I. Die Skiodromen.

Ein Hilfsmittel bei der Ableitung der Interferenzbilder.

Von **F. Becke.**

(Mit 20 Figuren im Text.)

An den Interferenzfiguren doppelbrechender Krystallplatten beteiligen sich zwei Erscheinungen, die voneinander getrennt behandelt werden können: Die Interferenzfarben als Folge des wechselnden Gangunterschiedes oder die isochromatischen Kurven und die dunklen Barren als Folge der verschieden orientierten Schwingungsrichtungen im Gesichtsfeld oder die Isogyren.

Macht man die Platten sehr dünn, so daß im ganzen Interferenzbild der Gangunterschied nur Bruchteile einer Wellenlänge beträgt, so tritt im ganzen Gesichtsfeld nur das Weiß und Grau erster Ordnung auf und die Barren sind die einzige merkliche übrigbleibende Erscheinung. Bei der konoskopischen Untersuchung von guten Dünnschliffen ist dieser Fall die Regel.

Diese Barren sind also das Wesentliche der Interferenzbilder. Trotzdem geben die meisten Darstellungen der Krystalloptik keine ausführliche Auskunft über die Gestalt und Lage der dunklen Barren bei beliebigen Schnittrichtungen; gewöhnlich werden nur die einfachsten Fälle: Schnitt senkrecht auf die optische Achse einachsiger und auf die erste und zweite Mittellinie zweiachsiger Krystalle betrachtet.

Es dürfte daher nicht überflüssig sein, ein Hilfsmittel anzugeben, das Lage und Gestalt der dunklen Barre für jede beliebige Schnittrichtung eines doppelbrechenden Krystalls anzugeben gestattet.

Dieses Ziel wird erreicht durch die Betrachtung der Schwingungsrichtungen doppelbrechender Krystalle in ihrer Projektion auf die Kugel und die Projektion dieser Schwingungsrichtungen in die Fläche des Interferenzbildes. Diese Projektionen der Schwingungsrichtungen des Krystalls in die Fläche des Interferenzbildes bezeichne ich als Skiodromen.

Die Schwingungsrichtungen einachsiger Krystalle.

Die Orientierung der Schwingungsrichtungen folgt bei einachsigen Krystallen sehr einfachen Gesetzen. Für jede Schnittrichtung ist die Schwingungsrichtung der ordentlichen Welle senkrecht zum Hauptschnitt, der außerordentlichen Welle parallel zum Hauptschnitt. Dieses Verhalten kann in Projektion auf eine Kugel dargestellt werden als ein System von Meridian- und Parallelkreisen. Die Pole, in denen die Meridiankreise zusammenlaufen, bezeichnen die Lage der optischen Achse.

Die Schwingungsrichtungen zweiachsiger Krystalle.

Die Orientierung der Schwingungsrichtungen zweiachsiger Krystalle ist etwas komplizierter, aber sie folgt ebenfalls einem bestimmten Gesetz, das von Fresnel abgeleitet wurde. Man legt durch die Richtung, für die die Schwingungsrichtungen zu bestimmen sind, um die beiden optischen Achsen zwei größte Kreise. Die Halbierungslinien der Winkel, welche diese Großkreise oder vielmehr die im Pol der Schnittrichtung an diese Großkreise gelegten Tangenten einschließen, sind die Schwingungsrichtungen. Von diesen entspricht immer eine (α') der rascheren, die andere (γ') der langsameren Welle.

Die Geschwindigkeits-Ellipsen.

Wie von Beer[1]) gezeigt wurde, entsprechen zwei Systeme von Kugel-Ellipsen[2]), die um die Achsenpunkte auf der Kugelober-

---

[1]) August Beer, Einleitung in die höhere Optik. 2. Auflage bearbeitet von V. von Lang, 1882, pag.373 u. ff., pag.309 u. ff. Vgl. auch F. Becke, „Lotos“ XVII, pag. 127, 1897.

[2]) Das sind Linien, welche auf der Kugeloberfläche nach demselben Gesetz um zwei Punkte gezogen werden, wie Ellipsen in der Ebene um ihre Brennpunkte. Die Summe der Bogenabstände jedes Punktes von zwei gegebenen Punkten (den Achsenpolen) ist gleich einem konstanten Wert 2α. Dies ist die große Achse der Kugel-Ellipse. Die kleine Achse 2β steht mit 2α und $2V$ in der Beziehung:

$$\cos\alpha = \cos V \cos\beta.$$

fläche beschrieben werden, jener Fresnelschen Regel. D. h. die beiden Kugel-Ellipsen, die für jeden Punkt der Kugel gezogen werden können und welche einerseits den spitzen, andrerseits den stumpfen Achsenwinkel umziehen, durchschneiden einander rechtwinklig und die Tangenten an ihnen geben die Schwingungsrichtungen der beiden Wellen an, die ihre Normale im Schnittpunkte der Ellipsen haben.

Wenn man auf einer Kugel in entsprechenden Abständen die beiden Systeme von Kugel-Ellipsen verzeichnet, die den spitzen und den stumpfen Achsenwinkel umziehen, so bedeckt sich die Oberfläche der Kugel mit einem Netzwerk von Linien, mit dessen Hilfe man leicht für jeden Punkt der Oberfläche die Lage der Schwingungsrichtungen interpolieren kann, gerade so wie das Netz der Meridiane und Parallelkreise am Globus für jeden Punkt die Lage der Weltgegenden angibt.

Die um die Achsenpole auf der Kugel gezogenen Kugel-Ellipsen haben, wie Beer a. a. O. zeigt, die weitere Bedeutung, daß die vom Mittelpunkt zu allen Punkten derselben Kugel-Ellipse gezogenen geraden Linien den Normalen solcher Wellen entsprechen, die sich mit gleicher Geschwindigkeit durch den Krystall bewegen.

Die Schwingungsrichtungen aller dieser Wellen stehen senkrecht auf der zugehörigen Kugel-Ellipse. Wegen dieser Eigenschaft heißen die Kugel-Ellipsen auch Geschwindigkeits-Ellipsen.

In einer in den Denkschriften der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften veröffentlichten Studie[1]) wurde gezeigt, wie man diese Geschwindigkeits-Ellipsen berechnen und konstruieren kann, sie sind wesentlich abhängig von dem Winkel der optischen Achsen $2\,V$.

Man kann unterscheiden:

Meridian-Ellipsen[2]), welche den stumpfen Winkel der optischen Achsen $180—2\,V$ umziehen und

Äquatorial-Ellipsen[3]), welche den spitzen Winkel der optischen Achsen $2\,V$ umziehen.

---

1) Optische Untersuchungsmethoden. LXXV. Bd. der Denkschr. d. math.-naturw. Klasse d. kais. Ak. d. Wiss. Wien 1904.

2) Bei Beer, Geschwindigkeits-Ellipsen zweiter Art.

3) Bei Beer, Geschwindigkeits-Ellipsen erster Art.

Beim Übergang zu dem optisch einachsigen Krystall ($2V = 0$) werden die Meridian-Ellipsen zu Meridiankreisen, die Äquatorial-Ellipsen zu Parallelkreisen.

Man kann ferner unterscheiden:

α-Ellipsen — deren Tangenten der Schwingungsrichtung der rascheren Welle entsprechen.

γ-Ellipsen — deren Tangenten der Schwingungsrichtung der langsameren Welle entsprechen.

Bei den optisch positiven Krystallen entsprechen sich:

Meridian-Ellipsen — γ-Ellipsen
Äquatorial-Ellipsen — α-Ellipsen

Bei den optisch negativen Krystallen:

Meridian-Ellipsen — α-Ellipsen
Äquatorial-Ellipsen — γ-Ellipsen

In den Figuren sind die α-Ellipsen gestrichelt, die γ-Ellipsen punktiert dargestellt.

Modelle, bestehend aus einer Holzkugel, auf die die Geschwindigkeits-Ellipsen aufgetragen sind, werden am mineralogischen Institut zur Demonstration seit längerer Zeit angewendet. Gypsmodelle mit den eingezeichneten Geschwindigkeits-Ellipsen für verschiedene Werte von $2V$ werden von der Firma Krantz in Bonn in Handel gebracht.

Die Skiodromen.

Um von den auf der Kugel verzeichneten Geschwindigkeits-Ellipsen zu der Orientierung der Schwingungsrichtungen im Interferenzbild zu gelangen, muß man die mit der Krystallplatte in fester Verbindung gedachte Kugel mit den Geschwindigkeits-Ellipsen in die Ebene des konoskopischen Gesichtsfeldes projizieren. Die Projektion erfolgt entsprechend dem Abbeschen Sinussatz nach den Regeln der orthogonalen Projektion.

Die orthogonalen Projektionen der Geschwindigkeits-Ellipsen in das Gesichtsfeld des Konoskops bezeichne ich als Skiodromen. Auf die Skiodromen lassen sich dieselben Unterscheidungen und Benennungen übertragen, die oben für die Geschwindigkeits-Ellipsen angegeben wurden.

Das Netz der Skiodromen ist abhängig von dem Netz der zwei Arten von Geschwindigkeits-Ellipsen, also von $2V$ und von der

Orientierung der Konstruktionskugel gegen die Konoskop-Achse oder mit anderen Worten von der Schnittrichtung der untersuchten Platte.

Analytisch sind die Skiodromen ziemlich schwer zu behandeln. Nur in gewissen Projektionsrichtungen, und zwar in den Projektionen auf die drei Symmetrie-Ebenen, vereinfacht sich das Netz so, daß es durch leicht konstruierbare Kurven zweiten Grades (Ellipsen und Hyperbeln) dargestellt werden kann.

Die Ableitung dieser Projektionen habe ich nach den Angaben meines verstorbenen Kollegen Bobek a. a. O. in den Denkschriften der mathem.-naturw. Klasse der kais. Ak. d. Wiss., 75. Bd. gegeben.

Hier ist es nur nötig, die Resultate anzugeben.

Bezeichnen wir die konstante Winkelsumme für die Meridian-Ellipsen mit $2\alpha'$, für die Äquatorial-Ellipsen mit 2α, so ergeben sich folgende Bestimmungsstücke der Kegelschnitte in den Projektionen auf die drei Symmetrie-Ebenen.

1. Projektion parallel der Achse z. (Vgl. Fig. 1.)

(Schnitt senkrecht auf die erste Mittellinie.)

Die Äquatorial-Skiodromen liefern Ellipsen mit der

in x liegenden großen Achse $a = \sin\alpha$

in y liegenden kleinen Achse $b = \dfrac{\sqrt{\cos^2 V - \cos^2\alpha}}{\cos V}$

Die Meridional-Skiodromen liefern Hyperbeln mit der

in x liegenden reellen Achse $a' = \cos\alpha'$

in y liegenden imaginären Achse $b' = \dfrac{\sqrt{\sin^2 V - \cos^2\alpha'}}{\cos V}$.

2. Projektion parallel der y-Achse. (Vgl. Fig. 2.)

(Schnitt parallel der Achsenebene.)

Die Äquatorial-Skiodromen liefern Ellipsenstücke mit der

in der x-Achse liegenden großen Achse $a = \dfrac{\sin\alpha}{\sin V}$

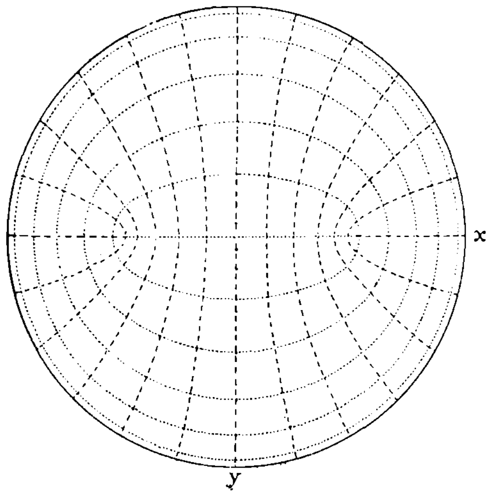
in der z-Achse liegenden kleinen Achse $c = \dfrac{\cos\alpha}{\cos V}$.

Die Meridional-Skiodromen liefern Ellipsen-Stücke mit der

in der z-Achse liegenden großen Achse $c' = \dfrac{\sin\alpha'}{\cos V}$

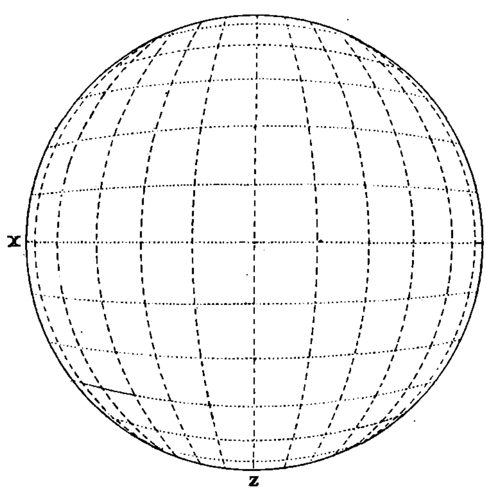
in der y-Achse liegenden kleinen Achse $a' = \dfrac{\cos\alpha'}{\sin V}$.

Fig. 1.



Skiodromen eines optisch zweiachsigen negativen Krystalls, Projektion im Schnitt senkrecht auf die erste Mittellinie. Gestrichelt Meridianskiodromen (α-Skiodromen). Punktiert Äquatorialskiodromen (γ-Skiodromen). $2\ V = 60^0$.

Fig. 2.



Skiodromen eines optisch zweiachsigen negativen Krystalls, Projektion im Schnitt parallel der Achsenebene. $2\ V = 60^0$.

3. Projektion parallel der x-Achse. (Vgl. Fig. 3.)

(Schnitt senkrecht auf die zweite Mittellinie.)

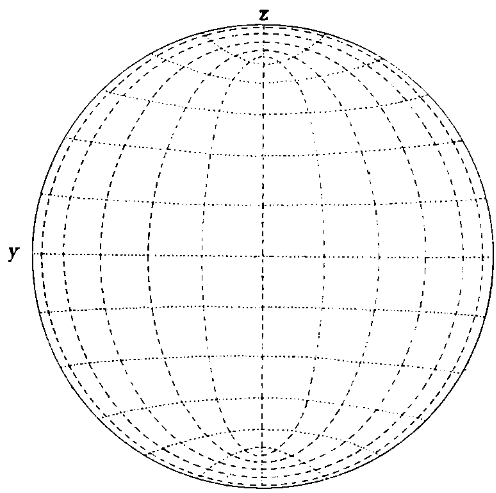
Die Äquatorial-Skiodromen sind Hyperbeln mit der in der z-Ache liegenden reellen Achse $c = \cos \alpha$

in der y-Achse liegenden imaginären Achse $b = \frac{\sqrt{\cos^2 V - \cos^2 \alpha}}{\sin V}$.

Die Meridional-Skiodromen liefern Ellipsen mit der in der z-Achse liegenden großen Achse $c' = \sin \alpha'$

in der z-Achse liegenden kleinen Achse $b' = \frac{\sqrt{\sin^2 V - \cos^2 \alpha'}}{\sin V}$.

Fig. 3.



Skiodromen eines optisch zweiachsigen negativen Krystalls. Projektion im Schnitt senkrecht auf die zweite Mittellinie. $2V = 60^0$.

Um eine Übersicht über die Änderungen der Schwingungsrichtungen im Gesichtsfeld zu erhalten, müssen so viele Kurven eingetragen werden, daß das Gesichtsfeld davon wie mit einem Gradnetz überspannt wird. Zu diesem Behufe muß man die für jede einzelne Ellipse konstante Winkelsumme 2α oder $2\alpha'$ nach irgend einer Regel variieren lassen.

Als zweckmäßig hat sich herausgestellt, nicht α oder α' als unabhängig variable zu behandeln, sondern als solche den Winkel einzuführen, der der k l e i n e r e n A c h s e der Kugel-Ellipse entspricht.

Wir wollen ihn mit β bezeichnen. Er ist mit V, α und α' durch die Beziehung verknüpft:

$$\cos\alpha = \cos V \cos\beta, \qquad \cos\alpha' = \sin V \cos\beta$$

Die Ausdrücke für die Konstanten der Skiodromen in den drei Projektionen werden dann:

1. Projektion parallel der z-Achse.

Äquatorial-Skiodromen (Ellipsen)[1])

$$a = \sqrt{1 - \cos^2 V \cos^2\beta}$$
$$b = \sin\beta.$$

Meridian-Skiodromen (Hyperbeln)

$$a' = \sin V \cos\beta$$
$$b' = \operatorname{tang} V \sin\beta.$$

2. Projektion parallel der y-Achse.

Äquatorial-Skiodromen (Ellipsen)[2])

$$a = \sqrt{\frac{1 - \cos^2 V \cos^2\beta}{\sin V}}$$
$$c = \cos\beta.$$

Meridian-Skiodromen (Ellipsen)[2])

$$c' = \sqrt{\frac{1 - \sin^2 V \cos^2\beta}{\cos V}}$$
$$a' = \cos\beta.$$

3. Projektion parallel der x-Achse.

Äquatorial-Skiodromen (Hyperbeln)

$$c = \cos V \cos\beta$$
$$b = \cos V \sin\beta.$$

Meridian-Skiodromen (Ellipsen)[2])

$$c' = \sqrt{1 - \sin^2 V \cos^2\beta}$$
$$b' = \sin\beta.$$

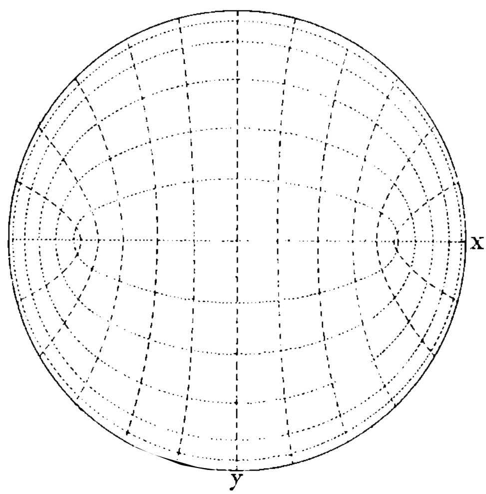
Unter Benutzung dieser Formeln sind die Figuren 1—3 gezeichnet, welche die Skiodromen für $2V = 60^0$ darstellen, wobei $\beta = 15, 30, 45, 60, 75^0$ angenommen wurde. Wenn die punktierten

[1]) Für die Rechnung bequemer ist es zuerst aus $\cos\alpha = \cos V \cos\beta$ α zu suchen und die Formel von pag. 5 zu benutzen.

[2]) Auch hier empfiehlt es sich, zuerst α zu berechnen und die Formeln pag. 5 und 7 zu benutzen.

Skiodromen den Schwingungsrichtungen der langsameren Wellen entsprechen (γ-Skiodromen), die gestrichelten denen der rascheren (α-Skiodromen), so veranschaulichen die Figuren die Verhältnisse eines optisch negativen Krystalls. Wechselt die Bedeutung der punktierten und gestrichelten Skiodromen, so hat man die Verhältnisse eines positiven Krystalls. Die Figuren 4 und 5 stellen die Skiodromen für $2\,V = 90^0$ dar. Zwischen der Projektion parallel z und x ist hier kein weiterer Unterschied als der, daß die punktierten und

Fig. 4.



Skiodromen eines optisch zweiachsigen negativen Krystalls. $2\,V = 90^0$.
Projektion im Schnitt senkrecht zur Mittellinie.

gestrichelten Kurven ihre Bedeutung austauschen. Gezeichnet ist der Schnitt senkrecht auf die Mittellinie α.

Ist das Netz der Skiodromen für einen der symmetrischen Schnitte gefunden, so unterliegt es keiner Schwierigkeit, das Netz der Skiodromen auch für beliebige andere Schnittrichtungen zu konstruieren. Die Methoden hiefür sind a. a. O. angegeben.

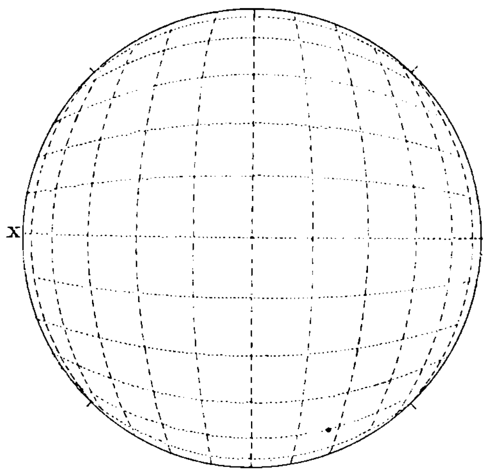
Ableitung der Isogyren aus den Skiodromen.

Die vorstehenden Darlegungen setzen uns in den Stand, für jeden beliebigen Schnitt eines Krystalls das Netz der Skiodromen zu zeichnen. Wir erhalten zwei Systeme einander in der Mitte des

Gesichtsfeldes rechtwinklig durchsetzender Kurven. Am Rande des Gesichtsfeldes schneiden sich die Skiodromen nicht mehr genau rechtwinklig, hier haben wir zwischen gekreuzten Nikols nicht mehr geradlinig polarisiertes, sondern elliptisch polarisiertes Licht.

Die Größe des zentralen Ausschnittes, die für die Ableitung der Isogyren in Betracht kommt, hängt ab von der Apertur des konoskopischen Apparates und von dem mittleren Brechungsexponenten der untersuchten Platte. Ist die numerische Apertur des

Fig. 5.



Skiodromen eines optisch zweiachsigen Krystalls. $2\,V = 90^0$. Projektion im Schnitt parallel der Achsenebene.

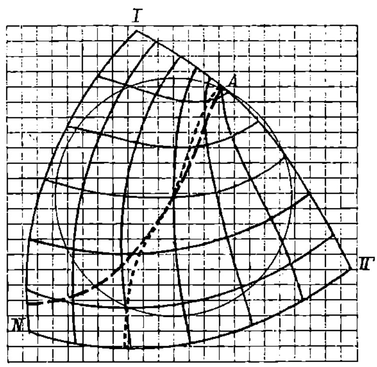
Konoskops $2\,A$ und der Brechungsexponent des Krystalls n, so ist $\frac{A}{n}$ der Radius des Ausschnittes, den das Konoskop zu übersehen gestattet.

Die Skiodromen geben nun Aufschluß und Übersicht über die zwischen gekreuzten Nikols auftretenden dunklen Balken (Isogyren): Alle Punkte des Gesichtsfeldes, wo die Tangente oder Normale einer Skiodrome einem der rechtwinklig gekreuzten Nikol-Hauptschnitte parallel geht, gehören der Isogyre an.

Um praktisch aus dem Skiodromennetz die Isogyre abzuleiten, verwende ich ein auf durchscheinendes Papier gezeichnetes rechtwinkliges Gitter. Legt man es über das Netz der Skiodromen, so kann man leicht die Punkte aufsuchen, wo die Skiodromen die Linien des Nikolgitters tangieren. Indem man die gefundenen Punkte durch einen stetigen Linienzug verbindet, erhält man die Isogyre (vgl. Fig. 6).

Indem man das Skiodromennetz unter dem Nikolgitter dreht in derselben Weise, wie im Mikroskop die Platte zwischen feststehenden Nikols gedreht wird, erhält man auch die Verschiebungen

Fig. 6.



Ableitung der Isogyren aus den Skiodromen. N I II ist ein Oktant der Projektionskugel mit dem Skiodromennetz projiziert entsprechend einem schiefen Schnitt eines zweiachsigen Krystalls. I ist erste, II zweite Mittellinie, N optische Normale, A die Achse. Der Kreis entspricht der Apertur des Konoskops (ca. 30°). Das rechtwinklige Gitter entspricht den Nikol-Hauptschnitten. Gestrichelt ist die Partial-Isogyre der Meridian-Skiodromen, punktiert die Partial-Isogyre der Äquatorial-Skiodromen.

und Gestaltveränderungen, welche die Isogyre bei dieser Operation erfährt. Hierbei sind die aufeinanderfolgenden Lagen der Isogyre auf das feststehende Nikolgitter zu verzeichnen.

Bei dieser Ableitung macht man bald die Erfahrung, daß infolge der am Rande nicht mehr rechtwinkligen Durchschneidung der Skiodromen die Isogyren nicht gleich ausfallen, je nachdem man zu ihrer Ableitung die Meridian- oder Äquatorial-Skiodromen benutzt. Man erhält zwei Partial-Isogyren, die in der Mitte des Gesichtsfeldes allerdings sich decken, gegen den Rand hin aber beträchtlich voneinander abweichen und bei einem Gesichtsfeld von 30—40° um viele Grade auseinanderlaufen. Dies unterbleibt dort, wo die Lage der Isogyre durch die Symmetrie festgesetzt ist, sowie in der Nähe der optischen Achsen, wird aber dort sehr auffallend, wo die Skiodromen nur schwach gekrümmt sind, in der Nähe der Mittellinien, der optischen Normalen und der zwischen diesen gespannten optischen Symmetrie-Ebenen.

Auf diese Erscheinungen soll hier nicht weiter eingegangen werden, da sie weiter keine praktische Bedeutung haben; als resultierende Isogyre werden wir in der Folge einfach die mittlere Lage zwischen den beiden Partial-Isogyren annehmen.

Wenn wir die Skiodromen in der Mitte des Gesichtsfeldes mit den Nikol-Hauptschnitten parallel stellen, so geht die Isogyre durch den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes. Diese Lage der Isogyre soll die zentrale Isogyre heißen. Praktisch finden wir sie in größter Schärfe, wenn wir die Platte in parallelem Licht auf Dunkel einstellen und dann zur konoskopischen Beobachtung übergehen.

Die zentrale Isogyre kann nun entweder gerade oder krumm sein, sie kann im ersten Falle mit einem Nikol-Hauptschnitt zusammenfallen oder mit ihm einen kleineren oder größeren Winkel einschließen. Sie kann bei der Drehung des Tisches verschiedenartige Verschiebungen und Gestaltveränderungen erleiden. Es können unter Umständen zwei getrennte Isogyren auftreten.

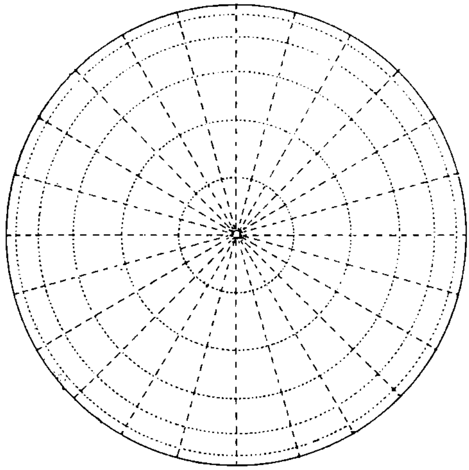
Im folgenden soll zunächst eine Übersicht dieser Erscheinungen je nach den möglichen Schnittlagen an einachsigen und zweiachsigen Krystallen gegeben werden.

Einachsige Krystalle.

1. Schnitt senkrecht zur optischen Achse (vgl. Fig. 7). Die Ableitung des dunklen Kreuzes, dessen Arme bei Drehung der Platte fest bleiben, bei gleichzeitiger Drehung beider Nikols sich gleichsinnig und gleich rasch mitdrehen, bedarf wohl keines Kommentars.

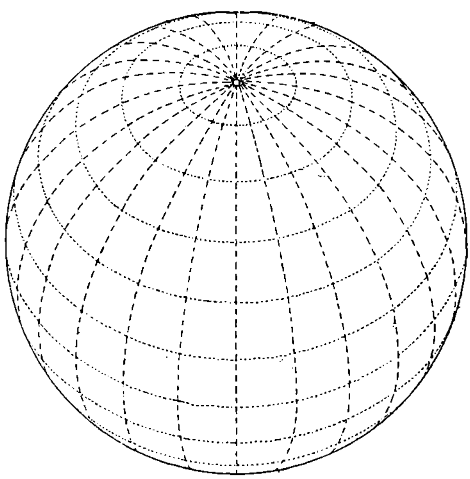
Ist der Schnitt nicht genau senkrecht zur Achse, aber der Achsenpunkt noch im Gesichtsfeld, so wandert bei Drehung der Platte der Mittelpunkt des Kreuzes um die Mitte des Gesichtsfeldes und die Arme erfahren außer einer Parallelverschiebung auch eine kleine Richtungsänderung, welche allerdings nur bei beträchtlicher

Fig. 7.



Skiodromen eines einachsigen negativen Krystalls senkrecht znr Achse.

Fig. 8.



Skiodromen eines einachsigen negativen Krystalls. Schnitt schief zur Achse.

Schiefe des Schnittes und entsprechend großer Apertur des Objektes merklich wird.

2. Schnitte, schief zur optischen Achse (vgl. Fig. 8). Alle derartigen Schnitte verhalten sich insofern ähnlich, als das Skio-

dromen-Netz monosymmetrisch ist zum Hauptschnitt. Man kann immer unterscheiden die Meridian-Skiodromen, die nach der Achse zu konvergieren und von denen eine gerade gestreckt durch die Mitte des Gesichtsfeldes zieht, und die Äquatorial-Skiodromen, die mehr oder weniger konzentrisch durch das Gesichtsfeld laufen. Stellt man die zentralen Skiodromen auf Dunkel, so erhält man als zentrale Isogyre einen geraden Balken, der mit einem Nikol-Hauptschnitt parallel läuft und das Gesichtsfeld symmetrisch halbiert. Er fällt mit der Projektion der Achse und mit der zentralen Meridian-Skiodrome zusammen.

An dieser Isogyre kann man zwei Enden unterscheiden. Bei Drehung der Platte verschiebt sich die Isogyre, und zwar in der Weise, daß das eine Ende sich mit der Drehung des benachbarten Tischrandes im gleichen Sinne bewegt: homodromes Ende, während das andere Ende der Bewegung des benachbarten Tischrandes entgegen wandert: das antidrome Ende.

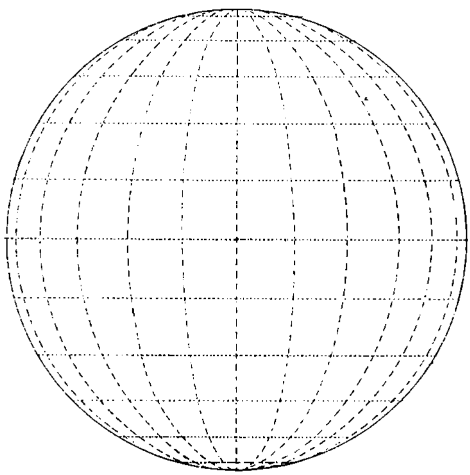
Eine kurze Überlegung läßt erkennen, daß das homodrome Ende sich dort befindet, wo die Äquatorial-Skiodromen ihre Konvexität der Mitte des Gesichtsfeldes zuwenden, während am antidromen Ende die Konvexität nach außen gerichtet ist. Gegen das homodrome Ende konvergieren die Meridian-Skiodromen, gegen das antidrome divergieren sie. Dies gilt ganz allgemein. Bei optisch einachsigen Krystallen ist das homodrome Ende nach jener Seite gerichtet, nach welcher die optische Achse von der Schnittnormalen abweicht.

Bei geringer Schiefe des Schnittes können alle Meridian-Skiodromen als gerade Linien, die Äquatorial-Skiodromen als konzentrische Kurven betrachtet werden. Die Isogyre verschiebt sich dann bei Drehung des Präparates parallel mit sich selbst und mit dem Nikol-Hauptschnitt und bleibt annähernd gerade.

Bei größerer Schiefe sind auch die Meridian-Skiodromen merklich gekrümmt und die Äquatorial-Skiodromen sind nicht mehr konzentrisch, sondern gegen die Achse zu, am homodromen Ende der Isogyre, stärker gekrümmt als am antidromen Ende. Dann erfolgt die Verschiebung des schwarzen Balkens am antidromen Ende rascher als am homodromen und die Isogyre scheint bei der Plattendrehung hin- und herzupendeln. Die in manchen Büchern vorhandene Angabe, daß bei schiefen Schnitten der schwarze Balken einachsiger Krystalle stets gerade durch das Gesichtsfeld wandere, ist unrichtig.

Jeder schiefe Schnitt eines einachsigen Krystalls liefert eine gerade, zentrale, symmetrisch halbierende Isogyre parallel einem Nikol-Hauptschnitt. Dieses Verhalten läßt die Einachsigkeit eines Minerals auch dann mit Sicherheit erkennen, wenn unter den geprüften Durchschnitten keiner sein sollte, der das charakteristische vierarmige Kreuz zeigt.

Fig. 9.



Skiodromen eines einachsigen negativen Krystalls. Schnitt parallel zur Achse.

3. Schnitte parallel zur Achse (vgl. Fig. 9). Die Meridian-Skiodromen treten hier mit sehr flacher doppelter Krümmung auf; der zentralen geraden Meridian-Skiodrome schließen sich beiderseits flach und gegen innen konkav gekrümmte an. In der Achsenrichtung konvergieren sie nach beiden Seiten. Die Äquatorial-Skiodromen erscheinen als eine Schar paralleler Geraden.

Fällt der Hauptschnitt mit der Schwingungsrichtung eines Nikols zusammen, so entsteht ein schwarzes Kreuz, während in den vier Quadranten elliptisch polarisiertes Licht schwache Aufhellung bewirkt. Bei einer kleinen Drehung der Platte muß über das ganze Gesichtsfeld eine schwache Aufhellung erfolgen vermöge der Äquatorial-Skiodromen. Die Konstruktion der Partial-Isogyren an den Meridian-Skiodromen liefert ein Paar von Hyperbeln von ähnlicher Lage und Gestalt, wie sie von Platten senkrecht zur zweiten Mittellinie zweiachsiger Krystalle bekannt sind.

Die Beobachtung lehrt, daß tatsächlich in der Normalstellung ein verwaschenes schwarzes Kreuz zum Vorschein kommt, das um so deutlicher ist, je größer die Apertur des Objektivs. Man erkennt auch leicht den schärfer begrenzten Achsenbalken und den breiteren verschwommenen Mittelbalken.

Bei einer sehr kleinen Drehung erfolgt die Zerlegung in Hyperbeln, wie die Konstruktion der Isogyren an den Meridian-Skiodromen voraussehen läßt; aber die Hyperbeln sind nicht schwarz, sondern grau und verlieren, noch ehe sie aus dem Gesichtsfeld austreten, sehr rasch an Intensität.

Dieselbe Erscheinung, nur etwas verschoben, tritt auch noch ein in Schnitten, die von der Lage parallel zur Achse um ein Kleines abweichen. Nur der Achsenbalken geht dann durch die Mitte des Gesichtsfeldes, der Mittelbalken ist seitlich verschoben.

Achsenbalken und Mittelbalken sind nicht nur durch die symmetrische Lage des ersteren und durch seine schärfere Begrenzung, sondern auch dadurch voneinander unterscheidbar, daß beim Übergang vom Kreuz zum Hyperbelpaare der Achsenbalken sich homodrom, der Mittelbalken antidrom verhält.

Anfänger werden oft bei Dünnschliffuntersuchungen durch dieses Interferenzbild irregeführt, indem Schnitte parallel der optischen Achse einachsiger Kystalle für solche senkrecht zu einer Mittellinie eines zweiachsigen genommen werden.

Zweiachsige Krystalle.

A. Schnitte senkrecht auf die optischen Symmetrie-Achsen.

1. Schnitt senkrecht zur ersten Mittellinie. Das Skiodromennetz entspricht dem Mittelteil der Figur 1; es erfährt auch bei einer kleinen Abweichung der Schnittlage keine wesentliche Veränderung.

Läßt man die Achsenebene mit einem Nikol-Hauptschnitt zusammenfallen, so erhält man ein schwarzes Kreuz. An diesem Kreuz sind zu unterscheiden der Achsenbalken und der Mittelbalken. Dieser ist, namentlich dort, wo er die Achsenpole durchsetzt, schärfer begrenzt als jener. Der Mittelbalken erscheint um so verschwommener, je größer der Achsenwinkel. Der Verlauf der Skiodromen läßt dieses Verhalten sofort erkennen. Zwischen beiden tritt aber noch ein anderer Unterschied hervor, der die beiden Balken mit Sicherheit unterscheiden läßt, auch wenn die Achsenpunkte nicht mehr im Gesichtsfeld liegen: Bei der Drehung der Platte geht das dunkle Kreuz in zwei hyperbelähnliche Kurven über. Daß hier die Isogyre zwei Äste hat, folgt aus dem verschiedenen Krümmungssinn der Meridian-Skiodromen und daraus, daß die Äquatorial-Skiodromen nach zwei entgegengesetzten Seiten konvergieren.

Das dem Achsenbalken entsprechende Ende der Hyperbel verhält sich homodrom[1]), das dem Mittelbalken entsprechende antidrom.

2. Schnitte senkrecht zur zweiten Mittellinie verhalten sich ganz ähnlich, nur liegen bei der üblichen Apertur der Mikroskop-Objektive die Achsenpole außerhalb des Gesichtsfeldes. Bei großem Achsenwinkel ist es oft gar nicht leicht zu unterscheiden, ob ein Schnitt senkrecht zur ersten oder zweiten Mittellinie getroffen hat. Liegen Schnitte beiderlei Art vor und ist ein Vergleich möglich, so ist die Entscheidung zu treffen unter möglichster Berücksichtigung folgender Momente:

a) Bei gleicher Drehung des Tisches, ausgehend von der Kreuzstellung, weichen die Hyberbelscheitel in der Interferenzfigur der zweiten Mittellinie weiter voneinander ab. [2])

Dies ergibt sich aus der flacheren Krümmung der Skiodromen in der Projektion senkrecht zur 2. Mittellinie. Aus dem gleichen Umstand folgt:

b) Sowohl Achsenbalken als Mittelbalken sind in dem Bild der zweiten Mittellinie verschwommener.

---

[1]) Dieses Ende wandert rascher als die Tischdrehung, wenn die Achsenpunkte schon außerhalb des Gesichtskreises liegen. Liegen die Achsenpole gerade am Rande des Gesichtsfeldes, so folgt das dem Achsenbalken entsprechende Ende der Hyperbel genau der Tischdrehung. Liegt der Achsenpol innerhalb des Gesichtsfeldes, so wandert dieses Ende der Isogyre langsamer als die Tischdrehung, aber immer noch im selben Sinne.

[2]) Vgl. hierüber: M. Levy et Lacroix: Minéraux des Roches. Paris 1888, pag. 90 ff.

c) Der Gangunterschied im Schnitt senkrecht zur zweiten Mittellinie ist bei gleicher Plattendicke größer als im Schnitt senkrecht zur ersten Mittellinie. Der Gangunterschied kann nach der Höhe der Interferenzfarbe geschätzt oder mittelst eines Komparators oder Kompensators gemessen werden. Gleiche Dicke der beiden Schnitte wird vorausgesetzt, oder die Dicke *(d)* muß gemessen und aus dem Gangunterschied (Γ) nach der Formel $\Gamma = d(\gamma'-\alpha')$ der Unterschied der Brechungsexponenten ($\gamma-\beta$) und ($\beta-\alpha$) ermittelt werden. Dieses Mittel ist aber nicht ohneweiters anwendbar in Schnitten, welche von der Rechtwinkeligkeit auf den Mittellinien merklich abweichen.

3. Schnitte senkrecht zur optischen Normale (vgl. die Figuren 2 und 5). Diese Schnitte, sowie alle, die dieser Lage nahe kommen, geben sehr undeutliche Isogyren; bei Krystallen mit $2V = 90^0$ kann es überhaupt zur Bildung von erkennbaren Isogyren nicht kommen, da die Skiodromen im Gesichtsfelde der üblichen Objektive ein rechtwinkeliges Gitter darstellen.

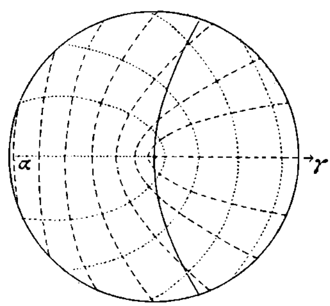
Ist indessen der Achsenwinkel klein, so entsteht doch eine Andeutung eines schwarzen Kreuzes in der Normalstellung. Bei Drehung der Platte zeigt sich auch hier Auflösung des Kreuzes in zwei Hyperbeln, und zwar derart, daß der Kreuzbalken, der in die Richtung der ersten Mittellinie fällt, den homodromen, der andere den antidromen Enden der beiden Hyperbeläste entspricht. Daß dies der Fall ist, davon kann man sich bei jedem Spaltblättchen von Gyps überzeugen.

Die Erscheinung läßt sich aus der Figur so ableiten, daß man die meridionalen Skiodromen allein berücksichtigt. Sie sind die stärker gekrümmten und lassen bei einer sehr kleinen Verdrehung der Nikol-Hauptschnitte gegen die Symmetrie-Linien der Figur die Entstehung der Hyperbeln leicht konstruieren. Die als eine Schar fast geradliniger Parallelen erscheinenden Äquatorial-Skiodromen bewirken bei der angenommenen Drehung nur die Verbreitung einer allgemeinen schwachen Aufhellung im ganzen Gesichtsfelde wie bei den entsprechenden der Achse parallelen Schnitten einachsiger Krystalle.

Unter den zufälligen Durchschnitten zweiachsiger Krystalle in Dünnschliffen werden Schnitte, die genau die in 1, 2 und 3 besprochene Lage haben, nur selten vorkommen; häufig dagegen solche, die sich der geforderten Lage nähern. Dann wird in der Normalstellung der Mittelpunkt des dunklen Kreuzes nicht in der Mitte des

Gesichtsfeldes liegen, der Achsenbalken und der Mittelbalken das Gesichtsfeld nicht symmetrisch teilen. Insbesondere die seitliche Lage des Achsenbalkens in Schnitten, die das Interferenzbild der ersten Mittellinie zeigen, ist selbst bei kleiner Abweichung noch mit großer Schärfe wahrzunehmen; weniger sicher ist die Beurteilung beim Mittelbalken. Das Vorkommen eines solchen exzentrischen Kreuzes ist ein sicheres Kennzeichen zweiachsiger Krystalle. Bei einachsigen Krystallen kann das schwarze Kreuz in Schnitten nahezu parallel der Achse nur bezüglich des Mittelbalkens exzentrisch werden.

Fig. 10.



Skiodromen eines optisch zweiachsigen negativen Krystalls, Schnitt senkrecht zu einer der optischen Achsen. Nur der Mittelteil der Konstruktionskugel ist gezeichnet, der das Gesichtsfeld des Konoskops erfüllt. Man beachte, daß die Isogyre in Diagonalstellung ihre konvexe Seite der ersten Mittellinie zukehrt. Die Meridian-Skiodromen innerhalb der Höhlung der Hyperbel entsprechen der Schwingungsrichtung der rascheren Welle α'.

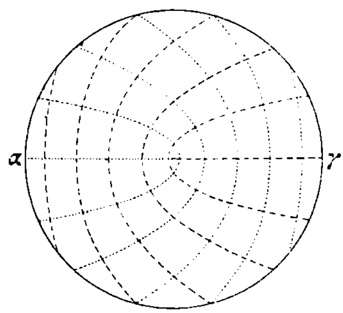
B. Schnitte senkrecht auf einer optischen Symmetrieebene.

4. Schnitt senkrecht auf die Achsenebene. Unter diesen Schnitten sind jene senkrecht oder nahezu senkrecht auf eine der optischen Achsen die wichtigsten. Fig. 10 zeigt die Skiodromen für einen optisch negativen Krystall, Fig. 11 für einen neutralen mit dem Achsenwinkel von 90°. In beiden Fällen erhält man einen einzigen dunklen Balken, der bei Drehung des Tisches immer im Gesichtsfeld bleibt. Beide Enden verhalten sich antidrom. In der Normalstellung ist die Isogyre gerade gestreckt und parallel einem Nikol-Hauptschnitt, sie gibt die Lage der Achsenebene an. Sie teilt das Gesichtsfeld symmetrisch, vorausgesetzt, daß der Schnitt genau senk-

recht zur Achsenebene liegt. Bei den zufälligen Schnitten im Dünnschliff ist das nur selten der Fall. Häufiger wird die Isogyre gerade gestreckt neben der Mitte des Gesichtsfeldes liegen.

Von Bedeutung ist die Form der Isogyre in der Diagonalstellung. Die Konstruktion an Fig. 10 zeigt, daß sie die Gestalt einer Hyperbel annimmt, die der ersten Mittellinie ihre konvexe Seite zukehrt. Die Krümmung wird um so flacher, je mehr sich $2V$ dem Werte 90° nähert, und endlich bei diesem Grenzwert geht sie in eine gerade Linie über, die unter 45° Neigung gegen die Nikol-Hauptschnitte senkrecht zur Achsenebene verläuft (vgl. Fig. 11). Die

Fig. 11.

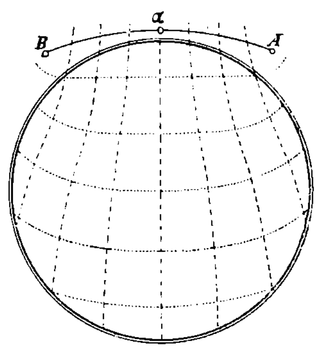


Skiodromen eines neutralen optisch zweiachsigen Krystalls ($2V = 90°$) im Schnitt senkrecht zur optischen Achse. In Diagonalstellung ist die Isogyre ein gerade gestreckter Balken.

Gestalt der Isogyre ist noch bei einer beträchtlichen Abweichung des Schnittes von der Lage senkrecht zur Achse zu erkennen. Sie liefert ein ausgezeichnetes, bisher, wie es scheint, noch nicht ausgenutztes Mittel, um den optischen Charakter des Krystalls zu ermitteln.

Schnitte, welche die Ebene der optischen Achsen zwischen einer Achse und einer Mittellinie treffen, werden sich ähnlich verhalten wie schiefe Schnitte eines optisch einachsigen Krystalls: sie geben eine gerade Isogyre parallel einem der Nikol-Hauptschnitte mit einem der Achse zugewendeten homodromen und einem der Mittellinie zugewendeten antidromen Ende. Nur in dem seltenen Falle eines Schnittes genau senkrecht zur Achsenebene wird die Isogyre symmetrisch durch die Mitte des Gesichtsfeldes laufen. In Schnitten, annähernd senkrecht zur Achsenebene, liegt die gerade Isogyre parallel zum Nikol-Hauptschnitte seitwärts vom Mittelpunkt, die zentrale Isogyre dagegen schief zum Nikol-Hauptschnitte oder sie ist gekrümmt. Wegen der verhältnismäßig raschen Änderung im Krümmungsgrade der quer zur Achsenebene verlaufenden Skiodromen läuft das antidrome Ende rascher als das homodrome und bei der Tischdrehung pendelt jenes auffallender hin und her als bei einachsigen Krystallen. In der Normalstellung fällt die Isogyre in die Richtung der meridionalen Skiodromen bei Schnitten zwischen der Achse und der zweiten Mittellinie, dagegen in die Richtung der äquatorialen Skiodromen bei Schnitten innerhalb des spitzen Achsenwinkels. Die letzteren

Fig. 12.



Skiodromen eines optisch zweiachsigen negativen Krystalls im Schnitt senkrecht auf der Ebene $\alpha\beta$, 45^0 mit α und β einschließend.

Schnitte lassen bei einigermaßen kleinen Achsenwinkeln im Gesichtsfeld außer der Achse auch die Mittellinie erkennen. Bei den ersteren wird unter Umständen nur die Achse oder nur die Mittellinie oder keines von beiden im Gesichtsfeld sichtbar sein. Hat man eine wirksame Winkelöffnung des Objektivs von ca. 30^0, so ist es unmöglich, daß symmetrische Schnitte im Bereich des spitzen Achsenwinkels auftreten, in denen nicht entweder die Achse oder die Mittellinie sichtbar sein sollte.

5. Schnitte senkrecht auf die Ebene durch die optische Normale und die erste Mittellinie. Fig. 12 zeigt den Verlauf der Skiodromen in dem Schnitte, dessen Normale 45^0 mit der Mittellinie einschließt. Die Meridian-Skiodromen konvergieren gegen die Richtung der ersten Mittellinie. Die Äquatorial-Skiodromen laufen in gegen

die Mittellinie konkaven Bögen durch das Gesichtsfeld. Die zentrale Isogyre teilt das Gesichtsfeld symmetrisch und ist gestreckt im Sinne der Meridian-Skiodromen. Das der Mittellinie zugewendete Ende ist homodrom, das der Normalen zugewendete antidrom. Das erstere bewegt sich rascher als das letztere, am langsamsten aber bewegt sich der mittlere Teil. Gegen die Mittellinie zu stellt sich eine Verbreiterung ein, ja bei entsprechend großer Apertur tritt sogar in der Normalstellung die Andeutung eines quer liegenden dunklen Balkens auf, der Ähnlichkeit zeigt mit einem seitlich verschobenen Achsenbalken. In der Tat durchsetzt die Äquatorial-Skiodrome $\beta = 15^0$ nahezu geradlinig das Gesichtsfeld, während die Projektion der Achsenebene einer gegen die Mitte konkaven Skiodrome entspricht. Es ist also das dunkle Kreuz der Mittellinie vom richtigen Ort der ersten Mittellinie verschoben gegen die optische Normale.

Die hier auftretende zentrale symmetrische Isogyre unterscheidet sich von der ähnlichen Isogyre eines Durchschnittes senkrecht zur Achsenebene durch das raschere Wandern des homodromen Endes. Dieser Unterschied verwischt sich zwar mit der Annäherung an die optische Normale, indem hier auch das der Mittellinie zugewendete homodrome Ende der Isogyre langsamer wandert als das der Normalen zugewendete antidrome. Dafür wird aber die Isogyre im ganzen immer verwaschener und undeutlicher.

Die mit der zentralen Isogyre gleichgerichteten Schwingungsrichtungen entsprechen den rascheren Wellen (α') bei negativen, den langsameren Wellen (γ') bei positiven Krystallen.

6. Schnitte senkrecht auf die Ebene durch die optische Normale und die zweite Mittellinie. Das Skiodromennetz zeigt Fig. 13. Es nähert sich so sehr einem rechtwinkeligen Gitter, daß selbst bei großer Apertur des Objektivs nur verwaschene Andeutungen von Isogyren zustande kommen. Wesentlich ist wieder ein zentraler symmetrischer Balken, der aber hier im Sinne der Äquatorial-Skiodromen gestreckt ist. Bei Annäherung des Schnittes an die zweite Mittellinie erscheint, schon bevor der Ort der Mittellinie selbst ins Gesichtsfeld tritt, infolge der geringen Krümmung der hier in Betracht kommenden Stücke der Meridian-Skiodromen ein Querbalken, der der Richtung der Achsenebene parallel geht und in der Durchkreuzung mit dem symmetrischen Balken die Spur einer Mittellinie vortäuscht, lange ehe diese selbst ins Gesichtsfeld tritt. Die Abweichung

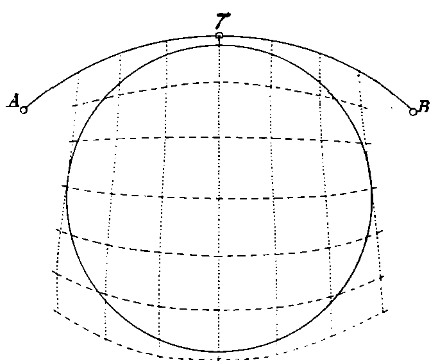
dieses scheinbaren Ortes der Mittellinie vom wahren Ort ist hier beträchtlicher als in Schnitt 5 wegen der bedeutenderen Größe des Achsenwinkels AB' im Vergleich zu AB.

Beim neutralen Krystall ($2V = 90^0$) verhalten sich die Schnitte 5 und 6 ganz gleich.

C. Schiefe Schnitte.

Schiefe Schnitte, welche weder auf einer der drei optischen Symmetrie-Achsen noch auf einer der drei optischen Symmetrie-Ebenen senkrecht stehen, kommen naturgemäß unter den zufälligen Schnitten der Dünnschliffe am häufigsten vor. Sie haben alle eine

Fig. 13.

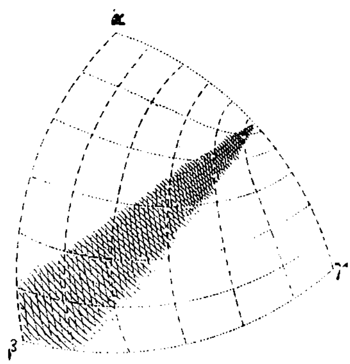


Skiodromen eines optisch zweiachsigen negativen Krystalls im Schnitt senkrecht auf der Ebene $\gamma\beta$, 45^0 mit γ und β einschließend.

gemeinsame, diagnostisch höchst wichtige Eigenschaft, die sonderbarer Weise in keinem der in letzter Zeit so häufig erschienenen Anleitungen zum Gebrauche des Mikroskops erwähnt wird: Die zentrale Isogyre geht bei schiefen Schnitten zweiachsiger Krystalle unter irgend einem schiefen Winkel gegen die Nikol-Hauptschnitte durch das Gesichtsfeld. Dieser Winkel wird 45^0 und die Isogyre erscheint als gerader Balken bei dem neutralen Krystall mit $2V = 90^0$ in einer Reihe von Schnitten, deren Normalen in die beiden Großkreise zwischen der optischen Normalen und den beiden optischen Achsen fallen. Fig. 14 bringt die Skiodromen für einen solchen Schnitt am neutralen Krystall zur Darstellung, Fig. 15 einen ähnlichen Schnitt an einem negativen Krystall mit $2\,V = 60^0$.

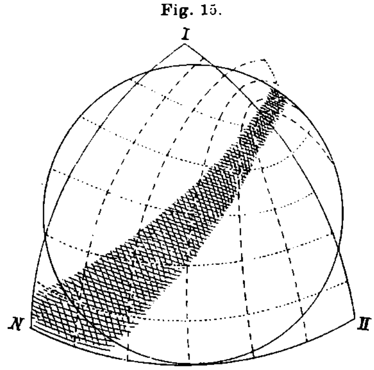
Das Zutreffen der schiefen zentralen Isogyre ist ein sicherer Beweis der Zweiachsigkeit und ermöglicht die Entscheidung auch in

Fig. 14.



Skiodromen eines optisch zweiachsigen neutralen Krystalls ($2\,V = 90^0$). Schiefer Schnitt zwischen Achse und Normale. Die zentrale Isogyre verläuft geradlinig und diagonal.

Fig. 15.



Skiodromen eines optisch zweiachsigen negativen Krystalls ($2\,V = 60^0$). Schiefer Schnitt zwischen Achse und Normale. Zentrale Isogyre krumm, schließt mit den α-Skiodromen den kleineren Winkel ein.

jenen nicht seltenen Fällen, wo nur wenige Durchschnitte vorhanden sind, unter denen vielleicht keiner die besonderen günstigen Lagen senkrecht zu einer der optischen Achsen oder Mittellinien aufweist.

Es liegt in der Natur der Sache, daß die Beurteilung unter Umständen schwierig werden kann. Namentlich sind Schnitte in der

Nähe der optischen Normalen und in der Nähe der beiden Normalenebenen wegen der Verwaschenheit der Isogyre ungünstig. Ferner kann die Entscheidung bei kleinem Achsenwinkel bisweilen delikat werden, da der Unterschied solcher Krystalle und einachsiger in Schnitten, deren Normalen mit der ersten Mittellinie einen großen Winkel einschließen, recht gering werden kann.

Aber es gibt zahllose Fälle, wo diese einfache optische Reaktion nützliche Dienste leistet. Zum Beispiel ist die Unterscheidung von Quarz und Feldspat fast bei jedem Durchschnitt mit Sicherheit zu machen.

Die Haupttypen der Isogyren, abgeleitet aus den Haupttypen des Skiodromen-Netzes.

Es mag nicht überflüssig erscheinen, die verschiedenen Hauptformen des Skiodromennetzes und die entsprechenden Typen der Isogyren hier zusammenzustellen.

Zumeist lassen sich die beiden Systeme von Skiodromen voneinander dadurch unterscheiden, daß das eine aus weniger stark gekrümmten, das andere aus stärker gekrümmten Kurven besteht. Die ersteren mögen Längs-Skiodromen genannt werden, die letzteren Quer-Skiodromen. Wir werden die ersteren in die sagittale Richtung stellen. Der Unterschied spricht sich in dem Verhalten der Isogyre dadurch aus, daß sie im allgemeinen im Sinne der Längs-Skiodromen gestreckt ist.

Zunächst wollen wir die speziellen Fälle ausscheiden, wo die Quer-Skiodromen im Gesichtsfelde geschlossene Kurven bilden: Dann liegt im Gesichtsfeld entweder die Achse eines einachsigen Krystalls mit dem charakteristischen vierarmigen Kreuz oder es erscheint das nicht minder charakteristische Bild der ersten Mittellinie und der beiden optischen Achsen eines zweiachsigen Krystalls. Diese Fälle sind ja genugsam bekannt.

Einen Spezialfall bilden ferner die Schnitte quer zur Achse eines optisch zweiachsigen Krystalls. In bezug auf das Skiodromennetz ist er dadurch ausgezeichnet, daß innerhalb des Gesichtsfeldes der Charakter der Skiodromen sich ändert. Das Skiodromensystem, welches in der einen Hälfte des Gesichtsfeldes den Charakter von Längs-Skiodromen hat, nimmt in der anderen Hälfte die Eigenart der Quer-Skiodromen an (vgl. die Figuren 10 und 11). Die Isogyre ist ein dunkler Balken, der während einer vollen Umdrehung des Präparates im Gesichtsfelde bleibt und bei einer Drehung des Präparates um 90° sich im gleichen Betrage im entgegengesetzten Sinne bewegt.

Nach Ausschaltung dieser Spezialfälle bleiben noch folgende Fälle übrig:

1. Symmetrisches Netz.

In diesem Falle ist eine der Längs-Skiodromen geradlinig und halbiert das Gesichtsfeld symmetrisch. Nach der einen Seite dieser zentralen Skiodrome konvergieren, nach der anderen divergieren die Längs-Skiodromen.

Die zentrale Isogyre fällt mit dem Nikol-Hauptschnitt und mit der geraden symmetrischen Längs-Skiodrome zusammen. Dort, wo die Längs-Skiodromen konvergieren, ist ihr homodromes, wo sie divergieren, ihr antidromes Ende.

Folgende Untertypen sind zu unterscheiden:

a) Die Quer-Skiodromen sind gegen das homodrome Ende stärker gekrümmt, die seitlichen Längs-Skiodromen sind konkav gegen die mittlere [vgl. Fig. 16. Diese und die folgenden Figuren zeigen oben das Skiodromennetz, unten die zentrale Barre, außerdem noch die Lage der Barre nach einer kleinen Drehung des Objekttisches im Uhrzeigersinn (rechts) und entgegengesetzt dem Uhrzeigersinn (links von der zentralen Barre). Das homodrome Ende der Barren ist immer oben, das heterodrome unten].

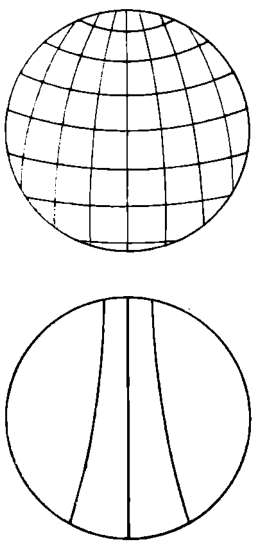
Die Isogyre wandert bei Drehung des Objekttisches rascher mit dem antidromen als mit dem homodromen Ende: symmetrische Pendel-Isogyre. Diese Isogyre entspricht dem Achsenbalken des gewöhnlichen zweiachsigen Interferenzbildes.

Dieser Typus findet sich bei allen schiefen Schnitten einachsiger Krystalle, ferner bei den Schnitten senkrecht zur Achsenebene zweiachsiger Krystalle. Das homodrome Ende der Isogyre ist der Achse zugewendet.

b) Die Quer-Skiodromen sind gegen das homodrome Ende, wo die Längs-Skiodromen konvergieren, flacher gekrümmt als am antidromen. Die seitlichen Längs-Skiodromen sind konvex gegen die gerade mittlere (vgl. Fig. 17).

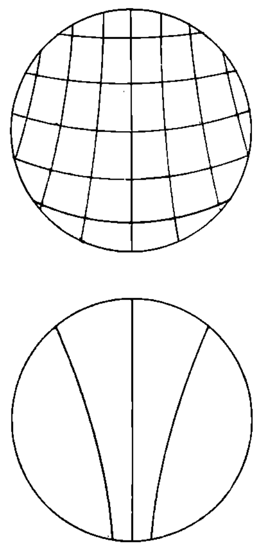
Die zentrale Isogyre ist geradlinig und fällt mit der zentralen Längs-Skiodrome und dem Nikol-Hauptschnitte zusammen. Bei der Tischdrehung wandert das homodrome Ende rascher als das antidrome, sie zeigt Fächerbewegung: symmetrische Fächer-Isogyre. Dieser Typus kommt nur bei zweiachsigen Krystallen vor, und zwar bei Schnitten senkrecht auf eine der optischen Symmetrie-Ebenen durch eine der Mittellinien und die optische Normale. Das

Fig. 16.



Symmetrisches Netz und symmetrische Pendelbarre.

Fig. 17.



Symmetrisches Skiodromennetz mit symmetrischer Fächerbarre.

homodrome Ende ist der Mittellinie zugewendet. Es entspricht dem Mittelbalken des gewöhnlichen zweiachsigen Interferenzbildes.

2. Asymmetrisches Netz.

Die zentrale Längs-Skiodrome ist gekrümmt. Die zentrale Isogyre liegt schief im Gesichtsfeld und macht einen Winkel kleiner als 45° mit jenem Nikol-Hauptschnitt, der in der Richtung der Längs-Skiodromen liegt.

Das homodrome Ende der Isogyre liegt auch hier dort, wo die Längs-Skiodromen konvergieren. Das asymmetrische Netz findet sich nur in schiefen Schnitten zweiachsiger Krystalle. Auch hier sind zwei Unterfälle zu unterscheiden.

a) Die Quer-Skiodromen sind am homodromen Ende stärker gekrümmt als am antidromen. Das homodrome Ende der Isogyre wandert bei der Tischdrehung langsamer als das antidrome: asymmetrische Pendel-Isogyre (vgl. Fig. 18).

Dieser Typus findet sich im Raum zwischen Mittellinie, Achse und optischer Normale in den der Achsenebene anliegenden Feldern.

b) Die Quer-Skiodromen sind am homodromen Ende flacher gekrümmt als am antidromen. Das homodrome Ende der Isogyre wandert bei der Tischdrehung rascher: asymmetrische Fächer-Isogyre.

Dieser Typus findet sich zu beiden Seiten der Ebenen zwischen den Mittellinien und der optischen Normale. Er spielt deshalb keine wichtige Rolle, weil auf dem größten Teil jener Felder, namentlich in der Nähe der optischen Normalen, die Krümmung der Skiodromen überhaupt sehr gering, die Isogyren daher sehr verwaschen sind.

Von Interesse ist noch ein Spezialfall:

3. Diagonal-symmetrisches Netz.

Der Unterschied zwischen Längs- und Quer-Skiodromen verwischt sich, beide Systeme sind in gleicher Weise gekrümmt (vgl. Fig. 11).

In diesem Falle erscheint als zentrale Isogyre ein dunkler Balken, der unter 45° gegen beide Nikol-Hauptschnitte geneigt ist. Das homodrome Ende liegt dort, wo die Skiodromen beider Systeme stärker gekrümmt sind.

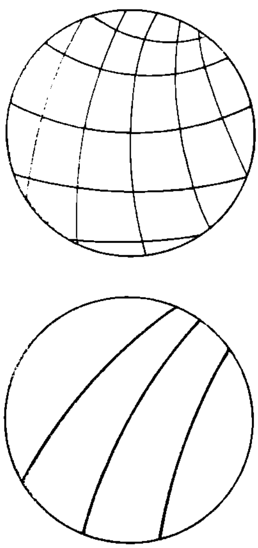
Typisch ist dieses Netz bei neutralen zweiachsigen Krystallen in Schnitten, die senkrecht stehen auf der Pseudosymmetrie-Ebene zwischen der optischen Achse und der Normale. Ich sage Pseudosymmetrie-Ebene, da die beiden Systeme von Skiodromen trotz symmetrischer Lage zu der Diagonale zwischen den Nikol-Hauptschnitten nicht gleichartig sind: das eine entspricht den rascheren, das andere den langsameren Wellen.

Bei optisch zweiachsigen Krystallen mit kleinerem Achsenwinkel können derartige Netze nur in dem Sinne auftreten, als man das Verhalten in einem kleinen Bereiche betrachtet, also bei Anwendung eines Konoskops von kleiner Apertur. Bei größerem Gesichtsfelde tritt immer eine Änderung im Verlaufe der einzelnen Skiodromen ein und die Isogyre erscheint statt gerade gestreckt in gekrümmter Form.

4. Disymmetrisches Netz.

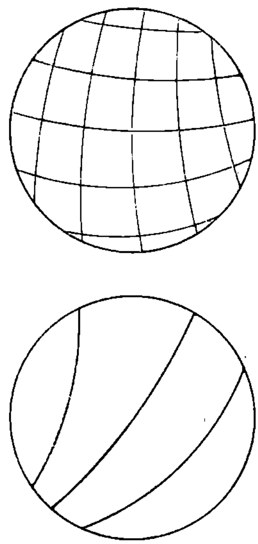
Eine besondere Form tritt an den optischen Symmetrieachsen auf, in typischer Entwicklung an den beiden Mittellinien: Längs-Skiodromen laufen nach zwei Seiten zusammen und sind konkav gekrümmt gegen eine gerade zentrale Skiodrome. Die Quer-Skiodromen sind nach zwei Seiten hin gekrümmt und wenden ihre konvexen Seiten einer geraden mittleren Skiodrome zu, Resultat ist: ein

Fig. 18.



Asymmetrisches Skiodromennetz mit asymmetrischer Pendelbarre.

Fig. 19.



Asymmetrisches Skiodromennetz mit asymmetrischer Fächerbarre.

schwarzes Kreuz, wenn die zentralen Skiodromen mit den Nikol-Hauptschnitten zusammenfallen und ein Zerfallen in zwei gekrümmte Hyperbeläste bei Drehung der Platte. Die Hyperbeläste zeigen dann ihr homodromes Ende dort, wo die Längs-Skiodromen zusammenlaufen (vgl. Mittelteil von Fig. 1, 3, 4).

In der Erscheinung ähnlich sind die der Achse parallelen Schnitte einachsiger Krystalle.

Die vorstehenden Angaben setzen uns in den Stand, jeden beliebigen schiefen Durchschnitt eines zweiachsigen Krystalls nach dem Verhalten seines Interferenzbildes zu prüfen, zu klassifizieren und danach seine Orientierung gegen die optischen Hauptlinien anzugeben.

Unterscheidung einachsiger und zweiachsiger Krystalle.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes bezüglich der Unterscheidung optisch einachsiger und zweiachsiger Krystalle mittelst der Interferenzbilder im Konoskop.

Optisch einachsige Krystalle geben im allgemeinen eine gerade symmetrische Barre, an der man ein homodromes der Achse zugewendetes und ein antidromes abgewendetes Ende unterscheiden kann. In besonderen Schnitten erblickt man das vierarmige Kreuz mit den Nikol-Hauptschnitten parallelen Balken oder in der Achse parallelen Schnitten, ein sehr verwaschenes Kreuz, das sich bei Tischdrehung rasch öffnet; der Kreuzbalken mit homodromen Enden geht in der Normalstellung durch die Mitte des Gesichtsfeldes.

Optisch zweiachsige Krystalle geben im allgemeinen eine asymmetrische Barre. Bei zentraler Einstellung schließt sie mit den Nikol-Hauptschnitten einen schiefen Winkel ein. In besonderen Schnittlagen kann eine gerade Barre parallel einem Nikol-Hauptschnitte zustande kommen, wenn im Bereiche des Gesichtsfeldes eine der optischen Symmetrie-Ebenen liegt. In der Regel geht diese gerade Barre nicht durch die Mitte des Gesichtsfeldes, sondern liegt seitlich davon, nur wenn der Schnitt genau senkrecht steht auf der Symmetrie-Ebene, liegt die gerade Barre zentral. Auch bei solcher Lage ist die Zweiachsigkeit sichergestellt, wenn sich bei der Tischdrehung das homodrome Ende rascher bewegt als das antidrome (Fächerbarre). Bei symmetrischer Pendelbarre ist Verwechslung mit einachsigen Schnitten möglich. Doch genügt der Vergleich von zwei oder drei Durchschnitten zur Vermeidung dieser Täuschung.

In besonderen Schnittlagen erscheinen die charakteristischen Bilder der optischen Achse mit antidromer einfacher Barre oder die Bilder von Achse und Mittellinie oder endlich das Kreuz der Mittellinie allein. Verwechslung mit einem der Achse parallelen Schnitt eines einachsigen Krystalls wäre hier möglich, wird aber in der Regel dadurch vermeidbar, daß der Achsenbalken (mit homodromen Enden) nicht notwendig durch die Mitte des Gesichtsfeldes läuft, wie bei einachsigen.

Erkennung des Charakters der Doppelbrechung.

A. Einachsige Krystalle.

Die Erkennung des positiven oder negativen Charakters der Doppelbrechung ist bei einachsigen Krystallen stets möglich, wenn auch nur ein einziger Schnitt vorliegt. Wie die Bestimmung vorgenommen wird, wenn das Bild der optischen Achse im Gesichtsfeld liegt, kann als bekannt vorausgesetzt werden.

In einem schiefen Schnitt, der eine gerade, zentrale Pendelbarre liefert, bringt man die Barre in sagittale Lage mit dem homodromen Ende nach hinten und schaltet ein Gypsblättchen in Regelstellung[1]) ein. Die Interferenzfarbe

steigt rechts von der Barre bei negativen,
„ links „ „ „ „ positiven

Krystallen.

Bei Schnitten, die dem Parallelismus mit der Achse soweit nahe kommen, daß in der Normalstellung ein schwarzes Kreuz sichtbar wird, ermittle man durch kleine Drehungen des Objekttisches die Lage des Achsenbalkens (seine Enden sind homodrom) und bringe diese Richtung in die Diagonalstellung von links hinten nach rechts vorn. Bei Kombination mit dem Gypsblättchen in Regelstellung

steigt die Interferenzfarbe bei negativen Krystallen,
fällt „ „ „ positiven Krystallen.

B. Zweiachsige Krystalle.

Zur sicheren Erkennung des Charakters der Doppelbrechung sind vor allem Schnitte geeignet, welche eine Achse im Gesichtsfeld zeigen. Man sucht zunächst die Normalstellung auf und beobachtet die Lage der Achsenebene, sie geht dem jetzt gerade gestreckten Achsenbalken parallel. Durch Drehung von genau 45° in dem erforderlichen Sinn bringt man die Achsenebene in die Lage rechts vorn links hinten. Wenn überhaupt ein ausgesprochener optischer Charakter vorhanden ist, d. h. wenn $2V$ sich merklich von

---

[1]) Als Regelstellung wird jene bezeichnet, bei der die α-Richtung des Gypsblättchens von links hinten nach rechts vorn läuft. Das konoskopische Bild eines Gypsblättchens vom Rot erster Ordnung zeigt in der Regelstellung links hinten und rechts vorn zwei blaue Flecken.

90° unterscheidet, nimmt die Barre die Gestalt einer Hyperbel an. Man hat nun sein Augenmerk zu richten auf das Verhalten der Interferenzfarbe in dem Feld innerhalb der Höhlung der Hyperbel.

Schaltet man ein Gypsblättchen in Regelstellung ein, so

steigt die Interferenzfarbe bei negativen Krystallen,
fällt „ „ „ positiven „

innerhalb des von der Hyperbel umschlossenen Feldes.

Die Richtigkeit dieser Aussage ergibt sich aus der Betrachtung der Figur 10. Man sieht, daß bei dem gezeichneten Skiodromennetz eines negativen Krystalles die α-Skiodromen innerhalb der Höhlung der Hyperbel im Sinne der Achsenebene verlaufen; beim positiven Krystall sind es die γ-Skiodromen.

Diese Reaktion ist sehr scharf für Krystalle, deren $2V$ kleiner als 80° ist. Bei Werten von $2V$ zwischen 90 und 80° ist die Entscheidung über den Sinn der Hyperbelkrümmung schwierig.

Weniger geeignet sind Schnitte senkrecht zur ersten oder zweiten Mittellinie. Es läßt sich zwar leicht entscheiden, ob das Bild der Mittellinie α oder γ vorliegt. Die Regel lautet: Man bringe die Platte in eine der Normalstellungen und schiebe das Gypsblättchen in Regelstellung ein.

Im Bild der Mittellinie α steigt die Interferenzfarbe in den Quadranten links hinten und rechts vorn; im Bild der Mittellinie γ links vorn und rechts hinten.

Eine Entscheidung über den optischen Charakter des Minerals ist möglich, wenn es gelingt, durch eine der auf pag. 17 f. angegebenen Beobachtungen zu entscheiden, welche von den beiden Mittellinien, α oder γ, die erste Mittellinie ist.

Schnitte senkrecht zur optischen Normalen sind zur Erkennung des optischen Charakters brauchbar mit Hilfe der isochromatischen Kurven. In der Diagonalstellung beobachtet man zwei Scharen gleichseitiger Hyperbeln und die erste Mittellinie geht durch das System mit fallender Interferenzfarbe, deren Zeichen mit dem Gypsblättchen leicht bestimmt werden kann.[1]

Für die Erkennung des optischen Charakters wenig geeignet sind die Schnitte senkrecht zu den Symmetrie-Ebenen zwischen der optischen Normalen und den Mittellinien.

[1]) Vgl. diese Zeitschr., 16. Bd., 180, 1896.

Dagegen läßt sich ein gewisser Wahrscheinlichkeitsschluß bei schiefen Schnitten ziehen, der fast zur Gewißheit wird, wenn mehrere schiefe Schnitte übereinstimmende Beobachtungen zulassen.

Bei beliebigen schiefen Schnitten wird man im allgemeinen unterscheiden können zwischen Längs- und Querskiodromen. Die ersteren weniger gekrümmt und deutlicher divergierend, die letzteren stärker gekrümmt und mehr konzentrisch verlaufend. Die zentrale Isogyre verläuft immer im Sinne der Längsskiodromen.

Nun läßt sich die Isogyre immer so einstellen, daß sie mit dem sagittalen Nicolhauptschnitt parallel verläuft (oder doch mit ihm einen Winkel einschließt, der kleiner ist als 45°) und ihr homodromes Ende rückwärts liegt.

Dann konvergieren die Längsskiodromen nach rückwärts und die Querskiodromen wenden ihre konvexe Seite gegen den Beschauer.

Schiebt man bei dieser Stellung das Gypsblättchen in Regelstellung ein, so wird die Interferenzfarbe rechts von der Isogyre fallen, links steigen, wenn die Längsskiodromen den γ-Ellipsen entsprechen; das umgekehrte Verhalten tritt ein, wenn die Längsskiodromen den α-Ellipsen entsprechen.

Das erste Verhalten bezeichnen wir als positive Reaktion, das letztere als negative Reaktion.

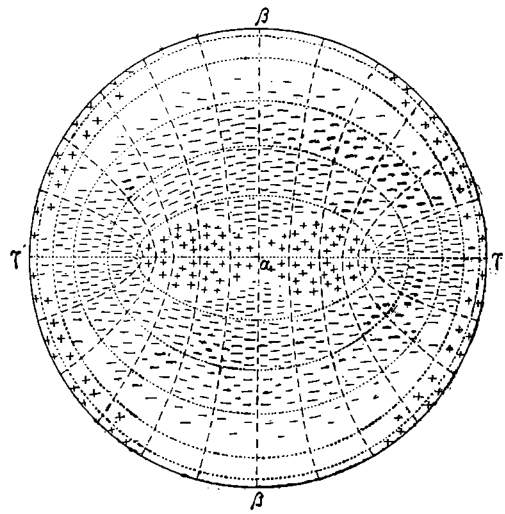
Eine einfache Betrachtung eines Modelles oder der Zeichnung Figur 8 läßt erkennen, daß alle Schnitte eines einachsigen negativen Krystalls negative Reaktion haben und ebenso bei positiven Krystallen, denn hier entsprechen stets die Längsskiodromen den Meridianen.

Bei den zweiachsigen Krystallen ist dieses nicht der Fall, und eine genauere Untersuchung lehrt, daß in dem Raum zwischen den Achsen und der ersten Mittellinie ein Feld existiert, wo die Äquatorialellipsen als Längsskiodromen figurieren, wo also die oben definierte Reaktion das entgegengesetzte Vorzeichen aufweist wie der optische Charakter des Minerals.

Wie Figur 20 erkennen läßt, ist allerdings dieses Feld von falscher optischer Reaktion schon bei einem Winkel $2V = 60$ sehr eingeschränkt und weit größer ist das Feld, wo die optische Reaktion eines schiefen Schnittes mit dem optischen Charakter des Minerals übereinstimmt.

Bei Winkeln $2V$ nahe 90^0 werden die Felder, in denen + und negative Reaktion herrscht, nahezu gleich groß.

Fig. 20.



Skiodromen eines optisch negativen zweiachsigen Krystalls. Die eingeschriebenen + und — Zeichen geben die Stellen an, an denen im Konoskop positive und negative Reaktion beobachtet wird.

Wenn also alle schiefen Schnitte eines zweiachsigen Krystalls übereinstimmende Reaktion zeigen, so ist die Wahrscheinlichkeit groß, daß der optische Charakter des Krystalls dasselbe Vorzeichen habe. Wechselt die Reaktion, so bleibt der optische Charakter unentschieden.