung der Übermikroskopie.

Die günstigen Erfahrungen und Ergebnisse mit dem ersten Übermikroskop (1) erweckten in uns früh die Hoffnung und überzeugten uns schließlich davon, daß mit dem neuen Verfahren

neben der Medizin und Biologie auch der Kolloidwissenschaft ein unmittelbares Abbildungsgerät in die Hand gegeben werden könne, und wir warben dementsprechend um die Mitarbeit dieser Fachkreise. Unsere damaligen günstigen Voraussagen (12) sind durch die Entwicklung der folgenden 10 Jahre bis in die Einzelheiten bestätigt worden.

Unsere Einschätzung der künftigen Entwicklung (12) war aber zu dieser Zeit noch nicht allgemein vorhanden. Verschiedene Schwierigkeiten des neuen Verfahrens ließen selbst mit elektronenoptischen Gedankengängen vertraute Physiker nicht an einen baldigen Erfolg glauben. Sogar der Wert des Zieles, das wir uns gesteckt hatten, schien fraglich. Auch für diese Einstellung seien einige kurze Ausführungen aus der ersten verdienstvollen zusammenfassenden Darstellung der Elektronenoptik hier angeführt (13). Den Kolloidforscher wird besonders die Ansicht von E. Brüche überraschen, daß ein Mangel an genügend kleinen Objekten herrsche.

Die Möglichkeit des neuen Geräts, die Untersuchung von Kolloiden zu fördern, war mit ausschlaggebend für Verhandlungen mit der chemischen Industrie, die v. Borries und der Verfasser 1934/1935 führten, um einen raschen, mit größeren Mitteln betriebenen Ausbau der Übermikroskopie in die Wege zu leiten. Damals kam jedoch — zum Teil unter dem Eindruck, der durch die wenig positive Einstellung anderer elektronenoptischer Stellen entstanden war — eine tatkräftige Förderung noch nicht zustande. Hierzu bedurfte es vielmehr wie bei Einführung der Ultramikroskopie erst des Interesses einer an dem Bau von Geräten selbst interessierten Stelle. Wir fanden eine entscheidende Unterstützung unserer Pläne etwa 1 Jahr später bei der Siemens & Halske A. G. sowie bei Carl Zeiss, Jena, dem Haus, das sich schon um die Mikroskopie und Ultramikroskopie frühzeitig entscheidende Verdienste erworben hat. Die Überlegung, daß das Übermikroskop nur in seiner Anwendung optischer, in seiner Technik jedoch elektrischer Natur sei, führte uns zu dem Entschluß, die weitere Entwicklung in dem elektrotechnischen Haus durchzuführen, wozu ab Februar 1937 die Möglichkeit gegeben war.

Die Leistungen des ersten Übermikroskops (1) waren inzwischen nach Vorschlägen und mit teilweiser Unterstützung des Verfassers von Driest und H. O. Müller (14) durch Einführung der Innenaufnahme und von Krause (15) durch weitergehende Beruhigung der Hochspannungsanlage noch verbessert worden. Bald darauf zeigte sich der erste Erfolg des Übermikroskops in der Kolloidforschung. Ende 1937 konnte F. Krause zusammen mit D. Beischer vom

Kaiser-Wilhelm-Institut für Physikalische Chemie und Elektrochemie die ersten wohl gelungenen Aufnahmen kolloider Teilchen veröffentlichen (16). Der Leiter des letztgenannten Instituts, Prof. P. A. Thiessen, ein Schüler von R. Zsigmondy, hat seit dieser Zeit die Entwicklung und den Einsatz der Übermikroskope auf verschiedenen Wegen nachdrücklich gefördert. Wie zu Beginn der Ultramikroskopie dienten auch jetzt wieder als erste Objekte Goldrubingläser, die für die übermikroskopische Betrachtung zu feinen Häutchen zerblasen wurden. Dabei wurde bei 3000facher elektronenoptischer Vergrößerung ein Auflösungsvermögen von mindestens $50\text{ m}\mu$ nachgewiesen. Wenig später gelangen mit dem inzwischen fertiggestellten, von v. Borries und dem Verfasser neu konstruierten ersten Siemens-Übermikroskop Aufnahmen von Kollargol, auf denen bei 16500facher elektronenoptischer Vergrößerung auf Agfa-Normalplatte eine Auflösung von $13\text{ m}\mu$ nachgewiesen wurde (17).

Schon die Ultramikroskopie fand eine große Reihe konkreter Vorstellungen über das Wesen und die Eigenschaften kolloider Systeme vor. Dennoch bedeutete ihre Einführung in die Kolloidforschung den Beginn eines ganz neuen Abschnitts, war doch in vorher ungeahnter Weise der innere Mechanismus kolloider Zerteilungen einer eingehenderen Untersuchung zugänglich geworden. In ungleich höherem Maße fand 30 Jahre später die Übermikroskopie ins einzelne gehende Vorstellungen über die Morphologie in dem der Abbildung neu erschlossenen Größenbereich vor. Vielleicht gerade daraus erklärt sich die große Zahl wissenschaftlicher Abhandlungen, die in immer steigendem Maß in den wenigen seit Einführung der Übermikroskopie verstrichenen Jahren erschienen sind. Neben der augenscheinlichen Bestätigung vorhandener Vorstellungen konnten diese Untersuchungen zu einem großen Teil noch strittige Fragen zugunsten der einen oder anderen Auffassung klären, oder haben auch völlig neue Befunde ergeben.

Der Umfang übermikroskopischer Anlagen hat es mit sich gebracht, daß in der ersten Zeit Veröffentlichungen, in denen mit diesen Geräten auf den verschiedenen Arbeitsgebieten erzielte Ergebnisse berichtet werden, vorwiegend von den Entwicklungslaboratorien der Mikroskope selbst und von den mit ihnen enger zusammenarbeitenden wissenschaftlichen und industriellen Instituten vorgelegt wurden. Mit der zunehmenden Auslieferung der magnetischen Siemens-Übermikroskope (Fig. 1, Tafel IA) sind aber in letzter Zeit immer häufiger Beiträge von außerhalb der Entwicklungsstelle stehenden Forschungsstellen erschienen. Das rege Interesse der Kolloidforschung an dem neuen Mikroskop hat sich darin

gezeigt, daß die ersten drei der ab 1939 gelieferten Geräte in wissenschaftlichen und industriellen Forschungsinstituten für Fragestellungen aus der Physik und Chemie der Kolloide eingesetzt worden sind. Heute ist ein Mehrfaches dieser Zahl an Übermikroskopen für solche Forschungen eingesetzt. Auch die zweite Stelle, die heute serienmäßig Übermikroskope, und zwar ebenfalls magnetische, nach dem Fokussierungsprinzip arbeitende Durchstrahlungsmikroskope baut, die Radio Corporation (RCA), hat diese Instrumente bevorzugt für die Kolloidforschung geliefert. Die Anzahl von heute ca. 60 in den USA. eingesetzten Mikroskopen ist in Anbetracht des dortigen späteren Entwicklungsbeginns als sehr hoch zu bezeichnen.

4. Feldarten und Linsenformen der Durchstrahlungsübermikroskope.

Die Abbildung von Kolloiden war eine der ersten überzeugenden Leistungen der neuen Mikroskopie für ein spezielles Anwendungsgebiet. Darüber hinaus spielen aber seither Kolloide, insbesondere von Schwermetallen, eine besondere Rolle für die Entwicklung der Mikroskopie. Infolge der bis in das Gebiet von 5...1 μ reichenden Größen der einzelnen Kolloidteilchen eignen sich die Mikrophotogramme solcher Kolloidauftröpfungen besonders gut zur Prüfung und zum exakten Nachweis des mit einem Mikroskop erreichbaren Auflösungsvermögens. Insbesondere schwere Teilchen (Silber, Gold, Platin) eignen sich wegen ihres größeren Kontrastes gut für den Nachweis einer hohen Auflösung. In ähnlicher Weise verschiebt sich in der Ultramikroskopie die Grenze zwischen den Submikronen und Amikronen mit steigendem Unterschied im Brechungsvermögen nach kleineren Teilchen, so daß auch hier die Schwermetallkolloide bei abnehmender Größe am längsten sichtbar bleiben. Da es sich bei solchen Aufnahmen meistens um einzeln liegende Massenpunkte handelt, stellt diese Konfiguration zugleich die schwerste geometrische Bedingung für den Nachweis einer erreichten Auflösung dar, denn es sind zwei Linien in kleinem Abstand leichter für das Auge aufzulösen als zwei Punkte in gleicher Entfernung. Aus diesen Gründen werden Schwermetallkolloide heute als Testobjekte der Übermikroskopie vielfach verwendet.

Der Wunsch zur Darstellung auch der kleinsten Kolloide (bei kristallinen Kolloiden bis herunter zur Größe einer Elementarzelle) bildet jedoch auch einen hohen und dauernden wissenschaftlichen Anreiz zur Verbesserung der Objektive und des gesamten Mikroskops. Aus dem gleichen Grund ist die Kolloidforschung beson-

ders auf die optisch leistungsfähigsten Übermikroskope, d. h. nach dem heutigen Stand der Geräteentwicklung, auf solche mit magnetischen Linsen angewiesen. Nachdem in dieser Zeitschrift schon vor einiger Zeit das Mikroskop mit elektrostatischen Linsen sowie ein später entwickeltes magnetisches Mikroskop mit außenliegender Erregung der Linsenpolschuh beschrieben wurde, soll nachstehend auch die Entwicklung des magnetischen Linsenprinzips und der am frühesten entwickelten und bisher leistungsfähigsten magnetischen Linsenform geschildert werden.

Die Entwicklung der magnetischen Polschuhlinse, die heute in allen hochauflösenden magnetischen Elektronenmikroskopen zur Anwendung kommt, nahm ihren Ausgang von Arbeiten zur Verbesserung der vorher vielfach benutzten Konzentrierungsspule des Kathodenstrahlzyllographen. Den ersten wichtigen Schritt, die Erkenntnis, daß diese Anordnung einer Linse entspricht, verdanken wir H. Busch (6), der 1926 mathematisch nachwies, „daß im axialsymmetrischen, im übrigen aber beliebig inhomogenen magnetischen und elektrostatischen Feld ein von einem Punkt der Symmetrieachse parallel zu ihr ausgehendes, genügend enges Kathodenstrahlbündel stets wieder in einem Punkte (Brennpunkte) vereinigt wird“. Für den Spezialfall der magnetischen Konzentrierungsspule zeigte er 1927, daß das rotationssymmetrische Feld auf die Elektronenbahn wie eine Linse auf Lichtstrahlen wirkt und daß hierfür die bekannte Linsengleichung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$$

gilt (f = Brennweite, a = Dingweite, b = Bildweite). Ferner gab er die Brennweite f einer solchen Linse als Funktion der Feldstärke $\mathfrak{H}(z)$ auf der optischen (z)-Achse an zu

$$f = \frac{mv}{e} \cdot \frac{1}{\int_0^{\infty} \mathfrak{H}^2(z) dz}$$

(m = Masse, v = Geschwindigkeit und e = Ladung des Elektrons). Seit 1928 prüfte der Verfasser im Rahmen von durch M. Knoll betreuten Entwicklungsarbeiten am Kathodenstrahlzyllographen die Buschschen Beziehungen nach und bestätigte an genaueren Vergrößerungsmessungen die Anschauung von der Elektronenlinse und die Gültigkeit der Linsengleichung (18). Die Brennweite einer eisenlosen Spule wurde aus ihren Abmessungen, ihrer Stromdurchflutung D und der Elektronenspannung U explizit berechnet. Für den

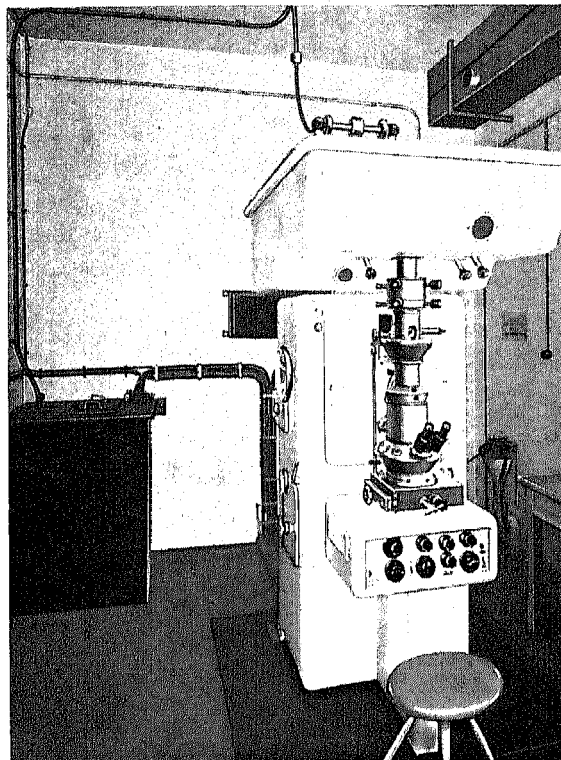


Fig. 1. Siemens-Übermikroskop nach Ruska und v. Borries.
Neuere Ausführung des Mikroskops und der Hochspannungs-
anlage für 100 kV.

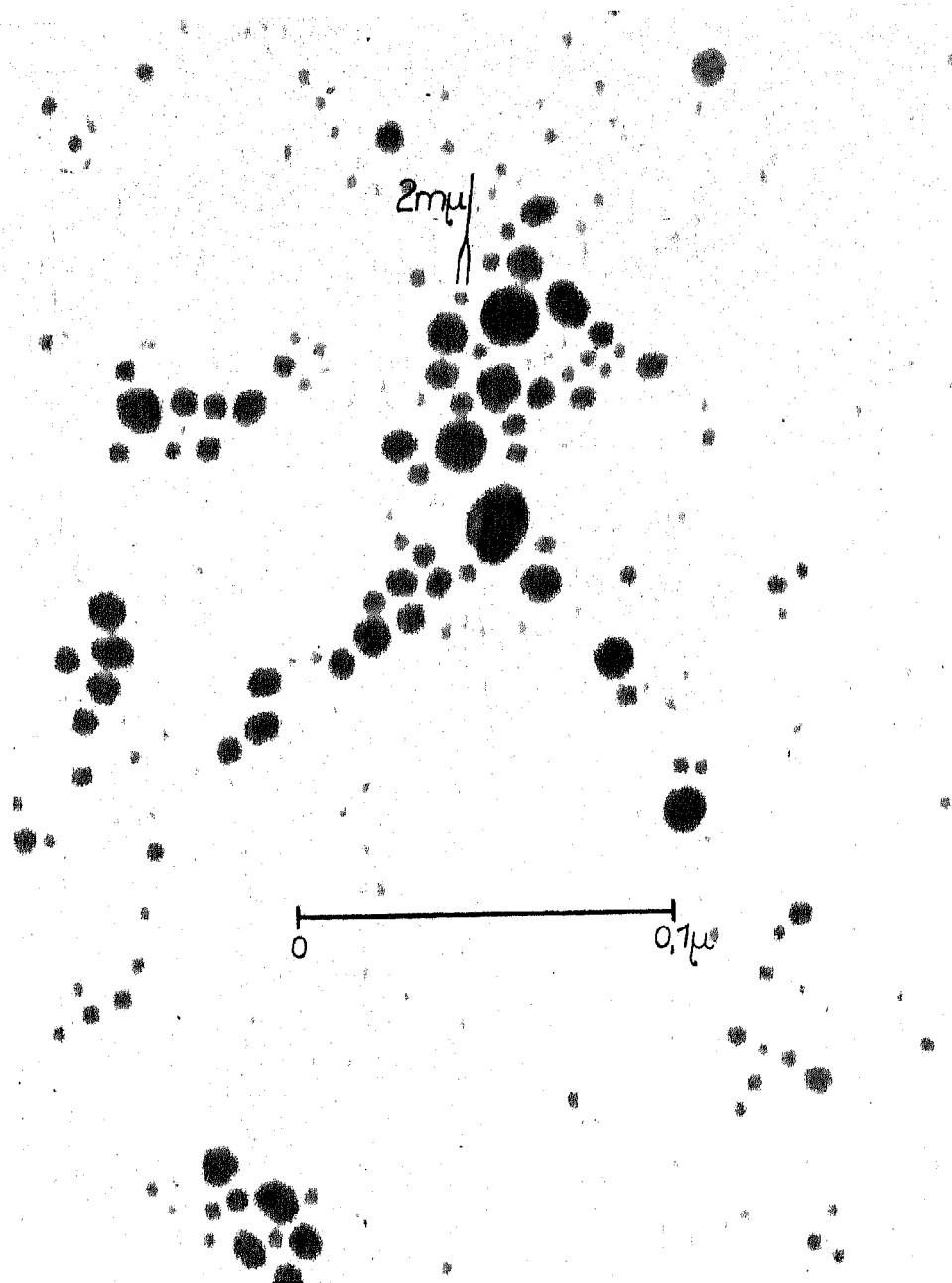


Fig. 3. Aufnahme von kolloidem Silber mit serienmäßigem Siemens-Übermikroskop 5579/43.
Elektronenoptischer Abbildungsmaßstab 40 000 : 1. Wiedergabe 500 000 : 1.
Elektronengeschwindigkeit 90 kV. Auflösung 2 mμ. Agfa-Normal-Platte.

linearen Kreisleiter vom Durchmesser d erhält man so mit U in kV und D in kA

$$\frac{I}{d} = 48,4 \frac{U}{D^2} \left(1 + \frac{U}{1000} \right).$$

Infolge des Wunsches, eine geforderte Brechkraft mit möglichst geringer Stromdurchflutung der Spule zu erzielen, wurden Überlegungen über die hierfür günstigste Verteilung des Magnetfeldes längs der Achse angestellt. Diese zeigten, daß bei gleichbleibender Durchflutung D mit dem höheren Maximalwert \mathfrak{H}_0 der Feldkurve die Brechkraft, das $\int \mathfrak{H}^2(z) dz$, zunimmt. Das Feld muß also auf ein möglichst kleines Stück der Achse zusammengedrängt werden, so daß eine möglichst große Maximalfeldstärke entsteht. Dann überwiegen bei der Bildung des Integrals aus den quadrierten \mathfrak{H} -Werten die Beiträge der hohen Feldstärken. Es entstand der Gedanke, die erforderliche energische Zusammendrängung des Feldes durch eine Eisenkapselung der Spule zu erzielen, die nur im Innenrohr einen schmalen ringförmigen eisenfreien Spalt besitzt. Messungen an einer neuen, entsprechend ausgeführten Spule bestätigten die vorher angestellten Überlegungen (18), die für die Entwicklung der hochauflösenden magnetischen Mikroskope wesentlich geworden sind (18a).

Bei dem Bestreben, mit Magnetspulen vergrößerte Bilder von elektronendurchstrahlten Objekten herzustellen, ließ das Prinzip der Feldzusammendrängung aber noch einen zweiten Vorteil erwarten. Wenn die Objekte zur Steigerung der Vergrößerung immer näher an das Feld herangebracht werden, rücken sie schließlich in das anklingende Feld hinein. Dann trägt aber der im Sinn der Elektronenbewegung vor dem Objekt liegende Feldanteil nicht mehr zur Brechkraft der Linse bei, so daß die durch den Objektstand vorgegebene Brechkraft mit immer stärker überhöhter Durchflutung erzeugt werden muß. In folgerichtiger Fortführung des Prinzips der Feldkonzentration wurde gemeinsam mit v. Borries vom Verfasser 1932 eine polschuhartige Ausbildung der Spaltränder der Spulenkapselung vorgeschlagen, um die Feldzusammendrängung im Luftspalt so weit treiben zu können, wie es mit Rücksicht auf die Sättigung im Eisen physikalisch möglich ist (19). Während die im Zuge dieser Entwicklung in der Techn. Hochschule Berlin für Oszillographen und für die ersten elektronenmikroskopischen Abbildungen gebauten eisenlosen und eisengekapselten Spulen gegen die Versuchsapparatur beweglich und in Kardangelenken aufgehängt waren, sollten die neuen Polschuhspulen mit dem Mikroskop eine genau dazu zentrierte feste Baueinheit bilden. Ausführliche Meßreihen des Verfassers an Polschuhspulen, bei

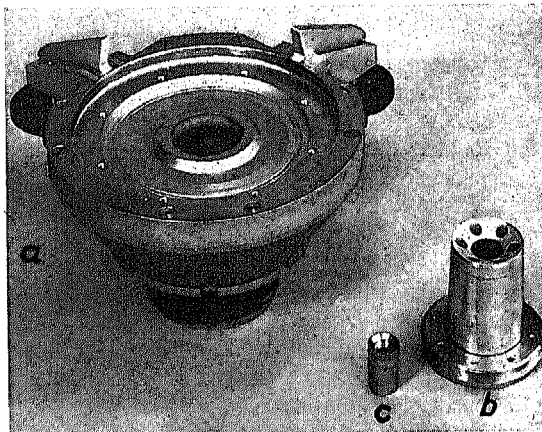


Fig. 2. Objektiv des Siemens-Übermikroskops (zum Strahl konzentrische Polschuhlinse).
a) Spulenkörper, b) Polschuhträger, c) Polschuhsystem,

denen der Polschuhquerschnitt durch austauschbare Polschuhsysteme variiert werden konnte, zeigten, daß sich bei Elektronengeschwindigkeiten von 40...70 kV mit Spulendurchflutungen von 2...4 kA Brennweiten von wenigen Millimetern erreichen lassen (20). Mit zwei derartigen vergrößern Polschuhlinse und einer die erforderliche Strahldichte auf dem Objekt erzeugenden besonderen Kondensorlinse wurde 1933 vom Verfasser das Gerät ausgeführt, mit dem in der Folgezeit die ersten übermikroskopischen Aufnahmen gelangen (1). Diese zum Strahl konzentrische und nach außen streufeldfreie Bauweise der Polschuhlinse (Fig. 2) ist bisher die optisch leistungsfähigste und elektrisch sowie mechanisch weitestgehendste Konstruktion geblieben und von fast allen späteren Entwicklungsstellen übernommen worden [1934 von Marton (Belgien), 1936 von Martin (England), 1939 von Prebus und Hillier (Kanada), 1940 von v. Ardenne (Deutschland), von der RCA (Vereinigte Staaten) und von Siegbahn (Schweden) sowie von anderen Stellen]. Fig. 3 (Tafel I B) zeigt eine mit dieser Anordnung im Siemens-Übermikroskop elektronenoptisch im Maßstab 44000:1 erhaltene Aufnahme von kolloidalem Silber, die zur Wiedergabe auf 500000:1 nachvergrößert wurde. An den bezeichneten Stellen finden sich Auflösungen bis herunter zu 2 $m\mu$.

Die magnetische Erregung der beiden sich gegenüberstehenden Polschuhle kann natürlich statt durch eine den Strahl und die Polschuhachse konzentrisch umgebende Wicklung auch durch eine oder mehrere seitlich vom Strahl angeordnete Wicklungen über magnetische Joche erfolgen. Eine solche 1937 von Schröder (21) angegebene Anordnung ist aufteilbar und kann z. B. bei Braunschweiger Röhren aus Glas (etwa Fernsehempfänger-

röhren) auch an einer Verengung des Glashalses von beiden Seiten angebracht werden, was bei einer konzentrischen Wicklung unmöglich ist. Auch für Kathodenstrahloszillographen ist diese Anordnung 1937 von Schering angegeben und von Raske (22) ausgeführt worden. Für das Übermikroskop ist eine solche Anordnung erstmals 1940 von Kinder und Pendzich (23) erprobt und als Jochlinse (23a) bezeichnet worden. Dieser Verzicht auf eine zum Strahl konzentrische Anordnung bedingt gegenüber der ersten Bauweise der Polschuhlinse ein äußeres Streufeld und einen ungünstigeren mechanischen Aufbau. Als Vorteil wird dagegen leichter Ausbau der Wicklungen und bessere Kühlung angeführt.

Da drehsymmetrische elektrische Felder ebenfalls auf Elektronen wie Linsen wirken, wurden auch solche elektrostatische Linsen für die Übermikroskope in Betracht gezogen; in dessen war bezüglich dieser Linsen von v. Borries und dem Verfasser schon früh darauf aufmerksam gemacht worden, daß, verglichen mit der Magnetlinse, größere Schwierigkeiten bis zur sicheren Beherrschung der zur Abbildung durchstrahlter Objekte notwendigen hohen Linsen Spannungen zu überwinden seien (24). Die Fehler magnetischer Linsen hielten wir damals schon für geringer als die der elektrischen Einzellinse, die für hochauflösende Mikroskope in Betracht kam. In einem Referat auf der Physikertagung 1936 habe ich daher ausgeführt, daß für optische Bestleistungen beim Durchstrahlungsverfahren mit schnellen Elektronen nur die magnetische Linse in Frage komme (25). Unsere Ansicht wurde, als einige Jahre später auch ein mit elektrostatischen Linsen arbeitendes Durchstrahlungsübermikroskop entwickelt worden war, von Ramsauer (26) und Brüche (27) anders ausgelegt und im Fachschrifttum als „Aberglauben“ hingestellt. Diese der Form und Sache nach immerhin ungewöhnlichen Angriffe wurden bisher trotz unserer Richtigstellungen nicht zurückgezogen. Aus anderen Ausführungen von Brüche (28) kann der Leser leicht den unzutreffenden Eindruck gewinnen, daß die elektrische Linse besser korrigierbar sei und daher geringere Fehler und entsprechend höhere optische Leistungen aufweise als die magnetische Linse. Es sollen ferner nach Ansicht von C. Ramsauer (29) offenbar nur Mikroskope mit elektrostatischen Linsen von Nichtphysikern bedienbar sein.

Solchen Ausführungen sei der technische Sachverhalt gegenübergestellt. Nach nunmehr 4 Jahren weiterer Entwicklung beider Linsenarten in hochauflösenden Durchstrahlungsmikroskopen zeigen die mit beiden Geräten heute erreichten optischen Leistungen (Tabelle II), daß das elektromagnetische Mikroskop dem elektro-

Tabelle II.

Optische Leistungen hochauflösender Durchstrahlungs-Elektronenmikroskope.

Optische Leistungen	Mikroskoplinsen	elektromagnetisch	elektrostatisch
Auflösung		2—2,5 $m\mu$	8—10 $m\mu$
Elektronenoptische Vergrößerung		40 000 : 1	10 000 : 1
Durchdringungsvermögen der Elektronenstrahlen		~ 200 000 V	~ 50 000 V

statischen sowohl in der Auflösung und bezüglich der im Gerät erreichbaren Vergrößerung als auch durch die Anwendbarkeit durchdringenderer Strahlen je vierfach überlegen ist. Ferner hat sich z. B. das magnetische Übermikroskop von Siemens & Halske (Fig. 1) als so einfach in der Handhabung und so betriebssicher erwiesen, daß es von technischen Assistentinnen bedient und betreut zu werden pflegt. Meine 1936 geäußerte Ansicht von der Überlegenheit der magnetischen Linse besteht demnach auch heute noch zu Recht, da sie eben kein „Aberglaube“, sondern physikalisch und technisch begründet war (30).

5. Weitere Durchbildung der Übermikroskope.

Nach der Einführung des Spalt-Ultramikroskops von Siedentopf und Zsigmondy (2) war man bestrebt, die Grenze der ultramikroskopischen Sichtbarkeit durch die Konstruktion besonders lichtstarker Dunkelfeldkondensoren noch weiter hinauszuschieben. Dabei ging man von der optischen Anordnung der zur Beobachtungsrichtung senkrechten Beleuchtung ab und auf eine konzentrische schräge Beleuchtung über. Von diesen verbesserten, meist auf dem Ignatowskyschen Prinzip beruhenden Ultrakondensoren, bei denen zwei nicht konzentrische Kugelzonen als Konvex- und Konkavspiegel verwendet werden, seien hier in der Reihenfolge der Lichtstärke nur die von Siedentopf (Zeiss) sowie von Ignatowsky und von Jentzsch (Leitz) genannt. Trotz ihrer höheren optischen Leistung sind die Ultrakondensoren einfachere Anordnungen, die in einem normalen Mikroskop verwendbar sind, und daher billiger als das Spalt-Ultramikroskop. Mit der Erhöhung der optischen Leistung mußte bei diesen neueren Konstruktionen allerdings vielfach auf den weiteren Anwendungsbereich des Spalt-Ultramikroskops und auf das bequemere Arbeiten mit diesem Gerät verzichtet werden.

Die Anstrengungen, die nach den ersten Erfolgen des magnetischen Übermikroskops unternommen worden sind, die Basis solcher Geräte durch Einführung anderer Strahlengänge (z. B. Schattenmikroskop) oder Abbildungsoptiken (z. B. elektrische Linsen und Spiegel) oder durch Abbildung mittels anderer Ladungsträger (Ionenmikroskop) zu erweitern, haben bisher nicht zu einer Steigerung der optischen Leistungen des Mikroskops (Auflösungsvermögen, Vergrößerung, Helligkeit, Objektdurchstrahlung) geführt. Man hat indessen einerseits spezielle Mikroskopierbedürfnisse befriedigt (31), andererseits hat man versucht, den Aufwand für den Bau der Geräte zu verringern, betriebssichere bzw. leichter bedienbare Mikroskope zu schaffen und einfachere konstruktive Formen zu finden (32). Wie weit diese Ziele schon erreicht sind, kann erst nach längerer Bewährung dieser Mikroskope unter den Bedingungen der wissenschaftlichen Praxis beurteilt werden. Ob in hochauflösenden Durchstrahlungs-Elektronenmikroskopen sich die Verwendung der optisch weniger leistungsfähigen elektrostatischen Linse durch die Ermöglichung einfacher Bauformen als ein fruchtbarer technischer Weg erweist, wird wesentlich von der erreichbaren Betriebssicherheit dieser Geräte abhängen. Es scheint dem Verfasser diesem bisher kaum diskutierten Sachverhalt gegenüber abwegig, aus der Entwicklung vom magnetischen zum elektrischen Fokussierungs- und Steuerfeld der Braunschen- und der Verstärker-Röhren Analogieschlüsse zugunsten einer Entwicklung zum elektrostatischen Übermikroskop zu ziehen, wie dies E. Brüche (32) mehrfach getan hat. Neuerdings findet sich allerdings auch eine Ausführung von Dr. Br. (33), in der nach einer Revision der in seinem Arbeitskreis früher üblichen Bevorzugung elektrischer Linsen dargelegt wird, daß sich verantwortungsbewußte Fachleute vor abschließenden Urteilen auf Grund solcher Analogien hüteten.

Meinungsverschiedenheiten und Wandlungen der Ansichten über den Wert von neuen Untersuchungsverfahren und Forschungsgeräten, wie wir sie auch in der Übermikroskopie zutage treten sehen, sind gerade dem Kolloidforscher nicht unbekannt. In sachlicher Form vorgetragene divergierende Ansichten haben oft nicht nur zu einer raschen Klärung der strittigen Fragen geführt, sondern auch wesentliche neue Probleme aufgeworfen und gelöst. Aus der systematischen Übersicht (Tabelle I) erkennen wir verschiedene in der Elektronenmikroskopie mögliche Verfahren und Anordnungen:

1. Durchstrahlungs-, Rückstrahlungs- und Emissionsabbildung,
2. Fokussierungs-, Schatten- und Rasterprinzip,

3. magnetische und elektrische Linse, zu denen noch

4. die Anordnungen der zum Strahl konzentrischen und nichtkonzentrischen Erregung der Magnetlinse

treten. Von all diesen Möglichkeiten ist glücklicherweise je die fruchtbarste Lösung von der ältesten elektronenoptischen Entwicklungsstelle, dem Hochspannungsinstitut der Technischen Hochschule Berlin, zuerst aufgegriffen worden, wodurch das Übermikroskop trotz mancher skeptischen Beurteilung in seiner leistungsfähigsten Form rasch zum Erfolg geführt werden konnte.

Der großen Bedeutung, die neben der älteren Röntgenbeugung in den letzten Jahren die Elektronenbeugung für die Kolloidphysik erlangt hat, konnte dadurch Rechnung getragen werden, daß das Übermikroskop auch für Beugungsuntersuchungen eingerichtet wurde (34). Die Elemente der Elektronenbeugungsröhre, Strahlquelle, Objektträger und Aufnahmekammer sind in guter Durchbildung ohnehin beim Übermikroskop vorhanden, so daß nur dafür zu sorgen war, den Raum für die ungehinderte Ausbreitung des Beugungskegels bis zur photographischen Platte freizumachen. Es können dann von demselben Objekt, das ungestört in seiner Lage verbleibt, sowohl Beugungsaufnahmen als auch Übersichtsbilder des ganzen beugenden Präparats mittels der Endbildkamera erhalten werden. Hierfür wird beim Siemens-Übermikroskop die Aperturblende des Objektivs und das Projektivpolssystem samt den zugehörigen Trägern herausgenommen. Für die Beugungsaufnahme wird der durch die Vergrößerungslinse fließende Strom abgeschaltet. Bei eingeschaltetem Strom entsteht ein etwa 1000fach vergrößertes Übersichtsbild des beugenden Präparats. Eine neuere Ausführung des Projektivs (Fig. 4) gestattet, in noch einfacherer Weise ohne Unterbrechung des Vakuums auf Beugungsaufnahmen überzugehen. Gleichzeitig erlaubt sie, in ebenso bequemer Weise den Abbildungsmaßstab des Endbildes in Stufen zu variieren. Hierzu ist im Innern der Eisenkapselung eine Trommel mit mehreren Polschuhsystemen verschiedenen lichten Durchmessers exzentrisch angeordnet. Die Polschuhsysteme können durch Drehen eines Schiffs von außen wahlweise in den Strahlengang gebracht werden. Ein besonders weites Polschuhsystem läßt bei ausgeschaltetem Spulenstrom den Beugungskegel unbeeinflusst zur photographischen Platte durch und gibt bei eingeschaltetem Strom das Übersichtsbild des Objekts. Durch engere Polschuhsysteme kleinerer Brennweite können verschiedene stärkere Vergrößerungen eingeschaltet werden.

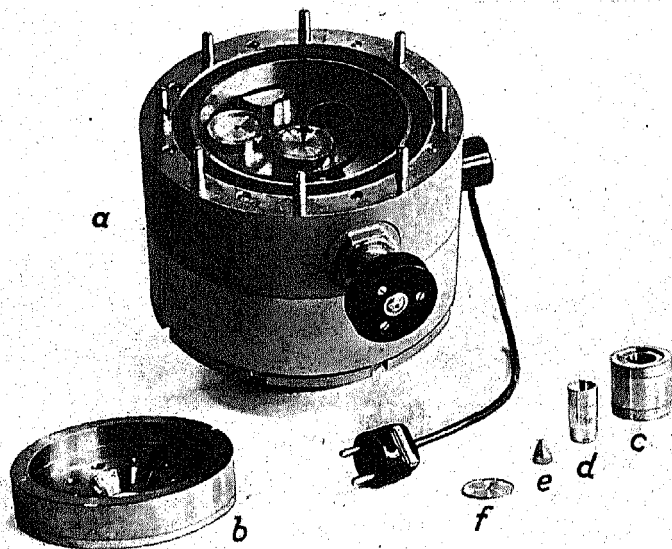


Fig. 4. Revolver-Projektiv für Vergrößerungswechsel u. Beugungsaufnahmen.
a) Spulenkörper m. Revolver, durch Entfernung d. Magnetschlußplatte geöffnet,
b) Magnetschlußplatte, c) Polschuhträger, d) Polschuhsystem, e) Zwischen-
bildblende, f) Zwischenbildschirm.

Der Wert solcher ergänzenden Untersuchungen von übermikroskopischen Objekten mittels Elektronenbeugung liegt darin begründet, daß die mikroskopische Auflösung wegen der mit Rücksicht auf die starken Fehler der Elektronenlinsen sehr geringen Strahlapertur noch das 500fache der Wellenlänge der zur Abbildung benutzten Elektronenstrahlen beträgt. Um wenigstens über periodische Objektstrukturen auch dann noch Aussagen zu erhalten, wenn diese wesentlich kleiner sind als die im übermikroskopischen Bild aufgelösten Einzelheiten, hat man in vielen Fällen (35) mit Vorteil von der zusätzlichen Objektuntersuchung durch Aufnahme von Beugungsdiagrammen Gebrauch gemacht. So sind heute die beiden wichtigsten Wege, mittels schneller Elektronen die feinsten Einzelheiten kolloider Systeme zu untersuchen, in denselben Geräten kombiniert.

6. Zusammenstellung der bis Ende 1943 erschienenen übermikroskopischen Arbeiten auf dem Gebiet der Kolloidforschung.

Es würde den Umfang dieses Aufsatzes bei weitem überschreiten, auf die vielfältigen, durch übermikroskopische Untersuchungen von Kolloiden angeschnittenen Fragen im einzelnen einzugehen. Es soll statt dessen die bis Ende 1943 erschienene deutsche¹⁾ wissenschaftliche Literatur auf diesem Gebiet zusammengestellt werden, um daran interessierten Forschern eine rasche

¹⁾ Die Aufstellung enthält nicht die amerikanische und englische Literatur, die in den letzten Jahren ebenfalls rasch angewachsen ist.

Orientierung über das in den vergangenen 6 Jahren mit Hilfe der Übermikroskopie Erarbeitete zu ermöglichen²⁾. Das biologisch-medizinische Schrifttum ist nicht in seinem gesamten Umfang berücksichtigt, obwohl man es hinsichtlich der Dimensionen dem Arbeitsgebiet des Kolloidforschers zuordnen kann. Aufgeführt sind jedoch Ergebnisse der Virusforschung, weil dieses Gebiet lange Zeit bevorzugt von kolloidchemisch eingestellten Forschern gepflegt wurde und noch immer auf methodischem Gebiet eng mit der Kolloidforschung verknüpft ist. Ein größerer Teil der aufgeführten Arbeiten ist in der Kolloid-Zeitschrift erschienen, die im ersten Jahr ihres Bestehens auch eine Zusammenstellung Siedentopfs über die ultramikroskopischen Arbeiten aus den Jahren 1903—1906 gebracht hat. Herr

Prof. Wo. Ostwald hat als Herausgeber der Kolloid-Zeitschrift der Veröffentlichung übermikroskopischer Arbeiten in besonderem Maße sein förderndes Interesse entgegengebracht, woran sich die übermikroskopisch arbeitenden Fachgenossen stets in Dankbarkeit erinnern werden.

a) Arbeiten mehr methodischen Inhalts:

1. D. Beischer und F. Krause, Das Elektronenmikroskop als Hilfsmittel der Kolloidforschung. Naturwiss. 25, 825 (1937).
2. D. Beischer und F. Krause, Das Elektronenmikroskop in der Kolloidchemie. Angew. Chem. 51, 331 (1938).
3. D. Beischer, Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Strukturermittlung kolloider Teilchen. 10. Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Strukturermittlung kolloider Systeme. Z. Elektrochem. angew. physik. Chem. 49, 463 (1943).
4. D. Beischer, Ergebnisse der Elektronenmikroskopie, Kolloidchemisches Taschenbuch, 2. Auflage (1943), 425.
5. B. v. Borries und G. A. Kausche, Übermikroskopische Bestimmung der Form und Größenverteilung von Goldkolloiden. Kolloid-Z. 90, 132 (1940).
6. B. v. Borries und E. Ruska, Der Einfluß von Elektroneninterferenzen auf die Abbildung von Kristallen im Übermikroskop. Naturwiss. 28, 366 (1940).
7. H. Mahl, Anwendung des Übermikroskops in der Kolloidchemie und Metallurgie. Jb. AEG-Forschung 7, 67 (1940), Sonderheft Übermikroskop.
8. G. Riedel und H. Ruska, Übermikroskopische Bestimmung der Teilchenzahl eines Sols über dessen ärodispersen Zustand. Kolloid-Z. 96, 86 (1941).

²⁾ Für Hinweise auf fehlende Arbeiten ist der Verfasser den Fachkollegen dankbar.

9. H. Ruska, Übermikroskopische Untersuchungstechnik. *Naturwiss.* 27, 287 (1939).
 10. E. Ruska, Zur Entstehung der Säume um übermikroskopisch abgebildete Partikel und über ihre Veränderung mit der optischen Einstellung. *Kolloid-Z.* 105, 43 (1943).
 11. F. Schmieder, Beispiele für die Anwendung des Übermikroskops auf chemisch-technische Fragen. Buch „Das Übermikroskop als Forschungsmittel“ (Berlin 1941), 67.
- b) Kolloide aus verschiedenen chemisch-technischen Gebieten:
12. M. v. Ardenne, Analyse des Feinbaus stark und sehr stark belichteter Bromsilberkörner mit dem Universal-Elektronenmikroskop. *Z. angew. Photogr.* 11, 1940, 14.
 13. M. v. Ardenne, Abbildung feinsten Einzelteilchen, insbesondere von Molekülen, mit dem Universal-Elektronenmikroskop. *Z. physik. Chem., Abt. A* 187, 1 (1940).
 14. M. v. Ardenne und D. Beischer, Untersuchung des Feinbaues hochmolekularer Stoffe mit dem Universal-Elektronenmikroskop. I. Mitteilung: Der Aufbau von β -Polyoxymethylenkristallen. *Z. physik. Chem., Abt. B* 45, 465 (1940).
 15. M. v. Ardenne und D. Beischer, Untersuchung des Feinbaues hochmolekularer Stoffe mit dem Universal-Elektronenmikroskop. 2. Mitteilung: Zur Morphologie von Kautschuk und Buna. *Kautschuk* 16, 55 (1940).
 16. M. v. Ardenne und H. H. Weber, Elektronenmikroskopische Untersuchung des Muskel-eiweißkörpers „Myosin“. *Kolloid-Z.* 97, 322 (1941).
 17. W. Feitknecht, R. Signer und A. Berger, Zur Kenntnis der Sole mit blättchenförmigen Teilchen. Über kolloides Nickelhydroxyd. *Kolloid-Z.* 101, 12 (1942).
 18. J. Gundermann und H. Kütz, Elektronenmikroskopische Beobachtungen an Zinkschwarz. *Kolloid-Z.* 98, 287 (1942).
 19. E. Husemann und H. Ruska, Versuche zur Sichtbarmachung von Glykogenmolekülen. *J. prakt. Chem.* 156, 1 (1940).
 20. E. Husemann und H. Ruska, Die Sichtbarmachung von Molekülen des p-Jodbenzoylglykogens. *Naturwiss.* 28, 534 (1940).
 21. H. W. Koch, Teilchengröße und Teilchengestalt in Goldsolen. *Z. Elektrochem.* 47, 717 (1941).
 22. Th. Marx und G. Wehner, Übermikroskopische Abbildung der Lamellenstruktur von Magnesiumhydroxyd. *Kolloid-Z.* 105, 226 (1943).
 23. R. Müller, Der kolloide Schwefel in der Dermatologie. *Jb. Heyden* 1940, 143.
 24. F. Schmieder, Übermikroskopische Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Deckkraft und Kristallgröße bei Pigmenten. *Kolloid-Z.* 95, 29 (1941).
 25. P. A. Thiessen, Zusammenhänge von Gestalt und Eigenschaften kolloider Gemenge. *Kolloid-Z.* 101, 241 (1942).
 26. P. A. Thiessen, Wechselseitige Adsorption von Kolloiden. *Z. Elektrochem.* 48, 675 (1942).
 27. P. A. Thiessen, Ursachen des Dichroismus kolloider Metalle. *Z. anorg. u. allg. Chem.* 250, 352 (1943).
 28. O. Eisenhut und E. Kuhn, Lichtmikroskopische und übermikroskopische Untersuchungen an natürlichen und künstlichen Zellulosefasern. *Die Chemie (Angew. Chem., Neue Folge)* 55, 198 (1942).
 - c) Künstliche und natürliche Fasern:
 29. E. Elöd, Die Struktur der Wollfaser. *Kolloid-Z.* 96, 284 (1941).
 30. E. Elöd, H. Nowotny und H. Zahn, Beiträge zur Struktur und Chemie der Wollfaser. *Kolloid-Z.* 100, 283 (1942).
 31. E. Franz, L. Wallner und E. Schiebold, Beitrag zur Deutung übermikroskopischer Aufnahmen von Faserpräparaten. *Kolloid-Z.* 97, 36 (1941).
 32. E. Franz, E. Schiebold und L. Wallner, Übermikroskopische Beiträge zur Morphologie der Zellulose. *Forschungsberichte des Zellwolle- und Kunstseide-Rings G. m. b. H.* 1943, H. 3, 114.
 33. E. Franz, E. Schiebold und C. Weygand, Über den morphologischen Aufbau der Bakterienzellulose. *Naturwiss.* 31, 350 (1943).
 34. E. Franz und E. Schiebold, Beiträge zur Struktur der Bakterienzellulose. *J. makromol. Chem.* 3. Reihe, 1, 4 (1943).
 35. F. Günther, Ein Beitrag zum Studium des Einflusses der Präparationsmethode auf das Übermikroskopbild bei einigen hochpolymeren organischen Stoffen. *Forschungsberichte des Zellwolle- und Kunstseide-Rings G. m. b. H.* 1943, H. 3, 9.
 36. A. Hamann, Das Verhalten von Zellulosefasern im Elektronenmikroskop. *Kolloid-Z.* 100, 248 (1942).
 37. K. Heß, E. Steurer und H. Fromm, Über den Einfluß des Mahlvorganges auf die Eigenschaften von Hochpolymeren (Zellulose und Polystyrol) und über das Wesen seiner Wirkung. I. Teil und II. Teil. *Kolloid-Z.* 98, 148, 290 (1942).
 38. K. Heß, H. Kießig und J. Gundermann, Röntgenographische und elektronenmikroskopische Untersuchung der Vorgänge beim Vermahlen von Zellulose. *Z. physik. Chem., Abt. B* 49, 64 (1941).
 39. K. Heß, Vorgänge bei der Schwingmahlung von organischen Hochpolymeren. *Z. Ver. Dtsch. Ing., Beih. Verfahrenstechn.* Folge 1943, Nr. 3, 61.
 40. E. Husemann und A. Carnap, Übermikroskopische Untersuchungen an hydrolytisch abgebauten Fasern. 314. Mitteilung über makromolekulare Verbindungen. *J. makromol. Chem.* 3. Reihe, 1, 16 (1943).
 41. E. Husemann, Übermikroskopische Untersuchungen an gemahlten Zellulosefasern. 315. Mitteilung über makromolekulare Verbindungen. *J. makromol. Chem.* 3. Reihe, 1 (1943), im Druck.
 42. H. Jentgen, Können wir das Zellulosemolekül sehen? *Kunstseide u. Zellwolle* 23, 76 (1941).
 43. J. Kühn, Übermikroskopische Untersuchungen an Asbeststaub und Asbestlungen. *Arch. Gewerbepathol. Gewerbehyg.* 10, 485 (1941).
 44. W. Kuhn, Übermikroskopische Untersuchungen an natürlichen und künstlichen Zellulosefasern. *Melliands Textilber.* 22, 249 (1941).
 45. H. Mahl, Elektronenstrahlenschäden bei übermikroskopischen Untersuchungen an Zellulosefasern. *Kolloid-Z.* 96, 7 (1941).
 46. H. Reumuth, Der mikroskopische Feinbau der Wolle. Beiträge zur Morphologie, Histologie und Anatomie. *Klepzig's Textilzeitschrift* 45, 149 (1942).

47. H. Ruska und C. Wolpers, Zur Struktur des Liquorfibrins. *Klin. Wschr.* **19**, 695 (1940).
48. H. Ruska, Über Strukturen von Zellulosefasern. *Kolloid-Z.* **92**, 276 (1940).
49. H. Ruska und M. Kretschmer, Übermikroskopische Untersuchungen über den Abbau von Zellulosefasern. *Kolloid-Z.* **83**, 163 (1940).
50. H. Ruska, Übermikroskopische Untersuchungen an Asbeststaub und Asbestlungen (Nachtrag zur Arbeit von J. Kühn). *Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg.* **11**, 575 (1943).
51. M. Staudinger, Mikroskopische und elektronenmikroskopische Untersuchungen an makromolekularen Stoffen. 316. Mitteilung über makromolekulare Verbindungen. *Chemiker-Ztg.* **67**, 316 (1943).
52. M. Staudinger, Über Polyester. *J. makromol. Chem.* (im Druck).
53. L. Wallner, Die Möglichkeiten übermikroskopischer Strukturaufklärung an Fasern, I., II. und III. *Melliands Textilber.* **23**, 158, 211 (1942).
54. W. Wergin, Welche Aussagen gestattet die Elektronenmikroskopie über den Aufbau der Zellulosefasern? *Kolloid-Z.* **98**, 131 (1942).
55. C. Wolpers, Kollagenquerstreifung und Grundsubstanz. *Klin. Wschr.* **22**, 624 (1943).
56. H. Zahn, Versuche zur Übermikroskopie der Wolle. *Melliands Textilber.* **21**, 505 (1940).
57. H. Zahn, Übermikroskopische Aufnahmen von isolierten Spindelzellen der Schafwolle. *Melliands Textilber.* **22**, 305 (1941).
58. H. Zahn, Übermikroskopische Aufnahmen von isolierten Spindelzellen der Schafwolle. II. *Melliands Textilber.* **23**, 157 (1942).
59. H. Zahn, Übermikroskopische Aufnahmen von isolierten Schuppenzellen der Schafwolle. *Melliands Textilber.* **24**, 154 (1943).
- d) Katalysatoren und Adsorbentien:
60. M. v. Ardenne und D. Beischer, Untersuchungen von Katalysatoren mit dem Universal-Elektronenmikroskop. *Angew. Chem.* **53**, 103 (1940).
61. G. A. Kausche und H. Ruska, Die Sichtbarmachung der Adsorption von Metallkolloiden an Eiweißkörper. I. Die Reaktion kolloides Gold—Tabakmosaikvirus. *Kolloid-Z.* **89**, 21 (1939).
62. Th. Schoon und E. Beger, Einfluß von Trägerstruktur und Herstellungsverfahren auf Pt-Katalysatoren. *Z. physik. Chem., Abt. A* **189**, 171 (1941).
63. Th. Schoon und H. Klette, Der Aufbau typischer Adsorbentien. *Naturwiss.* **29**, 652 (1941).
- e) Staube und Raucher:
64. M. v. Ardenne und D. Beischer, Untersuchung von Metalloxyd-Rauchen mit dem Universal-Elektronenmikroskop. *Z. Elektrochem.* **46**, 270 (1940).
65. H. Arnold und E. Götz, Zinkoxyduntersuchungen I. *Kautschuk* **18**, 39 (1942).
66. D. Beischer, Bestimmung der Kristallitgröße in Metall- und Metalloxydrauchen aus Röntgen- und Elektronenbeugungsdiagrammen und aus Elektronenmikroskopbildern. *Z. Elektrochem.* **44**, 375 (1938).
67. H. Frieß und H. O. Müller, Staube und Rauche im Übermikroskop. *Gasmaske* **11**, 1 (1939).
68. F. Linke, Kondensationskerne im Elektronenmikroskop sichtbar gemacht. *Naturwiss.* **31**, 230 (1943).
69. R. Meldau, Feinstäube im sublichtmikroskopischen Gebiet. Gestaltanalyse und Verlauf der trockenen Aufbereitung. *Verfahrenstechnik (Beiheft zur VDI-Zeitschrift)* **4**, 103 (1940).
70. R. Meldau und M. Teichmüller, Zur Morphologie feinsten Bleioxydsublimats. 1. Mitteilung. *Z. Elektrochem.* **47**, 95 (1941).
71. R. Meldau und M. Teichmüller, Zur Morphologie feinsten Bleioxydsublimats. 2. Mitteilung. *Z. Elektrochem.* **47**, 191 (1941).
72. R. Meldau und M. Teichmüller, Zur Morphologie feinsten Bleioxydsublimats. 3. Mitteilung. *Z. Elektrochem.* **47**, 630 (1941).
73. R. Meldau und M. Teichmüller, Zur Morphologie feinsten Bleioxydsublimats. 4. (und letzte) Mitteilung. *Z. Elektrochem.* **47**, 634 (1941).
74. R. Meldau, Zur Kenntnis des Luftplanktons. Staub, Veröffentlichungen der Staubbekämpfungsstelle **14**, 317 (1940).
75. R. Meldau, Aufgaben des Übermikroskops in der Staubbekämpfung. Buch „Das Übermikroskop als Forschungsmittel“ (Berlin 1941), 78.
- f) Kohlen und Ruße:
76. M. v. Ardenne und U. Hofmann, Elektronenmikroskopische und röntgenographische Untersuchungen über die Struktur von Rußen. *Z. physik. Chem., Abt. B* **50**, 1 (1941).
77. H. Heering, I. v. Gizycki und A. Kirseck, Ruß-Untersuchungen mit dem Übermikroskop. *Kautschuk* **17**, 55 (1941).
78. U. Hofmann, A. Ragoß und F. Sinkel, Die Struktur der Kolloide des feinkristallinen Kohlenstoffes. *Kolloid-Z.* **96**, 231 (1941).
79. R. Meldau und M. Teichmüller, Übermikroskopische Beobachtungen an schwinggemahlene Kohlenstäuben verschiedenen Inkohlungsgrades. *Öl u. Kohle* **37**, 751 (1941).
80. A. Ragoß, U. Hofmann und R. Holst, Die Graphitierung von Thermax-Ruß. *Kolloid-Z.* **105**, 118 (1943).
81. Th. Schoon und H. W. Koch, Untersuchungen über Kautschukfüllstoffe. I. Teilchengröße und Trachtausbildung von Rußen und deren Einfluß auf die Eigenschaften der Kautschukmischung nach Aufnahmen mit dem Übermikroskop. *Kautschuk* **1941**, H. 1.
- g) Keramische Stoffe:
82. M. v. Ardenne, K. Endell und U. Hofmann, Untersuchungen feinsten Fraktionen von Bentoniten und Tonböden mit dem Universal-Elektronenmikroskop. *Ber. Dtsch. keram. Ges.* **21**, 209 (1940).
83. M. v. Ardenne und K. Endell, Das Schmelzen der Klinkermineralien C_3A und C_4AF sowie der Fraktion $< 3 \mu$ einiger Portlandzementklinker im Erhitzungs-Übermikroskop. *Zement* **1942**, 313.
84. M. v. Ardenne und K. Endell, Das Sintern von Tonmineralien und von Schlammstoffen natürlicher Formensande im Erhitzungs-Übermikroskop. Gießerei vereinigt mit Gießerei-Ztg. **1943**, H. 1, 6.
85. M. v. Ardenne, K. Endell und H. Lehmann, Das Sintern keramischer Rohstoffe im Erhitzungs-Übermikroskop. *Ber. Dtsch. keram. Ges.* **24**, 73 (1943).

86. K. Endell und M. v. Ardenne, Veranschaulichung des Sinterns und Schmelzens von Glasgemengen, Soda und Sodaschlacken im Erhitzungs-Übermikroskop. *Glastechn. Ber.* **21**, 121 (1943).
87. K. Endell und M. v. Ardenne, Veranschaulichung des Sinterns und Schmelzens von keramischen Rohstoffen, Glasgemengen, Schlacken und Kohlenaschen im Erhitzungs-Übermikroskop. *Kolloid-Z.* **104**, 223 (1943).
88. K. Endell, A. Zinzen und M. v. Ardenne, Über das Sintern und Schmelzen von Kohlenaschen im Erhitzungs-Übermikroskop sowie die Bedeutung der Schlackenviskosität für die Schmelzkammerfeuerung. *Feuerungstechn.* **31**, 73 (1943).
89. W. Eitel, H. O. Müller und O. E. Radczewski, Übermikroskopische Untersuchungen an Tonmineralien. *Ber. Dtsch. keram. Ges.* **20**, 165 (1939).
90. W. Eitel und O. E. Radczewski, Zur Kennzeichnung des Tonminerals Montmorillonit im übermikroskopischen Bilde. *Naturwiss.* **28**, 397 (1940).
91. W. Eitel und C. Schusterius, Die Auswertung übermikroskopischer Bilder zur Bestimmung der Kornverteilung von Tonen. *Naturwiss.* **28**, 300 (1940).
92. W. Eitel und C. Schusterius, Die Bestimmung wirksamer Oberflächen von Tonteilchen mit dem Übermikroskop. *Chem. d. Erde* **13**, 322 (1940).
93. W. Eitel, Das Übermikroskop als Instrument für quantitative Messungen in der Silikatforschung. Buch „Das Übermikroskop als Forschungsmittel“ (Berlin 1941), 48.
- W. Eitel, Elektronenmikroskopie und -beugung silikatischer Metaphasen.
94. W. Eitel und O. E. Radczewski, Zur Kenntnis des Metahallaysits. 1. Mitteilung.
95. W. Eitel und H. Kedesdy, Die Metaphase des Brucits. 2. Mitteilung.
96. W. Eitel und H. Kedesdy, Die Metaphase der Entwässerung des Talks. 3. Mitteilung.
97. W. Eitel und H. Kedesdy, Der Metakaolin. 4. Mitteilung. *Abh. preuß. Akad. Wiss., math.-naturwiss. Kl.* **1943**, Nr. 5.
98. A. Jacob und H. Loofmann, Untersuchungen mit dem Elektronenmikroskop an einheitlich zusammengesetzten Bodenmineralien $< 2 \mu$. *Bodenkunde u. Pflanzenernährg.* **66/67**, 666 (1940).
99. V. Middel und R. Reichmann (unter Mitarbeit von G. A. Kausche), Übermikroskopische Untersuchung der Struktur von Bentoniten. *Wiss. Veröff. a. d. Siemens-Werken, Werkstoff-Sonderheft* **1940**, 334.
100. H. O'Daniel und O. E. Radczewski, Elektronenmikroskopie und -beugung hochdisperser Mineralien an demselben Präparat. *Naturwiss.* **28**, 628 (1940).
101. O. E. Radczewski und H. Richter, Elektronenmikroskopische Untersuchung von Kieselsäuresolen. *Kolloid-Z.* **96**, 1 (1941).
102. O. E. Radczewski, H. O. Müller und W. Eitel, Übermikroskopische Untersuchung der Erstausscheidung von Kalziumkarbonat aus wässriger Lösung. *Zbl. Mineral., Geol., Paläont., Abt. A* **1940**, 8.
103. O. E. Radczewski, H. O. Müller und W. Eitel, Zur Hydratation des Trikalziumsilikats. *Naturwiss.* **27**, 807 (1939).
104. O. E. Radczewski, H. O. Müller und W. Eitel, Übermikroskopische Untersuchung der Hydratation des Kalkes. *Zement* **28**, 693 (1939).
105. O. E. Radczewski, H. O. Müller und W. Eitel, Zur Hydratation des Trikalziumaluminats. *Naturwiss.* **27**, 837 (1939).
- h) Metall- und Metalloxydfilme:
106. M. v. Ardenne, Über eine elektronenmikroskopische Untersuchung der Struktur reflexmindernder Schichten und über die Bemessung solcher Schichten. *Z. angew. Photogr.* **3**, 13 (1941).
107. H. Fischer und F. Kurz, Übermikroskopisches Bild anodischer Oxydfilme auf Aluminium und ihr Wachstum. *Korros. u. Metallschutz* **18**, 42 (1942).
108. G. Haß und H. Kehler, Über eine temperaturbeständige und haltbare Trägerschicht für Elektroneninterferenzaufnahmen und übermikroskopische Untersuchungen. *Kolloid-Z.* **95**, 26 (1941).
109. G. Haß und H. Kehler, Untersuchungen an elektrolytisch erzeugten und getemperten Aluminiumoxydschichten mittels Elektroneninterferenzen und im Übermikroskop. *Kolloid-Z.* **97**, 27 (1941).
110. G. Haß, Untersuchungen über den Aufbau aufgedampfter Metallschichten mittels Übermikroskop und Elektroneninterferenzen. *Kolloid-Z.* **100**, 230 (1942).
111. H. Mahl, Übermikroskopische Untersuchungen an oxydischen Oberflächenfilmen. *Korros. u. Metallschutz* **17**, 1 (1941).
112. H. Mahl, Über thermisch erzeugte Oxydfilme bei Aluminium. *Kolloid-Z.* **100**, 219 (1942).
- i) Viren:
113. M. v. Ardenne und G. Pyl, Versuche zur Abbildung des Maul- und Klauenseuche-Virus mit dem Universal-Elektronenmikroskop. *Naturwiss.* **28**, 531 (1940).
114. M. v. Ardenne, H. Friedrich-Freksa und G. Schramm, Elektronenmikroskopische Untersuchung der Präzipitinreaktion von Tabakmosaikvirus mit Kaninchenantiserum. *Arch. ges. Virusforschg* **2**, 80 (1941).
115. G. Schramm und H. Friedrich-Freksa, Die Präzipitinreaktion des Tabakmosaikvirus mit Kaninchen- und Schweineantiserum. *Physiol. Chem.* **270**, 233 (1941).
116. S. Gard, Übermikroskopische Beobachtungen an gereinigten Poliomyelitis-Viruspräparaten. II. Ein Beitrag zur Frage der Epidemiologie der Kinderlähmung. *Klin. Wschr.* **22**, 315 (1943).
117. S. Gard, Übermikroskopische Beobachtungen an gereinigten Poliomyelitis-Viruspräparaten. III. Ein Vergleich mit den physikalisch-chemischen Versuchsergebnissen. *Arch. ges. Virusforschg* **3**, 1 (1943).
118. S. Gard, Vergleichende physikalisch-chemische und übermikroskopische Studien an gereinigten Poliomyelitis-Viruspräparaten. *Ark. Kem. Mineral. Geol.* **17B**, 1 (1943).
119. G. A. Kausche, E. Pfankuch und H. Ruska, Die Sichtbarmachung von pflanzlichem Virus im Übermikroskop. *Naturwiss.* **27**, 292 (1939).
120. G. A. Kausche und H. Ruska, Die Struktur der „kristallinen Aggregate“ des Tabakmosaikvirusproteins. *Biochem. Z.* **303**, 221 (1939).

121. G. A. Kausche, Untersuchungen zum Problem der biologischen Charakterisierung phytopathogener Virusproteine. Arch. ges. Virusforschg 1, 362 (1940).
122. G. A. Kausche, Über den Mechanismus der Goldsolreaktion beim Protein des Tabakmosaik- und Kartoffel-X-Virus. Biol. Zbl. 60, 179 (1940).
123. G. A. Kausche und H. Ruska, Über den Nachweis von Molekülen des Tabakmosaikvirus in den Chloroplasten viruskranker Pflanzen. Naturwiss. 28, 303 (1940).
124. G. A. Kausche, E. Pfankuch und H. Ruska, Beobachtungen über Schall- und Ultraschalleinwirkungen am Protein des Tabakmosaikvirus. Naturwiss. 29, 573 (1941).
125. U. Kottmann, Morphologische Befunde aus taches vierges von Colikulturen. Arch. ges. Virusforschg 2, 388 (1942).
126. H. Ruska, Über ein neues, bei der bakteriophagen Lyse auftretendes Formelement. Naturwiss. 29, 367 (1941).
127. H. Ruska, Morphologische Befunde bei der bakteriophagen Lyse. Arch. ges. Virusforschg 2, 345 (1942).
128. H. Ruska, Ergebnisse der Bakteriophagenforschung und ihre Deutung nach morphologischen Befunden. Erg. Hyg., Bakt., Immunitätsforschg u. exper. Ther. 25, 437 (1943).
129. H. Ruska, Versuch einer Ordnung der Virusarten. Arch. ges. Virusforschg 2, 480 (1943).
130. H. Ruska und G. A. Kausche, Über Form, Größenverteilung und Struktur einiger Virus-Elementarkörper. Zbl. Bakteriol., Parasitenkunde Infektionskrankh. 150, 311 (1943).
131. H. Ruska, Über das Virus der Varizellen und des Zoster. Klin. Wschr. 22, 703 (1943).
132. G. Schramm, Über die Spaltung des Tabakmosaikvirus in niedermolekulare Proteine und die Rückbildung hochmolekularen Proteins aus den Spaltstücken. Naturwiss. 31, 94 (1943).
133. A. Tiselius und S. Gard, Übermikroskopische Beobachtungen an Poliomyelitis-Viruspräparaten. Naturwiss. 30, 728 (1942).
134. H. Trurnit und H. Friedrich-Freksta, Die elektronenmikroskopische Untersuchung des „Tomatenmosaikvirus Dahlem 1940“. Biol. Zbl. 60, 546 (1940).
- zentrierungsspule bei der Braunschen Röhre. Arch. Elektrotechnik 18, 583 (1927).
7. M. Knoll und E. Ruska, Beitrag zur geometrischen Elektronenoptik I und II. Ann. Physik V. Folge, 12, 607 (1932). — Das Elektronenmikroskop. Z. Physik 78, 318 (1932).
8. E. Brüche, Elektronenmikroskop. Naturwiss. 20, 49 (1932).
- E. Brüche und H. Johansson, Elektronenoptik und Elektronenmikroskop. Naturwiss. 20, 353 (1932).
9. T. Svedberg und H. Rinde, The ultracentrifuge, a new instrument for the determination of size and distribution of size of particle in amicroscopic colloids. J. Amer. chem. Soc. 46, 2677 (1924).
- T. Svedberg und A. Lysholm, An ultracentrifuge of oil turbine type for the determination of molecular weights. Nova Acta Reg. Soc. Sci. Upsaliensis 1927, 1.
10. H. Stintzing, Verfahren und Einrichtung zum automatischen Nachweis, Messung und Zählung von Einzelteilchen beliebiger Art, Form und Größe. DRP. 485155, angem. 13. 5. 1927, ausg. 28. 12. 1929.
11. W. Henneberg, Elektronenmikroskop, Übermikroskop und Metallforschung. Stahl u. Eisen 61, 769 (1941).
- „Der erste Vorschlag, mit Elektronenstrahlen ein Bild submikroskopischer Gegenstände zu erhalten, stammt von H. Stintzing.“
- E. Brüche, Vom Mikroskop zum Übermikroskop. Schweiz. Arch. 7, 46 (1941).
- „Den Gedanken, die Elektronenstrahlung in den Dienst der Mikroskopie zu stellen, d. h. ein Übermikroskop zu bauen, findet man nach Wissen des Verfassers zuerst in einer Patentschrift von Stintzing. Der Autor erwägt in dieser Schrift die Benutzung der kurzwelligeren Röntgenstrahlung, deren Verwendung schon früher, z. B. durch von Laue, diskutiert worden war, und die Benutzung von Korpuskeln, insbesondere Elektronenstrahlung.“
12. E. Ruska, Das Elektronenmikroskop als Übermikroskop. Forschgn u. Fortschr. 10, 8 (1934).
- „Derartige Untersuchungen interessieren uns natürlich im Gegensatz zu den vorstehend erwähnten Kathodenuntersuchungen bei allen Arten von Objekten wie beispielsweise Metallfolien, feinsten Fasern und organischen Objekten aus dem Interessengebiet des Mediziners und Biologen. ...

Schrifttum.

1. E. Ruska, Über Fortschritte im Bau und in der Leistung des magnetischen Elektronenmikroskops. Z. Physik 87, 580 (1934).
 2. H. Siedentopf und R. Zsigmondy, Über Sichtbarmachung und Größenbestimmung ultramikroskopischer Teilchen, mit besonderer Anwendung auf Goldrubingläser. Ann. Physik 10, 1 (1903).
 3. W. Friedrich, P. Knipping und M. v. Laue, S.-B. bayer. Akad. Wiss., Physik. Kl. 1912, 303 u. 363.
 4. C. Davisson und L. H. Germer, The scattering of electrons by a single crystal of Nickel. Nature (Lond.) 119, 538 (1927). — Diffraction of electrons by a crystal of Nickel. Physic. Rev. 30, 705 (1927).
 5. L. de Broglie, Thèses (Paris 1924). — Ann. de Physique 3, 22 (1925).
 6. H. Busch, Berechnung der Bahn von Kathodenstrahlen im axialsymmetrischen elektromagnetischen Felde. Ann. Physik IV. Folge, 81, 974 (1926). — Über die Wirkungsweise der Kon-
- Bei der großen grundsätzlichen Bedeutung des Elektronenmikroskops für die Übermikroskopie wäre sehr zu wünschen, daß sich neben dem Physiker heute auch schon der Mediziner und Biologe an den noch notwendigen Entwicklungsarbeiten beteiligen würden.“
- B. v. Borries, Das Elektronenmikroskop. Vortrag vom 12. 12. 1934 im Haus der Technik, Essen. Veröffentl. im Selbstverlag Haus der Technik Essen 1935, H. 1, 18.
- „Weitere Anwendungsgebiete des Übermikroskops ergeben sich in der Industrie der Steine und Erden und der Keramik, sowie auch in der Textilindustrie, wenn es gilt, feinste Strukturen zu untersuchen. Die Sichtbarmachung von Kolloiden ist zu erhoffen. Sehr wichtige Anwendungen aber wird das Elektronenmikroskop in der Biologie und der Medizin zu erwarten haben. Hier ist beispiels-

weise die Auffindung ultravisibler Vira zu nennen.) Auch die Pathologie dürfte Interesse an der Sichtbarmachung feinsten Strukturen haben. Hier wird es sehr wesentlich auf die Schaffung geeigneter Präparationsmethoden ankommen. Eine Zusammenarbeit zwischen Mediziner und Physiker verspricht die besten Erfolge.

Die Lichtmikroskopie hat entscheidende Verbesserungen nicht mehr zu erwarten; drei Generationen von Optikern haben es zu dem vollkommenen Instrument entwickelt, das wir heute besitzen. Man hat keinen Aufwand gescheut, seine Möglichkeiten auszuschöpfen ...

Das Elektronenmikroskop dagegen hat in dreijähriger rascher Entwicklung das Lichtmikroskop bereits heute im Auflösungsvermögen überholt. Wenn es auch das Lichtmikroskop niemals verdrängen oder überflüssig machen wird, so wird es sich doch daneben stellen und hoffentlich unsere Erkenntnis um Größenordnungen in das Gebiet des Kleinsten hinein erweitern, wenn es gelingt, Interesse und Beteiligung an dieser Arbeit zu erwecken."

13. E. Brüche und O. Scherzer, Geometrische Elektronenoptik (Berlin 1934), 272/273.

S. 272: „Bei Durchstrahlungsuntersuchungen fällt zwar diese Schwierigkeit [Unebenheiten des Objekts bei Oberflächenuntersuchungen] fort, doch wird es fast ebenso schwierig sein, Untersuchungsobjekte von geeigneter Feinheit zu finden. Außerdem sind hier Störungen infolge der chromatischen Fehler der Abbildungslinsen zu befürchten.“

S. 273: „Wir sind also bei durchstrahlten Objekten über eine Zehnerpotenz weiter in der Auflösung als bei selbstemittierenden. Diesen Vorteil vermag man indessen vorläufig noch nicht recht auszunutzen, da es an Objekten mangelt, für die man diese hohe Vergrößerung nützlich verwenden könnte.“

14. E. Driest und H. O. Müller, Elektronenmikroskopische Aufnahmen (Elektronenmikrogramme) von Chitinobjekten. Z. wiss. Mikroskopie mikroskop. Techn. 52, 53 (1935).
15. F. Krause, Elektronenoptische Aufnahmen von Diatomeen mit dem magnetischen Elektronenmikroskop. Z. Physik 102, 417 (1936). — Neuere Untersuchungen mit dem magnetischen Elektronenmikroskop, aus Busch/Brüche, „Beiträge zur Elektronenoptik“ (Leipzig 1937), 55. — Das magnetische Elektronenmikroskop und seine Anwendung in der Biologie. Naturwiss. 25, 817 (1937).
16. D. Beischer und F. Krause, Das Elektronenmikroskop als Hilfsmittel der Kolloidforschung. Naturwiss. 25, 825 (1937).
17. B. v. Borries und E. Ruska, Vorläufige Mitteilung über Fortschritte im Bau und in der Leistung des Übermikroskopes. Wiss. Veröff. Siemens-Werke 17, 99 (1938).
18. E. Ruska und M. Knoll, Die magnetische Sammelspule für schnelle Elektronenstrahlen. Z. techn. Physik 12, 389, 448 (1931).
- 18a. Es ist gelegentlich ausgeführt worden [z. B. E. Kinder und A. Pendzich, Jb. AEG-Forschg 7, 23 (1940)], daß die Gedankengänge, aus denen die eisengekapselte Spule mit innerem Spalt und dann die Polschuhspule entstanden ist, auf D. Gabor (Forschungsheft 1 der Studienges. f. Höchstspannungsanlagen, Ver. Elektr. W. Berlin 1927, 15) zurückgingen.

Diese Auffassung ist irrig. Gabor hatte bei dem von ihm gebauten Kathodenstrahloszillographen den Außenmantel und die Stirnseite der Konzentrierspule mit Eisen geschirmt, um zu verhindern, daß das Spulenfeld bis in das hinter der Spule angeordnete erste Ablenkplattensystem übergreift und so ein schiefwinkliges Koordinatensystem hervorruft. Im Gegensatz zu den Überlegungen und der Anordnung des Verfassers hat Gabor eine Brennweitenverkürzung und Stromersparnis weder beabsichtigt noch erkannt noch mit der gewählten Anordnung merklich erreicht.

19. B. v. Borries und E. Ruska, Magnetische Sammellinse kurzer Feldlänge. DRP. 680284 vom 17. 3. 1932, Bek. gem. 3. 10. 1935, ausg. 26. 8. 1939.
20. E. Ruska, Über ein magnetisches Objektiv für das Elektronenmikroskop. Z. Physik 89, 90 (1934).
21. W. Schröder, Magnetische Elektronenlinse. DRP. 720927 vom 25. 2. 1937, Bek. gem. 16. 4. 1942.
22. W. Raske, Meßteiler für hohe Stoßspannungen, Teil II. Der Kapazitätsteiler. Arch. Elektrotechnik 31, 732 (1937).
23. E. Kinder und A. Pendzich, Eine neue magnetische Linse kleiner Brennweite. Jb. AEG-Forschg. 7, 23 (1940).
- 23a. Es ist gelegentlich der Eindruck erweckt worden [z. B. E. Kinder und A. Pendzich, Kolloid-Z. 95, 326 (1941)], als sei die Jochlinse keine Polschuhlinse. Dieser falschen Ansicht leistet auch die Bezeichnung „Jochlinse“ Vorschub, die ein für die Ausbildung des optisch wirksamen Feldes nebensächlicheres Merkmal zum alleinigen Inhalt hat. Wir halten diese Bezeichnung daher für wenig glücklich und werden besser von einer „jocherregten Polschuhlinse“ sprechen.
24. B. v. Borries und E. Ruska, Die Abbildung durchstrahlter Folien im Elektronenmikroskop. Z. Physik 83, 187 (1933).
25. E. Ruska, Elektronenmikroskop und Übermikroskop, aus Busch/Brüche, „Beiträge zur Elektronenoptik“ (Leipzig 1937), 49.
26. C. Ramsauer, Aus dem Forschungsinstitut der AEG, AEG-Mitteilungen 1940, 53.
27. E. Brüche, Anhang zum Buch „Elektronengeräte“ von Brüche/Recknagel (Berlin 1941), 437.
28. E. Brüche, Über die Verwendung elektrischer und magnetischer Felder in der Elektronenoptik. TFT 29, 1 (1940). S. 2:
- „Wenn man zu Korrekturen der Linsen durch besondere Gestaltung der Elektroden bzw. Polschuhe schreitet, scheint die elektrische Linse im Vorteil zu sein. Hier erreicht man durch besondere Gestaltung der Elektroden⁶⁾, durch Krümmung der Kathodenfläche⁷⁾ oder durch Einführung neuer Elektroden⁸⁾ relativ leicht Verbesserungen, während bei magnetischen Linsen nur die besondere Gestaltung der Spulenkörper oder Polschuhe⁹⁾ in Frage kommt. Abb. 1 zeigt die beiden sphärisch bestkorrigierten kurzen Linsen nach Scherzer¹⁰⁾. Der Vergleich der theoretisch geforderten For-

⁶⁾ H. Johannson, Ann. Physik 18, 385 (1933).

⁷⁾ V. K. Zworykin, Z. techn. Physik 17, 170 (1936).

⁸⁾ H. Johannson, Ann. Physik 21, 274 (1934).

⁹⁾ R. R. Law, Proc. Inst. Rad. Eng. 25, 954 (1937).

¹⁰⁾ O. Scherzer, Beiträge zur Elektronenoptik (Leipzig 1937), 18.

- men läßt die Schwierigkeiten der Korrektur deutlich erkennen. Während bei der elektrischen Linse sich der zur Erzielung des steilen Feldabfalls erforderliche Lamellenaufbau schließlich noch ausführen ließe, scheint die Ausführung der entsprechenden magnetischen Linse — nicht nur weil Material unendlich großer Permeabilität vorausgesetzt ist — hoffnungslos.“
29. C. Ramsauer, Zur Einführung. Jb. AEG-Forschg. 7, 1 (1940), Sonderheft Übermikroskop:
„Die zweite Aufgabe, die wir uns auf dem Gebiet der Elektronenmikroskopie gestellt haben, war die Entwicklung eines Übermikroskops. Das Übermikroskop, dessen Wesen wir unter dieser Benennung bereits 1933 definiert hatten, sollte dabei möglichst eine Form erhalten, in der es wie jeder sonstige Apparat auch von Nichtphysikern benutzt werden kann. Zu diesem Zweck gingen wir von den bis dahin für die Entwicklung des Übermikroskops allein benutzten magnetischen zu den elektrostatischen Linsen über.“
30. E. Ruska, Über die Linsen hochauflösender Elektronenmikroskope. Arch. Elektrotechnik 36, 431 (1942).
31. In dieser Richtung liegen besonders die verschiedenen von M. v. Ardenne veröffentlichten Konstruktionen, vgl. z. B. M. v. Ardenne, Über ein Universal-Elektronenmikroskop für Hellfeld-, Dunkelfeld- und Stereobild-Betrieb. Z. Physik 115, 339 (1940).
32. E. Brüche, Zur Entwicklung des Elektronen-Übermikroskops mit elektrostatischen Linsen. Z. Ver. Dtsch. Ing. 85, 221 (1941).
„Bei Stellung der Aufgabe, ein einfaches, aber trotzdem leistungsfähiges Übermikroskop für 40 bis 60 kV Betriebsspannung zu bauen, war eines ganz klar: Es mußte versucht werden, die elektrische Linse hierzu zu wählen. Diese Wahl war nicht nur dadurch bedingt, daß wir über diese Elektronenlinse durch unsere langjährige Beschäftigung mit ihr besonders gründliche Erfahrungen hatten. Ausschlaggebend war vielmehr für uns die Erfahrung, daß in der Elektronentechnik im allgemeinen das elektrische Feld für einfache Konstruktionsformen angestrebt wird. Hierfür geben die Braun-
- sche und die Verstärkerröhre Beispiele, die beide ursprünglich mit Magnetfeldern zur Fokussierung bzw. Steuerung ausgerüstet waren, heute in ihrer überwiegenden Mehrzahl dagegen rein elektrisch arbeiten.“
33. Dr. Br., Glaslinsen und Elektronenlinsen. Wissen u. Fortschritt/Technik f. Alle 1943, Nr. 1, 8.
S. 10: „Die Elektronenoptik ist nicht in allem leicht zu verstehen. Da das Elektronenmikroskop heute bereits zur allgemeinen Bildung gehört, glauben viele, die von den Dingen wenig verstehen, die Pflicht zu haben, über die Elektronenoptik und die elektronenoptische Linse sich äußern zu sollen. Es ist richtig, daß die elektrische Linse sehr viel einfacher in ihrem Aufbau, ihrer Funktion, ihrer Handhabung usw. ist als die magnetische Linse, aber es kann andererseits keinen Zweifel daran geben, daß die heute benutzten magnetischen Linsen kleinere Brennweiten haben und höhere Auflösung zulassen. Ohne Zweifel arbeitet die elektrische Linse leistungslos, verlangt nur eine primitive Hochspannungsanlage und braucht keine Kühlung, doch dafür erlaubt die magnetische Linse höhere Elektronengeschwindigkeit anzuwenden. Aber auch sonst muß man sehr vorsichtig sein, aus solchen teilweise durchgeführten Vergleichen zu einem Urteil über die Linsen zu gelangen. Es besagt nun einmal wenig, daß die magnetische Linse mehr und die heutige elektrische größere Linsenfehler hat. Die verantwortungsbewußten Fachleute hüten sich daher auch davor, etwa daraus ein abschließendes Urteil abzugeben, daß die Entwicklungen der Braunschen Röhren, der Elektronenröhren usw. mit magnetischen Feldern begannen und heute ausschließlich elektrische Felder verwenden.“
Vgl. hierzu die in Fußnote 29 und 32 wiedergegebenen abweichenden Ansichten.
34. E. Ruska, Aufnahme von Elektronenbeugungsdiagrammen im Übermikroskop. Wiss. Veröff. Siemens-Werke, Werkstoff-Sonderheft 1940, 372, vgl. auch H. O'Daniel und O. E. Radczewski, Elektronenmikroskopie und -beugung hochdispenser Mineralien an demselben Präparat. Naturwiss. 28, 628 (1940).
35. Vgl. in der Literaturzusammenstellung des Kapitels 6 z. B. die Arbeiten 50, 66, 94—97, 108—110.

Aus dem Agrikulturchemischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Schweiz
(Vorstand: Prof. Dr. H. Pallmann).

Zur Kenntnis der kolloidchemischen Eigenschaften des Humus. Dioxanextraktion und Dispersitätschemie des Fichtenholzignins.

Von Henri Perrenoud (Zürich, Schweiz).

(Eingegangen am 28. Januar 1944)

A. Einleitung.

I. Heutiger Stand der Kenntnisse.

Obwohl während der letzten Jahre eine große Anzahl von Forschern sich mit dem Lignin befaßt, sind die wichtigsten Fragen, wie die Konstitution, der übermolekulare Aufbau, der ursprüngliche Zustand im Holz und die industrielle Verwendungsmöglichkeit, noch nicht in befriedigender Weise beantwortet worden.

Seit der Veröffentlichung der Arbeit von E. Junker (28), als deren Fortsetzung unsere

Untersuchungen zu betrachten sind, wurden immerhin einige bemerkenswerte Fortschritte erzielt. Es ist nicht unsere Absicht, hier einen allgemeinen und vollständigen Überblick über die gesamte Entwicklung der Ligninchemie zu geben, besonders da einige gute Zusammenfassungen existieren (3, 10, 15, 20, 28, 30). Wir wollen nur kurz den heutigen Stand des Wissens beleuchten.

Dank den eingehenden Arbeiten von Freudenberg (11, 12, 13) wird heute allgemein der