

Krystallophotogrammetrie.

Neues Hilfsverfahren bei der Krystallmessung.

Von

Max Schwarzmann in Giessen.

Mit Taf. I und 12 Figuren.

U e b e r s i c h t.

	Seite
Einleitung	2
A. Experimenteller Theil	4
1. Instrumente zur Krystallophotogrammetrie	4
2. Versuchsanordnung	8
3. Übersicht der charakteristischen Eigenschaften der vier Methoden und Auswahl derselben in den einzelnen Fällen	12
4. Justirung	14
5. Aufnahme des Photogramms	17
6. Bestimmung der Elemente des Photogramms	18
B. Theoretischer Theil	21
1. Zusammenhang der Methode I und IV, sowie der Methode II und III. — Princip der krystallophotogrammetrischen Messungen	21
2. Orientirung über die in den folgenden Ableitungen verwendeten Coordinationen etc.	22
3. Berechnung der sphärischen Coordinaten der Flächenpole aus den Abmessungen auf der photographischen Platte	23
4. Curven der Platte, welche bei der 90°-Stellung den Zonenebenen entsprechen	27
5. Die bei der 90°-Stellung den Parallelkreisen entsprechenden Curven	30
6. Curven der Platte, welche bei der 0°-Stellung den Zonenebenen entsprechen	31
7. Die bei der 0°-Stellung den Parallelkreisen entsprechenden Curven	33
8. Der Reflexkegel einer Zone	34
9. Praktische Anwendung der Reflexnetze	35
10. Die Reflexprojection	36

Einleitung.

Nachdem die geometrische Ausbildung der Krystalle in ihren Hauptzügen in umfassender Weise erforscht und tabellarisch niedergelegt ist, eröffnet sich das reiche Studium der facettirten, gekrümmten, der Übergangs- und vicinalen Flächen¹ als eine vielversprechende Detailarbeit, welche keinen weiteren Aufschub mehr erleiden darf. Nicht minder als die Erforschung der Krystallform in ihrem Hauptgerippe kann auch die Begründung der feineren Einzelheiten im Aufbau, der scheinbaren Unregelmässigkeiten, Ablenkungen, Störungen und Abweichungen der Flächen ein tiefes Licht auf die krystallbildenden Kräfte, auf die Structur u. s. w. werfen.

Das sorgsame Studium solcher facettirter und gekrümmter Flächen erforderte mit den bisherigen Hilfsmitteln eine möglichst getreue Skizze des Reflexzuges und Festlegung einer genügenden Anzahl von Punkten des Reflexes durch je zwei Ablesungen des zweikreisigen Goniometers². Das getreueste Bild des Reflexes, frei von jeder subjectiven Auffassung, liefert aber ohne Zweifel die photographische Aufnahme und bietet, dies macht das Wesen der neuen Methode aus, die Möglichkeit, aus dem Bilde selbst die Winkel zu entnehmen, sobald man die photographische Camera in bestimmter, zweckentsprechender Weise justirt aufstellt. Dieses neue Verfahren wollen wir die Krystallophotogrammetrie

¹ V. GOLDSCHMIDT, Über Entwicklung der Krystallformen. GROTH, Zeitschr. f. Kryst. 28. 421. 1897.

² V. GOLDSCHMIDT, Über krumme Flächen (Übergangsflächen). GROTH, Zeitschr. f. Kryst. 26. 2. — Mit dem einkreisigen Goniometer war diese Arbeit besonders schwierig. Der Messung genannter Flächen kam die Arbeit WEBSKY'S: „Über eine Methode, den Normalenbogen, um welchen eine Krystallfläche von einer ihr sehr nahe liegenden Zone absteht und ihre krystallographische Lage zu bestimmen“ (Sitz.-Ber. d. Akad. d. Wiss. zu Berlin phys.-math. Cl. 44. 1882), zu Hilfe.

nennen. Im Nachfolgenden sind verschiedene Methoden des krystallophotogrammetrischen Verfahrens beschrieben, die jedesmaligen Justiranweisungen gegeben und die Fragen beantwortet, wie berechnen sich die Orte der Flächenpole aus den Abmessungen auf der photographischen Platte und welche Curven auf der Platte entsprechen den verschiedenen Krystallzonen?

Die Anwendbarkeit des photogrammetrischen Verfahrens beschränkt sich auf die oben genannten gekrümmten Flächen und auf die Lichtfiguren geätzter Flächen, d. h. auf solche Fälle, in denen innerhalb eines mässigen Winkelraumes verhältnissmässig viel Reflexpunkte liegen, oder auch da, wo Reflexzüge ohne besonderes Abheben einzelner Lichtpunkte auftreten. Insbesondere wird auch bei manchen experimentellen Untersuchungen, z. B. über das Verhalten der Krystalle in verschiedenen Lösungsmitteln u. s. w., das neue Verfahren erwünscht sein. Das photogrammetrische Verfahren soll also — um Missverständnissen vorzubeugen — nicht etwa die altbewährte Messung mit dem Reflexionsgoniometer ersetzen oder verdrängen, sondern nur im speciellen Fall, mit jener leicht verbindbar, sie ergänzen.

Es ist naheliegend, unsere Methode der Krystallmessung zu vergleichen mit der Photogrammetrie der Geodäten¹. Eine photographische Aufnahme in bekannter Orientirung kann zur Bestimmung zweier Coordinaten dienen. Sie ist also ausreichend zur krystallographischen Bestimmung einer Flächennormale, da es nur auf ihre Richtung im Raume ankommt und diese schon durch zwei Coordinaten festgelegt wird. Ein Punkt im Raum dagegen, wie er den Gegenstand der Vermessung bildet, ist durch drei Coordinaten bestimmt und wird deshalb durch eine Aufnahme noch nicht, durch zwei Aufnahmen von zwei Standpunkten aber überbestimmt. Man sieht hieraus, wie günstig diese Verhältnisse bei der Krystallophotogrammetrie sind. Eine einzige Aufnahme bestimmt gerade das, nicht weniger und nicht mehr, was wir wünschen.

¹ Dieser würde sich eine Krystallmessung durch Messung der Kantewinkel (z. B. bei nicht spiegelnden Flächen) aus zwei orientirten Photographien des Krystalls (Grund und Aufriss) eng anschliessen.

A. Experimenteller Theil.

1. Instrumente zur Krystallophotogrammetrie ¹.

I. Zur ersten Methode.

1. Reflexionsgoniometer (Fig. 1 *G*) mit horizontalem Kreis und beweglichem horizontalen Fernrohr. Der Collimator ist versehen mit Spaltrevolver, und zwar mit

α . Punktspalt,

β . Kreuzspalt, kaum grösser als der punktförmige, die anderen Spalte nur mit Rücksicht auf die gewöhnliche Winkelmessung.

2. Photographische Camera (Fig. 1 *K*) mit rectilinearem Objectiv (Aplanat). Brennweite von 25 cm fasst bei Format 13×18 cm einen Bild-Winkel von 40° , entsprechend einem Winkel der Flächennormalen von 20° , und erlaubt auf ca. 1' genau zu messen; grössere Brennweite fasst kleineren Winkel und giebt bei gutem Reflexbild grössere Genauigkeit, kleinere Brennweite fasst grösseren Winkel und giebt geringere Genauigkeit der Messung.

Cassette und photographische Platte müssen nach dem Einsetzen immer die gleiche Stelle in der Camera einnehmen. Beim Einlegen der photographischen Platte ist diese an zwei passend zu wählende Seiten der Cassette anzudrücken. Derjenige Punkt der Mattscheibe, welcher dem Mittelpunkt der so eingesetzten Platte entspricht, ist auf der Mattscheibe zu markiren, ebenso die durch diesen Punkt gehende Parallele mit dem unteren Rand der Platte.

Je nachdem wie weit die Justirung vom Mechaniker ein für alle Mal festgelegt ist oder dem Messenden überlassen wird, haben wir folgende drei Cameragattungen zu unterscheiden:

α . Feste, fertig justirte Camera. Das Objectiv muss jedoch abgeschraubt werden können. Grosse Handlichkeit.

β . Feste Camera wie bei α , doch mit verstellbaren Objectivbrettern.

¹ Sobald diese Instrumente in ihrer definitiven Form vorliegen, werden sie in einer weiteren Arbeit ausführlich beschrieben und abgebildet und ihre Bezugsquelle mitgetheilt werden.

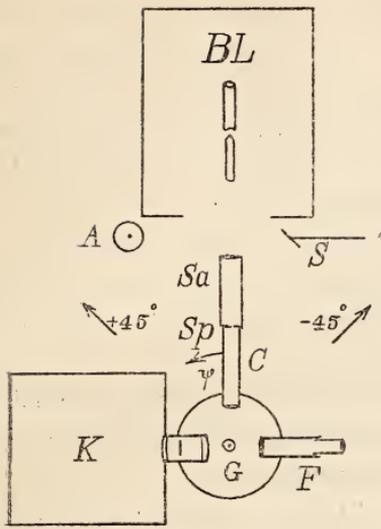


Fig. 1.

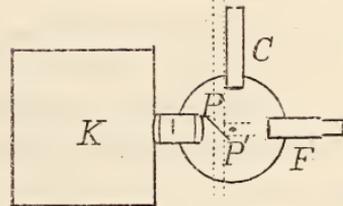
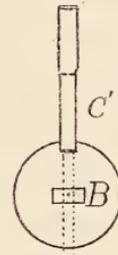
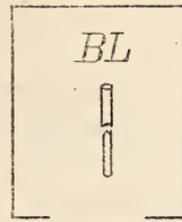


Fig. 2.

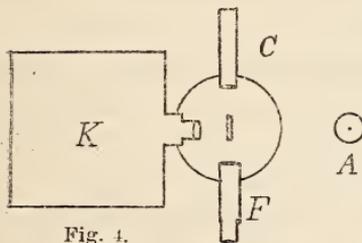


Fig. 3.

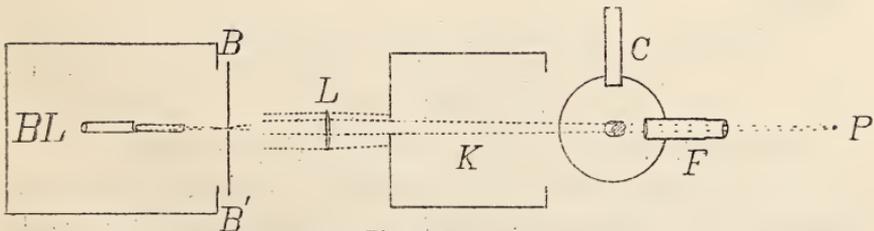


Fig. 3.

γ . Balgcamera mit verstellbaren Objectivbrettern und Versteifungsleisten, welche den Mattscheiberahmen mit dem Objectivrahmen verbinden. Hat den Vortheil, verschiedene Objective zuzulassen, verursacht aber mehr Mühe bei der Justirung.

Der Verschluss der Camera geschieht im Innern durch einen Schieber oder durch den Objectivschlitz, da vor dem Objectiv wenig verfügbarer Raum vorhanden ist. Aus diesem Grund darf auch die Objectivhülse nicht vor die vordere Linse vorstehen, wie dies zum Aufsetzen des Verschlusses, zur Abblendung und zum Schutz meist der Fall ist.

3. Das Stativ für die Camera muss gestatten:

- α . Kleine Drehungen um horizontale Axen und verticale kleine Parallelverschiebung, ermöglicht durch drei Nivellirschrauben.
- β . Kleine Drehung um eine verticale, durch den Mittelpunkt der vorderen Objectivlinse gehende Axe, ermöglicht durch Kreisschlittenführung.
- γ . Parallelverschiebung in kleinen Grenzen (2—3 cm) horizontal und senkrecht zur Cameraaxe (Querschienen) und
- δ . Parallelverschiebung in grösserem Spielraum (5—10 cm) genau parallel zur Cameraaxe, ermöglicht durch Schlittenführung (Längsschienen).

4. Hilfsfläche (Justirplatte) und deren Träger. Dieser kann derart auf den Schlitten des Centrirapparates aufgesetzt werden, dass die Justirplatte sich über dem zu messenden, in gewöhnlicher Weise aufgeklebten Krystall befindet.

5. Spiegelplatte, besteht aus einer Glasplatte in der Grösse und Dicke der zu verwendenden photographischen Platten und besitzt in der Mitte einen kleinen geschliffenen Spiegel.

Gattung α . parallel der Platte befestigt,

„ β . mit Hilfe zweier Justirschrauben nach der Platte parallel stellbar.

6. Elektrische Bogenlampe (Fig. 1 *BL*).

7. Spiegel (Fig. 1 *S*), auf Halter vertical, und mit dem Collimator 45° bildend, befestigt, um, sobald elektrisches Licht nicht nöthig, das Licht eines seitlich aufgestellten Auerbrenners auf den Spalt zu werfen.

8. Auerbrenner (Fig. 1 *A*).

9. Rothe und blaue Gläser oder Rauchgläser zur gelegentlichen Abschwächung des elektrischen Lichtes bei Beobachtung mit dem Fernrohr.

II. Zur zweiten Methode

sind ausserdem nöthig:

1. Ein Spaltrohr (Fig. 2 *C'*) mit den bei I. 1 genannten Spaltöffnungen. Ist ein zweites Reflexionsgoniometer vorhanden, so wird zweckmässig dieses verwendet. Das den Krystall tragende Reflexionsgoniometer braucht bei dieser Methode nur einen punkt- oder kreuzförmigen Spalt zu besitzen.

2. Planparalleles Glasplättchen (Fig. 2 *PP'*), mit der Mitte seines oberen Randes auf einem — in umgekehrter Stellung befindlichen — Justir- und Centrirapparat, der zugleich noch eine Drehung um seine Verticalaxe zulässt, befestigt. Die vorzügliche Beschaffenheit dieser Glasplatte, planparallel und eben, ist von grösster Wichtigkeit. Grösse ca. $20 \times 28 \times 1$ mm.

3. Ein Satz Blenden zum etwaigen Abblenden des unnöthigen, aus dem Collimator (*C'* Fig. 2) kommenden Lichtes. Diese Blenden, in der Grösse der gewöhnlichen photographischen Objectivblenden, können bei Verwendung eines zweiten Reflexionsgoniometers auf den Tisch desselben (*B* Fig. 2) befestigt werden. Andernfalls besonderes Stativ oder Aufkleben mit Wachs an den Collimator.

III. Zur dritten Methode

sind ausser dem unter I. Genannten nöthig:

1. Eine „Lochcassette“, womit wir kurz eine Doppelcassette bezeichnen wollen, deren Zwischenwand concentrisch um den Mittelpunkt der in der beschriebenen Weise eingelegten Platte eine kreisrunde Öffnung von ca. 15 mm Durchmesser hat. Die Federn der Cassette müssen erlauben, ohne Zwang unter die photographische Platte noch eine ca. 0,5 mm dicke Messingplatte zu legen. Die Cassettenschieber müssen gestatten, dass nach Öffnung des einen Schiebers auch der andere leicht geöffnet werden kann. Entsprechend dem Mittelpunkt der eingelegten Platte muss sich auf der Aussen- seite des Schiebers der anderen Cassettenhälfte eine Marke befinden.

2. Ein Satz „Cassettenblenden“. Diese bestehen aus Messingplatten in der Grösse der photographischen Platten und sind ca. 0,5 mm stark. In der Mitte einer jeden Platte

befindet sich ein Kreisloch, und zwar wird man bei einem Satz von 5 Platten die Durchmesser zu 8, 6, 4, 2 und 1 mm wählen.

3. Eine „Lampenblende“, bestehend aus einer Messingplatte mit Kreisloch von 1—0,5 mm Durchmesser ähnlich der kleinsten Cassettenblende. Diese Platte, gross genug, um die Öffnung der Bogenlampe abzublenden, befindet sich vertical und horizontal verschiebbar auf einem Stativ.

4. Eine Sammellinse von ca. 50 cm Brennweite.

IV. Zu den „mikrophotographischen Aufnahmen in gleicher Orientirung wie das Reflexbild“ (Fig. 4).

1. Ein schwaches Mikroskop-Objectiv No. 00, ca. 5 cm Brennweite, mit Anschlussröhre zum Anschrauben an die Camera.

2. Eventuell eine Sammellinse zur Concentration des auf die Krystalplatte fallenden Lichtes. Hierdurch oder durch Abblendung der Lichtquelle (z. B. durch eine der Cassettenblenden III. 2), oder durch schräge Beleuchtung können die Ätzhügel besser sichtbar gemacht werden.

2. Versuchsanordnung.

I. Versuchsanordnung der ersten Methode. Parallelstrahlenmethode in 90°-Stellung (vergl. Fig. 1).

Fig. 1 zeigt die Anordnung der ersten Methode. Das Fernrohr F des Goniometers G steht senkrecht zum Collimator C . Die photographische Camera K ist dem Fernrohr gegenüber aufgestellt, so dass die optische Axe der Camera in die Verlängerung der Fernrohraxe fällt, die Ebene der Mattscheibe also zu dieser Richtung senkrecht steht. Der Spalt Sp des Collimators wird unter Vermittelung der Sammellinse Sa durch die Bogenlampe BL oder nach Verschieben des Spiegels S durch den Auerbrenner A beleuchtet. Diese Aufstellung wollen wir als 90°-Stellung bezeichnen, da hierbei Cameraaxe und Collimatoraxe im rechten Winkel stehen. Eine 60°- oder 120°-Stellung würde weniger einfache Beziehungen zwischen Abbildung und Flächenwinkeln geben. Bildet bei unserer 90°-Stellung eine Flächennormale mit dem Collimator einen Winkel ψ von $+45^\circ$ (den Drehungssinn der

Zeichnung vorausgesetzt), so fällt das Reflexbild in die Mitte der Mattscheibe. Ist die Flächennormale aber im Winkel -45° zum Spaltrohr gerichtet, so fällt ihr Reflex ins Fernrohr. Diese Beziehung dient zum Einstellen der Hilfsfläche und des zu photographirenden Flächenzuges des Krystalls.

II. Versuchsanordnung der zweiten Methode. Parallelstrahlenmethode in 0° -Stellung (vergl. Fig. 2).

Diese in ihrem Ergebniss einfachste und brauchbarste Methode wird hier nur zur Erleichterung des Verständnisses erst an zweiter Stelle angeführt, da die Anordnung durch eine Complication der ersten sich ergibt.

Der Collimator C dient hier nur zur Justirung sowie zur gewöhnlichen goniometrischen Messung. Zur Photographie wird der Collimator C' verwendet, parallel C angeordnet. Ein planparalleles Glasplättchen PP' reflectirt den Strahlencylinder, so dass er parallel zur Cameraaxe verläuft. Durch diese Anordnung ist Cameraaxe und Collimatoraxe ihrer Wirkung nach parallel gestellt worden und wir wollen deshalb von der 0° -Stellung sprechen.

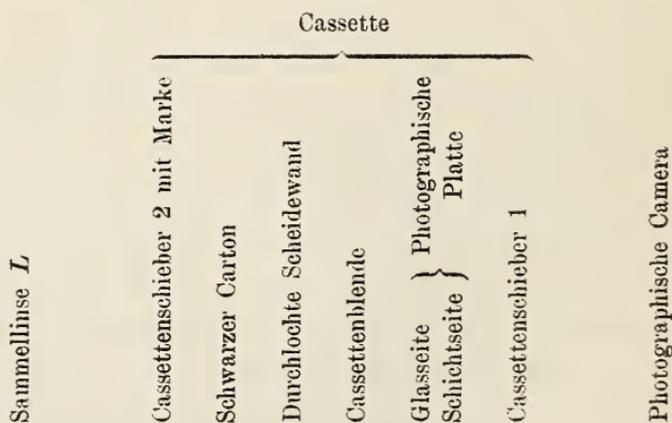
C' kann sich wie in Fig. 2 auf der gleichen Seite wie C befinden, kann aber auch zusammen mit BL auf der anderen Seite der Fernrohraxe und in Bezug auf diese symmetrisch zur gezeichneten Lage aufgestellt werden. Es muss dann auch PP' entsprechend aufgestellt werden, so dass es senkrecht zur gezeichneten Lage steht. Diese zweite Lage von C' ist bei einem beträchtlichen Durchmesser von C vorzuziehen.

Diejenige Fläche reflectirt das Spaltbild in den Mittelpunkt der Camera, deren Normale mit dem Collimator C einen Winkel von $+90^\circ$, also mit der Cameraaxe den Winkel 0° bildet. Wir bezeichnen diese Stellung der Fläche als 0° -Stellung. Bei sehr kleinen aufzunehmenden Flächen wird der nicht nöthige Theil des Strahlencylinders etwa bei B abgeblendet.

III. Versuchsanordnung der dritten Methode. Convergentstrahlenmethode in 0° -Stellung (vergl. Fig. 3).

In der Fernrohraxe befindet sich der Lichtkrater der positiven Kohle der Bogenlampe, die Öffnung der Lampen-

blende (BB'), der optische Mittelpunkt der Linse L und die Öffnung der Cassettenblende. Das Objectiv der Camera ist abgenommen. Die Linse L ist so angeordnet, dass ein verkleinertes Bild der Öffnung der Lampenblende im Punkte P nach Beseitigung des Fernrohrs entworfen würde. Der Abstand der Goniometeraxe von P ist gleich dem Abstand der Mattscheibe von der Goniometeraxe. Die der Cameraseite zugewandten Krystallflächen reflectiren den auf sie fallenden Theil des convergenten Strahlenbüschels und erzeugen so ein Bild der Lampenblende auf der Cassettenwand, bezw. der eingelegten Platte. Von dieser muss die Gelatineschicht in der Mitte entsprechend der Öffnung der Cassettenblende entfernt werden, um das Strahlenbündel bei der Aufnahme durchzulassen. Mit Vorthheil benutzt man beim Abschaben der Gelatine die nächst grössere Cassettenblende des Satzes als Schablone. In die der Camera abgekehrte Seite der Doppelcassette legt man zweckmässig einen schwarzen Carton, dessen man sich, wie wir gleich sehen werden, bei der Exposition als Verschluss bedienen kann. Wir haben also folgende Anordnung:



Nach dem Einlegen der Cassette wird der Cassettenschieber 1 ganz geöffnet, hierauf der Cassettenschieber 2 ca. zwei Drittel aufgezogen. Man exponirt alsdann durch Entfernen des schwarzen Cartons und schliesst durch Wiedereinlegen desselben, worauf auch beide Cassettenschieber wieder geschlossen werden.

Die zu photographirenden Flächen müssen möglichst

genau mit der Goniometeraxe zusammenfallen. Ein Abweichen aus dieser Stellung bewirkt Fehler, vergl. Abschnitt 3 und B. 1.

IV. Versuchsanordnung einer vierten Methode. Convergentstrahlenmethode in 90°-Stellung.

Diese Methode verhält sich zu I wie Methode III zu II. Das Cameraobjectiv wird entfernt. Der Collimator wird so gestellt, dass die Strahlen convergiren und ihr Vereinigungspunkt nach der Reflexion auf dem Goniometer etwa durch die Hilfsfläche in $+45^\circ$ -Stellung auf der Mattscheibe liegt. Auch hier dürfen die spiegelnden Flächen nur möglichst wenig von der Goniometeraxe abweichen.

Es liegt nicht im Zweck der Arbeit, alle etwa möglichen Methoden zu erschöpfen¹.

V. Mikrophotographische Aufnahme der Krystallfläche in gleicher Orientirung wie die Lichtfigur.

Bei Lichtfiguren ist es erwünscht, die Orientirung derselben zur geätzten Krystallfläche zu kennen. In diesem Fall schraubt man nach Aufnahme der Lichtfigur das Mikroskopobjectiv No. 00 vor die Camera und ist so im Stande, die Fläche selbst eventuell auf die gleiche Platte wie die Lichtfigur oder auf eine neue bei schwacher Vergrößerung zu photographiren.

¹ Als am nächsten liegend würde sich statt III eine Methode ergeben, welche sich an II ebenso eng anschliesst wie IV an I. Man entfernt das Objectiv der Camera und macht die Strahlen des Collimators entsprechend convergent. Hierbei verursacht die Parallelverschiebung der Strahlen durch das Glasplättchen Fehler.

Verwendet man das Cameraobjectiv zugleich auch als Collimatorlinse (Autocollimation), indem man als Spalt etwa die kleinste Cassettenblende benützt, so wirft das Cameraobjectiv Zerstreuungskreise auf die Platte.

Bei manchen Untersuchungen kann es von Interesse sein, bei Methode III und IV paralleles Licht auf den Krystall fallen zu lassen. Das Reflexbild einer Fläche ist dann in seiner Form abhängig von der Gestalt der Fläche.

3. Uebersicht der charakteristischen Eigenschaften der vier Methoden und Auswahl derselben
in den einzelnen Fällen.

Nummer der Methode	Das aus dem Collimator kommende Licht ist	Der Collimator- axenstrahl bildet bei seinem Auf- tritt auf den Krystall mit der Cameraaxe einen Winkel von	Die reflektirten Strahlen gehen zur Platte	Die Resultate sind	Die Versuchs- anordnung ist	Die Beziehung des Photo- gramms zu den Krystall- winkeln ist	Anzahl der anwen- daren Ver- grösserungen	Gesichtsfeld
I	parallel	90°	durch das Camera- objectiv	theoretisch genau	einfacher	complicirter	nur soviel als Cameraobject. vorhanden	beschränkt
II	parallel	0°	durch das Camera- objectiv	theoretisch genau	umständlicher	einfacher	nur soviel als Cameraobject. vorhanden	beschränkt
III	convergent	0°	direct	theoretisch ungenau	umständlicher	einfacher	nach Belieben ¹ wählbar	sehr gross
IV	convergent	90°	direct	theoretisch ungenau	einfacher	complicirter	nach Belieben ¹ wählbar	sehr gross

¹ Cameraeigenschaft γ vorausgesetzt.

Methode II verdient vor allen den Vorzug wegen der einfachen Beziehungen der Abbildung zu den Winkelverhältnissen bei gleicher theoretischer Exactheit wie Methode I.

Methode I ist besonders brauchbar, wenn alle Reflexe der eingestellten Zone angehören, da hier die Beziehungen ebenso einfach sind wie bei II. Man wird gleichfalls zur Methode I greifen, wenn bei Anwendung von II Reflexe von Flächen der Rückseite des Krystals auf der Mattscheibe erscheinen sollten. Methode III und IV sind theoretisch ungenau, können aber praktisch, bei der nöthigen Vorsicht, zur Aufnahme recht kleiner Krystalle dienen. Hierbei ist die Lichtstärke bei dieser Versuchsanordnung willkommen. Für Lichtfiguren an geätzten Flächen ist Methode III gleichfalls sehr brauchbar, ermöglicht ein grosses Gesichtsfeld und ist bei kleiner Cassettenblende vollkommen genau.

Die kleinste Cassettenblende liefert bei geätzten Platten von nur wenigen Ätzhügeln erzeugte Lichtfiguren. Es können hierbei Einzelreflexe auftreten, welche, sobald man die ganze Fläche spiegeln lässt, überdeckt werden und unbeachtet bleiben. Wir können so Einzellichtfiguren von Durchschnittslichtfiguren unterscheiden.

Die durch Methode II und III erzeugte Lichtfigur hat die gleiche Symmetrie wie die Krystallfläche, sobald diese der photographischen Platte parallel geht.

Methode III kann auch bei erheblicher Annäherung der Cassette an die Goniometeraxe, also bei grossem Bildwinkel, dazu benutzt werden, um eine photographische Reflexskizze eines grossen Theiles des Krystalles zu erhalten, die lediglich als Skizze zur Orientirung nicht aber zur Messung dient.

Lässt man die Bogenlampe an dem Platze der Versuchsanordnung Fig. 1 auch während der weiteren gewöhnlichen goniometrischen Messungen stehen, so kann man sich das Einstellen des Krystals auf eine Zone sehr erleichtern. Auch bei der Einstellung des Collimators auf unendlich werden die Krystallflächen bei Anwendung der Bogenlampe ihr Reflexbild deutlich sichtbar auf einen weissen Cartonschirm, der ganz an das Goniometer herangerückt ist, werfen. Man wird auf diesem leicht die gewünschte Zone erkennen und kann dann bei Betrachtung des Reflexbildes die Justirschrauben so ver-

stellen, dass die Zone zusammenfällt mit einem horizontalen Strich des Schirmes, der in Fadenkreuzhöhe gezogen ist. Hierauf wird die genaue Einstellung der Zone, in üblicher Weise vorgenommen, nur noch ganz geringe Arbeit erfordern. Selbst dem geübten Krystallmesser wird bei sehr kleinen Krystallen dies Verfahren erwünscht sein.

4. Justirung.

Vorbemerkung. Es dient zur Erleichterung der nachfolgenden Justirungen, wenn die Axen des Collimators, des Fernrohrs und der Camera, sowie die Begrenzung der Mattscheibe mit Hilfe einer Libelle horizontal angenommen werden. Theoretisch nothwendig ist dies natürlich nicht und wird bei der folgenden Justiranweisung darauf keine Rücksicht genommen. Die Axe des Goniometers kann mit Hilfe einer auf dem Krystallträger (Goniometertischchen) befestigten Libelle in gleicher Weise wie die Axe eines Theodolit vertical gestellt werden. Am zweckmässigsten setzt man die Libelle parallel einer Justirschraube auf das Tischchen und dreht dieses derart, dass die Libelle parallel zur Fernrohraxe und also auch in deren Verlängerung steht. Bei der Justirung dreht man das Fernrohr mit dem Tischchen und bewirkt durch Verstellen der Fusschrauben, dass die Libelle bei der ganzen Drehung an der gleichen Stelle einspielt. Soll dies Einspielen in der Mitte der Libelle stattfinden, oder ist der Ausschlag der Blase zu gross, so benützt man zweckmässig die Justirschraube des Goniometertischchens in gleicher Weise wie bei der Theodolitjustirung die Justirschraube der Libelle.

Nachdem auf diese Weise die Drehaxe vertical gestellt ist, befindet sich auch die Fernrohr- und Collimatoraxe eines ordnungsgemäss justirten Goniometers horizontal.

I. Justirung bei der ersten Methode. Parallelstrahlmethode in 90° -Stellung. (Vergl. Fig. 1.)

1. Justirung des Reflexionsgoniometers wie üblich. Werden später Punkt- und Kreuzspalt gebraucht, so ist insbesondere darauf zu sehen, dass diese nach Drehung und Einschnappen des Revolvers genau die gleiche Stelle einnehmen.

Nur bei Cameragattung γ nothwendig: Einstellen der Mattscheibe auf unendlich.

2. Einstellung des Fernrohrs F genau senkrecht zur Collimatoraxe C und Festklemmen des Fernrohrs in dieser Lage.

Dies wird erreicht dadurch, dass man erst das Fernrohr direct auf den Spalt einstellt, abliest und bei festgestelltem Theilkreis das Fernrohr auf die gemachte Ablesung vermindert um 90° einstellt.

3. Aufsetzen der Hilfsfläche, so dass sie nur die obere Hälfte des aus dem Collimator kommenden Strahlencylinders aufnimmt, der untere Rand der Fläche also in die durch die Fernrohraxe und Collimatoraxe gelegte Ebene fällt.

Justiren der Hilfsfläche, Ablesung bei der -45° -Stellung und hierauf Drehung um genau 90° , wodurch die $+45^\circ$ -Stellung erreicht wird.

4. Parallelverschieben der Camera, so dass nach Entfernung des Cameraobjectivs der von der Hilfsfläche auf die Mattscheibe geworfene Strahlencylinder concentrisch ist zum Mittelpunkt der Mattscheibe.

5. Drehung der Camera, so dass (ohne Cameraobjectiv) durch den in die Cassette eingesetzten Spiegel die von der Hilfsfläche reflectirten Strahlen in das Fernrohr geworfen werden und das Spaltbild in der Mitte des Fadenkreuzes erscheint.

Hierauf legt man die Spiegelplatte, in ihrer Ebene um 180° gedreht, ein. Fällt jetzt das Spaltbild nicht wieder auf den Mittelpunkt des Fadenkreuzes (unrichtige Justirung des Spiegels), so muss die Hälfte des Fehlers am Spiegel, die andere durch die Camerastellung berichtigt werden. In letzterem Falle nochmaliges Einlegen der Spiegelplatte in ihrer ersten Lage.

6. Bei Cameragattung β und γ Parallelverschiebung des eingesetzten Cameraobjectives, so dass das Spaltbild (bei der $+45^\circ$ -Stellung der Hilfsfläche) auf der Mattscheibmarke erscheint.

7. Justirung des Krystalls mit Hilfe des (immer feststehenden) Fernrohrs. Einstellen des als Mittelpunkt gewünschten Reflexes im Fernrohr (-45° -Stellung) und Drehen um 90° wie bei 3.

8. Möglichste Annäherung der Camera an den Krystall durch Parallelverschiebung in den Längsschienen. Man beachte hierbei, ob nach der Parallelverschiebung und dem Anziehen der Feststellschrauben der auf die Mattscheibmarke eingestellte Reflex seine Lage nicht geändert hat.

Dies würde, sachgemässe Ausführung durch den Mechaniker vorausgesetzt, auf ein einseitiges und allzu starkes Andrücken einer Feststellschraube für die ausgeführte Bewegung deuten.

II. Justirung bei der zweiten Methode. Parallelstrahlenmethode in 0° -Stellung. (Vergl. Fig. 2.)

1.—6. wie bei I. 1.—6.

7. Justirung des planparallelen Glasplättchens (PP' Fig. 2) und des Collimators (C' Fig. 2) derart, dass

a) das Spaltbild des Collimators C' auf den Mittelpunkt des Fadenkreuzes fällt,

b) der vom Glasplättchen reflectirte Strahlencylinder concentrisch zur Cameraaxe verläuft.

Man beachte hierbei das concentrische Auftreffen des Strahlencylinders auf das Objectiv des Fernrohrs. Dies ist nach Justirung 4 auch concentrisch zur Cameraaxe.

8. = I. 7; jedoch um 135° drehen (0° -Stellung).

9. = I. 8.

10. Das Ablenden des Strahlencylinders wird vorgenommen, indem man gleichzeitig den Krystall betrachtet und darauf achtet, dass vornehmlich nur die aufzunehmenden Flächen, diese aber vollständig sich im Strahlencylinder befinden.

III. Justirung bei der dritten Methode. Convergentstrahlenmethode in 0° -Stellung. (Vergl. Fig. 3.)

1. und 2. wie bei I. 1 und 2.

3. Aufstellen der Lampe BL , so dass der Krater der positiven Kohle in der Mitte des Fadenkreuzes erscheint.

4. Aufstellung der Lampenblende BB' , so dass im Fernrohr das Bild ihrer Öffnung auf die Mitte des Fadenkreuzes fällt.

5. Nach Einlegen der Cassettenblende mit kleinster Öffnung in die Lochcassette, Einsetzen der letzteren in die Camera und Öffnen beider Cassettschieber wird die Camera nach Ent-

fernung des Objectivs parallel verschoben, bis im Fernrohr die Öffnung der Lampenblende durch die der Cassettenblende gesehen wird.

6. = 3. bei I; doch muss hierbei auch auf die Centrirung Gewicht gelegt werden.

7. = 5. bei I.

8. Wiederholung von 5. der dritten Methode und eventuell von 7. der dritten Methode u. s. w.

9. Aufstellung der Linse L in solcher Entfernung von der Lampenblende, dass das von der ein wenig aus der Nullstellung verschobenen Hilfsfläche gespiegelte Bild des Spaltes der Lampenblende auf der Ebene der Mattscheibe scharf erscheint. Die Beobachtung dieses Bildes geschieht, indem man in die Cassette bei Anwendung der weitesten Cassettenblende einen weissen Carton mit entsprechender runder Öffnung einlegt, und zwar an die Stelle, welche später die photographische Platte einnimmt. (Vergl. auch das Schema bei 2. III.)

10. Ohne die Entfernung der Linse von der Lampenblende zu ändern, wird sie so verschoben, dass bei Anwendung der grössten Cassettenblende das Bild des Lampenspaltes im Fadenkreuz des Fernrohrs erscheint.

11. = 7. bei I. Die spiegelnden Flächen müssen möglichst wenig von der Goniometeraxe und der Ebene Collimator—Fernrohraxe abweichen. Es muss hier also sorgfältig centriert werden. Drehung um 135° .

IV. Justirung bei der vierten Methode. Convergentstrahlenmethode in 90° -Stellung.

1.—5. wie bei 1.—5. von I.

6. Verschieben des Collimatorspaltes, so dass sein vergrössertes Bild unter Vermittelung der Hilfsfläche auf die Mattscheibe geworfen wird.

7. Parallelverschiebung der Camera, so dass dies Bild genau auf die Mattscheibmarke fällt.

8. = 7. bei I.

5. Aufnahme des Photogramms.

Die Aufnahme findet zweckmässig in einem verdunkelten Raume statt, wobei aber keineswegs ein so sorgsamer Licht-

abschluss wie etwa in der Dunkelkammer nöthig ist. Das Licht der Bogenlampe ist bei der Aufnahme abzublenden.

Das Goniometer wird unter Anwendung eines passenden Holzgestelles mit schwarzem Tuch bedeckt, das einerseits sich an die Camera anschmiegt, andererseits nur den Collimator zur Hälfte heraus schauen lässt. Es ist ferner nothwendig, das Fernrohrobjectiv um ein Reflectiren desselben, besonders bei den 0° -Stellungen zu verhindern, mit schwarzem Tuch zu bedecken.

Das Einsetzen der Cassette ist ohne Gewalt zu bewerkstelligen, ebenso das Aufziehen der Cassettenschieber. Da die ganze Aufnahme im verdunkelten Zimmer geschieht, kann ein leichter Gang der Cassettenschieber ohne Bedenken auf Kosten lichtdichten Verschlusses geschehen.

Hier möge auch an das bei 1. I. 2 Gesagte erinnert werden.

Vor dem Öffnen controlire man die Bogenlampe. Bei Methode I und II sehe man nach Aufheben des bedeckenden Tuches nach dem hellen Fleck, den der Strahlencylinder in der Verlängerung des Collimators auf die gegenüber liegende Wand wirft. Er muss kreisrund und von gleicher Helligkeit sein wie beim Einstellen. Bei Methode III muss die Linse *L* (Fig. 3) in ihrer Mitte erleuchtet sein und der Fleck auf dem Cassettenschieber (ein Lochbild des Kraters der positiven Kohle) die Marke des Schiebers 2 zum Mittelpunkt haben.

Expositionsverschluss. Wird auf die Platte nur das Reflexbild der gekrümmten Fläche etc. aufgenommen, so kann man bei Methode I, II und IV durch eine Cartonscheibe vor dem Collimator exponiren. Sollen aber ausserdem noch die unten zu beschreibenden Reflexmarken auf die gleiche Platte kommen, so benütze man den Verschluss im Innern der Camera (vergl. 1. I. 2). Der Verschluss bei Methode III ist schon in 2. III angegeben.

Während der Aufnahme vermeide man Erschütterung des Apparates. Man stehe deswegen nicht auf diejenigen Dielen des Fussbodens, auf welchen der Tisch ruht und gehe nicht umher.

6. Bestimmung der Elemente des Photogramms.

Zur Berechnung der Winkel aus den Abmessungen der Platte ist ausser der sorgfältigen Justirung nöthig die Kenntniss folgender Elemente der Aufnahme.

1. Die Distanz = d , d. h. der Abstand des optischen Mittelpunktes des Objectives von der Ebene der Bromsilberschicht der Platte.

Anmerkung. Es wurde hierfür der Ausdruck Distanz aus der Perspective entnommen. Die Brennweite des Objectives lässt sich nicht mit solcher Genauigkeit bestimmen, als im einzelnen Falle die Distanz, welche auf ca. 0,1 mm genau ermittelt werden kann.

Bei Cameragattung γ (vergl. 1. I. 2) wird die Distanz nach einer Neuaufstellung des Apparates eine andere sein und muss dann immer wieder bestimmt werden. Der grosse Vortheil der Cameragattung α und β besteht in der constanten Grösse ihrer Distanz.

2. Derjenige Punkt der Platte, welcher der in $\frac{45^\circ\text{-Stellung}^1}{0^\circ\text{-Stellung}^2}$ bei Methode $\frac{\text{I und IV}}{\text{II und III}}$ befindlichen Fläche entspricht. Wir nennen ihn den Nullpunkt.

3. (Nur bei Methode I und IV nöthig.) Irgend ein anderer Reflexpunkt einer Fläche der der Goniometeraxe parallel gehenden Zone. Dieser bestimmt zusammen mit dem Nullpunkt die x-Axe der Platte.

4. (Nur bei Methode I und IV nöthig.) Die Bezeichnung der Collimatorseite der Platte.

Ad 1. Um die Distanz zu ermitteln, macht man eine Aufnahme des Reflexes der in 45° -Stellung bezüglich 0° -Stellung befindlichen Hilfsfläche.

Hierauf schliesst man die Camera durch den Schieber im Innern (oder in dem Objectivschlitz), lässt aber den Cassetten-schieber unverändert offen. Man dreht nun die Hilfsfläche in die 40° -Stellung ($+5^\circ$ -Stellung), wobei man zur nöthigen Ablesung und Einstellung die Goniometerbedeckung zum Theil aufdecken muss. Nach sorgfältiger Wiederherstellung der Bedeckung exponirt man den Reflex der 40° -Stellung ($+5^\circ$ -Stellung). Zur Erreichung grösserer Genauigkeit verfährt man ebenso in der 50° -Stellung (-5° -Stellung) u. s. w.

Ein solches Aufnahmeverfahren, bei welchem mehrmals exponirt wird und zwischen den Expositionen Verstellungen

¹ Vom Collimator aus gerechnet (Fig. 1).

² Von der Cameraaxe aus gerechnet (vergl. 2. II).

am Goniometer vorgenommen werden, wollen wir eine „combinirte Aufnahme“ nennen.

Ad 2 und 3. Wendet man den Punktspalt zur Photographie der Krystallreflexe an, so kann man den Kreuzspalt dazu verwenden, um durch das Verfahren der combinirten Aufnahme auf der gleichen Platte mit Hilfe der Hilfsfläche den Nullpunkt und etwa einen 5° -Punkt zu bestimmen. Auf diese Weise ergibt sich zugleich Distanz, Nullpunkt und x -Axe.

Ist die Distanz schon bekannt, so braucht bei der zweiten Stellung der Hilfsfläche nicht abgelesen zu werden.

Anmerkung. Ein continuirliches Drehen der Hilfsfläche um die Verticalaxe bei geöffneter Camera, um so die x -Axe auf der Platte darzustellen, ist zu vermeiden. Es ist dann nicht mehr erkennbar, ob in dem Krystallbild etwa Übergänge von einem Reflex zu einem anderen in der x -Axe vorhanden sind. Nimmt man aber nach der combinirten Aufnahme das Krystallreflexbild allein nochmals auf besonderer Platte auf, so ist gegen dies Verfahren nichts einzuwenden.

Beim praktischen Krystallmessen können diese Marken meist wegfallen. Man wird nämlich fast immer den Krystall so einstellen, dass ein bestimmter Reflex in den Mittelpunkt kommt. Dies bietet für Methode II schon genügende Orientirung. Die Orientirung der x -Axe wird sich bei Methode I auch meist aus dem Krystallreflexbild geben, nämlich dann, wenn noch ein anderer Reflex desselben in der Zone parallel der Goniometeraxe liegt. Dies ist meist der Fall, weil man eben den Krystall zur Messung gerade so aufsetzt, dass eine bevorzugt ausgebildete Zone jene Lage hat.

Weniger genau, aber zur Controle brauchbar ist die Bestimmung der Elemente 2 und 3 unter Zuhilfenahme der Begrenzung der photographischen Platte, und zwar der beiden an die Cassette angedrückten Seiten.

Ad 4. Gleich nach dem Einlegen der Platte in die Cassette schreibe man bei wenig aufgezogenem Cassetten-schieber Nummer etc. mit Blei an den Rand der Platte. Es ergibt sich hieraus die Lage des Collimators zur Platte.

Nach dem Trocknen der Platte bezeichne man auf ihr sogleich die Elemente, insbesondere bei Cameragattung γ die Distanz und gebe die Orientirung zum Krystall an.

B. Theoretischer Theil.

I. Zusammenhang der Methode I und IV, sowie der Methode II und III. — Princip der krystallophotogrammetrischen Messung.

Wir befassen uns bei dieser Betrachtung nur mit dem Axenstrahl des Collimators, denn zufolge der bei der Justirung getroffenen Anordnung muss jeder andere Strahl des Collimators mit jenem auf der Platte zusammenkommen und den gleichen Punkt bestimmen.

Die spiegelnde Fläche gehe durch den Schnittpunkt M der drei Axen (Collimatoraxe, Cameraaxe und Verticalaxe des Goniometers). Nach der vierten Methode befindet sich die Platte im Abstand d von diesem Punkt entfernt und der durch M gehende reflectirte Axenstrahl trifft sie in einem Punkte P.

Nach der ersten Methode dagegen trifft der reflectirte Axenstrahl auf das Objectiv der Camera und wird von diesem gebrochen. Den Punkt, in welchem von ihm die Mattscheibe erreicht wird, erhalten wir nach bekannter Regel, indem wir zur ursprünglichen Richtung des reflectirten Axenstrahles eine Parallele durch den optischen Mittelpunkt des Objectives legen. Wir sehen, dass wenn die Distanz der Platte vom optischen Mittelpunkt die gleiche ist wie d bei der vierten Methode, wir identische Bilder erhalten.

Durch den Reflexpunkt ist der reflectirte Strahl bestimmt. Er liegt einmal in der Ebene Cameraaxe—Reflexpunkt (bei IV ist als Cameraaxe die Normale von M auf die Mattscheibe anzunehmen) und zweitens ist sein Winkel mit der Cameraaxe bestimmt durch die Beziehung, dass seine Tangente gleich ist der Entfernung des Reflexpunktes, vom Nullpunkt getheilt durch die Distanz d . Da man nun auch die Collimatorrichtung kennt, ist die Flächennormale als Winkelhalbirende der Collimatoraxe und des Reflexstrahles bestimmt.

Die Entfernung der Camera vom Punkte M bei Methode I hat also keine Einwirkung auf die Grössenverhältnisse des Bildes (abgesehen vom Gesichtsfeld). Die Methode I ist bei gutem Objectiv genau, da hier d constant ist. Die Methode IV ist, theoretisch ungenau (deswegen aber in gewissen Fällen doch praktisch genau genug), weil hier die Grösse d verschieden ist für verschiedene Flächen des Krystals.

Wie Methode I zu IV verhält sich Methode II zu III.

In den folgenden theoretischen Betrachtungen sind die spiegelnden Flächen immer in ihrer idealen Lage durch M gehend zu denken, von welchem Punkt aus auch die Flächennormalen und reflectirten Axenstrahlen ausgehen. Ferner sind bei der Darstellung die anschaulicheren Methoden IV und III zu Grunde gelegt, wobei man sich immer erinnere, dass alles Abgeleitete ebensogut auf Methode I bzw. II anwendbar ist.

2. Orientirung über die in den folgenden Ableitungen verwendeten Coordinaten u. s. w.

I. 90°-Stellung (vergl. Fig. 5 a und b).

Die rechtwinkligen Axen x , y , z sind aus Fig. 5 ersichtlich.

Die x -Axe fällt zusammen mit der Collimatoraxe.

„ y - „ „ „ „ „ Cameraaxe.

„ z - „ „ „ „ „ Verticalaxe des Goniometers.

Die positiven Richtungen sind bezw. gegen den Collimator, die Camera und nach oben gerichtet.

Auf der photographischen Platte, welche parallel der xz -Ebene ist, nehmen wir als x -Axe und z -Axe die Schnittlinien der Platte mit der xy - bezüglich yz -Ebene an. Die positive x -Richtung gehe gegen die Collimatorseite hin, die positive z -Richtung zeige in der Stellung bei der Aufnahme nach oben. Sinn und Richtung entspricht also den räumlichen Axen.

Einen Flächenpol legen wir fest

1. Durch die Coordinaten λ und $\mu = 45^\circ \mp \frac{m}{2}$. Diese ergeben sich aus Fig. 5, wobei noch hinzuzufügen, dass $\mu = 45^\circ \mp \frac{m}{2}$ vom Collimator an, λ von der xy -Ebene an zählt. μ ist für unsere Zwecke immer positiv, λ ist positiv oder negativ, je nachdem die z -Coordinate des Poles positiv oder negativ ist. Der Winkel λ findet sich in der Fig. 5 nochmals als Bogen eines grössten Kreises.

2. Durch die Coordinaten ψ und φ , wo ψ der geographischen Länge, φ der Breite entspricht. ψ zählt vom

Collimator an und ist dann für unsere Zwecke immer positiv. φ zählt von der xy -Ebene an, ist nach oben positiv, nach unten negativ. Die Länge kann natürlich durch blosse Addition oder Subtraction eines Winkelwerthes zu ψ von jedem anderen Punkt der xy -Ebene an gerechnet werden.

II. 0° -Stellung (vergl. Fig. 6).

x -, y - und z -Axe im Raum wie bei I.

x - und z -Axe der Platte wie bei I.

Ein Flächenpol wird bestimmt

1. Durch ϱ und $\mu = \frac{R}{2}$. ϱ zählt von der xy -Ebene an, der positive Drehungssinn ist nach oben angenommen. $\mu = \frac{R}{2}$ zählt von der positiven y -Axe an und ist immer positiv.

2. Durch ψ und φ entsprechend der geographischen Länge und Breite. ψ zählt von der positiven y -Axe an und ist nach links positiv, nach rechts negativ. φ wie bei I.

Anmerkung. Bei dem positiven Drehungssinn der Winkel ϱ und ψ wurde nicht Rücksicht genommen auf das räumliche Coordinatensystem, sondern sie wurden im Anschluss an die Coordinaten der photographischen Platte in obiger Weise ausgewählt.

3. Berechnung der sphärischen Coordinaten der Flächenpole aus den Abmessungen auf der photographischen Platte.

I. Bei der 90° -Stellung.

Die Winkel λ und R erhält man aus den Abmessungen $z =$ Entfernung des Reflexpunktes von der x -Axe und $r =$ Entfernung des Reflexpunktes vom Nullpunkt durch die Beziehung:

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{z}{d}; \quad (\text{I})$$

$$\operatorname{tg} R = \frac{r}{d}; \quad (\text{II})$$

Hierauf findet man aus dem die Stücke m , R , λ enthaltenden rechtwinkeligen Dreieck der Fig. 5:

$$\cos m = \frac{\cos R}{\cos \lambda}; \quad (\text{III})$$

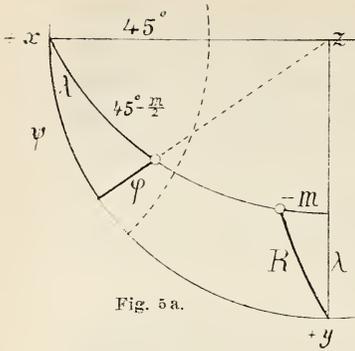


Fig. 5a.

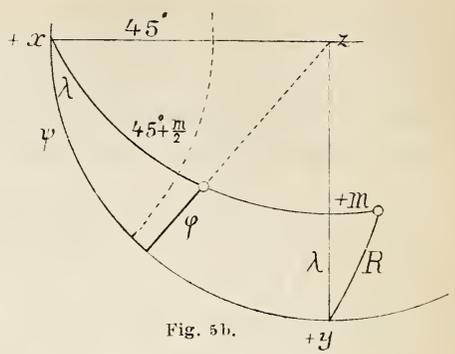


Fig. 5b.

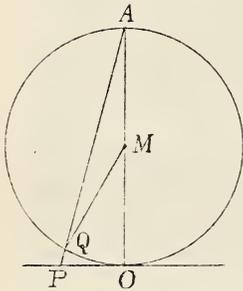


Fig. 9.

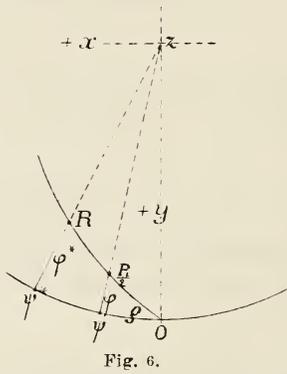


Fig. 6.

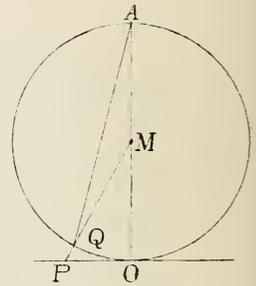


Fig. 10.

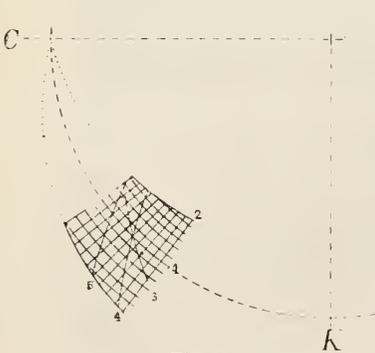


Fig. 7.

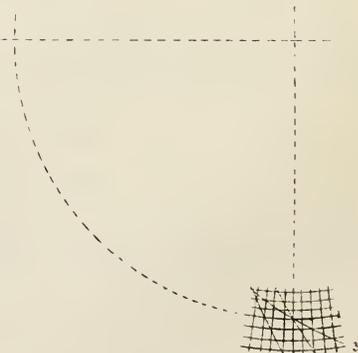


Fig. 8.

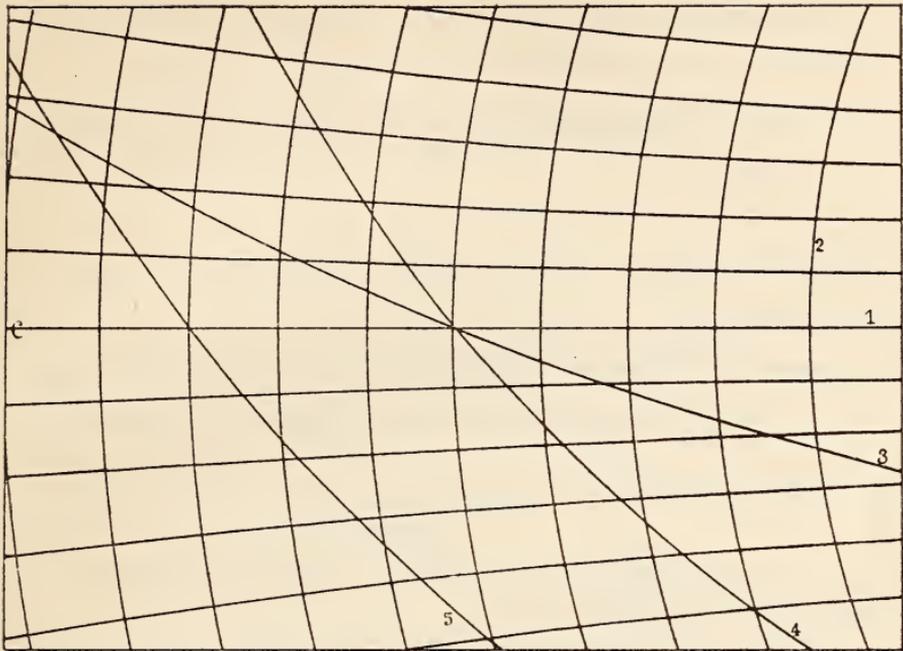


Fig. 11.

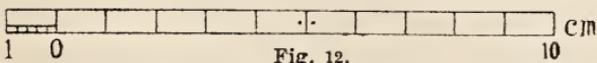
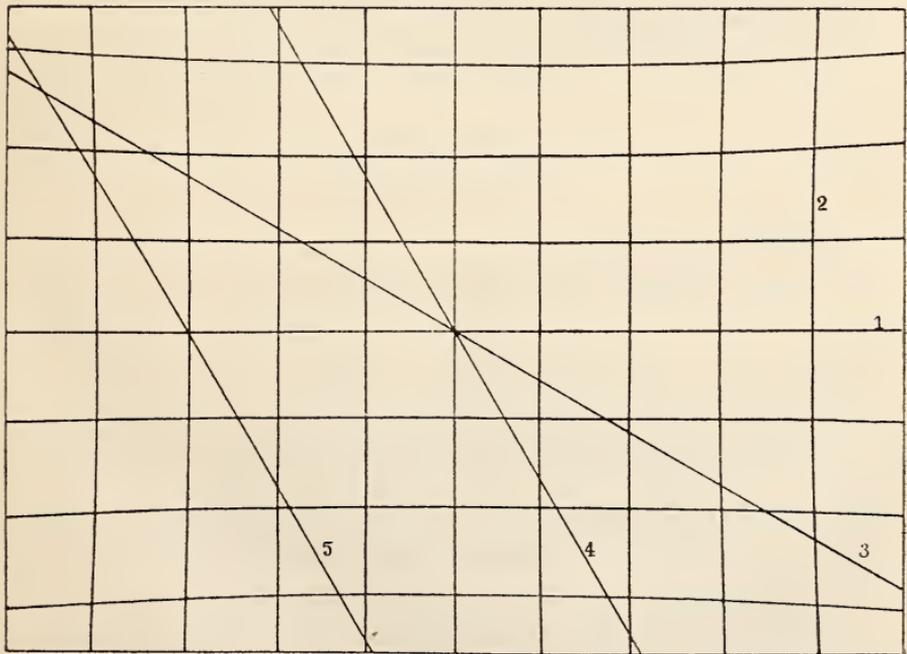


Fig. 12.

Die Flächennormale ist jetzt bestimmt durch die vom Collimator aus gerechneten Coordinaten:

$$\lambda, \mu = 45^\circ - \frac{m}{2} \text{ falls der Reflex auf der linken Seite der Platte liegt} \\ \text{(Fig. 5 a)}$$

oder

$$\lambda, \mu = 45^\circ + \frac{m}{2} \text{ „ „ „ „ „ rechten „ „ „ „ „} \\ \text{(Fig. 5 b).}$$

Die Coordinaten ψ und φ ergeben sich aus den Gleichungen:

$$\operatorname{tg} \psi = \cos \lambda \operatorname{tg} \left(45^\circ \mp \frac{m}{2} \right); \quad \text{(IV)}$$

$$\sin \varphi = \sin \lambda \sin \left(45^\circ \mp \frac{m}{2} \right); \quad \text{(V)}$$

ψ wird hierbei immer positiv, φ positiv oder negativ, je nach dem Vorzeichen von λ .

Liegt der Reflexpunkt nahe der z-Axe, so dass seine x-Coordinate klein im Verhältniss zur z-Coordinate, dann wird die Bestimmung von m durch Gleichung (III) unscharf und man rechnet genauer:

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{z}{d}; \quad \text{(I)}$$

$$\operatorname{tg} m = \frac{x}{d} \cos \lambda; \quad \text{(III*)}$$

u. s. w. wie oben.

Für $\lambda = 0$ wird

$$m = R = \operatorname{arctg} \frac{r}{d} = \operatorname{arctg} \frac{x}{d}$$

und

$$\psi = \mu = 45^\circ \mp \frac{m}{2};$$

d. h. in der Zonenebene Collimatoraxe—Cameraaxe ist der Winkel, den die Flächennormale mit der 45° -Stellung bildet, gleich der Hälfte des Winkels, den der reflectirte Strahl mit der Plattennormale einschliesst.

Stellen wir die Camera so auf, dass ihre Axe einen anderen Winkel als 90° , etwa 60° oder 120° mit dem Collimator bildet, dabei aber immer senkrecht zur Axe des Goniometers angenommen wird, so ändert sich der eben ausgesprochene

Satz nicht, nur dass „45°-Stellung“ durch 30°- bzw. 60°-Stellung zu ersetzen ist.

Für $\lambda \geq 0$ würden jedoch bei diesen Aufstellungen der Camera die Beziehungen complicirter werden.

II. Bei der 0°-Stellung.

Die Flächennormale möge bestimmt werden durch die Coordinaten ϱ und $\frac{R}{2}$ (Fig. 6). Es kann ϱ direct auf der Platte gemessen werden als derjenige Winkel, den die Verbindungsgerade r des Reflexpunktes mit dem Nullpunkt mit der positiven x -Axe bildet.

Oder man findet ϱ nach Messung der x - bezüglich z -Coordinate aus einer der Beziehungen

$$\frac{x}{r} = \cos \varrho; \quad \frac{z}{r} = \sin \varrho; \quad \frac{z}{x} = \operatorname{tg} \varrho \quad (\text{I}')$$

R ergibt sich wieder aus der Gleichung

$$\frac{r}{d} = \operatorname{tg} R \quad (\text{II}') = (\text{II})$$

Will man den Pol der Flächennormale nach Länge und Breite ausdrücken, so bedient man sich der leicht aus Fig. 6 ablesbaren Gleichungen

$$\operatorname{tg} \psi = \operatorname{tg} \frac{R}{2} \cos \varrho \quad (\text{III}')$$

$$\sin \varphi = \sin \frac{R}{2} \sin \varrho \quad (\text{IV}')^1$$

hierbei ist $\frac{R}{2}$ immer positiv zu nehmen; ϱ bestimmt dann die Vorzeichen von ψ und φ .

Eine weitere Methode, ψ und φ mit Hilfe einer Tabelle zu finden oder weniger genau durch ein Diagramm, wird im Anschluss an den nächsten Abschnitt besprochen werden.

4. Curven der Platte, welche bei der 90°-Stellung den Zonenebenen entsprechen.

Es ist von grosser Wichtigkeit zum Verständniss der photographischen Reflexbilder, zu wissen, wie die einer Krystallzone

¹ Bei sehr kleinen Winkeln vereinfachen sich die Formeln dadurch, dass man für $\sin \frac{R}{2}$ und $\operatorname{tg} \frac{R}{2}$ den gleichen Werth setzen darf.

entsprechenden Reflexe auf der Platte liegen müssen. Es sei hier die analytische Ableitung dieser Curven entwickelt.

Unter Annahme des in B. 2. I. beschriebenen Coordinatensystems sei gegeben die Ebene der Flächennormalen der Krystallzone:

$$x - my - nz = 0 \quad (a)$$

ξ , η und ζ seien die Richtungscosinus eines reflectirten Strahles, dessen Gleichung somit lautet:

$$\frac{x}{\xi} = \frac{y}{\eta} = \frac{z}{\zeta} \quad (b)$$

Da nun die Richtungscosinus der Collimatoraxe 1, 0, 0 sind, so wird die Flächennormale als Halbirende beider Richtungen ausgedrückt durch die Gleichungen

$$\frac{x}{\xi + 1} = \frac{y}{\eta} = \frac{z}{\zeta} \quad (c)$$

Durch Einsetzen der Werthe von x , y und z aus (c) in (a) erhalten wir

$$\xi = m\eta + n\zeta - 1 \quad (d)$$

Hierzu kommt die Relation

$$\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 = 1 \quad (e)$$

(d) und (e) gestattet etwa ξ und η durch ζ und die gegebenen m und n auszudrücken. Setzt man zur Abkürzung

$$R = \sqrt{m^2(1 - n\zeta)^2 - (m^2 + 1)(\zeta - 2n + n^2\zeta)\zeta} \quad (f)$$

so wird

$$\eta = \frac{m(1 - n\zeta) \pm R}{m^2 + 1}; \quad \xi = m \frac{m(1 - n\zeta) \pm R}{m^2 + 1} + n\zeta - 1 \quad (g_1), (g_2)$$

Wir substituieren diese Werthe in (b) und setzen $y = 1$, indem wir zur Schnittcurve des Kegels der Reflexstrahlen mit der Ebene der Platte übergehen. Die Distanz d haben wir hierbei gleich der Einheit angenommen, was die Allgemeingültigkeit der Ableitung nicht beschränkt.

Man erhält jetzt leicht zum Zwecke der Elimination von ζ

$$\frac{\zeta}{z} = \frac{m(1 - n\zeta) \pm R}{m^2 + 1} \quad (h)$$

und

$$\zeta = \frac{z}{nz + m - x} \quad (i)$$

Die Combination von (h), (i) und (f) liefert uns

$$(n^2 - 1)z^2 - 2nxz - 2mx + 2nmz + m^2 - 1 = 0 \quad (k_1)$$

als Gleichung einer Hyperbel. Diese geht durch die Coordinatentransformation

$$\begin{aligned} x &= a + x' \cos \sigma - z' \sin \sigma \\ z &= b + x' \sin \sigma + z' \cos \sigma \end{aligned}$$

wobei

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \sigma &= -n; \quad a = -\frac{b}{n} = \frac{m - \sqrt{\frac{m^2 + n^2}{1 + n^2}}}{n^2} \\ b &= \frac{-m + \sqrt{\frac{m^2 + n^2}{1 + n^2}}}{n} \end{aligned}$$

über in die Scheitelgleichung

$$z'^2 = 2\sqrt{m^2 + n^2} \cdot x' + n^2 x'^2 \quad (l_1)$$

Von dieser Hyperbel kommt nur der Ast in Betracht, welcher durch den Anfangspunkt der neuen Coordinaten geht. Der Scheitel dieses Astes entspricht derjenigen Flächennormalen der Zonenebene, welche dem Collimator am nächsten liegt. Die Axe der Hyperbel steht senkrecht auf der Schnittgerade der Zonenebene mit der xz -Ebene. Der Krümmungsradius der Hyperbel im Scheitel ist gleich $\sqrt{m^2 + n^2}$. Mit sehr grosser Annäherung lässt sich die Hyperbel, soweit sie auf der photographischen Platte verläuft, durch diesen Krümmungskreis ersetzen.

Specielle Zonenebenen.

Geht die Zonenebene durch die Gerade $x = y$, $z = 0$, so liegt der Scheitel der Hyperbel im Nullpunkt der Platte. Für $m = 1$, $n = k$ geht (k_1) über in

$$(k^2 - 1)z^2 - 2kxz - 2x + 2kz = 0 \quad (k_2)$$

Diese Gleichung verwandelt sich durch die Transformation

$$\begin{aligned} x &= x' \cos \sigma - z' \sin \sigma \\ z &= x' \sin \sigma + z' \cos \sigma \end{aligned}$$

in

$$z'^2 = 2\sqrt{1 + k^2} \cdot x' + k^2 x'^2 \quad (l_2)$$

Der Mittelpunkt des Krümmungskreises hat die Coordinaten $x = -1$, $z = k$.

Ist die Zonenebene eine Verticalebene

$$\frac{x}{y} = k$$

so erhalten wir die Curve

$$z^2 + 2kx + 1 - k^2 = 0 \quad (k_2)$$

also eine Parabel, welche durch die Substitution

$$-x = s + x'; \quad \text{wo } s = \frac{1 - k^2}{2k} = -\text{tg}(2\psi - 90^\circ)$$

übergeht in die Scheitelgleichung

$$z^2 = 2kx' \quad (1_3)$$

Geht die Zonenebene endlich durch die Collimatoraxe, so ist die entsprechende Reflexcurve eine Gerade parallel der x-Axe.

In Fig. 11 sind alle diese Fälle, mit Auslassung des letzteren, den man sich ja ohne Abbildung leicht vorstellen kann, dargestellt, und die entsprechenden Zonen sind zur Orientirung in Fig. 7 in stereographischer Projection gegeben. Fig. 11 giebt eine Platte 13×18 cm in verkleinertem Maassstabe wieder bei einer Brennweite von 25 cm. Die den Verticalen entsprechenden Curven haben einen Abstand von je 2° .

Der Gleichung k_1 und l_1 entspricht die Curve 5,

" " k_2 " l_2 " " " 3 und 4,

" " k_3 " l_3 " " " Curvenschaar 2.

Ausser den genannten Curven sind in der Abbildung noch wiedergegeben:

5. Die bei der 90° -Stellung den Parallelkreisen entsprechenden Curven.

Solche Parallelkreise beschreiben eine Flächennormale beim Drehen des Goniometers um seine Verticalaxe. Der Richtungscosinus der Flächennormale mit der z-Axe ist hierbei constant und, wenn ξ , η , ζ wieder die Richtungscosinus des reflectirten Strahles bezeichnen, gleich

$$\frac{\zeta}{\sqrt{(\xi + 1)^2 + \eta^2 + \zeta^2}} \quad (m)$$

Zur Abkürzung möge gesetzt werden das reciproke Quadrat gleich

$$\frac{(\xi + 1)^2 + \eta^2 + \zeta^2}{\zeta^2} = 2c \quad (n)$$

Da nun

$$\xi^2 + \eta^2 + \zeta^2 = 1 \quad (e)$$

erhält man aus (n) und (e)

$$\left. \begin{aligned} \zeta^2 &= \frac{1 + \xi}{c} \\ \eta^2 &= 1 - \xi^2 - \frac{1 + \xi}{c} \end{aligned} \right\} \quad (o)$$

Diese Werthe in die Gleichung (b) der reflectirten Strahlen eingesetzt, ergeben nach Elimination von ξ für $y = 1$ (Schnitt mit der Platte) die Curvengleichung

$$x^2 = \frac{\{(c - 1)z^2 - 1\}^2}{(2c - 1)z^2 - 1} \quad (p)$$

Für das Vorzeichen von x ist maassgebend: z wird gegen den Collimator hin grösser. Der Curvenast, bei welchem z kleiner wird, gehört nicht hierher.

Die in der Zeichnung dargestellten Parallelkreise (Fig. 7 und Fig. 11 (Curven 1) stehen jedes Mal um 2° von einander ab. Man sieht ein, wie hier ein Reflexbild in der Richtung der z -Axe zusammengedrückt erscheinen muss.

Um diese Verhältnisse noch anschaulicher zu machen, ist ein und derselbe Reflexzug¹ in verschiedener Orientirung auf Taf. I dargestellt. Bei Fig. 1 liegt die Haupterstreckung desselben in der x -Axe, bei Fig. 2 in der z -Axe und bei Fig. 3 und 5 zu beiden geneigt. In Fig. 1 erscheint er schmaler, in Fig. 2 breiter. Auf Fig. 2 ist der gleiche Reflexzug zwei Mal (durch den Nullpunkt gehend und dem Collimator mehr genähert) dargestellt. Der Pfeil giebt die positive x -Axe an.

6. Curven der Platte, welche bei der 0° -Stellung den Zonenebenen entsprechen.

Bei dieser Anordnung hat keine durch den Nullpunkt gehende Richtung der Platte den Vorzug vor einer anderen. Wir brauchen vorerst nur diejenigen Zonenebenen zu betrachten, welche durch die z -Axe gehen, für ihre Reflexcurven

¹ Der Reflexzug gehört einem Kalkspathkrystall von Oberscheld bei Dillenburg an, auf dessen Messung ich in einer späteren Arbeit zurückkommen werde. Fig. 1—3 sind nach Methode I, Fig. 5 nach Methode IV mit grösserer Distanz aufgenommen.

auf der Platte ist die x -Axe Symmetrielinie. Durch Drehung des ganzen Systems der in Betracht gezogenen Ebenen und ihrer Reflexe um die y -Axe werden dann alle möglichen Ebenen und deren Reflexcurven erhalten.

Die Richtungscosinus des reflectirten Strahles mögen wieder ξ , η , ζ sein, so dass Gleichung (b) und (e) unverändert bleibt. Da jetzt aber die Richtungscosinus des Collimators 0, 1, 0 sind, so ist als Gleichung der Halbirungsgeraden zu schreiben statt (c):

$$\frac{x}{\xi} = \frac{y}{\eta + 1} = \frac{z}{\zeta} \quad (c')$$

Die gegebene Zonenebene habe die Gleichung:

$$\frac{x}{y} = k \quad (q)$$

und wir wollen zur Abkürzung setzen:

$$\frac{z}{y} = \lambda \quad (r)$$

Durch Substitution in (c') ergibt sich:

$$\left. \begin{aligned} \xi &= k(\eta + 1) \\ \zeta &= \lambda(\eta + 1) \end{aligned} \right\} \quad (s)$$

Durch Quadriren und Addiren der Gleichungen (s) findet man nach leichter Umformung:

$$\eta = \frac{1 - k^2 - \lambda^2}{1 + k^2 + \lambda^2} \quad (t)$$

Die Werthe für ξ , η und ζ sind nun in (b) einzusetzen und λ daraus zu eliminiren. Z. B. aus (b) folgt in Verbindung mit (s):

$$\frac{x}{k} = \frac{z}{\lambda}; \quad \text{d. h. } \lambda = \frac{k \cdot z}{x} \quad (u)$$

und

$$\frac{x}{ky} = \frac{\eta + 1}{\eta} \quad (v)$$

Unter Benützung der Werthe von (t) und (u) liefert (v) die Gleichung des Kegels der reflectirten Strahlen:

$$(k^2 - 1)x^2 + 2kxy + k^2z^2 = 0 \quad (w')$$

der zum Schnitt mit der Platte gebracht, die Curvengleichung liefert:

$$z^2 = \frac{2}{k}x + \frac{1 - k^2}{k^2}x^2 \quad (w)$$

Wir erhalten also wieder eine Hyperbel und da $k = \operatorname{tg} \psi$, wo ψ der Winkel zwischen Flächennormale und y -Axe, da ferner $\frac{2k}{1-k^2} = \operatorname{tg} 2\psi$, so können wir die Hyperbel folgendermaassen uns anschaulich machen:

Einer verticalen Zonenebene, welche mit der y -Axe den Winkel ψ bildet, entspricht ein Hyperbelast, dessen Scheitel vom Nullpunkt eine Entfernung $= 2a = \operatorname{tg} 2\psi$ hat. Der andere Ast der Hyperbel geht durch den Nullpunkt der Platte. Der Radius des Krümmungskreises im Scheitel ist gleich $\pm \operatorname{cotg} \psi$.

In Fig. 12 (Curvenschaar 2) ist eine Schaar solcher Hyperbeläste dargestellt, welche Verticalzonen im Winkelabstand von je 2° entsprechen. Durch Drehung dieser Curvenschaar um den Anfangspunkt bekommt man alle Reflexcurven, welche Zonenebenen im Winkel von $2^\circ, 4^\circ \dots$ zur y -Axe geneigt entsprechen. Die Curven 3, 4 gehen durch die y -Axe und sind, wie die entsprechenden Zonenebenen, im Winkel von 30° bzw. 60° zur x -Axe geneigt. Der Curve 5 entspricht eine Ebene gleichfalls im Winkel von 60° gegen die xy -Ebene geneigt, deren Schnittgerade mit der xy -Ebene einen Winkel von 6° mit der y -Axe bildet. Zur besseren Übersicht sind diese Zonenebenen in Fig. 8 in stereographischer Projection dargestellt.

7. Die bei der 0° -Stellung den Parallelkreisen entsprechenden Curven.

Setzt man das constante reciproke Quadrat des Richtungs-cosinus der Flächennormale mit der z -Axe gleich

$$\frac{\xi^2 + (\eta + 1)^2 + \zeta^2}{\zeta^2} = 2c$$

so erhält man durch analoge Rechnung wie bei der 90° -Stellung als Curvengleichung:

$$x^2 = \frac{(2c - 1) \frac{z^2}{x^2} - 1}{\left\{ (c - 1) \frac{z^2}{x^2} - 1 \right\}^2}$$

Diese Gleichung kann zur Berechnung der Curve dienen, wenn man die Richtung des Radiusvectors willkürlich annimmt,

hieraus $\left(\frac{z^2}{x^2}\right)$ und durch Einführung dieses Ausdruckes in obige Gleichung x^2 und x berechnet.

Die den Parallelkreisen entsprechenden Curven sind ebenfalls auf Fig. 12 (Schaar 1) dargestellt und entsprechen Abständen von je 2° .

Man sieht aus Betrachtung der Fig. 12, wie dem gleichen Winkel an verschiedenen Stellen der Platte eine nicht allzu unterschiedene Strecke entspricht. Das Reflexbild zeichnet sich deswegen hier durch eine unmittelbar wahre Anschaulichkeit aus. Alle durch den Nullpunkt gehenden Zonenebenen sind gerade Linien, die anderen Zonen weichen nicht sehr beträchtlich davon ab.

Fig. 4 der Tafel II zeigt das gleiche Reflexbild wie in Fig. 1, 2, 3 und 5 in der 0° -Stellung wiedergegeben, und zwar einmal durch den Nullpunkt gehend und auch nach rechts verschoben.

8. Der Reflexkegel einer Zone.

Wir wollen die analytischen Ableitungen durch eine anschauliche Betrachtung ergänzen. Um die Axe der Krystalzone sei derjenige Umdrehungskegel beschrieben, welcher die Collimatoraxe als Erzeugende enthält. Die Ebene senkrecht zur Kegelaxe im Mittelpunkt errichtet, enthält die Flächennormalen. Die erzeugenden Halbstrahlen des nicht die Collimatoraxe enthaltenden Kegelastes sind die reflectirten Strahlen, denn die Winkelhalbirende zweier, auf verschiedenen Kegelästen gelegenen erzeugenden Halbstrahlen liegt in der durch den Nullpunkt gelegten Normalebene der Kegelaxe.

Die Schnittlinien der Reflexstrahlen einer Zone mit der Platte müssen also Kegelschnitte sein.

Bei der 90° -Stellung schneidet die Ebene der photographischen Platte im allgemeinsten Fall beide Kegelhälften, wir haben also dann Hyperbeln (Fig. 11. Curve 3, 4, 5). Die Reflexcurve ist nur der dem Nullpunkt der Platte näher gelegene Ast der Hyperbel. Ist aber die Zonenebene vertical, geht also die Platte der an die Collimatoraxe gelegten Tangentialebene parallel, so haben wir Parabeln. Geht die Zonenebene durch die Collimatoraxe, so degenerirt der Kegel

in eine Ebene, die Schnittcurve in eine Gerade. (Auf Fig. 11 ist diese Schaar parallel der x-Axe hinzuzudenken.)

Bei der 0° -Stellung geht eine Erzeugende des Kegelschnitts (die Collimatoraxe) immer durch den Nullpunkt der Platte und es werden beide Kegelhälften geschnitten. Wir haben also immer Hyperbeln derart, dass der Nullpunkt der Scheitel des nicht in Betracht kommenden Astes ist (Fig. 12. Curven 2 und 5). Geht die Zonenebene durch den Collimator, dann degeneriert der Doppelkegel in eine Ebene. Die beiden Hyperbeläste fallen in eine durch den Nullpunkt gehende Gerade zusammen (Fig. 12. Curven 3 und 4¹).

9. Praktische Anwendung der Reflexnetze.

Es ist ohne Weiteres verständlich, wie die Reflexnetze, in exacter und engmaschiger Ausführung auf Glas- oder Celluloidplatte gedruckt oder photographirt, eine directe Bestimmung der ψ und φ ermöglichen, allerdings weniger genau, als durch Abmessung auf der Platte und Berechnung. Die Punkte einer Curve 2 entsprechen gleichem ψ , die ein und derselben Curve 1 gleichem φ .

Eine wesentliche Erleichterung der Berechnung von ψ und φ kann bei der 0° -Stellung durch eine Tabelle ermöglicht werden, deren Princip sich aus dem Reflexnetz ergibt. Die Tabelle hat doppelten Eingang nach der x- und der z-Coordinate und giebt eine Correctur für das x und eine solche für das z, eines Punktes P , wodurch x und y in x' und y' übergehen. x' ist hierbei die x-Coordinate des Schnittpunktes der x-Axe mit der durch P hindurchgehenden Reflexcurve der Schaar 2 Fig. 12, z' die z-Coordinate der z-Axe mit der durch P hindurchgehenden Reflexcurve der Schaar 1 Fig. 12. Man findet deshalb

$$2\psi = \text{arctg } x'; \quad 2\varphi = \text{arctg } z'$$

Da die Correcturen sehr klein sind und in weiteren Grenzen interpolirt werden kann, so wird diese Tabelle nicht sehr umfangreich und kostspielig.

¹ Bis zur Fertigstellung der Instrumente werde ich auch diese Verhältnisse erklärende Modelle construiren, sie in der angekündigten Arbeit erläutern und ihre Bezugsquelle angeben.

Die Schaffung der Tabelle und der exacten Reflexnetze ist aber erst ausführbar nach endgültiger Entschliessung für eine Normalcamera. Eine solche ist für die Brauchbarkeit des ganzen Verfahrens von grösster Wichtigkeit. Die von den einzelnen Krystallographen erhaltenen Abbildungen sind dann ohne Weiteres miteinander vergleichbar.

Ausser Berechnung und Construction bietet sich noch ein directes photographisches Verfahren zur Herstellung der Reflexnetze dar, nämlich durch Zuhilfenahme eines geeigneten zweikreisigen Goniometers, bei welchem der Krystall auch noch um eine horizontale Axe messbar gedreht werden kann. Es wird hierdurch ermöglicht, die reflectirende Hilfsfläche in einer combinirten Aufnahme das ganze Reflexnetz auf die Platte werfen zu lassen.

10. Die Reflexprojection.

Wir können das Photogramm bei der 0° -Stellung noch von einem anderen Standpunkt aus, dem der darstellenden Krystallographie, betrachten und finden in ihr eine Projectionsmethode, welche in enger Beziehung zur stereographischen Polarprojection und zur gnomonischen Projection steht.

Wir denken uns um den optischen Mittelpunkt M (Fig. 10) des Objectivs eine Kugel mit der Distanz $= d$ als Radius geschlagen, welche also die photographische Platte in ihrem Nullpunkte O berührt. P sei ein Reflexpunkt. Wir verbinden P mit M und den hierdurch erhaltenen Schnittpunkt Q mit A , dem Gegenpunkt von O auf der Kugel. Da der Winkel QAO ein Peripheriewinkel über dem gleichen Bogen wie der Centriwinkel PMO ist, so ist QAO die Hälfte des Winkels zwischen auffallendem und reflectirtem Strahl: AQ ist die Richtung der zum Reflex P gehörigen Flächennormale.

Wir können jetzt das Bündel der Flächennormalen, die den Reflexen der Platte entsprechen, durch den Punkt A legen mittelst der gleichen Construction. Schneiden wir die so erhaltenen Flächennormalen mit der Ebene der Platte, dann erhalten wir auf ihr eine gnomonische Projection. Der Radius der der gnomonischen Projection zu Grunde liegenden Hilfskugel ist gleich dem Durchmesser der Kugel in Fig. 10.

Je mehr man sich dem Punkte O nähert, desto mehr fällt die Reflexprojection mit der gnomonischen zusammen. Dies äussert sich in Fig. 12 in der Annäherung der Abbildung der Zonen an die gerade Linie im mittleren Gebiete der Platte.

Man kann auch aus der Reflexprojection die gnomonische dadurch entstehen lassen, dass man jeden Punkt sich gegen den Nullpunkt O hin um einen Betrag δ verschieben lässt. Bestimmt der Reflexpunkt P den Winkel $PMO = 2\alpha$, so ist für ihn

$$\delta = d \operatorname{tg} 2\alpha - 2d \operatorname{tg} \alpha = OP - 2d \operatorname{tg} \alpha$$

Umgekehrt können wir auch leicht durch die Construction der Fig. 10 zu einem gegebenen Bündel der Flächennormalen das zugehörige Bündel der reflectirten Strahlen und die Reflexpunkte selbst finden.

Fig. 9 veranschaulicht die stereographische Polarprojection, um die analogen Beziehungen derselben zur Reflexprojection (Fig. 10) zu zeigen.

Stereographische Projection Fig. 9.	Reflexprojection Fig. 10.
Der Winkel der Flächennormalen mit OA ist gleich	
2α	α
Der Winkel des projicirenden Strahles mit OA ist gleich	
α	2α
Das Bündel der Flächennormale geht durch	
M	A
Das Bündel der projicirenden Geraden der Kugelpunkte geht durch	
A	M

Es ist leicht, mittelst einer Erweiterung der Hilfsfigur (Fig. 10) auch die stereographische Projection aus der Reflexprojection abzuleiten. Man beschreibe um den Punkt A einen durch O gehenden Kreis. Der Schnittpunkt dieses Kreises mit OA heisse A' , der mit AQ heisse Q' . Die Gerade $A'Q'$ bestimmt nun durch ihren Schnitt mit PO den dem Punkte P entsprechenden Punkt der stereographischen Projection.

Jeder Punkt P der Reflexprojection rückt also gegen den Nullpunkt O der Platte um einen Betrag δ' , welcher

sich aus der besprochenen Figur in der Ebene POM ergibt.

Hat man häufig solche Umwandlungen auszuführen, so wird man sich mit Vortheil ein Diagramm construiren für die Distanz der gebrauchten Camera, welches zu dem auf der Platte abzugreifenden $r = OP$ das zugehörige $r - \delta$ bzw. $r - \delta'$ liefert.

Mineralogisches Institut der Universität Giessen.



Max Schwarzmann phot.

Lichtdruck v. Carl Ebner, Stuttgart.

Krystallophotogrammetrische Aufnahme eines Reflexzuges nach verschiedenen Methoden.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie](#)

Jahr/Year: 1900

Band/Volume: [1900_2](#)

Autor(en)/Author(s): Schwarzmann Max

Artikel/Article: [Krystallophotogrammetrie 1-38](#)