

Abbildung von Kristallgitter-Weitwinkelinterferenzen

von H. Frank und B. Heß

Für die Bestimmung von Kristallstrukturen mit Hilfe von Röntgenstrahlen sind mehrere Verfahren ausgearbeitet worden. Alle Verfahren verwenden zur Ermittlung der Struktur die Verteilung der Intensität der Röntgen-Interferenzstrahlung auf einer ebenen Fläche oder auf einer Kugel, die sich aus einer ebenen Fläche durch Biegen herstellen läßt. Auf kugelförmigen Flächen mit dem Kristall als Mittelpunkt liefert jedoch die Verteilung der Interferenzmaxima, sofern sie nach dem Weitwinkelverfahren erzeugt werden, ein so übersichtliches Abbild des Kristalls, daß die Herstellung kugelförmiger Photoschichten lohnend erscheint.

Mit der Weitwinkelmethode werden Einkristalle untersucht, wobei die Variation des Einfallswinkels der auf den ruhenden Kristall fallenden monochromatischen Strahlung durch ein räumlich divergentes Strahlenbündel erreicht wird.

H. Seemann machte als erster 1916¹ Weitwinkelaufnahmen auf ebenem Film und widmete dieser Methode bis zum Jahre 1943 eine Anzahl von Veröffentlichungen, die im wesentlichen in der Zusammenfassung in der Physikalischen Zeitschrift 1943² enthalten sind. W. Kossel (1937)³ erhielt seine schönen Interferenzbilder dadurch, daß er den Divergenzpunkt der Strahlung auf die Kristalloberfläche verlegte, was jedoch mit dem Nachteil verbunden ist, daß der Kristall zugleich die Anode der Röntgenröhre bildet, eine Forderung, die der praktischen Anwendung dieser Kristallanalysemethode enge Grenzen setzt. B. Heß (1937)⁴ zeigte, mit wie kleinem apparativen Aufwand Weitwinkel-Durchstrahlungen hergestellt und wie sie zur Bestimmung der Identitätsabstände in beliebigen Richtungen benutzt werden können.

Die Weitwinkel-Interferenzaufnahmen von Kristallstrukturen sind nicht nur leicht ohne mühsames Einjustieren herzustellen; sie haben auch einen größeren Informationsgehalt als die meisten anderen Interferenzaufnahmen von Kristallstrukturen.

Das Maximum sowohl an Übersicht wie an Informationsgehalt bei gleichzeitiger Einfachheit der Herstellung und Auswertung erreicht man mit Kristall-Interferenzaufnahmen nach der Weitwinkelmethode, wenn sie nicht auf einer ebenen, sondern auf einer kugelförmigen Photoschicht registriert werden.

Obgleich solche Aufnahmen auf Kugelflächen schon seit langer Zeit vorliegen — Heß (1942)⁵ benutzte solche zur Bestimmung der Symmetrie-Elemente und Netzebenenabstände —, hat das Weitwinkelverfahren bis heute keine praktische Bedeutung erlangt. Die Gründe dafür sind verschiedener Art. Das in der genannten Arbeit für Kugelaufnahmen benutzte Röntgenrohr mit einer dünnen Kupferfolie als Außenanode war für die Verwendung in der Praxis noch nicht geeignet. Auch die Herstellung von kugelförmigen Emulsionsflächen wurde erst vor kurzem wesentlich vereinfacht durch das Angebot von Emulsion in haltbarer Form.

Die Weitwinkel-Interferenzen bilden auf der Kugelfläche Kreisbögen mit dem Pol der reflektierenden Ebenen als Mittelpunkt. Markiert man auf diesen Kugelaufnahmen die Mittelpunkte der sphärischen Kreisbögen, also die Pole der reflektierenden Ebenen, so kann man an der entstehenden Polfigur leicht die Symmetrie-Elemente des Kristalls ablesen; gleichwertige Ebenen sind an den gleichen Radien der Interferenzkreise sofort erkennbar. Diese sphärischen Radien der Kreisbögen sind die Komplemente zu den Bragg'schen Reflexionswinkeln, also unmittelbar ein Maß der Netzebenenabstände.

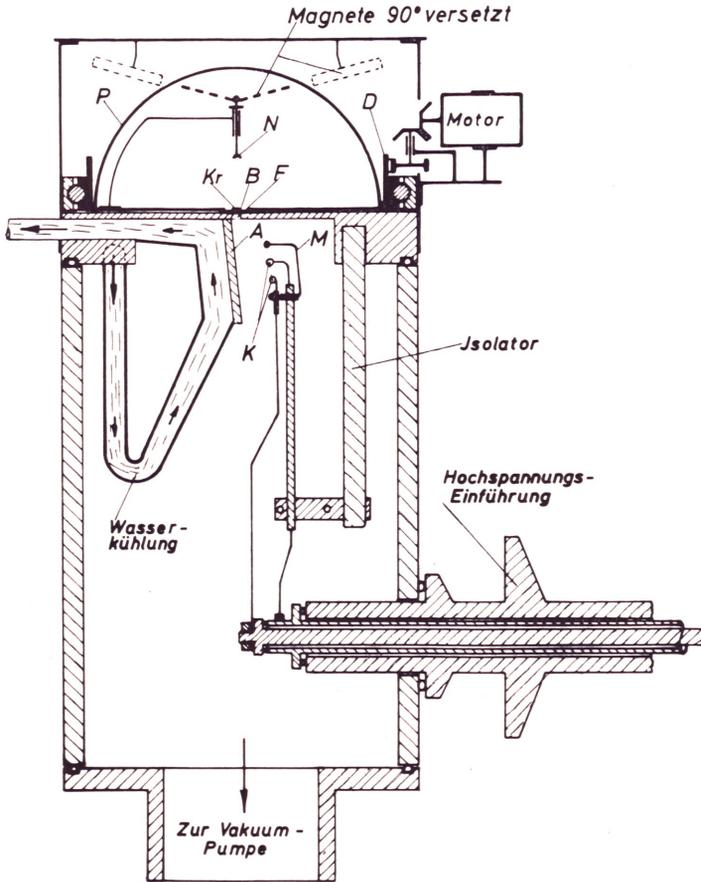


Fig. 1: Aufnahmevorrichtung und Röntgenröhre im Schnitt
 A Anode, K Kathode, M Molybdänwände, F Filter, B Lochblende,
 Kr Kristall, P Photohalbkugel, N Nullstrahlblende

Die Vorteile dieser Methode bestehen darin, daß sehr kleine Kristalle ohne vorzunehmende Justierung untersucht und aus einer einzigen Aufnahme die Kristallsymmetrie, die Kristallorientierung, die Identitätsabstände in beliebigen Richtungen und die Netzebenenabstände der reflektierenden Ebenen ermittelt werden können. Das ermöglicht die Indizierung der Reflexionen und die Bestimmung der Gitterkonstanten sowie bei Berücksichtigung der Intensitätsverhältnisse der Reflexionen die Bestimmung der Raumgruppe.

Die vorliegende Arbeit beschränkt sich auf *Durchstrahl*aufnahmen auf Kugelflächen. Es wird zunächst eine für diese Aufnahmen entwickelte Spezialapparatur, bestehend aus Röntgenröhre und Aufnahmevorrichtung, beschrieben. Sodann wird die Auswertung der kugelförmigen Interferenzbilder behandelt.

Fig. 1 zeigt die Aufnahmevorrichtung zusammen mit der Röntgenröhre im Schnitt. Die Röntgenröhre, die bis auf 10^{-6} Torr ausgepumpt werden konnte (siehe auch Fig. 2), enthält eine wassergekühlte Silberanode A, bei der nach dem Götze-Prinzip nur die nahezu parallel zur Anodenfläche austretende Strahlung verwendet wird, so daß sich ein strichförmiger Fokus ergibt. Gegenüber der Anode befindet sich die Kathode K (Wolfram),

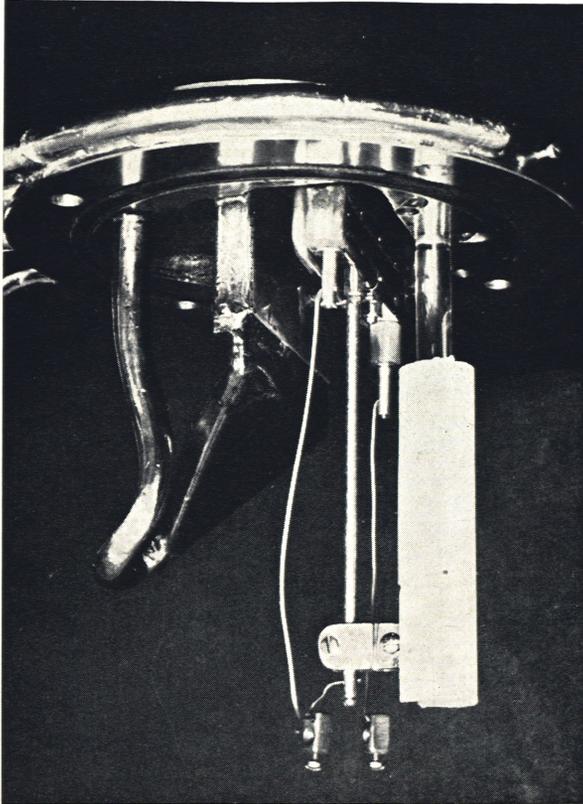


Fig. 2: Röntgenröhre ohne Gehäuse

die als Wendel ausgebildet und seitlich von auf Kathodenpotential liegenden Molybdänwänden M umgeben ist, so daß die aus der Kathode austretenden Elektronen auf die Anode konzentriert werden. Die Röntgenröhre wurde mit 60 kV Gleichspannung und 30 mA betrieben. Die von der Anode ausgehende Röntgenstrahlung wurde durch ein Filter F von 30 μm Pd, das nur die $K\alpha$ -Strahlung von Ag durchläßt, gefiltert und tritt durch die Lochblende B (0,7 mm Durchmesser) fächerförmig aus. Zwischen Kristall Kr und Photohalkugel P wird die Primärstrahlung von der Nullstrahlblende N aus Blei abgefangen.

Fig. 3 zeigt die Anordnung der Nullstrahlblende gegenüber der Lochblende in der Grundplatte, aus der der fächerförmige Strahl austritt. Ferner ist zu sehen ein kleines Zahnrad, betrieben durch einen kleinen Elektromotor, das über einen Zahnkranz die Grundplatte mit Kristall und Photohalkugel (auf der Aufnahme abgenommen), die auf der Grundplatte aufsitzt, langsam dreht. Der Durchmesser der Photohalkugel beträgt 10 cm. Die Lochblende, auf der der Kristall aufliegt, liegt unmittelbar über dem Strahlenaustrittsfenster der Röntgenröhre, die auf der Oldiffusionspumpe aufsitzt. Der von der Lochblende ausgehende Strahlenfächer besitzt eine Divergenz von ca. 120° . Die Fläche des Kristalls braucht nur wenig größer als die Lochblende zu sein, also von der Größen-



Fig. 3: Aufnahmevorrichtung ohne Photokugel

ordnung 1 mm^2 . Die Dicke der verwendeten Kristalle betrug $0,2$ bis $0,8 \text{ mm}$. Um den Kristall als Mittelpunkt ist die Photohalbkugel P, die lichtdicht abgedeckt ist, auf der Drehscheibe D aufgesetzt. Die feste Nullstrahlblende wird durch zwei Stabmagnete in ihrer Lage gehalten. Die gesamte Apparatur (Vakuumanlage, Röntgenröhre und Drehvorrichtung) zeigt Fig. 4. Durch Verwendung des ebenen Strahlenfächers mit Nullstrahlblende bleibt der große Winkelbereich, in dem bei der Verwendung von räumlich divergenter Primärstrahlung die Interferenzen durch die Primärstrahlung ausgelöscht würden, erhalten.

Nach Aufbringen einer Haftschrift auf die Halbkugeln aus Plexiglas wurde die durch Erwärmung verflüssigte Photoemulsion aufgegossen und bis zur Erstarrung herumgeschwenkt. Die auf diese Weise erzielten Schichtdicken waren ziemlich gleichmäßig, im Vergleich zu anderen Röntgenfilmen jedoch dünn, nämlich 1 bis $2 \mu\text{m}$. Trotzdem waren die Aufnahmen nach den üblichen Aufnahmezeiten von 1 bis 2 Stunden genügend belichtet.

Um eine Übersicht über die auf der Kugel zu erwartenden Reflexionen zu gewinnen, sind in Fig. 5 für verschiedene Anodenmaterialien und damit für verschiedene Wellenlängen λ die kleinst- bzw. größtmöglichen Werte d/n (d Netzebenenabstand, n Ordnung der Reflexion) in Abhängigkeit von der Polhöhe φ , d. h. dem Winkel zwischen der Polgeraden und der Horizontalen, aufgetragen. Für den Konvergenzwinkel des Strahlen-

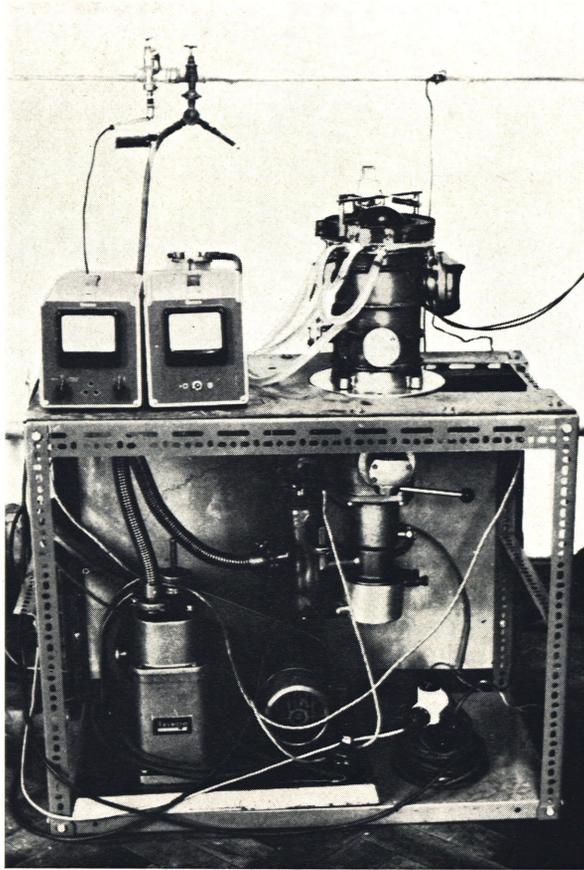


Fig. 4: Gesamtansicht der Apparatur mit Vakuumanlage

bündels wurde dabei 120° angenommen*. Für die $K\alpha_1$ -Strahlung von Ag ist der Bereich der φ - und d/n -Werte, in dem keine Reflexionen möglich sind, schattiert.

Eine Bestimmung der Kristallsymmetrie erfordert eine größere Zahl von Ebenenpolen, d. h. von Interferenzkreisen. Wie man aus Fig. 5 ersieht, sind deshalb kurze Wellenlängen von etwa $0,5 \text{ \AA}$ am geeignetsten, denn eine zu lange Wellenlänge wie die $L\alpha_1$ -Strahlung von Wolfram begrenzt die auswertbaren Reflexionen nach kleinen Netzebenenabständen hin. Die Grenze liegt bei etwa 1 \AA , denn für $0,9 \text{ \AA}$ sind nur noch Polhöhen zwischen etwa 10° und 35° möglich. Dagegen liegt die Grenze bei der $K\alpha_1$ -Strahlung von Silber erst bei $0,4 \text{ \AA}$. Eine Verkleinerung der Wellenlänge bringt kaum noch Vorteile,

* Da sich für den kleinstmöglichen Wert von d/n im Grenzfall nur noch ein Reflexionspunkt ergibt, andererseits für eine Auswertung ein längerer Kreisbogen notwendig ist, so ist die Einführung eines effektiven Konvergenzwinkels zweckmäßig. Bei Aufnahmekugeln von 5 cm Radius erhält man eine maximale Länge der Kreisbögen von ca. 10 cm . Nimmt man an, daß bei Durchstrahlungen, um die es sich hier handelt, etwa die halbe Länge, also 5 cm , für die Auswertung eines Kreisbogens noch genügt, so ergibt sich, daß von 120° höchstens etwa 90° des Strahlenfächers ausnützbar sind. Für diesen (effektiven) Konvergenzwinkel wurden deshalb in Fig. 5 ebenfalls Kurven (gestrichelt) eingezeichnet.

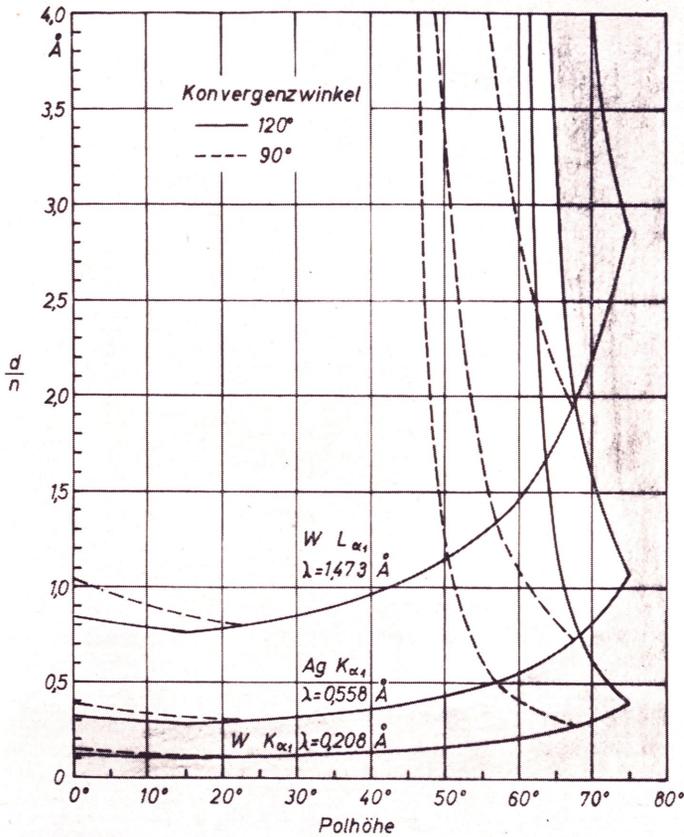


Fig. 5: Übersicht über den Aufnahmebereich

da noch kleinere Netzebenenabstände bzw. höhere Ordnungen zu schwache Reflexionen erzeugen. Andererseits begrenzen zu kurze Wellenlängen die erreichbaren Polhöhen zu sehr nach oben, vor allem bei größeren Netzebenenabständen. Aus diesen Gründen wurde als Strahlung die $K\alpha$ -Linie von Ag gewählt.

Bestimmung der Netzebenen- und Identitätsabstände

Wie schon oben erwähnt, ist der sphärische Radius der Interferenzkreise gleich dem Komplement des Bragg'schen Reflexionswinkels. Dieser Winkel bzw. der bei der benutzten Wellenlänge diesem entsprechende Ebenenabstand der reflektierenden Ebene läßt sich in einfacher Weise durch eine Kugel bestimmen, deren Außendurchmesser gleich dem Innendurchmesser der Photohalbkugel ist und auf der eine Schar von Breitenkreisen einschließlich Äquator sowie ein Meridiankreis und die beiden Pole eingezeichnet sind (siehe Fig. 6). Die Interferenzkreisbögen der Aufnahme, die jeweils der Reflexion an einer Netzebene entsprechen, werden mit den ihrer Krümmung entsprechenden Breitenkreisen zur Deckung gebracht. An jedem Breitenkreis der Meßkugel sind für die benutzte Wellenlänge die Netzebenenabstände der einen solchen Kreis erzeugenden Interferenzen eingetragen, so daß der Ebenenabstand der zur Deckung gebrachten Interferenzen sofort abgelesen werden kann. Gleichzeitig wird durch den Pol der Meßkugel die Lage des Pols der betreffenden Reflexionsebene festgelegt.

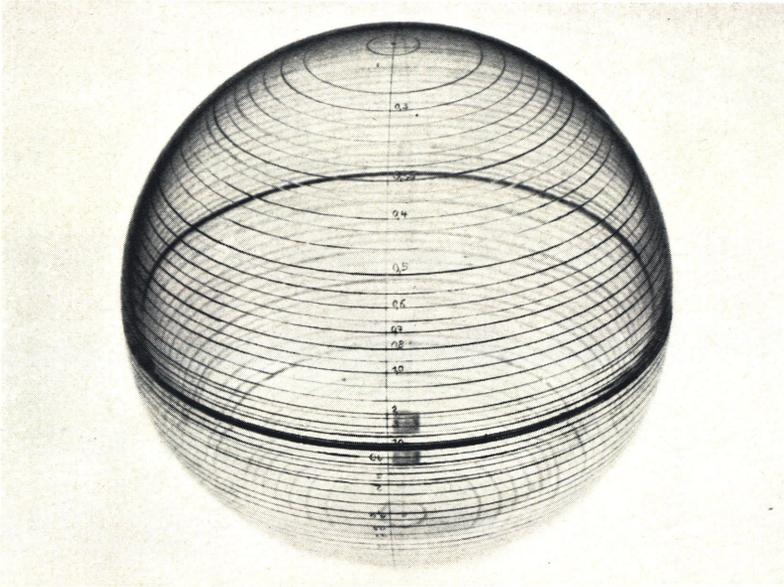


Fig. 6: Meßkugel mit Breitenkreisen

Zur Bestimmung der Basiszelle muß der Identitätsabstand in verschiedenen Richtungen ermittelt werden. Dieser läßt sich aus den Weitwinkelaufnahmen auf Kugelflächen ebenfalls bestimmen, und zwar für beliebige Richtungen der Gittergeraden im Kristall. Die Auswertung erfolgt analog zur Bestimmung des Identitätsabstandes nach der Schichtlinien- bzw. Drehkristallmethode. Während jedoch bei der Schichtlinienmethode die Gittergerade, deren Identitätsabstand bestimmt werden soll, parallel zur Achse sein muß, um die der Kristall gedreht wird, und somit jede Identitätsabstandsbestimmung eine neue Kristalljustierung und eine neue Aufnahme erfordert, können bei der hier beschriebenen Methode ohne jegliche Justierung die Identitätsabstände in allen Richtungen bestimmt werden, und zwar mit Hilfe einer einzigen Aufnahme. Die Variation des Einfallswinkels, die bei der Drehkristallmethode durch Drehen des Kristalls erfolgt, ist hier durch die im Primärstrahlfächer in verschiedenen Richtungen einfallende Primärstrahlung gegeben.

Fig. 7a zeigt den Primärstrahlkegel S, der den zu einer Gittergeraden G senkrechten Strahlenfächer H enthält. Im Konvergenzpunkt des Primärstrahlkegels liegt der Kristall Kr. Auf der Aufnahmekugel C befindet sich ein Interferenzkreisbogen K, der die Spur F des Strahlenfächers H im Punkt A schneidet. P sei der Mittelpunkt des zum Kreis ergänzten Kreisbogens. In Fig. 7b ist der Interferenzkreis so gezeichnet, daß die Achse des Interferenzkegels, die ja senkrecht auf der reflektierenden Netzebene steht, senkrecht zur Zeichenebene ist, also die reflektierenden Netzebenen und die Zeichenebene parallel sind. Die einfallenden Primärstrahlen, die an einer Netzebene zur Reflexion gelangen, liegen mit den reflektierenden Strahlen auf einem Kegel, dem oben genannten Interferenzkegel, dessen halber Öffnungswinkel AP gleich dem Komplement β des Bragg'schen Winkels ist. Die Spur des Kegels K schneidet die Spur F des zur Gittergeraden senkrechten Strahlenfächers in den Punkten A und B. Die Spiegelpunkte A' und B' zu A und B entsprechen dann zwei Punkten einer Schichtlinie einer Drehkristallaufnahme um die gewählte Gittergerade als Drehachse.

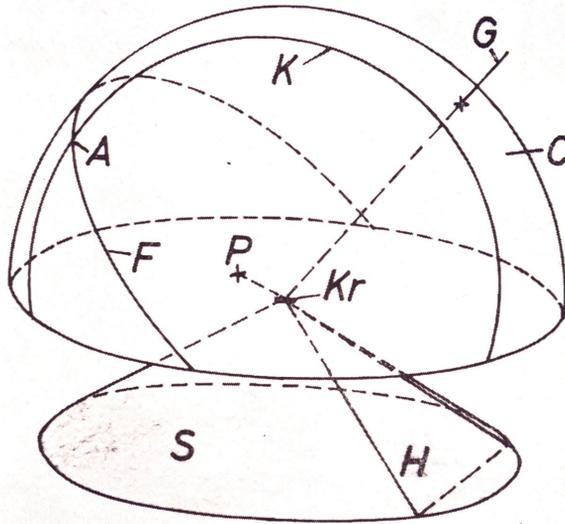


Fig. 7a: Strahlende Anodenfläche S, Strahlenfächer H und Aufnahmehalbkugel C mit Interferenzkreis K, Gittergerade G und Spur F des Strahlenfächers. Kr Kristall im Mittelpunkt der Halbkugel, P Durchstoßpunkt der Achse des zu K gehörigen Interferenzkegels durch die Kugel und gleichzeitig Pol der reflektierenden Ebenen zu K

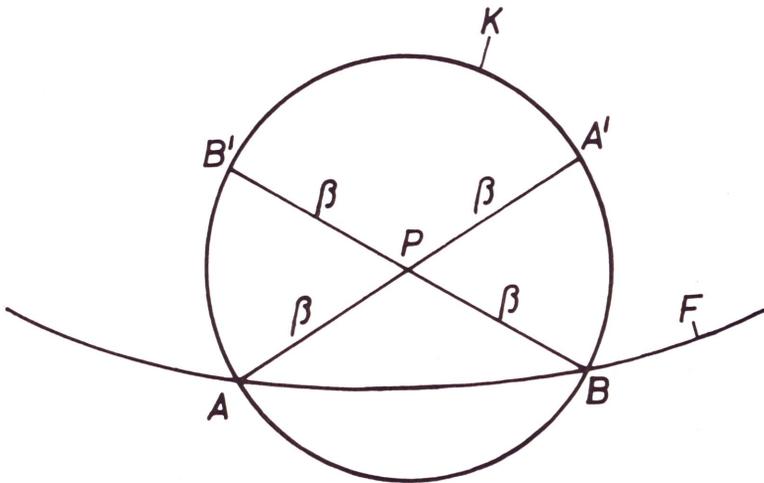


Fig. 7b: Interferenzkreis K und Spur des Strahlenfächers F auf der Kugel

Den Punkt A' findet man in einfacher Weise mit Hilfe der Meßkugel. Man bringt den auszuwertenden Interferenzkreisbogen mit dem seiner Krümmung entsprechenden Breitenkreis der Meßkugel zur Deckung und dreht dann die Meßkugel so um ihre Achse, daß der auf ihr eingezeichnete Meridian durch den Schnittpunkt A des Kreises mit F und den Mittelpunkt P des Kreises geht. Den Schnittpunkt des Meridians auf der anderen Seite des Kreises bildet A' . Da dieser außerhalb der Aufnahmehalbkugel liegt, ergänzt man diese durch eine zweite Halbkugel zu einer Vollkugel.

Auf diese Weise lassen sich zu allen auf der Aufnahme vorhandenen Interferenzkreisbögen, die, zu einem Kreis ergänzt, F schneiden, die zugehörigen Schichtlinienpunkte A' bzw. B' in einfacher Weise bestimmen. Aus dem Abstand φ der Schichtlinien, die hier Breitenkreise zum Äquator F darstellen, bestimmt man den Identitätsabstand J aus der Gleichung

$$J = \frac{n \lambda}{\sin \varphi} \quad (1)$$

Zweckmäßigerweise verwendet man auch zur Bestimmung des Identitätsabstands J die schon erwähnte Meßkugel. Bringt man deren Äquator mit F zur Deckung, dann kann an dem Breitenkreis der Meßkugel, auf den die Punkte A' und B' zu liegen kommen, unmittelbar der halbe Identitätsabstand abgelesen werden, da die auf der Meßkugel angegebenen Netzebenenabstände nach der Bragg'schen Formel berechnet wurden, die ja bis auf den Faktor 2 mit der Gleichung (1) identisch ist.

Auf große Genauigkeit wurde bei den verwendeten gedrückten Kugeln noch kein Wert gelegt, da es sich bei der vorliegenden Arbeit zunächst nur um die Darstellung der Methode handelt. Die Genauigkeit betrug bei einem Netzebenenabstand von 1 Å etwa 10%. Da aber fast immer einige parallele Interferenzkreise (durch Reflexion an beiden Seiten der Netzebene) auftreten, ließ sich durch Ausnutzung der Symmetrie die Genauigkeit der Bestimmung des Netzebenenabstandes auf etwa 5% bei 1 Å erhöhen. Die Genauigkeit der Bestimmung der Identitätsabstände ließ sich, wenn viele Interferenzkreise zur Auswertung benutzt werden konnten, auf etwa 1% steigern. Für die Bestimmung der Kristallsymmetrie spielt die Genauigkeit der Festlegung der Ebenenpole keine sehr große Rolle.

Für NaCl wurde auf diese Weise der Identitätsabstand in Richtung [100] mit Hilfe von 10 Interferenzkreisen zu $5,70 \pm 0,06$ Å bestimmt. Der genaue Wert beträgt 5,628 Å.

In gleicher Weise ergab sich für K_2SO_4 mit Hilfe von je 16 Interferenzkreisen $a = 7,34 \pm 0,12$ Å und $c = 5,70 \pm 0,05$ Å und mit 12 Interferenzkreisen $b = 9,85 \pm 0,23$ Å. Die genauen Werte betragen: $a = 7,435$ Å, $b = 10,028$ Å, $c = 5,743$ Å.

Laue-Symmetrie

Fig. 8 und 9a zeigen die Aufnahmen eines NaCl- und eines K_2SO_4 -Kristalls mit eingezeichneten Polen. Die verschiedenen Zeichen für die Pole entsprechen verschiedenen Netzebenenabständen (Erklärung der Zeichen in Fig. 9b, die eine Dreiecksprojektion des in Fig. 9a gezeigten Oktanten darstellt).

Bei NaCl (siehe Fig. 8) ist die vierzählige Achse in der Mitte schon aus der Verteilung der Interferenzkreise ohne weiteres zu erkennen, ebenso die vier Spiegelebenen, deren Schnittpunkt die vierzählige Achse bildet. Die Pole der vier dreizähligen Achsen sind aus der Anordnung der eingezeichneten Pole der reflektierenden Ebenen ebenfalls leicht zu erkennen. Damit ist die Laue-Symmetrie des Kristalls, nämlich O_h , eindeutig festgelegt.

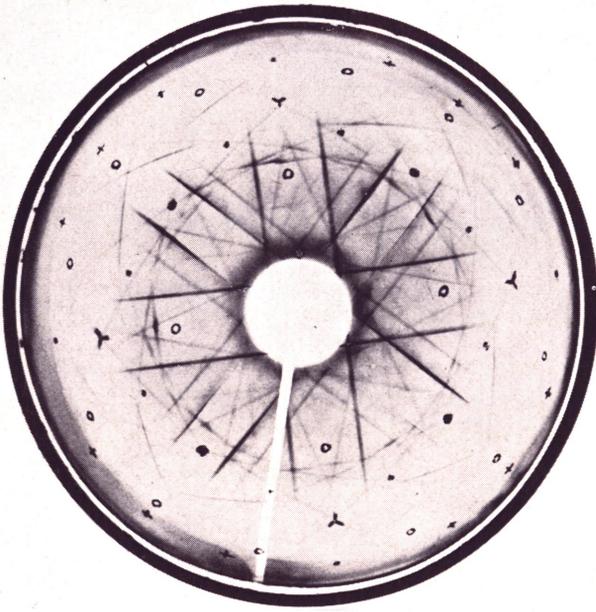


Fig. 8: Weitwinkelaufnahme eines NaCl-Kristalls mit eingezeichneten Polen

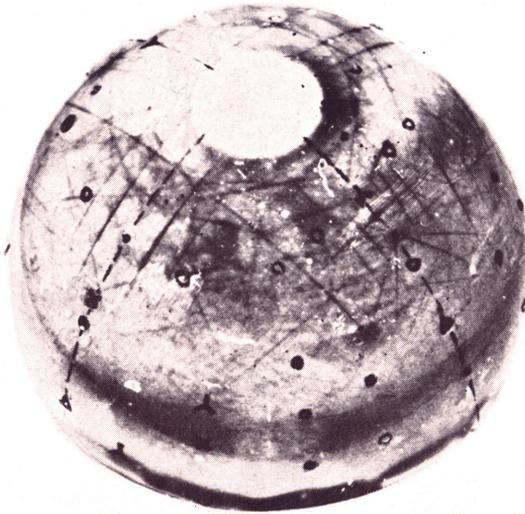


Fig. 9a: Weitwinkelaufnahme eines K₂SO₄-Kristalls mit eingezeichneten Polen und Spiegelebenen

Bei K_2SO_4 sind zwei Spiegelebenen (in *Fig. 9a* gestrichelt eingezeichnet) sowie in deren Schnittpunkt eine zweizählige Achse vorhanden. Diese Kombination kommt bei den Laue-Klassen O_h , T_h , D_{6h} , D_{4h} und D_{2h} vor. Im Falle der T_h -Symmetrie müßte im Schnittpunkt der Seitenhalbierenden eines Oktanten (siehe *Fig. 9b*) eine sechszählige Achse auftreten. Bei O_h , D_{6h} und D_{4h} müßten unter anderem noch eine oder mehrere Spiegelebenen, die durch einen der Eckpunkte des Oktanten gehen, erkennbar sein. Da die Lage der Pole keines dieser Symmetrie-Elemente zuläßt, ergibt sich als einzig mögliche Symmetrie D_{2h} .

Um die Feststellung der Laue-Symmetrieklasse zu erleichtern, kann man auf in die Photohalbkugeln passenden Kugeln die Symmetrie-Elemente der verschiedenen Laue-Klassen einzeichnen und durch Probieren feststellen, mit welcher die Symmetrie der Aufnahmekugel übereinstimmt. Als Beispiel zeigt *Fig. 10* eine Kugel mit den O_h -Symmetrie-Elementen.

Raumgruppe

Die Bestimmung der Raumgruppe erfordert zunächst die Indizierung der reflektierenden Netzebenen. Diese ist beim kubischen NaCl-Kristall einfach durchzuführen. Von folgenden Ebenen waren auf der Kugel Reflexionen registriert: (200), (400), (600), (220), (440), (240), (111), (222), (444), (224), (244), (260), (113), (226). Aus dem Auftreten der Reflexionen an bestimmten Netzebenen und dem Fehlen von Reflexionen mit gemischten Indizes lassen sich mit Hilfe von röntgenanalytischen Tabellen^{6, 7} 19 von den 24 in Frage kommenden Raumgruppen ausschließen. Es kommen nur noch die Raumgruppen T_d^2 , O_2 , O_3 , O_h^4 und O_h^5 in Frage. Von diesen gehören O_2 und O_h^4 zur einfach primitiven, die übrigen zur flächenzentrierten Translationsgruppe. Die Bestimmung des Identitätsabstandes in Richtung [110], die ungefähr 4,0 Å ergab, entscheidet zugunsten des flächenzentrierten Gitters, so daß die Raumgruppen T_d^2 , O_3 und O_h^5 übrigbleiben. Um zwischen diesen zu entscheiden, muß man bekanntlich die Intensitätsverhältnisse der Reflexionen — hier wenigstens in grober Schätzung (die Voraussetzungen für eine exakte Intensitätsbestimmung wurden in dieser Arbeit noch nicht angestrebt) — heranziehen. Auf der Kugelaufnahme ist zu sehen, daß z. B. die Reflexionen (111) und (113), also die Reflexionen mit ungeraden Indizes, im Vergleich zu den übrigen Reflexionen sehr schwach sind. Daraus läßt sich der Kristall eindeutig der Raumgruppe O_h^5 zuordnen.

Die Indizierung der Aufnahme von K_2SO_4 zeigt *Fig. 9b*, die eine Dreiecksprojektion des in *Fig. 9a* zu sehenden Oktanten darstellt. Aus der Statistik der Indizes der reflektierenden Netzebenenabstände ergibt sich, daß nur die beiden Raumgruppen C_{2v}^9 und D_{2h}^{16} in Frage kommen, zwischen denen wieder durch Intensitätsbetrachtungen entschieden werden muß.

In einem weiteren Bericht wird über die Abbildung von Weitwinkel-Interferenzen auf einer Vollkugelfläche, also eine kombinierte Durch- und Rückstrahlaufnahme berichtet, für die zur Zeit eine Spezialröntgenröhre entwickelt wird.

Zusammenfassung

Röntgeninterferenzaufnahmen von Kristallstrukturen auf kugelförmigen Photoschichten liefern ein besonders übersichtliches Abbild der Strukturen mit maximalem Informationsinhalt. Eine Aufnahmeapparatur mit Spezialröntgenröhre für Durchstrahlungsaufnahmen wird beschrieben. Es wird gezeigt, wie mit einer einzigen Aufnahme ohne Justierung des Kristalls die Netzebenenabstände sowie die Identitätsabstände in beliebigen Richtungen, ferner die Laue-Symmetrie und, sofern rohe Intensitätsunterschiede genügen, die Raumgruppen des Kristalls leicht ermittelt werden können.

Die Röntgenröhre und Aufnahmeapparatur wurde mit Herrn R. Gareis entwickelt und von ihm gebaut.

Der Agfa-Gevaert AG, Leverkusen, danken wir für die wiederholte Überlassung von Photoemulsionen.

Über die beschriebene Methode wurde im Dezember 1967 in einem Vortrag an der Universität Clermont berichtet.

Literatur

- ¹ H. Seemann, Ann. Physik 51, 1916, S. 391—413
- ² H. Seemann, Physikal. Zeitschrift 44, 1943, S. 309—335
- ³ W. Kossel, Erg. exakt. Naturwiss. 16, 1937, S. 295—352
- ⁴ B. Heß, Z. Kristallogr. (A) 97, 1937, S. 197—207
- ⁵ B. Heß, Z. Kristallogr. (A) 104, 1942, S. 294—304
- ⁶ H. Mark, Die Verwendung der Röntgenstrahlen in Chemie und Technik, 1926, S. 387—394
- ⁷ Internationale Tabellen zur Bestimmung von Kristallstrukturen, 1935

