

Kupplungsbügel des anderen Wagens daran, wieder über den Kuppelhaken a zu fallen, Bild 8. In diesem „vorentkuppelten“ Zustand können die Fahrzeuge beliebig lange weiter geschoben werden bis zu dem Ort, wo sie endgültig abgestellt werden sollen. Bei diesem endgültigen Abstoßen fallen die einzelnen Kupplungsglieder in ihre Ruhelage zurück, wodurch wieder die Kupplungsbereitschaft hergestellt wird. Auch wenn man die beiden Wagen langsam auseinanderzieht, kuppeln sie sich nicht wieder ein, weil der von oben fallende Kupplungsbügel b immer durch die unter ihm liegende Sperrklappe c des Gegenwagens daran gehindert wird, über den Kuppelhaken a des Gegenwagens zu fallen. In Bild 4 ist diese Kupplung perspektivisch wiedergegeben.

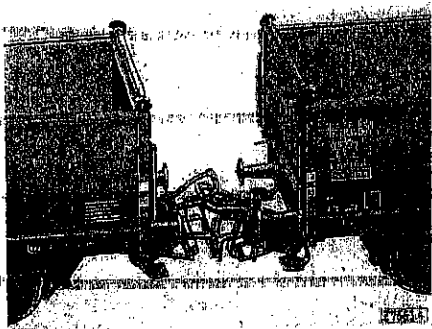


Bild 4. Perspektivisches Bild der Kupplung nach Bild 1 bis 3.

- a Plastikgehäuse
- b Magnetspule
- c Propellerachse
- c' inneres Ende der Propellerachse
- d Schlitz im Spulenkörper
- e, e' Pole eines Elektromagneten f

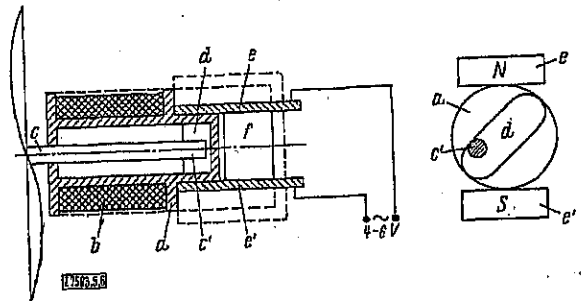


Bild 5 und 6. Kleinstelektromotor für Spielzeuge.

### Elektromagnetische Schaltvorrichtungen

Die früher üblichen elektromagnetischen Schaltvorrichtungen für Weichen und Signale mit nur einer Elektromagnetspule, die auf eine Schaltwippe arbeitete, sind weitgehend durch Vorrichtungen mit Doppelspulen verdrängt worden. Der beiden Spulen gemeinsame Anker wird in die Richtung der gerade vom Strom durchflossenen Spule gezogen und löst damit die Verstellung der zu betätigenden Einrichtung aus. Mit zwei Druckknöpfen läßt sich die Stellung der Einrichtung eindeutig bestimmen.

### Kleinstelektromotor

Eine besonders interessante Neuentwicklung ist ein Elektromotor, der in kleine Flugzeuge eingebaut werden

kann. Auf einem Plastikgehäuse a in Bild 5 und 6 ist die von Wechselstrom (4 bis 6 V) durchflossene Magnetspule b aufgewickelt. Die Propellerachse c wird dadurch magnetisch, sie ändert ihre Polarität im Rhythmus des Wechselstroms. Das innere Ende der Achse c' ist in einem um 45° geneigten Schlitz d im Spulenkörper geführt, so daß es zwischen den Polen e und e' eines Permanentmagneten f hin- und herpendeln kann. Bei jedem Polwechsel rollt die Achse auf den schrägen Flächen des Schlitzes ab zum andern Pol hin. Durch dieses Abrollen entsteht eine dauernde Drehbewegung der Propellerachse. Da die Drehbewegung nur durch die verhältnismäßig niedrige Reibung zwischen der Propellerachse und der Plastikfläche entsteht, ist die abgegebene Leistung klein. S 7562

## Elektronenmikroskopie | Von Ernst Ruska, Berlin-Dahlem

DK 621.385.833

Der in der letztjährigen Jahresübersicht geschilderte allgemeine Entwicklungsstand über Elektronenmikroskopie<sup>1)</sup> und die dort aufgezeigten Ent-

wicklungsrichtungen haben sich inzwischen nicht verändert. Doch wurden seither bemerkenswerte neue Einzelergebnisse veröffentlicht.

### Elektronenoptische Elemente

Zum genügend intensiven Bestrahlen der Objekte trotz kleinster Bestrahlungsaperturen wurden Spitzenkathoden erprobt<sup>2)</sup>, deren Emissionsfläche geringer als die der klassischen haarnadelförmigen Kathoden ist. Mit den neuen, den Feldemissions-Elektronenmikroskopen entlehnten Kathodenformen erhält man ohne Blenden oder Elektronenlinsen zwischen Strahlquelle und Objekt mit Strahlströmen von nur  $10^{-6}$ A eine intensive Objektbestrahlung und Richtstrahlwerte, die sonst erst bei Strahlströmen von mehr als  $10^{-4}$ A erreicht werden. Das bestrahlte Objektfeld ist hierbei naturgemäß kleiner.

Bei elektrostatischen Linsen wird durch Verwendung von mehr als einer Zwischenelektrode und von mehreren Spannungsbereichen die Brennweite in Stufen verändert. Diese Veränderbarkeit der Brechkraft dient beim Strahlbeschleunigungssystem

zum Einstellen der Intensität und des Bereichs der Objektbestrahlung<sup>3)</sup>, bei Projektivlinsen zum Einstellen der Vergrößerung<sup>4)</sup>. Für magnetische Linsen wurden neue Stigmatorformen entwickelt, bei denen ein oder zwei zur Strahlachse diametrale Paare von Eisenmassen im Linsenfeld oder im Streufeld zwischen den Polschuhen mechanisch verstellt werden<sup>5)</sup>.

Mit nicht-drehsymmetrischen elektrostatischen Abbildungssystemen konnten gute mikroskopische Bilder bei einer Apertur von  $10^{-3}$  erzielt werden. Damit ist experimentell bewiesen worden, daß in solchen Systemen der Öffnungsfehler 3. Ordnung wesentlich geringer ist<sup>6)</sup> als bei drehsymmetrischen Systemen. Nicht-drehsymmetrische Linsen anderer Art dienen beim Rückstrahlungsverfahren zur Annäherung der in den beiden zueinander senkrechten Bildkoordinaten verschiedenen elektronischen Abbildungsmaßstäbe<sup>7)</sup>.

### Elektronenmikroskope für Durch- und Rückstrahlung

Die Durchstrahlungs-Elektronenmikroskope lassen sich z. Z. in drei Gruppen ein-

1) v. Borries, B. J. u. G. Langner: Elektronenmikroskopie. In: Jahresübersicht Fernwerktechnik. VDI-Z. 98 (1956) S. 022/24.

2) Sakaki, Y. u. G. Möllenstedt: Beitrag zur Verwendung von Spitzenkathoden in der Elektronenoptik. Optik 13 (1956) S. 199/200.

3) Hahn, E.: Ein regelbarer elektrostatischer Kondensator. Phys. Verh. 6 (1955) S. 32. — Dera.: Die elektronenoptischen Elemente des Ulmi D 2. Jenaer Jb. 1955 S. 35/53.

4) Rang, O. u. W. Weitsch: Ein regelbares elektrostatisches Vierelektroden-Projektiv. Optik 13 (1956) S. 201/08.

5) Leisinger, S.: Ein einfacher Stigmator für magnetische Elektronenlinsen. Optik 11 (1954) S. 49/80.

6) Möllenstedt, G.: Elektronenmikroskopische Bilder mit einem nach O. Scherrer sphärisch korrigierten Objektiv. Optik 13 (1956) S. 209/15.

7) Septier, A.: Réalisation pratique d'une lentille quadrupolaire magnétique pour particules de très haute énergie. C. R. Séances Acad. Sci. 243 (1956) S. 182/85. — Dera.: Étude des champs de fuite d'une lentille quadrupolaire magnétique, ebendort S. 1026/039. — Dera.: Étude de la longueur efficace d'une lentille magnétique quadrupolaire et de ses variations dans l'entrefer, ebendort, S. 1297/300.

teilen. Gruppe I umfaßt die einfachsten Geräte mit einer durch zwei magnetische Linsen erzeugten maximalen elektronischen Vergrößerung von 1500 bis 6000, was einer Auflösung von 30 bis 10  $\mu\text{m}$  entspricht. Gruppe II enthält die mittleren Geräte mit einer durch zwei oder drei magnetische bzw. drei bis fünf elektrostatische Linsen erzielten maximalen elektronischen Vergrößerung von 10 000 bis 40 000, einer Auflösung von 6 bis 2  $\mu\text{m}$  entsprechend, und Gruppe III die Höchstleistungsgeräte mit einer durch drei oder vier magnetische Linsen erzielten, mindestens etwa 100 000fachen maximalen elektronischen Vergrößerung und einer Auflösung von mindestens 1  $\mu\text{m}$  = 10  $\text{\AA}$ . Die Geräte der zweiten und dritten Gruppe erlauben meist stereoskopische Aufnahmen und arbeiten durchweg — zumindest im Objektiv — mit Stigmator.

Magnetostatische Kleingeräte liefert seit 1951 die RCA<sup>9)</sup> in USA und seit 1954 auch die japanische Firma Hitachi<sup>10)</sup>: Ein elektromagnetisches Kleingerät liefert seit 1955 die Japan Electron Optics Laboratory Co.<sup>10)</sup>.

Die große Anzahl der auf dem Markt befindlichen Elektronenmikroskope der Mittelklasse wurde in der Berichtszeit durch je zwei neue Geräte mit elektrostatischen<sup>11) 12)</sup> und elektromagnetischen Linsen<sup>13) 14)</sup> und ein Gerät mit magnetostatischen Linsen<sup>15)</sup> erhöht. Bei dem elektrostatischen 50-kV-Gerät der Optischen Werke Jena wurde zur Erzielung einer 20 000fachen elektronischen Vergrößerung die Zahl der Vergrößerungslinsen auf fünf erhöht und ein Kondensator hinzugefügt; bei dem Gerät von Carl Zeiss mit einer bis 10 000- (in Sonderausführung bis 20 000-) fachen elektronischen Vergrößerung wurde das Objekt in das Innere einer Zwischenbeschleunigungselektrode von +70 kV gegen Kathode (Kathode — 35 kV, Objekt +35 kV gegen Erde) eingesetzt, so daß eine durchdringende Objektbestrahlung trotz geringer Elektrodenspannung gegeben ist. Das vereinfachte elektromagnetische 75-kV-Gerät von Philips mit einer elektronischen Vergrößerung bis 12 000 arbeitet mit Kondensator und zwei Vergrößerungslinsen. Das elektromagnetische 50-kV-Gerät von Akashi (Japan), dessen elektronische Vergrößerung bis 10 000 reicht, arbeitet ohne Kondensator und mit drei Vergrößerungslinsen, wobei Feinbereichsbeugung möglich ist. Das magnetostatische 50-kV-Gerät von Hitachi (Japan) hat eine elektronische Vergrößerung bis 20 000 und arbeitet mit Kondensator und drei Vergrößerungslinsen; die zur Veränderung des magnetischen Flusses dienenden beweglichen Weicheisenteile im Kondensator, Objektiv und in der Zwischenlinse werden hier über einen Motorantrieb verstellt.

Das schon 1954 auf dem Markt erschienene elektromagnetische

100-kV-Hochleistungsgerät von Siemens mit zwei Kondensatoren und drei Vergrößerungslinsen wurde kürzlich ausführlich beschrieben<sup>16)</sup>. Mit dem Gerät gelang es inzwischen an verschiedenen Stellen, dünne durchstrahlte Kristalle 80 000- bzw. 160 000fache elektronisch zu vergrößern und dabei Netzebenenabstände von 12 bis 7  $\text{\AA}$  abzubilden<sup>17) 18)</sup>. In der Zwischenzeit sind neue 100-kV-Hochleistungsgeräte für 100 000fache elektronische Vergrößerung mit einem<sup>19) 20)</sup> und zwei<sup>21) 22) 23)</sup> Kondensatoren auf dem Markt erschienen, von denen sich einige durch besonders vielseitige Anwendungsmöglichkeiten auszeichnen. So ist das 100-kV-Gerät von Metropolitan Vickers<sup>24)</sup> zugleich auch für Rückstrahlmikroskopie durchgebildet, ebenso das japanische 100-kV-Gerät der Japan Electron Optics Laboratory Co., das jedoch darüber hinaus noch mit Heiz- und Kühleinrichtungen für das Objekt versehen ist<sup>25)</sup>. Hitachi hat ein elektromagnetisches 300-kV-Gerät<sup>26) 27)</sup> mit Kondensator, Objektiv, Zwischenlinse und Revolverprojektiv gebaut, dessen Spannung ein Band-Generator liefert.

Bei Elektronenmikroskopen für Rückstrahlung werden in letzter Zeit größere Beobachtungswinkel bis zu 23° angewendet<sup>28) 29)</sup>, wodurch sich das Maßstabsverhältnis beider Richtungen auf den Wert 1:2,5 verbessern ließ. Eine weitere Entzerrung der Bilder auf 1:1,3 gelang durch Einfügen eines Korrekturgliedes, nämlich einer elektrostatischen Zylinderlinse<sup>30)</sup> oder eines magnetischen Vierpols<sup>31)</sup>, hinter dem Projektiv. Die Entzerrung erleichtert die Interpretation und vergrößert die Schärfentiefe der Bilder, ferner verbessert sie die Auflösung in der verkürzten Richtung. In der unverkürzten Richtung beträgt die Auflösung etwa 30  $\mu\text{m}$  gegenüber 20  $\mu\text{m}$  bei kleinem Beobachtungswinkel. Wegen der streifenden Beleuchtung können noch Höhenunterschiede von nur 2  $\mu\text{m}$  wahrgenommen werden.

Mittels einer neuen Abdrucktechnik<sup>32)</sup> für die Rückstrahlmikroskopie überträgt man die Oberflächen-Topographie thermisch empfindlicher Objekte auf eine Silberoberfläche, die dann bei voller Elektronenintensität beobachtet werden kann, ohne zerstört zu werden. Auch stereoskopische Aufnahmepaare lassen sich im Rückstrahlmikroskop herstellen, indem das Objekt um kleine Winkel gedreht wird<sup>33)</sup>.

8) Reimer, J. H., u. S. M. Zollers: Permanent magnet electron microscope. *Electronics* 24 (1951) S. 86/91.  
 9) Kimura, H., u. T. Fujioaka: Type EM-2 Hitachi Electron Microscope. *Hitachi Rev.* Nr. 7 (1955) S. 15/21.

- 10) JEM-T1, Kennblatt Japan Electron Optics Laboratory Co., Tokyo.  
 11) Guyonot, E.: Zur Entwicklung neuer elektrostatischer Elektronenmikroskope. *Physik. Verh.* 6 (1955) S. 18. — Ders.: Über die Entwicklung eines fünfstufigen elektrostatischen Elektronenmikroskopes. *Jenaer Jb.* 1955 S. 28 bis 34.  
 12) Mahl, H., H. Volkmann u. W. Weitsch: Über ein neues elektrostatisches Gebrauchs-Elektronenmikroskop. *Proc. First Europ. Region. Conf. Electr. Microsc. Stockholm 1956*. Erscheint demnächst.  
 13) van Dorsten, A. G., u. J. B. La Poole: Das EM 75 KV, ein Elektronenmikroskop vereinfachter Bauart. *Philips techn. Rdsch.* 17 (1955) S. 37/50.  
 14) Masuda, T.: Kennblatt Akashi, Tokyo, Tronoscope Model TRS-50D (1956).  
 15) Kimura, H., u. Y. Kikuchi: Hitachi HS-4 Elektronenmikroskop. *Hitachi Hyoron* 38 (1956) S. 63/68.  
 16) Kuska, H., u. O. Wolff: Ein hochauflösendes 100-kV-Elektronenmikroskop mit Kleinfeld-durchstrahlung. *Z. wiss. Mikrosk. u. mikrosk. Techn.* 62 (1956) S. 465/509.  
 17) Mentzer, J. W.: The direct study by electron microscopy of crystal lattices and their imperfections. *Proc. Roy. Soc. (London) Ser. A* 238 (1956) S. 119/35.  
 18) Neider, R.: Elektronenmikroskopische Abbildung von Kristallstrukturen. *Proc. First Europ. Region. Conf. Electr. Microsc. Stockholm 1956*. Erscheint demnächst.  
 19) van Dorsten, A. G.: Recent modifications in the Philips electron microscope. *Proc. First Europ. Region. Conf. Electr. Microsc. Stockholm 1956*. Erscheint demnächst.  
 20) Fert, Ch., u. P. Selme: La microscope électronique O. P. L. *Bull. Microsc. appl.* (2) 6 (1956) S. 157/64.  
 21) Instructions for Hitachi Electron Microscope Type HU-10.  
 22) Page, R. S., u. M. E. Hains: A new universal electron microscope of high resolving power. Type EMG. *Proc. First Europ. Region. Conf. Electr. Microsc. Stockholm 1956*. Erscheint demnächst.  
 23) Takahashi, N., T. Takayama, K. u. T. Ito: High Temperature Furnace for the Electron Microscope. *J. Electronmicrosc. Japan* 4 (1956) S. 16/23.  
 24) Sakaki, Y., u. B. Tadano: Ein 100 kV Elektronenmikroskop mit von der Graaf Generator als Hochspannungsquelle. *Phys. Verh.* 6 (1955) S. 18/19.  
 25) Tadano, B., Y. Sakaki u. Mitaru: New 300 kV Electron Microscope. *J. Electronmicrosc. Japan* 4 (1956) S. 5/9.  
 26) Fert, Ch.: Bombardement ionique, d'un objet pendant son observation en diffraction et en microscopie électronique par réflexion. *C. R. Séances Acad. Sci.* 238 (1954) S. 333/35.  
 27) Fert, Ch., B. Marty u. R. Saporsis: Microscopie électronique par réflexion: éclairage rasant, observation sous un grand angle. *C. R. Séances Acad. Sci.* 240 (1955) S. 1975/78. — Ders.: Microscopie électronique par réflexion sous de grands angles. *C. R. Colloque C. N. R. S. Toulouse* (1955) S. 91/102.  
 28) Fert, Ch., u. B. Marty: Emploi d'une lentille cylindrique pour réduire la distorsion de l'image en microscopie électronique par réflexion. *C. R. Séances Acad. Sci.* 241 (1955) S. 1454 bis 1459.  
 29) Fert, Ch., u. R. Saporsis: Emploi d'une lentille quadrupolaire magnétique pour réduire la „distorsion“ de l'image en microscopie électronique par réflexion. *C. R. Séances Acad. Sci.* 243 (1956) S. 1107/10.  
 30) Bradley, D. E.: A replica technique for „reflection“ electron microscopy. *Br. J. appl. Physics* 6 (1955) S. 191/95. — Holland, L.: Erweiterung auf vorstehende Arbeit. *Br. J. appl. Physics* 7 (1956) S. 113.  
 31) Bradley, D. E., J. S. Halliday u. W. Hirst: Stereoscopic Reflection Electron Microscopy. *Proc. phys. Soc. B* 69 (1956) S. 484/85.

32) Gauzit, M.: Microscopie corpusculaire à l'aide d'ions Lithium. Thèses (Université de Paris) Série A, No. 2617, No. d'ordre 2489 (1954).

33) Magnan, G. u. P. Chanson: Sur un microscope électrostatique fonctionnant, par commutation, avec un faisceau électronique ou protonique. C. R. Colloque C. N. R. S. Toulouse (1955) S. 83/89.

34) Baas, G., u. G. W. Nathenau: Ein Emissions-Elektronenmikroskop für Untersuchungen bei hohen Temperaturen. Philips techn. Rdsch. 18 (1956/57) S. 33/43.

35) Heidenreich, R. D.: Thermionic Emission Microscopy of Metals. II. Transformations in Plain Carbon Steels. J. appl. Physics 26 (1955) S. 879/80.

36) Mollenstedt, G., u. Mitarb.: Direkte Sichtbarmachung von Metalloberflächen mit Ionenangeregten Elektronen. Optik 13 (1954) S. 380.

37) Fert, Ch., u. R. Simon: Amélioration du pouvoir de résolution du microscope électronique à émission. C. R. Séances Acad. Sci. 243 (1956) S. 1300/03.

38) Dyke, W. P., u. J. P. Barbour: Pulsed T-F Emission Electron Projection Microscopy. J. appl. Physics 27 (1956) S. 350/60.

39) Müller, E. W.: Resolution of the Atomic Structure of a Metal Surface by the Field Ion Microscope. J. appl. Physics 27 (1956) S. 474/70. — Ders.: Das Auflösungsvermögen des Feldionenmikroskopes. Z. Naturforsch. 11a (1956) S. 88/94.

40) Müller, E. W.: Study of Atomic Structure of Metal Surfaces in the Field Ion Microscope. J. appl. Physics 28 (1957) S. 1/0.

41) Drechsler, M., G. Pankov u. R. Vanselow: Über den Nachweis von Versetzungen beim Abbau von Wolfram-, Tantal- und Nickel-Einkristallen. Z. phys. Chem. N. F. 4 (1955) S. 240 bis 263.

42) Drechsler, M.: Die Messung von Kristallstufen, Gitterkonstante von Versetzungen beim Feldemissionsmikroskop. Z. phys. Chem. N. F. 6 (1956) S. 272/85.

43) Drechsler, M.: Kristallstufen von 1 bis 1000 Å. Herstellung der Stufen in Feldemissionsmikroskop durch elektrische Felder. Messung der Stufenhöhen. Eine Feldbildungsenergie. Theorie der Entstehung der Stufen. Stufenform und Versetzungen. Z. Elektrochem. 61 (1957) S. 48/56.

## Ionenmikroskope für Durchstrahlung

Bei der Abbildung von mit Ionen durchstrahlten Objekten mittels elektrostatischer Linsen waren weitere Verbesserungen möglich. Mit Lithium-Ionen wurden bei Strahlspannungen bis 55 kV und bei 12 500facher elektronischer Vergrößerung durch zwei Linsen Auflösungen von 8 m $\mu$  erreicht<sup>32</sup>. Ein für Elektronen und Protonen eingerichtetes zweistufiges Durchstrahlungsmikroskop<sup>33</sup> gestattete, mit Protonen bei einer Spannung von 50 kV und bei 5000facher elektronischer Vergrößerung eine Auflösung von 2 m $\mu$  zu erzielen.

## Emissionsmikroskope

Ein Glühemissionsmikroskop von Philips<sup>34</sup> ermöglicht während des Betriebs eine Aktivierung des ermittelnden Objekts durch Bedampfen mit Barium, Strontium oder Caesium. Die Aktivierung steigert die Emissionsfähigkeit der Oberfläche, so daß die Beobachtungstemperatur bis auf 500 °C gesenkt werden kann. Ferner erhält man bessere Kontraste zwischen den einzelnen Kristalliten des Objekts. Durch die beiden elektromagnetischen Linsen kann die elektronische Vergrößerung bis auf 3000 gesteigert werden; die Auflösung beträgt etwa 100 m $\mu$ .

Ein kombiniertes Oberflächenmikroskop<sup>35</sup> mit elektrostatischen Linsen erlaubt es, dasselbe Objekt unmittelbar nacheinander mittels Glühemission und mittels Rückstrahlung abzubilden.

Bei der Emissionsabbildung beträgt die Auflösung 60 m $\mu$ .

Die Abbildung von Oberflächen mittels Elektronen, die durch einen schräg auffallenden Ionenstrahl ausgelöst werden, wurde verbessert<sup>36</sup>,<sup>37</sup>. Die Bilder zeigen guten Materialkontrast, wenn das Objekt zum Vermeiden einer Fremdschichtbildung auf 150 °C geheizt wird. Infolge der Schrägbestrahlung mit Ionen entstehen Schatten, die Aufschluß über die Oberflächen-Topographie geben. Eine besondere Form des Beschleunigungssystems erlaubte eine Verbesserung der Auflösung auf 30 m $\mu$ <sup>37</sup>.

## Feldemissionsmikroskope

Während im Feldelektronenmikroskop bisher Aufnahmen nur bei Objekttemperaturen bis etwa 2000 °K erhalten wurden, gelang es, dynamische Vorgänge bei Objekttemperaturen von 2000 bis 3000 °K durch Betrieb mit Spannungsimpulsen von 10<sup>-8</sup> s zu beobachten<sup>38</sup>.

Eine Steigerung der Auflösung des Feldionenmikroskops bis 2,7 Å ergab sich durch Tiefkühlung auf 21 °K und Abbildung mit Helium-Ionen<sup>39</sup>,<sup>40</sup>. Auf den Aufnahmen sind sowohl die Atome als auch die Atomgitterstruktur der Oberfläche besser als bisher erkennbar. Es wurde ein Verfahren angegeben<sup>41</sup>,<sup>42</sup>, nach dem aus Feldemissions-Mikrogrammen noch Tiefenabmessungen des Objekts bestimmt werden können, die unterhalb der Auflösung des Geräts liegen. Der kleinste so gemessene Tiefenabstand beträgt 0,54 Å<sup>43</sup>. S 7569

## Lichtmikroskope | Von Dr. Reinhart Schulze, Weizlar

DK 535.821/822

In der Lichtmikroskopie sind grundsätzliche Neuheiten nicht aufgetreten, es ist jedoch eine stetige Weiterentwicklung der Optik und der Zusatzgeräte festzustellen.

### Profilmikroskope

In der Gruppe der Profil- und Meßmikroskope ist ein Profilprojektor für Propeller- und Turbinenblätter<sup>1)</sup> neu entwickelt worden. Da die Querschnittsform der Blätter, insbesondere die Form der Führungs- und Schwanzkante, für den Wirkungsgrad von Turbinen ausschlaggebend ist, strebt man schon lange nach einem zuverlässigen, zerstörungsfreien Meßverfahren. Dieses hat man nun in der optischen Profilprojektion gefunden. Das Blatt wird mit seiner Achse in die optische

Achse eines Weitwinkelprojektionsobjektivs gestellt und der interessierende Querschnitt durch eine weiße Linie oder einige projizierte Lichtspalte auf dem Umfang des Blattes sichtbar gemacht. Auf dem Projektionsschirm vergleicht man den Umriss des Blattquerschnitts in 10facher Abbildungsmaßstab mit dem Muster. Mit einem über das Propellerblatt geschobenen Spezialspiegel läßt sich gleichzeitig ein zweiter Querschnitt scharf projizieren, so daß man auch die Verwindung des Blattes prüfen kann. Zur genaueren Beurteilung der Führungs- und der Schwanzkante eines Blattes dient ein besonderes Mikroskop mit 40facher Vergrößerung. Auf die waagrecht liegende Kante wird ein schmaler Lichtspalt schräg projiziert und durch ein schräg stehendes Mikroskop betrachtet. Der Aufbau ähnelt dem Lichtschnittgerät nach Schmalz. Das Blatt läßt sich verschieben und umdrehen, so daß die Führungs- und die

Schwanzkante ihrer ganzen Länge nach zugänglich sind.

Weitere bekannte Beispiele für die Profilprojektion sind das Messen von Gewinden und Werkzeugschneiden sowie von Diamant-Eindringkörpern für die Härteprüfung. Profile- und Schneidkanten von Feilenzähnen prüft man mit dem Leitz-Lichtspaltgerät: im Mikroskop beobachtet man bei 30facher Vergrößerung den Feilenzahn unter einem sehr kleinen Winkel in Richtung des Hiebess, während ein Lichtspalt senkrecht auf die Zahnkante projiziert wird. Die genannten Beispiele zeigen, wie vielseitig der Ingenieur das „einfache“ und das „zusammengesetzte“ Mikroskop in der Feinwerktechnik verwendet.

### Mikroskope für Längen-, Tiefen- und Dickenmessungen

Den Meß-Ingenieur interessiert ein objektives Maßstab-Meßmikroskop, das die subjektive Auffassung des

1) Adams, J. R.: Fine measurements. J. sci. Instr. 33 (1956) S. 369/75.