

ist vom Bureau of Standards bereits angekündigt worden⁹⁾. Messungen über die spektrale Intensitätsverteilung zu verschiedenen Zeiten nach Beginn des Funkens, die mit Hilfe eines synchron rotierenden Drehspiegels gemacht werden, können Aufschlüsse geben über die Entwicklung von Ionisation und Anregung in diesen stromstarken Lichtbögen. Dabei kann man über sehr viele unter sich gleichartige Funken mitteln, so daß auch schwache Leuchterscheinungen beobachtet werden können.

Zusammenfassung

Zunächst werden die Forderungen dargelegt, die an die bei der Spektralanalyse verwendeten Funkenentladungen zu stellen sind. Diese Forderungen werden erfüllt durch eine von O. Feussner angegebene Schaltung, bei der ein Synchronunterbrecher den Kondensator des Funkenkreises während der Ladepause von der Funkenstrecke trennt. Die Wirkungsweise dieser Anordnung wird erläutert. Auf einige Anwendungsmöglichkeiten der gesteuerten Funken bei physikalischen Untersuchungen wird hingewiesen.

⁹⁾ W. F. Meggers, in: Spectroscopy in science and industry, New York (1938), S. 59.

(Eingegangen am 30. Oktober 1938)

Aussprache

K. W. Wagner, Berlin-Schöneberg: Der Herr Vortragende hat mit Recht darauf hingewiesen, daß die Erzeugung regelmäßiger Funkenfolgen, wie die Spektralanalyse sie braucht, eine rein elektrotechnische Aufgabe ist. Lösbar ist diese Aufgabe auch ohne Zuhilfenahme einer mechanischen Steuerung auf rein elektrischem Wege, durch geeignete Bemessung des Entladungskreises, insbesondere von L , C und R ; das Nähere darüber findet sich in den unter der Leitung von H. Th. Simon in Göttingen in den Jahren 1905/1910 ausgeführten Arbeiten über den elektrischen Lichtbogen, besonders in der auch als Buch erschienenen Dissertation von H. Barkhausen.

H. Kaiser, Jena: Das geht nicht, ganz abgesehen von der Schwierigkeit, solche Einstellungen bei der technischen Spektralanalyse mit ungeschulten Arbeitskräften durchzuführen. Es trifft zwar zu, daß man durch passende Wahl der elektrischen Daten Entladungsfolgen herstellen kann, die in ihrem elektrischen Verlauf (Frequenz und Stromstärke) gleichmäßig sind. Sie sind aber abhängig von den Verhältnissen in der Funkenstrecke, insbesondere vom Elektrodenabstand und der Verdampfung der Elektroden. Da diese Größen bei der Spektralanalyse von Fall zu Fall wechseln, muß der Ablauf der Entladungen davon unabhängig gemacht werden. Die frühere Hochfrequenztechnik verlangte kräftige und gleichmäßige Entladungen,

die Spektralanalyse verlangt mehr: Mit vorgegebenen elektrischen Daten und vorgegebenem Elektrodenabstand müssen bei beliebigem, in seinen Eigenschaften unbekanntem Elektrodenwerkstoff gleichmäßige Funkenfolgen mit bestimmten Strahlungseigenschaften hergestellt werden. Man hat also gar keine Möglichkeit, die verschiedenen Größen einander anzupassen und kann daher auf eine Steuerung nicht verzichten¹⁰⁾.

H.-J. Hübner, Braunschweig: Eine gesteuerte Funkenentladung ist auch ohne motorische Steuerung durch Verwendung eines Resonanztransformators erreichbar, bei dem durch Wahl der Kopplung zwischen Primär- und Sekundärkreis Einzelfunken ohne Partialfunken in weitgehend regelbarer Funkenzahl je s einstellbar sind.

H. Kaiser, Jena: Bei einem Resonanzfunken-erzeuger muß man zwei Fälle unterscheiden: Ist der Ladekreis, der mit der Netzfrequenz in Resonanz ist, schwach gedämpft, so dauert es sehr lange, bis die Spannung nach einem Durchbruch wiederkehrt. Man hat eine Folge kräftiger, verhältnismäßig gleichartiger Einzelfunken ohne nachhinkende Nebenfunken. Diese Funken sind den gesteuerten sehr ähnlich, aber bei ihnen ist die Energie der Funken abhängig von der Zündspannung der Funkenstrecke und damit vom Elektrodenabstand und der Elektrodenform. Störend wirkt außerdem die geringe zeitliche Dichte solcher Funkenfolgen. Dämpft man dagegen den Resonanztransformator durch einen vorgeschalteten Widerstand, wie es praktisch meistens geschehen ist⁸⁾, so verliert er seine wesentlichen Eigenschaften. Dann können Funken mit mehreren Teilentladungen innerhalb einer Halbwelle auftreten, ebenso wie bei den gewöhnlichen ungesteuerten Funken.

¹⁰⁾ Dazu kommt noch, daß man kräftige Entladungen braucht, deren Dauer kurz gegenüber den Pausen zwischen den einzelnen Entladungen ist, so daß man die regelmäßigste Art der Lichtbogenschwingungen, die zweiter Art, nicht verwenden kann.

Über die Bildentstehung im Übermikroskop

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

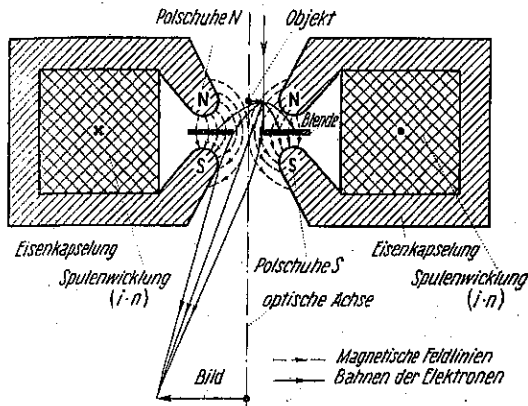
(Mitteilung aus dem Laboratorium
für Elektronenoptik des Wernerwerkes F
der Siemens & Halske AG)

Mit 10 Abbildungen im Text

Inhalt. An Hand von Versuchen wird eine genauere Beschreibung der Bildentstehung im Übermikroskop gegeben.

Die übliche Vorstellung über die Bildentstehung im Übermikroskop ist in Abb. 1 aufgezeichnet. Die ankommenden Strahlen werden vom Objekt nicht

etwa mehr oder weniger absorbiert, sondern vielmehr mehr oder weniger gestreut. Von den dicken oder dichten Stellen des Objektes treten daher weniger Elektronen durch die sehr kleine Blende des Objektivs als von den dünnen; erstere erscheinen



1. Magnetische Elektronenlinse kurzer Brennweite mit eingezeichnetem Strahlengang

daher im Bild dunkel, letztere hell. Soweit ist die Darstellung einwandfrei. In Abb. 1 ist aber der Strahlengang nun so gezeichnet, als ob alle in das Objektiv eintretenden Strahlen auf die ihnen zukommenden Bildpunkte fokussiert werden und damit zur Bildentstehung beitragen. Diese Ansicht bedarf einer Berichtigung.

Man beobachtet beim Mikroskopieren, daß der Ort des Bildes abhängig ist von der Richtung, mit der die aus dem Bestrahlungsapparat austretenden Elektronen das Objekt treffen. Bei dem neuen, von uns gebauten Übermikroskop (Abb. 2) kann man

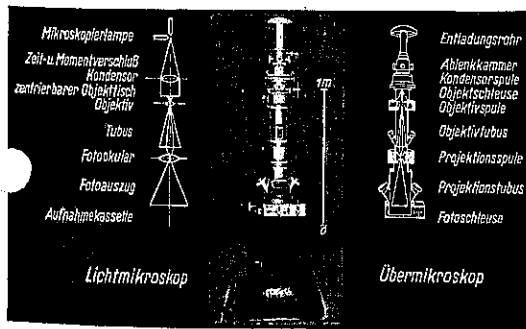


Abb. 2. Siemens-Übermikroskop nach Ruska und v. Borries

diese Richtung dadurch verändern, daß man die Lage der verschieb- und verkantbaren Kondensatorspule ändert. Bewegt man also die Verstellerschrauben der Kondensatorspule, so wandert das Bild um ganz erhebliche Beträge. Diese Erscheinung ist nicht zu deuten, wenn man annimmt, daß von den von einem Objektpunkt ausgehenden Elektronen die ganze

freie Linsenöffnung beaufschlagt wird und daß diese Elektronen das Bild erzeugen. In diesem Falle müßte nämlich einem Dingpunkt eindeutig ein Bildpunkt zugeordnet sein. — Weiterhin zeigte eine bisher unveröffentlichte Rechnung, die Herr Dr. W. Glaser (Prag) durchgeführt hat, daß bei den von uns verwendeten Objektivaperturen infolge des Öffnungsfehlers nur ein Auflösungsvermögen erreichbar sein dürfte, das weit schlechter ist als das tatsächlich erreichte.

Diese beiden Tatsachen legten die Vermutung nahe, daß der Strahlengang bei der Bildentstehung etwa dem Schema der Abb. 3 entspricht. Gezeichnet sind in diesem nur die Randstrahlen des Bündels,

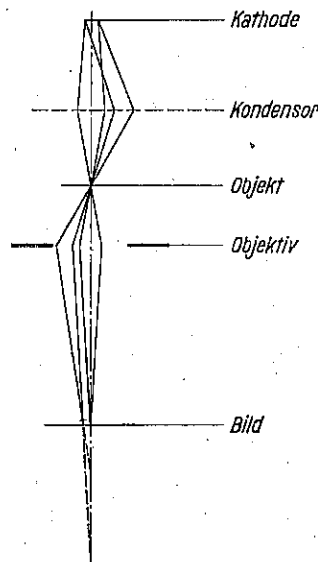


Abb. 3. Bilderzeugung im Übermikroskop durch Strahlbündel mit kleiner Öffnung gegenüber der Objektivapertur

welche einen Objektpunkt abbilden, und zwar einmal für Abbildung durch ein zentrisches und einmal für Abbildung durch ein schiefes Bündel. Die zweite Vergrößerungsstufe ist der Einfachheit halber weggelassen.

Vom Objekt her erscheint die Kathode unter sehr kleiner Apertur, die mit beginnender Stromdurchflutung der Kondensatorspule stetig vergrößert werden kann. Jeder Objektpunkt wird demnach von einem Bündel getroffen, dessen Apertur bei praktischen Verhältnissen bei 10^{-3} liegt. Im Objekt wird nun ein Teil der Elektronen abgestreut, ein anderer behält aber seine Richtung unverändert bei. Je dünner das Objekt, desto größer ist die Zahl der gerade durchgehenden Elektronen. Die abgelenkten Strahlen werden um Winkel abgelenkt, die groß sind gegenüber den praktisch verwendeten Objektivaperturen, die zwischen 0,01 und 0,03 liegen. Die unabgelenkt durchgehenden Elektronen bilden nun ein vom Objektpunkt ausgehendes Bündel, das

die gleiche Apertur wie die des bestrahlenden Bündels hat. Dieses Bündel beaufschlagt, wie die Abb. 3 zeigt, nur einen kleinen Teil der Linsenöffnung, da die Kondensorapertur klein ist gegenüber der Objektivapertur. Für seine Fokussierung kommen demnach nur die dieser kleinen Linsenöffnung entsprechenden Öffnungsfehler in Betracht. Es ist also erklärt, weshalb man mit dem Übermikroskop ein besseres Auflösungsvermögen erreicht als der berechnete Öffnungsfehler bei den tatsächlich verwendeten Linsenöffnungen vermuten ließ.

Aber auch der andere experimentelle Befund, nämlich das Bildwandern bei Veränderung des Bestrahlungswinkels, findet durch die neue Auffassung seine Deutung. Wenn der bestrahlende Strahlengang das Objekt nicht in axialer, sondern in zur Achse etwas geneigter Richtung trifft, so fallen die gerade durchgehenden, abbildenden Elektronen nicht mehr durch die Mitte der Linse, sondern durch die Randzone. Für diese ist bei gleicher Stromdurchflutung infolge des Öffnungsfehlers die Brechkraft größer. Um also eine Fokussierung des schiefen Bündels in der Bildebene zu erhalten, muß der Objektstrom kleiner sein als bei der Abbildung durch die Mittelzone der Linse. Da aber infolge des Öffnungsfehlers der Außenstrahl des schiefen Bündels die Achse in einem kleineren Abstände von der Linse schneidet als der weiter nach innen liegenden Strahl, so liegt der Bildpunkt, wie Abb. 3 zeigt, nicht auf der Achse, sondern nach derjenigen Seite verschoben, auf der die Linse beaufschlagt war. (In Wirklichkeit liegen die Verhältnisse hier noch etwas verwickelter, weil auch die Bilddrehung noch zu berücksichtigen ist.) Da im Übermikroskop mit der im Bild fortgelassenen zweiten Vergrößerungsstufe nur der achsennahe Bereich des Zwischenbildes weiter vergrößert wird, muß man das Objekt um den entsprechenden Betrag gegen das Objektiv verschieben, wenn man den gleichen Bereich abbilden will, wie vorher bei der Abbildung durch das achsiale Bündel. Die Bildqualität muß bei der Abbildung durch achsiale Bündel besser sein als bei der Abbildung durch Randbündel, weil der auf eine bestimmte Bündelbreite treffende Öffnungsfehler in der Mitte der Linse kleiner ist als am Rand.

Zum Nachweis der Richtigkeit der geschilderten Auffassung über die Bildentstehung wurden zwei Versuche unternommen:

1. Bei unveränderter Objektivapertur ($0,032$) wurde das gleiche Objekt bei verschiedener Kondensorapertur betrachtet. Dabei muß nach dem Gesagten die bei bester Fokussierung erreichbare Bildschärfe mit steigender Apertur des Kondensors schlechter werden, weil das abbildende Bündel breiter wird, einen größeren Bereich der Objektivlinse beaufschlagt und damit dem Öffnungsfehler in steigendem Maß unterliegt. Beim Versuch wurde

die Kondensorapertur durch Änderung des Kondensorstromes eingestellt und dadurch gemessen, daß jeweils nach der Aufnahme bei ausgeschalteter Objektivlinse die Spur des durch das Objekt gegangenen Bündels auf dem Zwischenbildleuchtschirm gemessen wurde.

Dieses Verfahren ist zulässig, da der Durchmesser der Objektträgerblende $0,05$ mm betrug, also klein war gegenüber der genannten Spur, die etwa $0,8 \dots 1,8$ mm Durchmesser ergab. — In Abb. 4 sind die Bilder eines Testobjektes wiedergegeben, die bei den Kondensoraperturen $1 \cdot 10^{-3}$

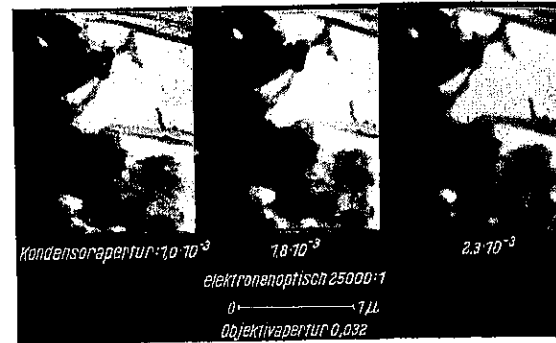


Abb. 4. Bildschärfe bei geänderter Kondensorapertur und konstanter Objektivapertur

$1,8 \cdot 10^{-3}$ und $2,3 \cdot 10^{-3}$ erhalten wurden. Um die Möglichkeit von Fehleinstellungen auszuschließen wurde für jede Apertur eine Reihe von Bildern aufgenommen, von denen jeweils das schärfste wiedergegeben ist. Man erkennt in den Aufnahmen Übereinstimmung mit der visuellen Beobachtung des Leuchtschirmes die geforderte Verschlechterung der Schärfe bei steigender Kondensorapertur.

2. Bei unveränderter Kondensorapertur ($1 \cdot 10^{-3}$) wurde das gleiche Objekt bei verschiedener Objektivapertur betrachtet. Dabei muß nach dem Gesagten die bei bester Fokussierung erreichbare Bildschärfe unverändert bleiben. In der Tat muß mit steigenden Objektivaperturen der Kontrast kleiner werden, weil von den abgestreut Elektronen immer mehr in das Objektiv eintreten infolge des Öffnungsfehlers aber nicht auf die ihr zukommenden Bildpunkte gelenkt werden, sondern vielmehr infolge ihrer starken Abweichung von den unabgelenkten Strahlen eine Grundhelligkeit verursachen. Bei diesem Versuch wurde die Objektivapertur durch Austausch der Aperturblenden des Objektivs verändert. Die Kondensorapertur wurde nach dem unter 1. genannten Verfahren kontrolliert und konstant gehalten. — In Abb. 5 sind die Bilder wiedergegeben, die bei den Objektivaperturen $0,032$ und $0,31$ erhalten wurden. Auch hier sind in jedem Versuch mehrere Aufnahmen gemacht, die schärfsten Bilder sind wiedergegeben. Die Verwendung gleichen Papiers wurde vermieden.

ß bei der Kopie Kontrastveränderungen eintreten. Die Kontraste der gezeigten Kopien stimmen mit denen der Platten befriedigend überein. Obwohl die Aperturen etwa wie 1:30 variiert wurden, womit der Öffnungsfehler der gesamten Linse sich wie 1:27000 ändert, beobachtet



Abb. 5. Übermikroskop.

Bildschärfe und Kontrast bei geänderter Objektivapertur und konstanter Kondensorapertur

man in Übereinstimmung mit der visuellen Beobachtung kaum eine Verringerung der Schärfe, wie oben gefordert wurde. Bei der großen Apertur und infolge des schlechten Kontrastes die Einstellungsschwierigkeiten so groß gewesen, daß ein ganz scharfes Bild nicht erhalten wurde. Eine weitere Stütze findet die neue Anschauung über die Bildentstehung darin, daß zur Erzielung gleicher Plattenschwärzung trotz der sehr verschiedenen Objektivapertur immer etwa die gleiche Belichtungszeit von 2,5 s genommen werden mußte, obwohl sich die Flächen der Objektivöffnungen wie 900 verhalten.

Außer durch die beiden gezeigten Aufnahmen können unsere Auffassung auch noch dadurch

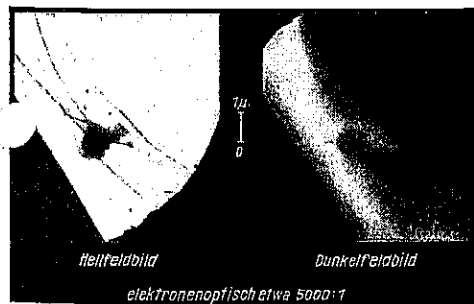


Abb. 6. Bildschärfe bei Hell- und Dunkelfeldbeobachtung. Objekt: Kolloidumfolie mit Blutplättchen (Aufnahme: H. Ruska)

bestätigt werden, daß Dunkelfeldbilder wesentlich unschärfer sind als Hellfeldbilder. Die Abb. 6 zeigt einen solchen Vergleichsversuch. Links ist das Hellfeldbild eines Blutplättchens auf einer Kolloidumfolie wiedergegeben. Man erkennt sehr dünne

Fortsätze des Blutplättchens und neben den Blutplättchen ein Loch in der Folie. Das Dunkelfeldbild auf der rechten Seite zeigt da, wo überhaupt keine Masse im Strahlengang ist, d. h. an den Stellen, an denen keine Folie war oder ein Loch in der Folie sich befand, völlige Dunkelheit, weil ja auf diesen Stellen keine Strahlen in die Objektivapertur abgestreut wurden. Dort, wo die Folie sich befindet, ist das Bild aufgehellt und dort, wo die dünnen Fortsätze des Blutplättchens waren, sind noch mehr Elektronen abgestreut, das Bild ist hier heller. An der Stelle aber, wo die verhältnismäßig große Masse des Blutplättchens selber lag, sind die Abstreuwinkel so groß gewesen, daß keine nennenswerte Intensität mehr in die Objektivapertur kam. Der entsprechende Bildbereich ist daher dunkel. — Die mangelhafte Qualität des Dunkelfeldbildes kann man nun einmal daraus erklären, daß von den abgestreuten Elektronen natürlich die gesamte Linsenöffnung beaufschlagt wurde, so daß der Öffnungsfehler eine gegenüber dem Hellfeldbild erhöhte Rolle spielt. Andererseits wurden zur Bilderzeugung die abgestreuten Strahlen verwendet, deren Geschwindigkeitsverlust vermutlich größer ist als der der glatt durchtretenden. Dementsprechend müßte auch der chromatische Fehler gegenüber dem Hellfeldbild größer sein. Eine Trennung beider Fehler konnte bisher nicht durchgeführt werden: sie ist jedoch möglich durch Vergleich von Dunkelfeldbildern, welche mit verschiedener Objektivapertur aufgenommen sind.

Zu bemerken ist weiterhin, daß die außergewöhnliche Tiefenschärfe der übermikroskopischen Abbildung jetzt dadurch noch eine bessere Erklärung findet, daß die wirksame Abbildungsapertur selbst gegen die an sich schon sehr kleine Objektivapertur sehr klein ist.

Die durch unsere Versuche bestätigte Auffassung von der Bildentstehung wurde hier zu einem relativ frühem Zeitpunkt vorgetragen, weil in letzter Zeit verschiedentlich Rechnungen über die Grenzen des Auflösungsvermögens des Übermikroskopes durch den Öffnungsfehler veröffentlicht wurden, die von der nach dem Gesagten wohl nicht mehr zutreffenden Betrachtung ausgingen, daß die ganze Linsenöffnung von abbildenden Strahlen beaufschlagt wird. Diese Rechnungen waren experimentell nicht unterbaut und führen daher leicht zu unzutreffenden Ergebnissen. Besondere Beachtung verdient der ebenfalls verschiedentlich diskutierte chromatische Fehler, über den man wenig aussagen kann, da eingehende Messungen über den Geschwindigkeitsverlust von Elektronenstrahlen beim Durchgang durch Materie in Abhängigkeit vom Ablenkwinkel unseres Wissens bisher fehlten. Nach den soeben auf der Physikertagung in Baden-Baden von Boochs

mitgeteilten Messungen scheinen die beim Durchgang durch 10^{-3} mm dicke Schichten um kleine Winkel abgelenkten Strahlen einen kleineren Geschwindigkeitsverlust zu haben als die Gesamtheit der durchtretenden Strahlen. Da wir noch wesentlich dünnere Schichten verwenden, dürfte bei uns der Geschwindigkeitsverlust bei dem glatt durchtretenden Anteil der Strahlung sehr wesentlich kleiner als bei der Gesamtheit aller Strahlen oder überhaupt gleich Null sein, womit der chromatische Fehler verschwinden würde.

Zum Schluß möchten wir an einzelnen herausgegriffenen Bildbeispielen zeigen, was man mit dem Übermikroskop heute darstellen kann. In Zusammenarbeit mit Herrn Prof. W. Eitel vom Kaiser-Wilhelm-Institut für Silikatforschung in Dahlem wurden von Herrn H. O. Müller¹⁾ Bilder

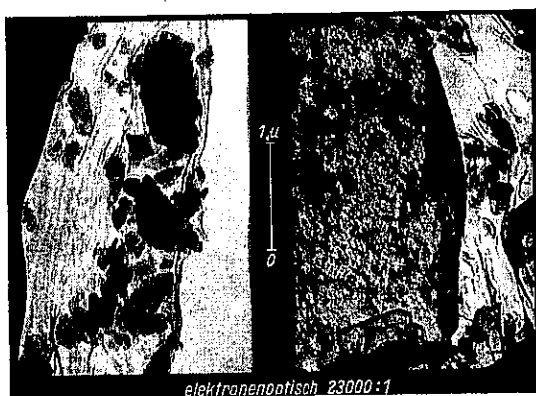


Abb. 7. Synthetischer Kaolin
(Aufnahme: H. O. Müller)

von Tonen und Zementen aufgenommen, über die demnächst von den genannten Herren ausführlicher berichtet werden wird. Abb. 7 zeigt Aufnahmen von synthetischem Kaolin. Besonders interessant ist die Wiedergabe der kristallinen Struktur; man beobachtet deutlich, wie sich an einzelnen Stellen bestimmte kleine Kristalle übereinander schieben, wobei die Form beider Kristalle noch gut beobachtbar bleibt. Bei der Untersuchung von Zementen wurde eine große Vielfalt von Erscheinungsformen gefunden. Die in Abb. 8 herausgegriffene Darstellung zeigt einzelne Zementteilchen, die wabenförmige Innenstrukturen aufweisen.

In Zusammenarbeit mit Herrn Dr. C. H. Wolpers von der 1. medizinischen Klinik der Charité in Berlin wurden von Herrn Helmut Ruska Blutplättchen untersucht, über die die genannten

¹⁾ Anmerkung: Ein Teil dieser Bilder von Tonen und Zementen wurde den Verfassern von Herrn Müller bereits früher zur Verfügung gestellt, vgl. B. v. Borries u. E. Ruska, ZS. d. Ver. d. Ing. 82 (1938), 937; ein anderer Teil erscheint demnächst, vgl. H. O. Müller, Elektrot. ZS. 59 (1938), 1189.

Herren ebenfalls in nächster Zeit in einem Zusammenhang berichten werden, der das physikalische Verhalten der Blutplättchen zum Gegenstand hat. Man findet, daß die Blutplättchen nach der Vorbehandlung ganz verschiedene Form



Abb. 8. Zement
(Aufnahme: H. O. Müller)

annehmen. Im kreisenden Blut haben sie vermutlich die in Abb. 9 rechts dargestellte Form bei der der mittlere dichte Teil von einer zart Hülle umgeben ist. Unter gewissen Bedingungen aber schleudern sie aus dieser Hülle pseudopodie



Abb. 9. Blutplättchen nach verschiedener Vorbehandlung
(Aufnahme: H. Ruska)

artige Fortsätze aus, die vielleicht für die Blutgerinnung wesentlich sind (Abb. 9, links).

In Zusammenarbeit mit der Biologischen Reichsanstalt wurde von den Herren Kausche, Pfankuch und Helmut Ruska das ultraviolette Virus der Tabakmosaikkrankheit untersucht. Die beiden Bilder in Abb. 10 zeigen Aufnahmen, erhalten wurden, wenn eine Lösung, die in trockenem Substanz 99,7 v. H. Tabakmosaikvirus enthält, auf der Folie aufgetrocknet wird. Im linken Bild sieht man außerdem runde schwache

nkte, welche zwischengemengte Goldkolloide stellen, mit denen die Tabakmosaiklösung desgen versetzt wurde, um die scharfe Einstellung erleichtern. Die Elementarkörper des Virus ern sich unter verschiedenen Bedingungen veriedenen zusammen, wie die Bilder zeigen. Ob wir links mit den Anfängen der Kristallbildung zu

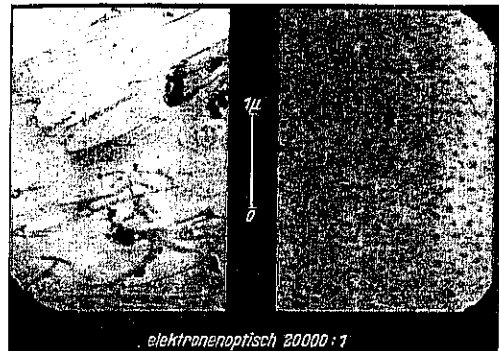


Abb. 10. Tabakmosaikvirus
(Aufnahme: H. Ruska)

haben, ob die kleinsten, im rechten Bild sichtbaren Punkte den Elementarkörper des Virus selbst stellen, und ob schließlich diese Elementarkörper als Molekeln anzusprechen sind, dazu können heute noch nicht Stellung nehmen. In Kürze d von den genannten 3 Herren darüber ausführlich berichtet werden.

Herrn Dr. W. Glaser danken wir für eine tvolle Diskussion, Herrn Dr. V. Neubert für erimentelle Hilfe.

Zusammenfassung

Jeder Punkt des übermikroskopischen Objektes i von einem aus dem Bestrahlungsapparat ausenden Elektronenstrahlbündel getroffen, dessen ratur bei praktischen Verhältnissen bei 10^{-3} liegt. Objekt wird ein Teil der Elektronen abgestreut, anderer behält aber seine Richtung unverändert

Je dünner das Objekt, desto größer ist die Zahl gerade durchgehenden Elektronen. Die abm. . Strahlen werden um Winkel abgelenkt, groß sind gegenüber den praktisch verwendeten ektivaperturen, die zwischen 0,01 und 0,03 en. Die unabgelenkt durchgehenden Elektronen en nun ein vom Objektpunkt ausgehendes Bündas die gleiche Apertur wie die des bestrahlenden idels hat. Dieses Bündel beaufschlagt nur einen en Teil der Linsenöffnung, da die Kondensortur klein ist gegenüber der Objektivapertur. seine Fokussierung kommen demnach nur die er kleinen Linsenöffnung entsprechenden Öffgsfehler in Betracht. Die Richtigkeit dieser fassung über die Bildentstehung wird durch uche nachgewiesen.

(Eingegangen am 1. Oktober 1938)