

## **Elektronenbeugung.**

Von Univ.-Doz. Dr. Ferdinand St a n g l e r, Wien.

Vortrag, gehalten am 9. Jänner 1963.

Ziel dieses Referates soll es sein, einen kurzen Überblick über das Wesen und die experimentellen Möglichkeiten der Elektronenbeugung zu geben und an Hand von einigen Beispielen die neuere Entwicklung dieses Verfahrens vorzustellen.

Elektronen sind die negativ geladenen Bausteine der Atomhülle. Nach De Broglie kann man einem bewegten Elektron außer seiner Korpuskularnatur auch eine elektromagnetische Welle zuordnen, deren Wellenlänge sich zu

$$1) \lambda = \frac{h}{m \cdot v}$$

$\lambda$  ... Wellenlänge

$m$  ... Masse

$v$  ... Geschwindigkeit

$h$  ... Plancksches Elementarquantum

angeben läßt. Auf Grund ihrer Wellennatur lassen sich Elektronen auch zu Beugungsuntersuchungen heranziehen. Erhalten Elektronen ihre Geschwindigkeit  $v$  durch Beschleunigung in einem elektrischen Gleichfeld, so ergibt sich für die Wellenlänge

$$2) \lambda = \frac{h}{2emU} \left( \frac{1}{1 + \frac{eU}{2mc^2}} \right)$$

e ... Ladung des Elektrons  
 U ... Beschleunigungsspannung  
 c ... Lichtgeschwindigkeit

Der in Klammer gesetzte Faktor stellt die relativistische Korrektur dar, die für den Fall anzuwenden ist, daß die Geschwindigkeit des Elektrons in den Größenordnungsbereich der Lichtgeschwindigkeit kommt. Abb. 1 zeigt graphisch den Zusammenhang zwischen der angelegten Beschleunigungsspannung und der sich ergebenden Wellenlänge der Elektronen. Auf der x-Achse ist die Beschleunigungsspannung von 1 V bis zu einer Million V aufgetragen, auf den y-Achsen die zugehörigen Wellenlängen in cm und Å-Einheiten. Wie man sieht, läßt sich durch Variation der Beschleunigungsspannung in dem angegebenen Bereich ein über drei Größenordnungen reichender Bereich von Wellenlängen überstreichen, der auch die üblicherweise zur Strukturuntersuchung mit Röntgenstrahlen verwendeten Wellenlängen beinhaltet. In Analogie zu Röntgenbeugungsversuchen wurden auch die ersten Elektronenbeugungsversuche, die zur Bestätigung der De Broglieschen Theorie führten, mit diesen Wellenlängen von Davisson und Germer (1927) durchgeführt. Nun besitzen aber

solche Elektronen eine Energie von nur einigen 100 eV und damit eine derartig geringe Eindringtiefe in die zu untersuchende Probe, daß für Elektronenbeugungsversuche heute normalerweise

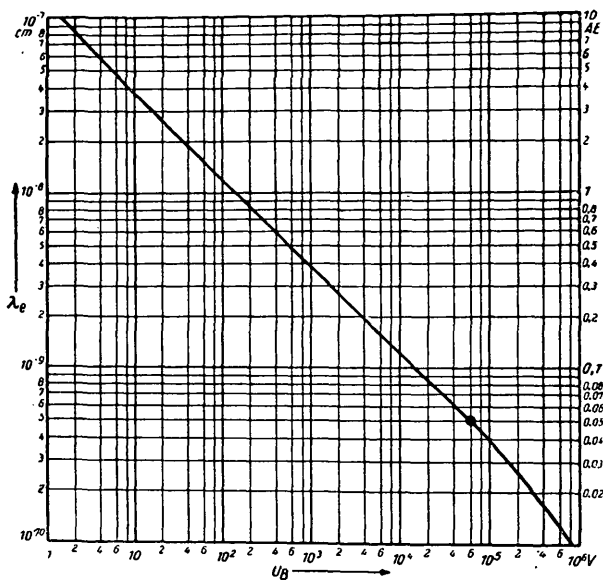


Abb. 1. Elektronenwellenlänge als Funktion der Beschleunigungsspannung

höherenergetischere Elektronen mit etwa 60 k eV Energie zur Anwendung gelangen, die eine größere Eindringtiefe besitzen. Vergleichen wir nun zwischen den üblicherweise zur Strukturuntersuchung

verwendeten Röntgenstrahlen und 60 kV-Elektronen, so können wir feststellen, daß die Wellenlänge der Elektronen um etwa eineinhalb Größenordnungen kleiner als die der Röntgenstrahlen ist. Durch diese Tatsache allein ergeben sich schon einige Unterschiede zwischen den mit den beiden Strahlenarten erhaltenen Ergebnissen. Betrachten wir die allgemein geltende Bragg'sche Reflexionsbedingung

$$3) \quad n \cdot \lambda = 2d \cdot \sin \vartheta,$$

$\lambda$  ... Wellenlänge  
 der Strahlung  
 $n$  ... Ordnungszahl  
 $d$  ... Gitterkonstante  
 des Präparates  
 $\vartheta$  ... Abbeugungswinkel

die angibt, unter welchem Winkel ein Strahl einer bestimmten Wellenlänge an einem Kristall gebeugt wird, so sieht man, daß einer kürzeren Wellenlänge ein kleinerer Ablenkungswinkel zuzuordnen ist. Ein Zahlenbeispiel soll dies erläutern: erzeugt man mit der  $K_{\alpha}$ -Röntgenstrahlung des Kupfers einen bestimmten Reflex unter einem Winkel von  $158^{\circ}$ , so wird dieser Reflex bei Anwendung von Elektronen mit einer Energie von 60 keV unter einem Winkel von nur  $1^{\circ} 50'$  auftreten. Die Folge so kleiner Ablenkungswinkel ist ein sehr kleines Beugungsdiagramm und die Beobachtbarkeit wesentlich höherer Ordnungen der Beugung als bei Rönt-

genstrahlen. Zur Registrierung von Elektronenbeugungsdiagrammen genügt eine in hinreichend großem Abstand vom Objekt senkrecht zum Primärstrahl aufgestellte Platte, während bei Röntgenstrahlen zur Aufzeichnung von Reflexen höherer Ordnung eine die Probe zylindrisch umgebende Registriereinrichtung nötig ist. Eine weitere Folge der kurzen Wellenlänge besteht darin, daß bereits wesentlich kleinere geordnete Streukörper scharfe Beugungsreflexe liefern, also geringere Substanzmengen der Probe erforderlich sind.

Ein für die Anwendung noch viel wesentlicherer Unterschied zwischen Röntgen- und Elektronenstrahlen liegt in der Wechselwirkung mit der Materie. Die Streuung der Röntgenstrahlen erfolgt ausschließlich durch Wechselwirkung mit der Elektronenhülle des Atoms. Elektronen werden jedoch zusätzlich sehr stark am positiv geladenen Atomkern selbst gestreut. Eine Abschätzung auf Grund der wellenkinematischen Theorie zeigt, daß das Intensitätsverhältnis der gestreuten zur ungestreuten Strahlung bei gleichen reflektierenden Netzebenen im Fall der Elektronenstrahlung um den Faktor  $10^8$  größer ist als bei Röntgenstrahlen. Die Folge dieser so außerordentlich größeren Streuung ist ein wesentlich intensiveres Beugungsbild, das direkt auf einem Leuchtschirm sichtbar gemacht und innerhalb von Sekunden bzw. Sekundenbruchteilen photographiert werden kann. Röntgenbeu-

gungsdiagramme können auf Leuchtschirmen nicht direkt sichtbar gemacht werden, die Belichtungszeiten bei photographischer Registrierung betragen etwa 10 Minuten bis zu mehreren Stunden. Eine weitere Folge der starken Wechselwirkung der Elektronen mit Materie besteht darin, daß zwar einerseits bereits außerordentlich dünne Schichten der Probesubstanz in der Stärke von nur einigen Å-Einheiten ( $1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm}$ ) nachweisbar sind, die Schichtdicke jedoch nach oben mit etwa 1000 Å beschränkt ist. Für Durchstrahlungsuntersuchungen müssen die Proben also in Form sehr dünner Folien vorliegen.

Fassen wir die geschilderten Eigenschaften der Elektronenbeugung nochmals zusammen, so ergibt sich, daß dieses Verfahren eine außerordentlich wertvolle Erweiterung der Röntgenstrukturbestimmung in den Bereich dünner und dünnster Schichten und kleinster Substanzmengen darstellt.

### **Grundtypen der Elektronenbeugungsdiagramme:**

#### a) Pulverdiagramme.

Liegt die Probe in Form eines polykristallinen und hinreichend feinkörnigen Materials vor, so erhalten wir wie mit Röntgenstrahlen ein sogenanntes Debye-Scherrer- oder Pulverdiagramm, wie es die Abb. 2 a schematisch wiedergibt. Es weist eine Anzahl von Ringen auf, deren Durchmesser durch Kristallstruktur, Elektronenwellenlänge und die

Distanz Photoplatte — Präparat gegeben ist. Sind Wellenlänge und Geometrie der Apparatur bekannt, läßt sich aus den Durchmesser und der Anordnung der Debye-Scherrer-Ringe Gittertyp und Gitterkonstante eines unbekanntes Materials bestimmen, wodurch sich eine Agnoszierung dieses Stoffes vornehmen läßt. Dieses Verfahren ist jedoch nur bei einfachen Gittern leicht anwendbar. In komplizierteren Fällen kann man noch mit elektronischen Rechenmaschinen arbeiten oder man zieht, wie dies meist der Fall ist, einen Atlas von Vergleichsaufnahmen von Substanzen bekannter Struktur zur Auswertung heran.

b) Texturdiagramme.

Weisen die Kristallite der Probe eine bestimmte Vorzugsorientierung auf, liegt also eine Textur vor, wie sie z. B. durch Verformung des Materials wie Walzen, Dehnen, Hämmern und dgl. entsteht, so erhält man ein Beugungsdiagramm, wie es Abb. 2 b zeigt. Wie man sieht, sind nur mehr Segmente der Debye-Scherrer-Ringe vorhanden. Die Auswertung dieser Diagramme erfolgt auf dem in der Röntgentechnik üblichen Weg. Man kann jedoch, da ja das Beugungsdiagramm dauernd sichtbar ist, durch Verdrehung und Neigung des Präparates im Elektronenstrahl sehr rasch einen Überblick über bevorzugte Richtungen und Ebenen erhalten.

c) Lauediagramme.

Handelt es sich bei der Probe um einen Einkri-

stall, so erhalten wir ein Lauediagramm (Abb. 2 c), das aus einem regelmäßigen Muster von Reflexen besteht. Dieser Befund ist zunächst etwas erstaunlich, da die Elektronen mit Gleichspannung beschleunigt werden und somit eine recht gut monochromatische Strahlung darstellen und man andererseits von Röntgenstrukturuntersuchungen her weiß, daß Laueaufnahmen bei feststehendem Kri-

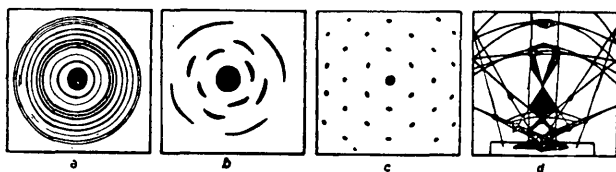


Abb. 2. Grundtypen von Elektronenbeugungsdiagrammen:

- a) Pulveraufnahme, b) Texturdiagramm, c) Lauediagramm, d) Kikuchidiagramm.

stall mit polychromatischer Strahlung angefertigt werden müssen. Dafür läßt sich folgende Erklärung angeben. Als Voraussetzung für das Auftreten von Reflexen müssen die der Bragg'schen Gleichung äquivalenten drei Laue-Bedingungen erfüllt sein, von denen zwei als Oberflächenbedingungen und die dritte als Tiefenbedingung bezeichnet werden. Nun sind die Laue-Bedingungen nur für eine außerordentlich große Zahl von Netzebenen hinreichend streng gültig. Wie wir jedoch anfangs



gesehen haben, ist die mit Elektronen durchstrahlbare Materialstärke infolge der starken Wechselwirkung mit der Materie nur sehr klein. Dadurch können zwar die Oberflächenbedingungen, der flächenmäßigen Ausdehnung der Probe entsprechend, streng erfüllt werden, nicht aber die Tiefenbedingung. Die nicht strenge Erfüllung der Tiefenbedingung entspricht aber einer Vergrößerung des Winkelbereichs des Braggschen Reflexionswinkels und so kann ein Lauebild entstehen. Zusätzlich dazu sind die Proben von der Präparation her meist leicht durchgebogen, wodurch ebenfalls die Entstehung des Lauebildes erleichtert wird.

#### d) Kikuchidiagramme.

Untersucht man einen relativ dicken Einkristall (Stärke etwa 1000 Å), so kann, falls der Kristall hinreichend fehlerfrei ist, ein sogenanntes Kikuchi-Diagramm entstehen, wie es in Abb. 2 d schematisch angedeutet ist. Das Diagramm besteht aus einem komplizierten Netzwerk heller und dunkler Linien, für dessen Entstehung folgende Erklärung angegeben werden kann. Außer elastischer, der Bragg'schen Bedingung gehorchender Streuung der auf ein Präparat treffenden Elektronen tritt immer ein gewisser Prozentsatz inelastischer, regelloser Streuprozesse auf. Bei dünnen Präparaten überwiegt die elastische Streuung der Elektronen, die unelastisch gestreuten Elektronen ergeben nur eine Aufhellung des Bilduntergrundes. Ist der Kristall

nun hinreichend dick, so werden die als Parallelstrahl auf die Probe auftreffenden Elektronen überwiegend unelastisch gestreut und dabei statistisch nach allen möglichen Richtungen abgelenkt. Eine Reihe dieser Elektronen wird nun gerade die richtige Richtung besitzen, um von einer Netzebene reflektiert zu werden, wobei aber durch die große Richtungsmannigfaltigkeit der Elektronen statt eines Laue-Punktes eine Linie entsteht. Auch Kikuchibilder lassen sich indizieren und ebenso wie Lauebilder zur Orientierungsbestimmung von Einkristallen heranziehen.

e) Kossel-Möllenstedtdiagramme.

Ist der auf einen dicken Einkristall auftreffende Elektronenstrahl kein Parallelstrahl, sondern konvergent, so entsteht statt eines Kikuchidiagramms ein sogenanntes Kossel-Möllenstedtdiagramm, das jedoch keine praktische Anwendung findet und deshalb nur der Vollständigkeit halber erwähnt wird.

### Beugungsapparaturen.

Zur Erzeugung des Elektronenstrahls werden normalerweise die von einer haarnadelförmigen Glühkathode ausgesendeten Elektronen mit Hilfe einer sehr gut konstanten Gleichspannung in der Höhe von etwa 60 kV beschleunigt, wobei zur Strahlbündelung ein gegenüber der Kathode auf negativem Potential von einigen 100 V gehaltener

Wehneltzylinder verwendet wird. Von dem aus dieser Elektronenkanone austretenden divergenten Elektronenstrahl wird bei einer linsenlosen Anordnung (Abb. 3 a) mittels einer in einiger Entfernung (etwa 30 cm) angebrachten kleinen Lochblende (Durchmesser der Bohrung etwa 10 bis

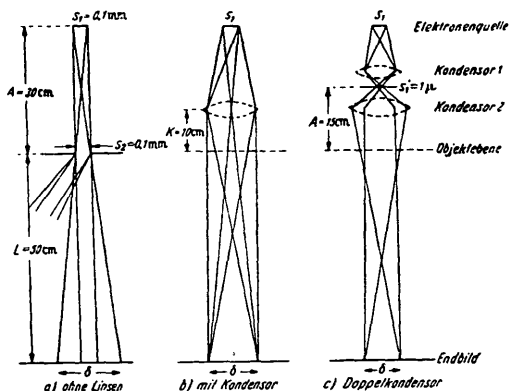


Abb. 3. Strahlengänge von Elektronenbeugungsapparaten.

100  $\mu$ ) ein feines Elektronenbündel ausgeblendet. Unterhalb dieser Blende sitzt das Präparat und etwa 50 cm weiter kann das Beugungsbild auf einem Fluoreszenzschirm aufgefangen werden. Je kleiner die vor dem Präparat sitzende Aperturblende gewählt wird, desto besser wird das Auflösungsvermögen, desto geringer wird aber gleichzeitig die Lichtstärke der Anordnung.

Eine erhebliche Verbesserung der Lichtstärke bei etwa gleichem Auflösungsvermögen läßt sich durch Einführung einer Kondensorlinse erreichen (Abb. 3 b). Dazu kann eine elektromagnetische oder eine elektrostatische Linse herangezogen werden. Der Punkt engsten Strahlquerschnitts in der Elektronenkanone wird mit Hilfe der Kondensorlinse auf die Bildebene scharf abgebildet. Durch Wahl verschieden großer Blendöffnungen im Kondensator läßt sich der untersuchte Bereich einer unter dem Kondensator angebrachten Probe variieren.

Eine Steigerung des Auflösungsvermögens kann durch einen zweistufigen Kondensator erreicht werden (Abb. 3 c). Durch den ersten Kondensator, eine kurzbrennweitige meist elektromagnetische Linse, wird die Elektronenquelle (Punkt des engsten Strahlquerschnitts) stark verkleinert abgebildet. Dabei können Strahlenquerschnitte von  $1 \mu$  erreicht werden. Dieser Brennpunkt wird wie zuvor durch den zweiten Kondensator auf den Leuchtschirm abgebildet. Es ist einzusehen, daß diese Anordnung lichtschwächer ist als eine einlinsige.

Der gesamte Strahlengang der Elektronen muß wegen deren geringer Reichweite in Luft (für 60 keV Elektronen etwa 5 cm) im Vakuum liegen. Das Vakuum muß besser als  $10^{-4}$  Torr sein, da sonst durch Streuung der Elektronen an Restgasmolekülen eine erhebliche Strahlverbreiterung eintritt und außerdem beschleunigte Gasionen Verän-

derungen des Probenmaterials bedingen, die bei der geringen durchstrahlbaren Schichtdicke sehr störende Befunde ergeben. Zur Erzeugung des Vakuums werden rotierende Vorvakuum pumpen und Diffusionspumpen verwendet.

Um das Präparat mit Hilfe des fein ausgeblendeten Elektronenstrahls punktweise abtasten zu können und durch Verdrehen der Probe direkt Orientierungsbestimmungen durchzuführen, werden Präparathalter verwendet, bei denen das Präparat mit Mikrometerschrauben nach den zwei senkrecht zum Strahl liegenden Koordinatenachsen meßbar verschoben und um diese Achsen meßbar gedreht werden können. In vielen Fällen ist es wichtig, die Änderung der Struktur einer Probe bei Erwärmung zu untersuchen. Für diesen Zweck sind bis zu  $1000^{\circ}$  C heizbare Präparathalter konstruiert worden. Ebenso können auch Probenhalter zur Anwendung kommen, die mit flüssiger Luft oder flüssigem Helium gekühlt werden und mit denen Strukturuntersuchungen im Tieftemperaturbereich z. B. an kristallisierten Gasen ausgeführt werden können.

Mit Hilfe dieser beiden temperaturvariablen Halter ist es möglich, rasch verlaufende Strukturänderungen festzustellen. Durch die sehr kurzen Belichtungszeiten der Photoschicht ist sogar, falls es sich um polykristalline Objekte handelt, eine kontinuierliche Registrierung dieser Vorgänge

möglich. Dazu wird mit Hilfe einer unmittelbar über der Registrierebene liegenden feinen Spaltblende ein Teil des Ringdiagramms (entlang der Ringdurchmesser) ausgeblendet (siehe Abb. 4 a). Unter dieser Blende wird mit konstanter, den Belichtungsverhältnissen angepaßter Geschwindigkeit

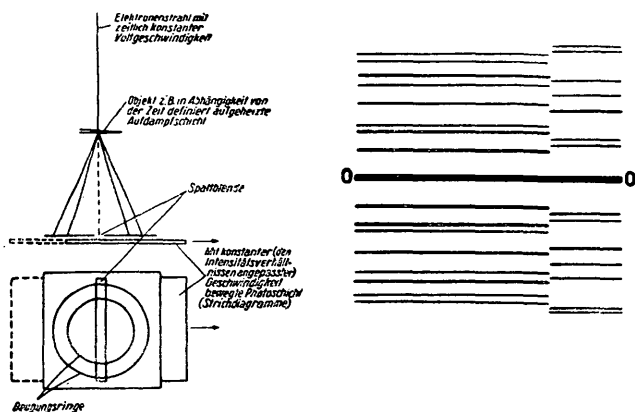


Abb. 4. Kinematische Elektronenbeugung.  
Links- Funktionsprinzip,  
rechts: Schema einer Aufnahme.

keit ein photographischer Film durchgezogen. An der Seite des Films können mit Hilfe von Lichtblitzen Temperatur- oder Zeitmarken angebracht werden. Abb. 4 b zeigt das Schema einer solcherart erhaltenen Aufnahme. Solange keine Veränderung im Gitter eintritt, zeigt das Diagramm eine Reihe

von parallelen Linien. Am Umwandlungspunkt ändern sich Gittertyp und Gitterkonstante und damit auch die Anordnung der Linien, aus deren Lage sich die Gitterstruktur berechnen läßt. Das kinematische Verfahren kann natürlich auch zur Registrierung anderer schnell verlaufender Reaktionen, wie z. B. Oxydation, Diffusion etc. herangezogen werden, soferne dabei Strukturänderungen stattfinden.

### **Art und Herstellung der Präparate.**

Da mit Elektronen nur außerordentlich geringe Materialstärken durchstrahlt werden können, bieten sich für Durchstrahlungsuntersuchungen zunächst Materialien an, die schon von Natur aus in dünnen Schichten vorliegen wie z. B. Staube, aufgerauchte Oxyde, Kristallsplitter und dgl., die zur Beobachtung auf einen strukturlosen Träger (z. B. Kolloidumhaut) aufgebracht werden. An Hand der Beugungsbilder können Informationen über Art und Kristallisationszustand der Proben erhalten werden.

Dünne Schichten können andererseits zur Durchstrahlung eigens hergestellt werden. Hier ist das stark angewendete Aufdampfverfahren anzuführen. Die Aufdampfschichten können durch Aufdampfen der interessierenden Substanz auf einen strukturlosen Träger direkt im Beugungsapparat hergestellt werden. Man kann dabei mehrere

Schichten verschiedener Materialien nacheinander oder gleichzeitig aufbringen und z. B. bei nachfolgender Erhitzung Legierungsbildung, Diffusion oder Strukturumwandlung planmäßig hervorrufen und dabei beobachten. Durch Einbringung gas- oder dampfförmiger Reagentien in den Objekthalter besteht sogar die Möglichkeit, die bei chemischen Reaktionen auftretenden Strukturumwandlungen in statu nascendi zu studieren. Man hat hier quasi ein im Hochvakuum liegendes mikrochemisches Strukturlabor zur Verfügung, in dem Oxydation, Reduktion, Korrosion und vieles mehr studiert werden kann.

Schwieriger, aber für die Metall- und Festkörperphysik von großer Bedeutung, ist die Untersuchung massiver Proben, die direkt nur mit Hilfe des Reflexionsverfahrens erfolgen kann. Man läßt dazu einen in üblicher Weise gebündelten Elektronenstrahl unter sehr flachem Winkel auf das Präparat einfallen (Abb. 5), und erhält auf dem Leuchtschirm ein halbiertes Beugungsdiagramm. Die Proben sind metallographisch geschliffen, poliert und leicht angeätzt. Dieses viel angewendete Verfahren erlaubt die Erforschung dünnster Schichten an der Oberfläche von Festkörpern vor allem aber auch von dünnsten Deckschichten, wie Oxydschichten, elektrolytischen Überzügen, Polierschichten, Anordnung der Moleküle eines Schmiermittels usw. Die erfaßbare Schichtdicke ist noch



wesentlich kleiner als im Durchstrahlfall (ca.  $10 \text{ \AA}$ ), da durch den sehr streifenden Einfall der Elektronen sehr große Weglängen innerhalb der Schicht verursacht werden. Die Gefahr, das Beugungsdiagramm einer unbeabsichtigten Schmutzschicht zu erhalten, ist relativ groß. In neuerer Zeit

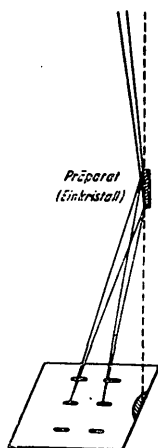


Abb. 5. Beugung in Reflexion.

geht man daher dazu über, mit Hilfe spezieller Methoden interessierende Stücke in durchstrahlbarer Form aus massiven Proben herauszupräparieren. Bei einem dieser Verfahren wird mittels eines außerordentlich fein geschliffenen Diamantmessers und eines Ultramikrotoms von einem massiven Stück eine dünne Folie abgeschnitten.

Mit dieser Methode können auch von Metallen durchstrahlbare Schichten angefertigt werden, wobei jedoch durch den Schnitt gewisse Verformungen der Schichten kaum vermieden werden können. Zur Untersuchung an Metallen und Mineralien kann das sogenannte Extraktionsverfahren herangezogen werden. Das betreffende Werkstück wird dazu geschliffen, poliert und anschließend mit einem solchen Ätzmittel behandelt, das zwar das Grundmetall nicht aber die Einschlüsse angreift. Die Ätzung wird solange fortgeführt bis die Einschlüsse als Erhebungen aus dem Metall hervorragen. Die ganze Präparatfläche wird dann mit einer strukturlosen Kohlehaut überzogen, die auch die Einschlüsse überdeckt. Wird nun die metallische Unterlage durch Säurebehandlung abgelöst, so bleibt die Kohlehaut mit den in ihr steckenden Einschlüssen über und die Natur der Einschlüsse kann nun im Beugungsapparat untersucht werden. Eine dritte besonders elegante Präparationsmethode gestattet es, sowohl das Grundmaterial als auch die Einschlüsse einer Strukturuntersuchung zuzuführen. Aus dem zu untersuchenden Material wird mit den üblichen metallographischen Methoden ein Plättchen in der Stärke von einigen Zehntel Millimetern hergestellt und beiderseits poliert. Die weitere Behandlung der Probe erfolgt mit einem der in der Metallkunde viel verwendeten Elektropolierapparate (schematische Darstellung in Abb. 6)

Die Funktionsweise eines solchen Apparats ist kurz folgende. Die mit einem Metallblock 4 beschwerte Probe 3 ist mit dem positiven Pol einer Gleichspannungsquelle verbunden. Ihr gegenüber steht die mit dem negativen Pol verbundene Metallplatte 2. Der Raum zwischen den beiden Elektroden wird mittels einer Pumpe 1 von einem Elektrolyten durchspült.

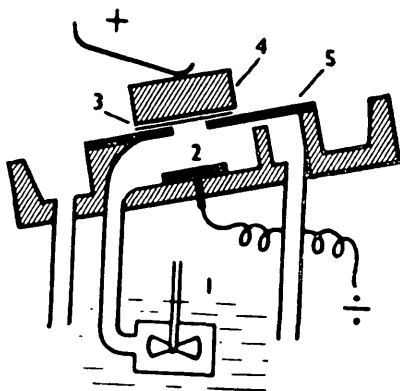


Abb. 6. Schema eines Elektropolierapparates.

Wird nun der Apparat in Betrieb gesetzt, so wird die Oberfläche der Probe durch Elektrolyse langsam abgetragen, wobei diese Abtragung wegen der dort höheren Lokalfeldstärke vor allem an den aus der Probenoberfläche hervorragenden Unebenheiten vor sich geht. Dadurch wird eine Einebnung der Probenoberfläche unter gleichzeitigem Abbau der

Probe erzielt ohne dabei durch mechanische Beanspruchung das Kristallgefüge zu stören. In einem solchen Apparat wird nun die eingangs erwähnte dünne Probe auf beiden Seiten elektropoliert, um zunächst die durch das Zerschneiden und Schleifen gestörten Oberflächenschichten zu entfernen. Sodann wird die Probe auf einer Seite solange elektropoliert bis sie ein Loch aufweist. Die Entstehung dieses Loches muß man sich so vorstellen, daß die Probe an einer Stelle so dünn wird, daß sie durch die Kraft der Elektrolytströmung zerrissen wird. Dabei werden kleine außerordentlich dünne Stückchen des Materials vom Flüssigkeitsstrom mitgerissen und können nach Abschaltung der Maschine aus dem Elektrolytbehälter geborgen und der Beobachtung zugeführt werden. Mit dieser Methode können Einschlüsse von einem Durchmesser von nur  $1 \mu$  untersucht und agnosziert werden.

### **Methode der Feinbereichsbeugung.**

Die geschilderten apparativen Methoden der Elektronenbeugung besitzen einen gewissen Nachteil, der darin besteht, daß man zwar sehr kleine Probedetails mittels des fein gebündelten Elektronenstrahls abtasten und untersuchen kann, jedoch niemals genau weiß, von welchem Teil der Probe ein bestimmtes Beugungsbild herrührt. Die Methode der Elektronenmikroskopie hingegen gestattet es, die verschiedenen Details einer Probe

sichtbar zu machen, erlaubt aber nicht, eine Agnosierung der Gefügebestandteile auf Grund einer Strukturanalyse durchzuführen. Von besonders großer Bedeutung ist daher eine von Boersch und anderen entwickelte Methode, mit der es möglich wird, die Vorteile beider Verfahren miteinander

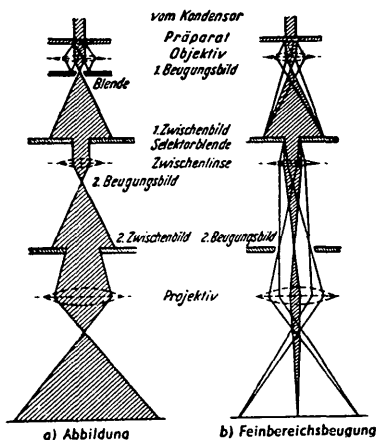


Abb. 7. Strahlengang von elektronenmikroskopischer Abbildung und Feinbereichsbeugung.

zu verknüpfen. Es handelt sich um die sogenannte Feinbereichsbeugung, deren Wirkungsweise an Hand von Abb. 7 erläutert werden soll. In der linken Bildhälfte ist der elektronenmikroskopische Abbildungsstrahlengang dargestellt. Der aus der Elektronenkanone herrührende und durch den Kon-

densor gebündelte Elektronenstrahl fällt auf das Präparat und wird durch dessen Bildinhalt modifiziert. Die sehr kurzbrennweitige Objektivlinse entwirft ein scharfes, vergrößertes Bild der Probe auf den ersten Zwischenbildschirm, dieses Bild wird von der Zwischenlinse auf den zweiten Zwischenbildschirm übertragen und schließlich mit Hilfe des Projektivs auf den Bildschirm projiziert. Durch Einführung einer kleinen Blende (Selektorbende) in der Ebene des ersten Zwischenbildes, deren Berandung ja gleichzeitig mit dem elektronenmikroskopischen Bild auf dem Bildschirm scharf erscheint, kann ein interessantes Bilddetail (z. B. ein kristalliner Einschuß) ausgeblendet werden. Wie beim Lichtmikroskop tritt nun auch im Elektronenmikroskop außer dem eigentlichen optischen Bild immer eine Beugungsfigur, die vom Präparat her stammt, in Erscheinung und zwar an allen jenen Stellen des Strahlenganges, an denen ein scharfes Bild der Licht- bzw. Elektronenquelle auftritt. Bei elektronenmikroskopischer Abbildung werden die abgebeugten Strahlen jedoch durch eine unter der Objektivlinse liegende Blende abgefangen. Um nun von Abbildung auf Beugung umzuschalten, genügt es diese Blende zu entfernen und die Brennweite der Zwischenlinse so zu vergrößern, daß das zweite Beugungsbild in der zweiten Zwischenbildebene scharf erscheint und damit über das Projektiv auf den Bildschirm gelangt. Dieses

Beugungsbild stammt jetzt, da ja im ersten Teil des Strahlenganges (oberhalb der Zwischenlinse) nichts verändert wurde, von dem vorher ausgewählten Bilddetail. Ein Anwendungsbeispiel dieses Verfahrens ist in Abb. 8 schematisch wiedergegeben. Der linke Teil der Abbildung zeigt das elektronenmikroskopische Gesamtbild, das nach Wegklappen der Selektorblende entsteht. Ein inter-

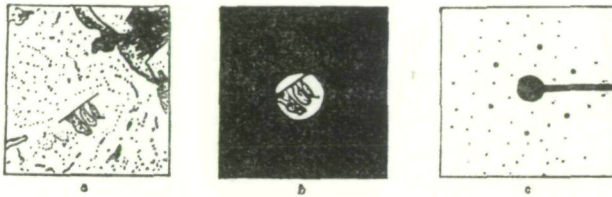


Abb. 8. Funktionsweise der Feinbereichsbeugung. a) elektronenmikroskopische Aufnahme eines Dünnschnittes mit Einschlüssen, b) Feinbereichsblende auf das gewünschte Bilddetail eingestellt, c) Beugungsbild.

essantes Bilddetail wird durch Einbringen und Verschieben der Selektorblende ausgewählt (b). Sodann wird auf Beugung umgeschaltet und aus dem erhaltenen Beugungsbild (Abb. 8 c) kann die Struktur bestimmt werden. Es ist klar, daß durch Entwicklung der Feinbereichsbeugung und Anwendung eines der früher beschriebenen Verfahren zur Herstellung dünnster Folien aus kompakten Werkstücken der Anwendungsbereich der Elektronenbeugung eine große Erweiterung erfahren hat.

Im vorliegenden Aufsatz wurde versucht, einen kleinen Überblick über das Gebiet der Elektronenbeugung zu geben, die in Ergänzung zu den klassischen Röntgenmethoden einen Vorstoß der Strukturanalyse in den Bereich den kleinsten und allerkleinsten ermöglicht und von der eine wertvolle Bereicherung unserer Kenntnisse über das Gebiet der Festkörperphysik und ihrer technischen Anwendungen zu erwarten ist.



# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Schriften des Vereins zur Verbreitung naturwissenschaftlicher Kenntnisse Wien](#)

Jahr/Year: 1963

Band/Volume: [103](#)

Autor(en)/Author(s): Stangler Ferdinand

Artikel/Article: [Elektronenbeugung. 45-68](#)