Quantitative Konoskopie

Autor(en): **Rittmann, Alfred**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen = Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **43 (1963)**

Heft 1: **Festschrift Robert L. Parker : zu seinem 70. Geburtstag : 1. Mai 1963**

PDF erstellt am: **26.04.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-33432

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Quantitative Konoskopie

Von *Alfred Rittmann* (Catania)[1])

Mit 22 Figuren im Text

Seit der Einführung der Drehtischmethoden in die petrographische Mikroskopie hat die Konoskopie an Bedeutung stark eingebüsst. Bei der Dünnschliffuntersuchung verwendet man sie nur zu qualitativen Feststellungen der Ein- oder Zweiachsigkeit und des optischen Charakters anisotroper Kristalle. Im besten Falle schätzt man noch die Grösse des optischen Achsenwinkels 2V nach dem Hyperbelabstand in Schnitten senkrecht zur spitzen Bisektrix oder nach der Krümmung der Isogyre in Diagonalstellung des konoskopischen Achsenbildes. Das Aufsuchen verhältnismässig gut orientierter Schnitte ist jedoch zu zeitraubend, um regelmässig angewandt zu werden. Dagegen wird neuerdings die Konoskopie mit der Drehtischmethode kombiniert, um eine rasche Orientierung eines Kristallschnitts zu ermöglichen, zum Beispiel so, dass die optische Normale mit der Kontrollachse des Drehtischs zusammenfällt, worauf in Diagonalstellung 2V oder V mit Hilfe des Interferenzbildes gemessen werden kann. Diese ausgezeichnete Methode ist jedoch nur auf verhältnismässig grosse Kristallschnitte anwendbar.

Viel besser als Dünnschliffe eignen sich für konoskopische Untersuchungen lose Kristalle oder Spaltstücke, die auf bestimmten Flächen liegen und daher für die Substanz kennzeichnende Interferenzbilder zeigen. Bei grösseren Spaltstücken oder Kristallen, die das Weiss höherer Ordnung aufweisen, sind im allgemeinen keine isochromatischen Kurven zu sehen; verwendet man jedoch monochromatisches Licht (Na-Lampe oder gute Filter), so werden dieselben als schwarze Kurven sichtbar und erlauben die Auswertung des Konoskopbildes.

---

[1]) Istituto di Vulcanologia dell'Università di Catania, Sicilia.

Besonders günstige Objekte für konoskopische Untersuchungen sind kleine künstliche Kristalle, die man beim Verdampfen ihrer Lösung auf dem Objektträger erhält. Da viele organische Substanzen in den Einbettungsmitteln löslich sind, können ihre Kristalle nur in Trockenpräparaten untersucht werden. In weitaus den meisten Fällen liegen sie beim Wachsen immer auf derselben Fläche und zeigen daher ganz bestimmte Interferenzbilder im Konoskop.

Je nach dem Kristallsystem und der Art der Auflagefläche des Kristalls weist dessen Interferenzbild Symmetrieeigenschaften auf, die auf den ersten Blick erkennbar sind. Auf Grund derselben können die Konoskopbilder in vier Gruppen eingeteilt werden, nämlich in zentrosymmetrische, disymmetrische, monosymmetrische und asymmetrische Interferenzbilder. Weitere qualitative Unterschiede ergeben sich durch das Vorhandensein von einem oder von zwei Achsenaustritten oder das Fehlen derselben im konoskopischen Gesichtsfeld. In jeder Art dieser qualitativ verschiedenen Interferenzbildern lassen sich aber auch quantitative Feststellungen machen, die das betreffende Bild eindeutig kennzeichnen.

Es hat sich als zweckmässig erwiesen, die verschiedenen Konoskopbilder mit Symbolen zu bezeichnen: Ein grosses I bedeutet Interferenzbild. Diesem I folgt ein Buchstabe, der die Beobachtungsrichtung in bezug auf die Indikatrix angibt. Die Bedeutung dieser Buchstaben ist folgende:

A = optische Achse eines einachsigen Kristalls
O = Schwingungsrichtung des ordentlichen Strahls ($\perp$A)
P_{AO} = eine Richtung, die schief zur optischen Achse A liegt
B_1 = spitze Bisektrix eines zweiachsigen Kristalls
B_2 = stumpfe Bisektrix
B_3 = optische Normale (Y)
P_{12} = eine Richtung in der Achsenebene
P_{13} = eine Richtung in der Ebene, die B_1 und B_3 enthält
P_{23} = eine Richtung in der Ebene, die B_2 und B_3 enthält
S = eine Richtung, die schief zu allen optischen Hauptrichtungen liegt.

IB_2 bedeutet also zum Beispiel das Interferenzbild, das man auf einem Schnitt senkrecht zur stumpfen Bisektrix beobachten kann. IB_1 ist dasjenige der spitzen Bisektrix, in dem, wenn 2V nicht zu gross ist, die beiden Achsen im Gesichtsfeld austreten. In diesem Fall fügt man dem Symbol in Klammern (AA) bei, also IB_1 (AA). Analog bedeutet IP_{12} (A)

das Konoskopbild, das man auf einem Schnitt senkrecht zur optischen Achsenebene sieht und bei dem eine Achse im Gesichtsfeld austritt. Im folgenden wird die Verwendung dieser Symbole an einigen Beispielen gezeigt werden.

1. Zentrosymmetrische Interferenzbilder (IA)

IA beobachtet man auf den Basisflächen optisch einachsiger Kristalle. Bei manchen Phyllosilikaten, die monoklin kristallisieren, steht die B_1 praktisch senkrecht auf (001) und gleichzeitig wird 2V so klein, dass das Interferenzbild zentrosymmetrisch erscheint und von einem IA nicht unterschieden werden kann (Fig. 1).

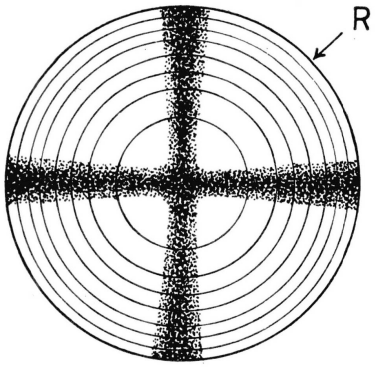

Fig. 1. Zentrosymmetrisches Interferenzbild IA. R = Gangunterschied am Rande des Gesichtsfelds.

In den IA bilden die Isochromaten konzentrische Ringe, die Isogyren ein mit den Okularfäden zusammenfallendes Kreuz, das sich beim Drehen des Mikroskoptisches nicht verändert. Selbstverständlich lässt sich der optische Charakter des Kristalls in der üblichen Weise mit Hilfsplättchen bestimmen. Darüber hinaus bieten die IA nur noch die Möglichkeit einer annähernden Bestimmung der maximalen Doppelbrechung Δ. Dazu müssen die Dicke d des Kristalls oder Spaltstücks und der am Rande des Konoskopbilds auftretende Gangunterschied R gemessen werden. Wenn der Kristall dick genug ist oder eine starke Doppelbrechung aufweist, erscheinen im Konoskopbild mehrere isochromatische Ringe, so dass der randliche Gangunterschied auf Grund der Ordnung und Farbe der Interferenzfarben mit genügender Genauigkeit geschätzt werden kann. Tritt das Weiss höherer Ordnung auf, so muss wie schon gesagt in monochromatischem Licht beobachtet werden, in dem die Isochromaten selbst sehr hoher Ordnungen deutlich als dunkle Ringe erscheinen. Die Anzahl dieser Ringe multipliziert mit der Wellenlänge

des angewandten Lichts ergibt den gesuchten Gangunterschied R. Bei dünnen oder schwach doppelbrechenden Kristallen sind oft nur die grauen bis weissen Interferenzfarben der ersten Ordnung zu sehen, so dass der Gangunterschied mit einem Drehkompensator gemessen werden muss. Da die Kompensation am Rande des Gesichtsfelds erfolgt, müssen unbedingt beide Kompensationsstellungen bei Links- und Rechtsdrehung abgelesen werden, deren Mittelwert R entspricht.

Die Dicke d des Kristalls oder Spaltblättchens wird wie üblich mit der Mikrometerschraube des Mikroskops gemessen. Dabei lassen sich Kunstgriffe anwenden, die eine sichere und rasche Bestimmung zulassen. Verfügt man über ein gutes planparalleles Spaltstückchen[2]), so kann man auf dem Objektträger einen feinen Tinte- oder Tuschestrich ziehen und das Spaltstück darauf legen. Man beobachtet dann bei gewöhnlichem Licht bei starker Vergrösserung die Stelle, an der der Strich unter dem Spaltstück hervortritt, stellt ihn scharf ein und liest die Stellung der Mikrometerschraube ab. Darauf hebt man den Tubus mit der Mikrometerschraube, bis die Oberfläche des Spaltstücks scharf eingestellt ist, und liest wieder ab. Selbstverständlich müssen die ausgeführten ganzen Umdrehungen der Schraube sorgfältig gezählt werden. Da das Spaltstück in Luft vermessen wurde, ergibt die Differenz der Ablesungen unmittelbar die Dicke d.

Bei kleineren Spaltstücken ist es ratsam, dieselben in Wasser einzubetten, in dem man eine kleine Menge eines nicht löslichen Farbstoffs (zum Beispiel echte chinesische Tusche) suspendiert hat. Partikel desselben lagern sich auf den Oberflächen des Objektträgers und des Spaltstücks ab und können leicht scharf eingestellt werden. Die Differenz der Ablesungen an der Mikrometerschraube entspricht der scheinbaren Dicke d'. Unter Berücksichtigung des Brechungsindex n_{fl} der Einbettungsflüssigkeit (im Falle von Wasser ist $n_{fl} = 1{,}33$) errechnet sich die Dicke d nach der Beziehung

$$d = n_{fl} \cdot d'. \qquad (1)$$

Hat man dagegen die auf dem Objektträger oder auf der Unterseite des Spaltstücks anhaftenden Farbpartikel durch den Kristall hindurch beobachtet, so muss n_{fl} in (1) durch den Brechungsindex des ordentli-

---

[2]) Das Spaltstück muss konstante Dicke besitzen und flach aufliegen. Es muss also, wenigstens über einen grossen Teil seiner Oberfläche, dieselbe, relativ höchste Interferenzfarbe aufweisen. Ferner muss seine Oberfläche, wenn man sie mit dem stärksten Objektiv beobachtet, gleichzeitig im ganzen Gesichtsfeld scharf eingestellt werden können.

chen Strahls n_0 des Kristalls ersetzt werden, wobei n_0 nur annäherungsweise bekannt sein muss, wenn die Bestimmung von Δ nur zu diagnostischen Zwecken dient.

Aus den festgestellten Werten R, d, n kann die maximale Doppelbrechung Δ wie folgt berechnet werden:

Die Neigung ρ des Randstrahls des Konoskops im Kristall ist gegeben durch

$$\sin \rho = \frac{U}{n}, \tag{2}$$

worin U die numerische Apertur des Objektivs und n der Brechungsindex des Minerals bedeuten.

Der Weg s des Randstrahls im Kristall ist

$$s = \frac{d}{\cos \rho} \tag{3}$$

und die Doppelbrechung Δ' in der Richtung des Randstrahls

$$\Delta' = \frac{R}{s} = \frac{R \cdot \cos \rho}{d}. \tag{4}$$

Es gilt ferner mit genügender Genauigkeit die Beziehung

$$\Delta' \simeq \sin^2 \rho \cdot \Delta \tag{5}$$

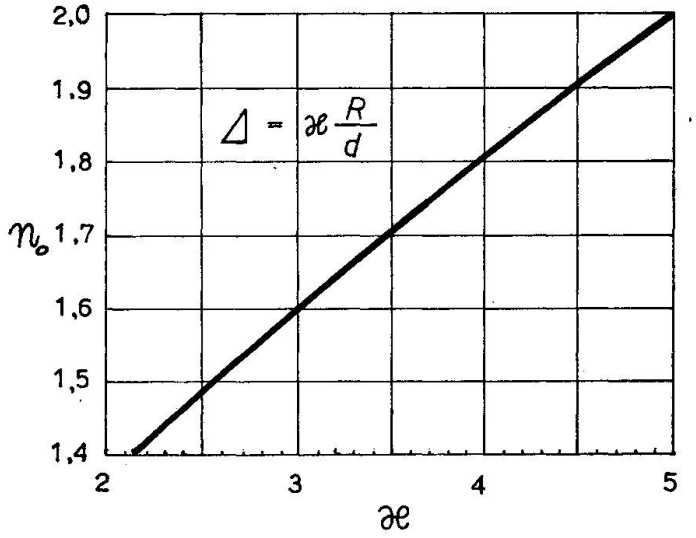

Fig. 2. Nomogramm zur Bestimmung der maximalen Doppelbrechung Δ in IA. Abszissen = Faktor κ, mit dem der Quotient R/d multipliziert werden muss, um Δ zu erhalten. Ordinaten = Brechungsindizes n_0.

Aus (4) und (5) folgt schliesslich

$$\Delta = \frac{R \cdot \cos\rho}{d \cdot \sin^2\rho} = \frac{R \cdot \operatorname{ctg}\rho}{d \cdot \sin\rho} = \kappa \cdot \frac{R}{d}. \tag{6}$$

Aus dem Nomogramm der Fig. 2 kann für U = 0,85 der Wert von $\kappa = \cos\rho/\sin^2\rho$ für verschiedene Brechungsindizes abgelesen werden, wonach Δ rasch mit dem Rechenschieber ermittelt werden kann.

Ausser der Bestimmung des optischen Charakters und der maximalen Doppelbrechung können in den IA in manchen Fällen abnormale Interferenzfarben beobachtet werden, die für gewisse Mineralien kennzeichnend sind. Bei Spaltblättchen des Pennins sieht man zum Beispiel statt der normalen Interferenzfarben der ersten Ordnung in den Quadranten des IA tiefblaue oder schmutziggelbe Felder, je nach der Wellenlänge, für die der betreffende Kristall isotrop erscheint. Auf Spaltstücken des Apophyllits beobachtet man im Konoskop häufig antinormale Interferenzfarben (sogenannte Andreasberger Farben), während auf den Spaltplatten des Brucits stark unternormale Interferenzfarben auftreten. Bei organischen künstlichen Kristallen sind solche abnormale (insbesondere auch übernormale) Interferenzfarben sehr häufig und oft für die Substanz charakteristisch. Gangunterschiedsbestimmungen mit Drehkompensatoren in verschiedenen monochromatischen Lichtarten (zum Beispiel rote, gelbe und blaue Interferenzfilter) erlauben zahlenmässige Angaben über die Dispersion der Doppelbrechung, die die Anomalie der Interferenzfarben verursacht. Bei organischen Kristallen sind solche Angaben in der Art der Ehringshauszahl oft ausgezeichnete Kennzeichen.

2. Disymmetrische Interferenzbilder (IB)

IB beobachtet man auf den Prismenflächen optisch einachsiger Kristalle (= IO), auf den drei Pinakoiden im rhombischen und auf dem seitlichen Pinakoid (010) im monoklinen System. Sie können aber auch an optisch pseudosymmetrischen Kristallen auftreten, wie zum Beispiel auf den Basisflächen monokliner Phyllosilikate (Glimmer, Talk, Chlorite usw.) und selbst an triklinen Kristallen (Disthen (100), Oligoklas mit 21% An auf (010)).

Die Isochromaten sind symmetrisch zu zwei aufeinander senkrechten Durchmessern, die den Schwingungsrichtungen entsprechen. Die Isogyren bilden in der Auslöschungsstellung ein mehr oder weniger verwaschenes Kreuz, das sich beim Drehen des Tischs öffnet und ein Hy-

perbelpaar bildet. Je nachdem die Isogyrenhyperbeln in der Diagonalstellung im Gesichtsfeld geblieben oder aus ihm verschwunden sind, unterscheidet man die IB_1 (AA) von allen anderen IB (Fig. 3—5).

In den IB_1 (AA) kann der optische Achsenwinkel 2V direkt gemessen werden. Dazu bringt man das Bild in Diagonalstellung und beobachtet es mit einem Mikrometerokular, das man so einsetzt, dass das lineare

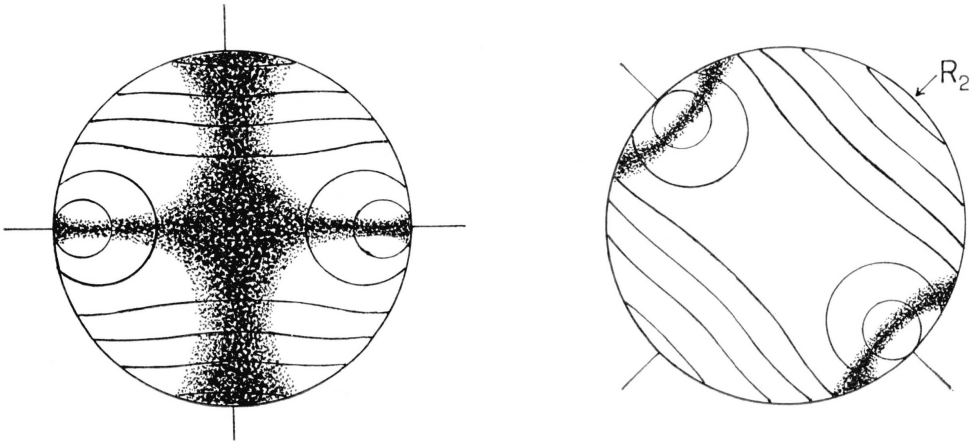

Fig. 3. Disymmetrisches Interferenzbild IB_1(AA). Wie in allen folgenden Figuren von Interferenzbildern sind links die Auslöschungsstellung und rechts die Diagonalstellung dargestellt. Die Symmetriedurchmesser, d. h. die Spuren der optischen Symmetrieebenen, sind durch Striche am Rande angedeutet. Im vorliegenden Falle, wie in allen IB, fallen sie mit den Schwingungsrichtungen zusammen. $\delta A = 0{,}88$. R_2 ist der am Rande des Gesichtsfeldes in der Richtung von B_3 senkrecht zur Spur der Achsenebene beobachtbare Gangunterschied.

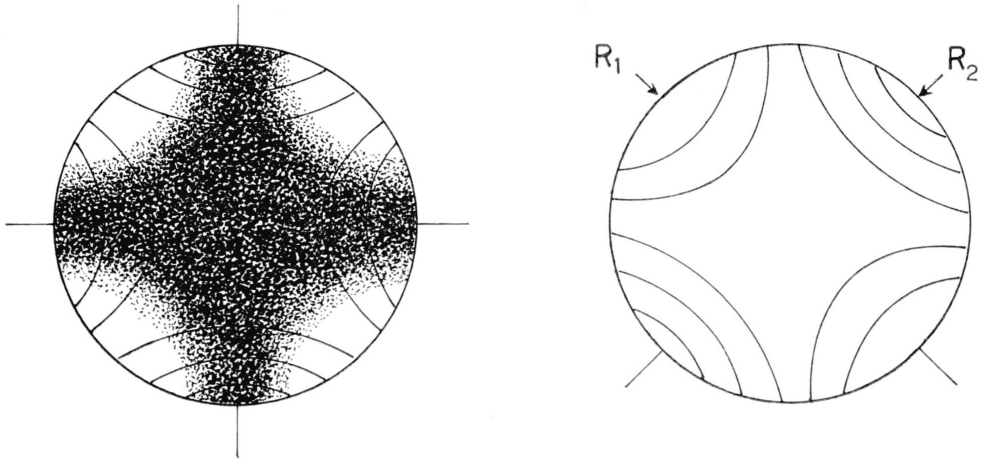

Fig. 4. Disymmetrisches Interferenzbild IB_2. R_1 = Gangunterschied am Rande in der Richtung von B_1, R_2 = ebenso in der Richtung von B_3. R_1 und R_2 liegen paarweise auf den Symmetriedurchmessern, die mit den Schwingungsrichtungen zusammenfallen.

Mikrometer parallel zur Spur der Achsenebene liegt (siehe Fig. 6). Man misst nun in beliebiger Skala den Durchmesser 2r des Gesichtsfeldes und den Abstand 2a der beiden Achsenaustritte in den Scheitelpunkten der Isogyrenhyperbel. Es sei $\delta A = 2r/2a$ der Zentralabstand einer Achse, dann gilt die Beziehung:

$$\sin V = \frac{\delta A \cdot U}{n}. \tag{7}$$

Tatsächlich ist schon der gemessene Wert von δA genau so kennzeichnend für die in Frage stehende Kristallart wie deren 2V, dessen Berechnung daher überflüssig ist, wenn man δA ein für allemal für die numeri-

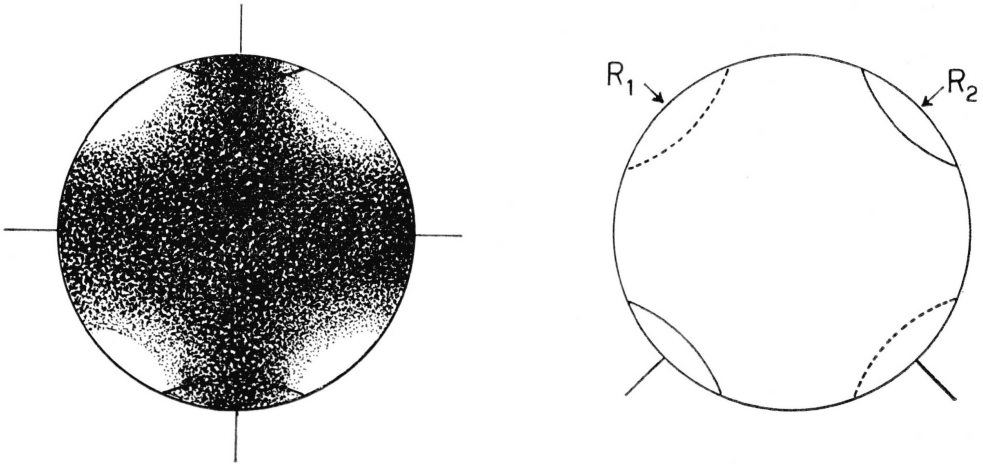

Fig. 5. Disymmetrisches Interferenzbild IB_3. R_1 = Gangunterschied am Rande gegen B_1; R_2 = ebenso gegen B_2.

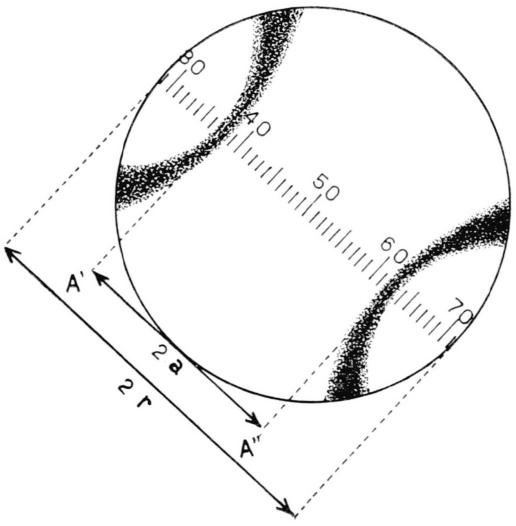

Fig. 6. Bestimmung von 2V auf IB_1(AA) mit Hilfe eines Okularmikrometers. Im vorliegenden Beispiel ist $2r = 43$ und $2a = 25$. Danach ist $\delta A = 0{,}58$. Aus dem Nomogramm der Fig. 7 ergibt sich z. B. für $n = 1{,}70$ ein Neigungswinkel $\nu = V = 17°$ und somit $2V = 34°$.

sche Apertur des benützten Objektivs aus den Literaturangaben berechnet hat. Das in Fig. 7 wiedergegebene Nomogramm ist nach (7) für die numerische Apertur U = 0,85 berechnet und erlaubt den Wert δA für einen beliebigen Brechungsindex n in V zu verwandeln.

Im Falle IB, in dem die Isogyren beim Drehen des Tischs das Gesichtsfeld verlassen, kann 2V nicht mehr direkt gemessen werden. Dafür lässt sich leicht ein anderer Zahlenwert feststellen, der ebenso kennzeichnend ist wie 2V. Es ist dies der *charakteristische Quotient der Gangunterschiede Q*, der wie folgt bestimmt wird:

Man drehe das Okular um 45°, so dass sein Fadenkreuz diagonal steht. Darauf bringe man durch Drehen des Tisches auch das Konoskopbild in Diagonalstellung, in der die höchsten und die niedrigsten Interferenzfarben am Rande des Gesichtsfeldes auf den Okularfäden paarweise gegenüber liegen. Man messe dort die Gangunterschiede und bilde

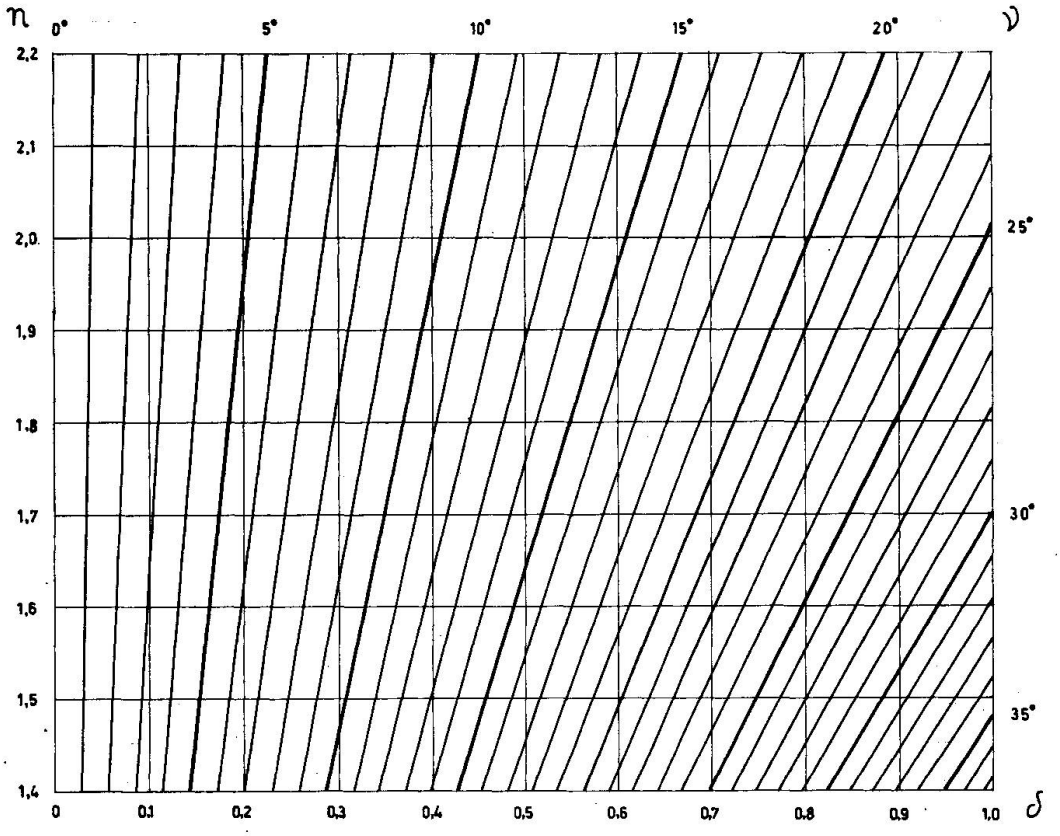

Fig. 7. Nomogramm zur Bestimmung des Neigungswinkels ν einer optisch ausgezeichneten Richtung (A oder B) zur Mikroskopachse. Abszissen = Zentralabstände δA oder δB; Ordinaten = n. Die geneigten Linien ergeben ν. Im Falle einer IB_1(AA) entspricht ν dem halben Achsenwinkel V.

die Mittelwerte für die beiden kleinsten (R_1) und die beiden grössten Werte (R_2). Aus diesen ergibt sich der charakteristische Quotient

$$Q = \frac{R_1}{R_2}. \tag{8}$$

Der Wert Q hängt von der Beobachtungsrichtung (B_1, B_2 oder B_3), von der Grösse von 2V und vom Brechungsvermögen n ab:

$$Q = \frac{\frac{f^2(V)}{\sin^2\rho} - 1}{\frac{f^2(V)}{tg^2\rho} + 1}. \tag{9}$$

Darin bedeutet $f(V) = \sin V$ für die Beobachtungsrichtung B_1, $\cos V$ für B_2 und $\frac{1}{\cos V}$ für B_3. Für den Winkel ρ siehe (2).

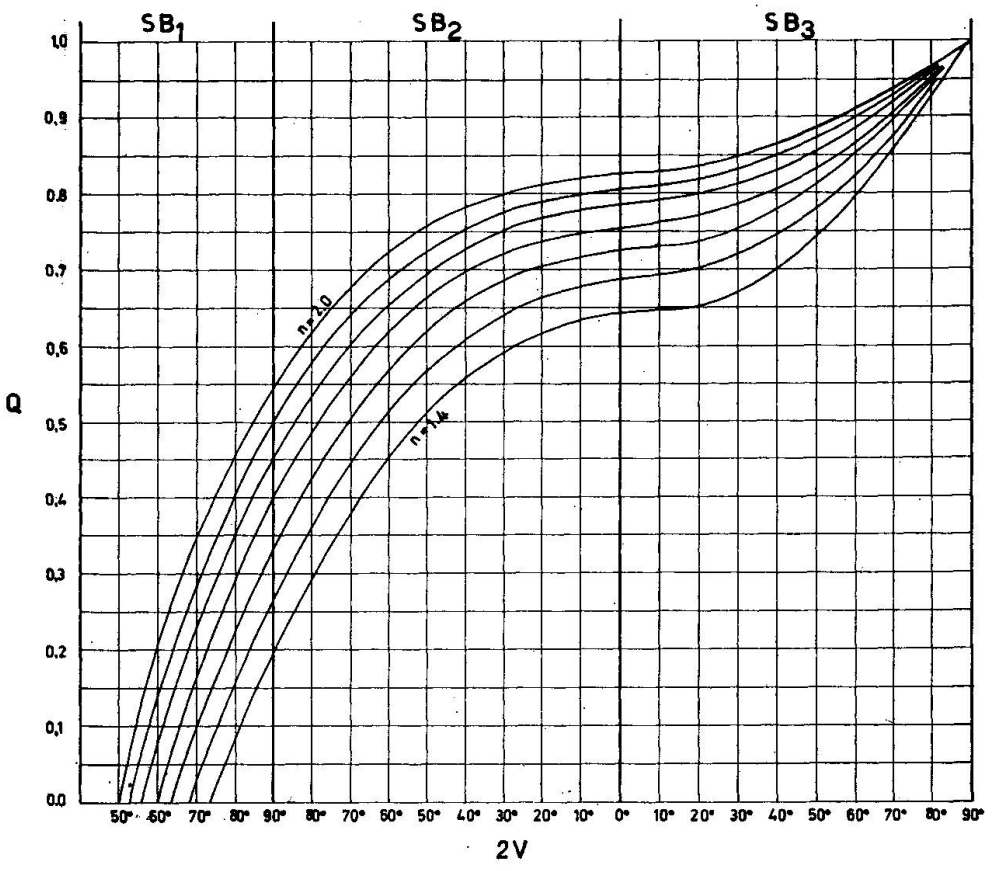

Fig. 8. Nomogramm zur Bestimmung der Beobachtungsrichtung in den disymmetrischen Interferenzbildern IB und zur annähernden Bestimmung von 2V auf Grund der Q-Werte. Abszissen = 2V in IB_1, IB_2 und IB_3. Ordinaten = $Q = R_1/R_2$. Bezugskurven für verschiedene Brechungsindizes n.

Umgekehrt ergibt sich aus (9)

$$f(V) = \sqrt{\frac{(1+Q)\sin^2\rho}{1-Q\cdot\cos\rho}}. \tag{10}$$

Die Werte für f(V) von 0 bis 0,707 beziehen sich auf den sinV (B_1), diejenigen von 0,707 bis 1 auf den cosV (B_2) und jene von 1 bis 2 auf den cosecV (B_3).

Die Q-Werte sind an sich ausgezeichnete Kennzeichen für die Spaltstücke eines Minerals. Sie dienen jedoch auch für die Unterscheidung von B_1, B_2 und B_3, wie dies aus dem Nomogramm (Fig. 8) zu ersehen ist. Dasselbe Nomogramm erlaubt überdies den entsprechenden Wert von 2V mit guter Annäherung abzulesen. Schon MICHEL-LÉVY hat gezeigt, dass der „Fluchtwinkel" der Isogyren, das heisst der Winkel ϑ, um den man den Tisch aus der Auslöschungsstellung drehen muss, da-

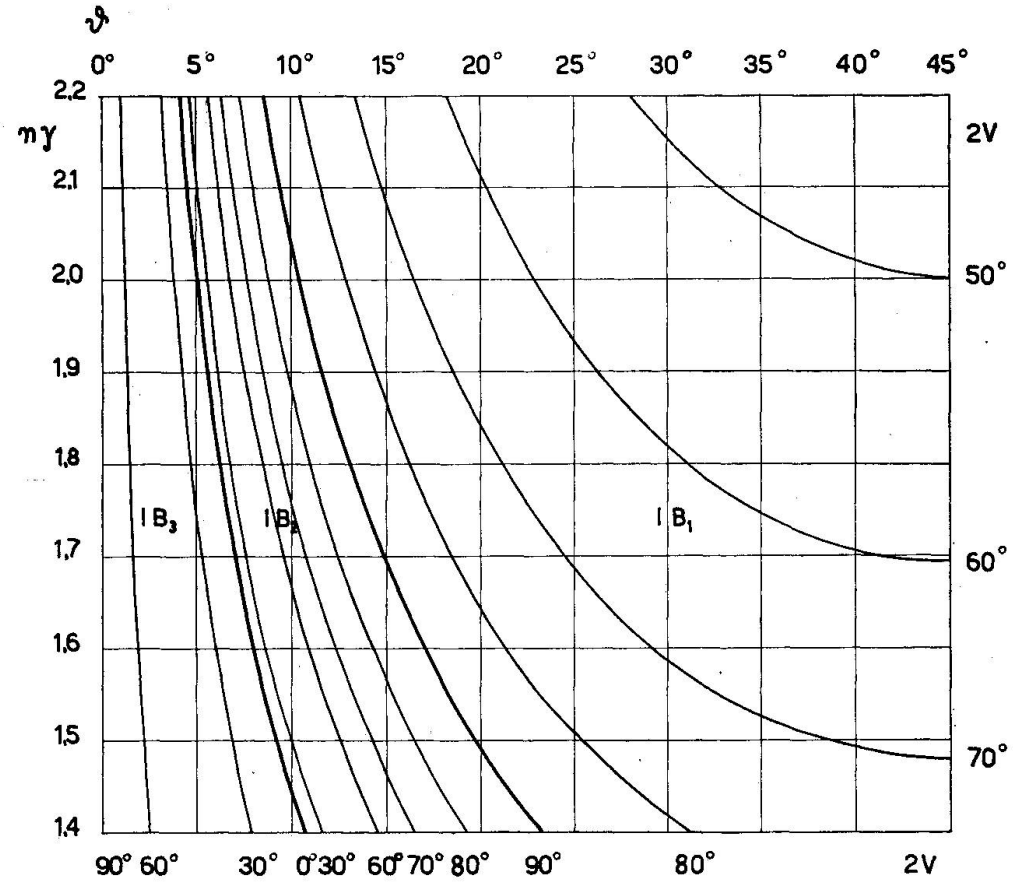

Fig. 9. Nomogramm zur Bestimmung der Beobachtungsrichtung in den disymmetrischen Interferenzbildern IB und zur rohen Schätzung von 2V auf Grund des „Fluchtwinkels" ϑ der Isogyren. Abszissen = Fluchtwinkel ϑ; Ordinaten = Brechungsindizes n. Kurven = 2V in IB_1, IB_2 und IB_3.

mit die Isogyren gerade am Rande des Gesichtsfeldes verschwinden, Rückschlüsse auf die Schnittlage und auf die Grösse von 2V zulässt (Fig. 9). Es ist nämlich

$$f(V) = \frac{\sin \rho}{\sqrt{\sin 2\vartheta}} \quad \text{(nach MICHEL-LÉVY)}, \quad (11)$$

woraus sich unter Berücksichtigung von (10) die folgende Beziehung zwischen dem Fluchtwinkel und Q ergibt:

$$\sin 2\vartheta = \frac{1 - Q \cdot \cos^2 \rho}{1 + Q}. \quad (12)$$

Jedenfalls ist die Feststellung der Q-Werte viel genauer als die des Fluchtwinkels ϑ, der jedoch eine vorläufige Orientierung über die Natur der Schnittlage erlaubt, sofern 2V nicht allzu gross oder allzu klein ist.

Auf allen IB kann der optische Charakter des Kristalls in der üblichen Weise festgestellt werden, wobei jedoch darauf geachtet werden muss, dass der optische Charakter der IB_2 und IB_3 demjenigen von IB_1 und somit demjenigen des Kristalls entgegengesetzt ist.

Der Gangunterschied R_0, den man im Mittelpunkt des diagonal gestellten IB messen kann, entspricht demjenigen, den man bei orthoskopischer Beobachtung auf dem Spaltblättchen beobachtet. Die Dicke des Präparats kann mit denselben Kunstgriffen, die schon oben für die IA beschrieben wurden, mit ziemlicher Genauigkeit gemessen werden. Die berechnete Doppelbrechung $\Delta' = R_0/d$ entspricht Δ_1 auf IB_1, Δ_2 auf IB_2 und der maximalen Δ auf IB_3. Nach den MALLARDschen Annäherungen

$$\Delta_1 \cong \sin^2 V \cdot \Delta \quad \text{und} \quad \Delta_2 \cong \cos^2 V \cdot \Delta \quad (13)$$

kann die maximale Doppelbrechung in allen Fällen berechnet werden. Die Faktoren k_1 und k_2, mit denen Δ_1 und Δ_2 multipliziert werden müssen, um Δ zu erhalten, sind aus dem Nomogramm (Fig. 10) abzulesen. Doch auch hier gilt natürlich, dass für die Spaltstücke eines gegebenen Kristalls die Werte für Δ_1 oder Δ_2 ebenso kennzeichnend sind wie die maximale Doppelbrechung. Diese ist nur notwendig für Vergleiche mit Literaturangaben.

Da der Faktor k_1 für die IB_1 (AA) bei kleinen 2V sehr gross ist, werden die Fehler, die bei der Bestimmung von Δ_1 unterlaufen mögen, vervielfacht, so dass die mit k_1 berechneten Δ-Werte unsicher werden. Es ist deshalb vorzuziehen, den Gangunterschied R_2 (siehe Fig. 3) am Rande des Gesichtsfeldes in der Richtung von B_3 zu messen und zur

Berechnung von Δ den aus dem Nomogramm der Fig. 11 abzulesenden Faktor k zu benützen. Es ist dann $\Delta = k \cdot R_2/d$.

Abnormale Interferenzfarben, die durch kräftige Dispersion der Doppelbrechung verursacht sind, können besonders bei organischen Kristallen auch auf den IB diagnostisch sehr wertvoll sein, so dass quantitative Bestimmungen angezeigt sind (siehe oben IA). In Verbindung mit einer starken Achsenwinkeldispersion sind sie zum Beispiel auch an Biotiten pneumatolytischer Entstehung zu beobachten.

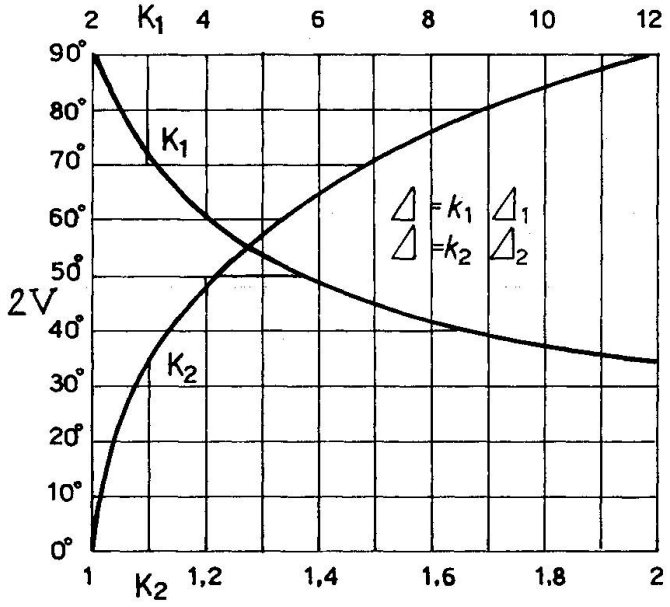

Fig. 10. Nomogramm zur Bestimmung der Faktoren k_1 und k_2, die zur Berechnung der maximalen Doppelbrechung Δ aus den Doppelbrechungen Δ_1 auf IB_1 und Δ_2 auf IB_2 dienen. Abszissen = k_1 (oben) und k_2 (unten). Ordinaten = 2V (nach Fig. 8 aus Q bestimmt).

3. Monosymmetrische Interferenzbilder (IP)

Pyramiden- und Rhomboederflächen der optisch einachsigen Kristalle zeigen monosymmetrische Konoskopbilder, denen man das Symbol IP_{AO} gibt. In zweiachsigen Kristallen werden IP auf den Prismen und Domen des rhombischen und auf den normalsymmetrischen Flächen des monoklinen Systems beobachtet.

In allen IP sind die Isochromaten symmetrisch zu einem Durchmesser, der der Spur der optischen Symmetrieebene P entspricht (Fig. 12—16). In der Auslöschungsstellung bildet die Isogyre einen geraden Balken,

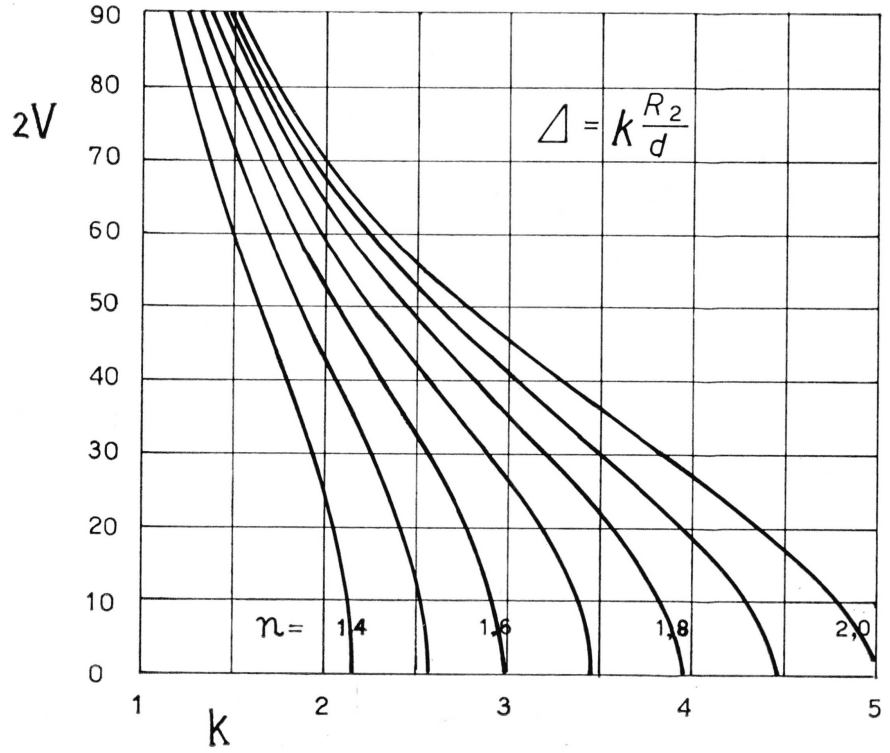

Fig. 11. Nomogramm zur Bestimmung der maximalen Doppelbrechung Δ auf Grund des Gangunterschieds R_3 (s. Fig. 3) in $IB_1(AA)$ oder IB_1. Abszissen = Faktor k; Ordinaten = 2V; Bezugskurven für verschiedene Brechungsindizes n.

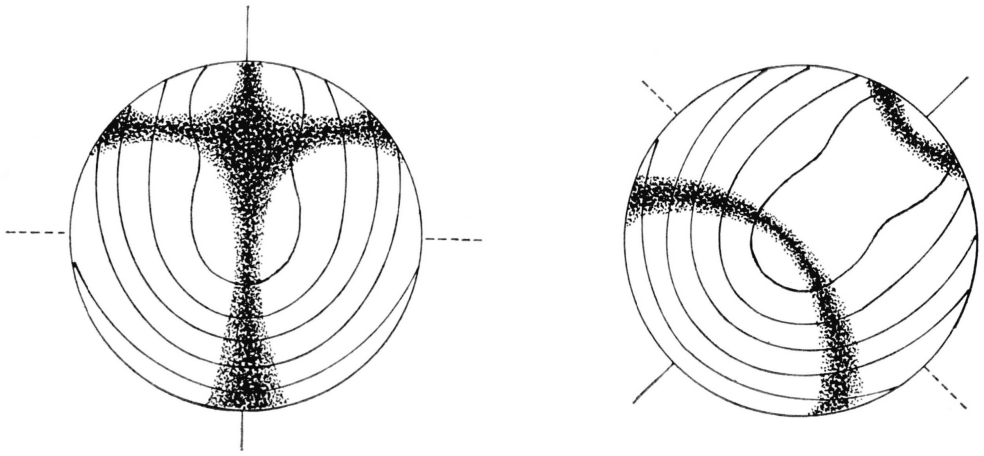

Fig. 12. Monosymmetrisches Interferenzbild $IP_{12}(AA)$. Der Symmetriedurchmesser (Striche am Rande) entspricht der Spur der optischen Achsenebene und einer der beiden Schwingungsrichtungen. Die dazu senkrechte andere Schwingungsrichtung (gestrichelt) ist keine Symmetrielinie. Im Beispiel sind $\delta A' = 0$, $\delta A'' = 0{,}88$, $\delta B_1 = 0{,}46$. Bei einem $n = 1{,}48$ ergibt sich aus diesen Werten mit Hilfe der Abbildung 7 $2V = 30°$.

der mit einem der beiden Okularfäden und mit der Spur von P zusammenfällt. Wenn im Gesichtsfeld keine Achse austritt, verlässt die Isogyre beim Drehen des Tisches das Gesichtsfeld. Andernfalls dreht sich die Isogyre um den Achsenaustrittspunkt (Melatope) im umgekehrten Sinn der Tischdrehung. Liegen beide Melatopen im Gesichtsfeld, so sieht man zwei Isogyrenäste, die sich in der Auslöschungsstellung zu einem exzentrischen Kreuz vereinigen, dessen Kreuzungspunkt den Austritt der Bisektrix angibt. Danach können auf den ersten Blick folgende Typen von monosymmetrischen Konoskopbildern unterschieden werden:

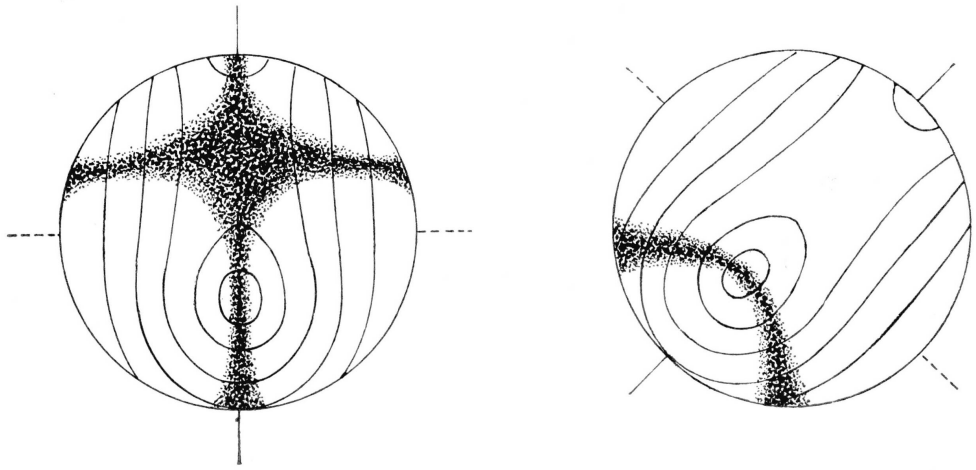

Fig. 13. Monosymmetrisches Interferenzbild $IP_{12}(A)$. Symmetriedurchmesser = Spur der Achsenebene P_{12}. Im Beispiel ist $\delta A = 0{,}37$, δB_1 ungefähr 0,4. Die konvexe Seite der Isogyre in Diagonalstellung ist dem Bildmittelpunkt zugekehrt.

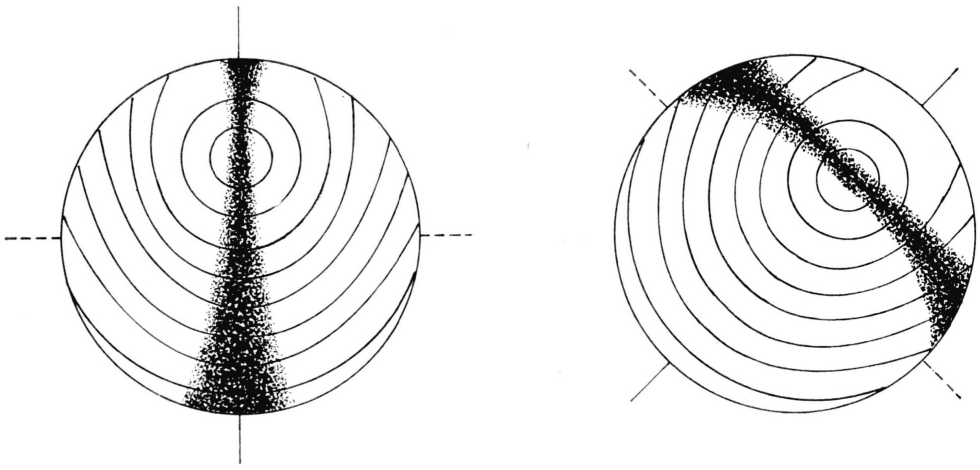

Fig. 14. Monosymmetrisches Interferenzbild $IP_{21}(A)$. Symmetriedurchmesser = Spur der Achsenebene P_{12}. $\delta A = 0{,}46$. In Diagonalstellung ist die konkave Seite der Isogyre dem Bildmittelpunkt zugekehrt. Die Beobachtungsrichtung liegt also zwischen A und B_2.

1. Beide Melatopen liegen im Gesichtsfeld:

   a) sie liegen auf dem Symmetriedurchmesser = IP_{12} (AA) (Fig. 12)
   b) sie liegen beidseitig davon = IP_{13} (AA) (Fig. 15)

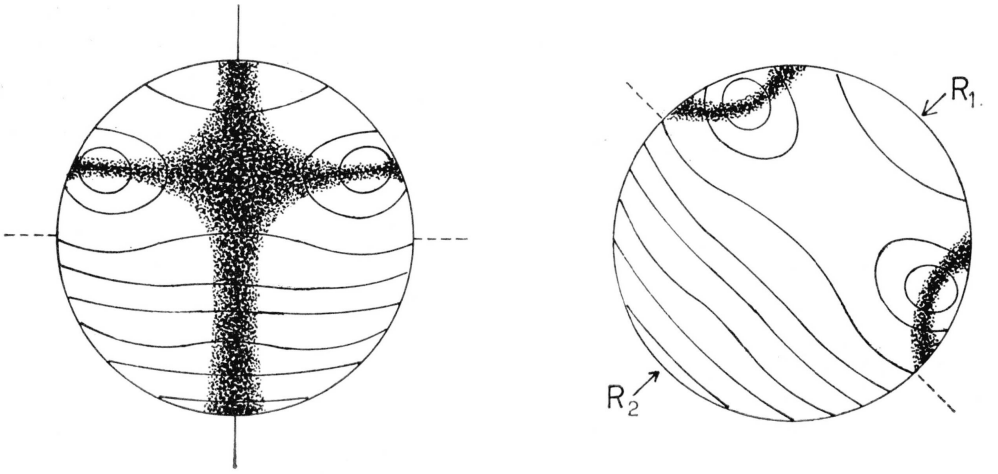

Fig. 15. Monosymmetrisches Interferenzbild IP_{13} (AA). Der Symmetriedurchmesser (= Spur der optischen Symmetrieebene P_{13}) steht senkrecht zur exzentrischen Spur der Achsenebene, die um den δB_1 entsprechenden Winkel zur Mikroskopachse geneigt ist. $\delta A = 0{,}62$; $\delta B_1 = 0{,}45$. Für $n = 1{,}60$ ergibt sich aus Fig. 7 für δA, $\nu_A = 19{,}2°$, für δB_1, $\nu_B = 13{,}8°$. Das sphärische Dreieck B_1AM (Mittelpunkt) ist rechtwinklig in B_1. Folglich $\cos V = \cos \nu_A / \cos \nu_B = 0{,}973$, wonach $2V = 27°$. Denselben Wert erhält man graphisch mit Hilfe des Wulffschen Netzes.

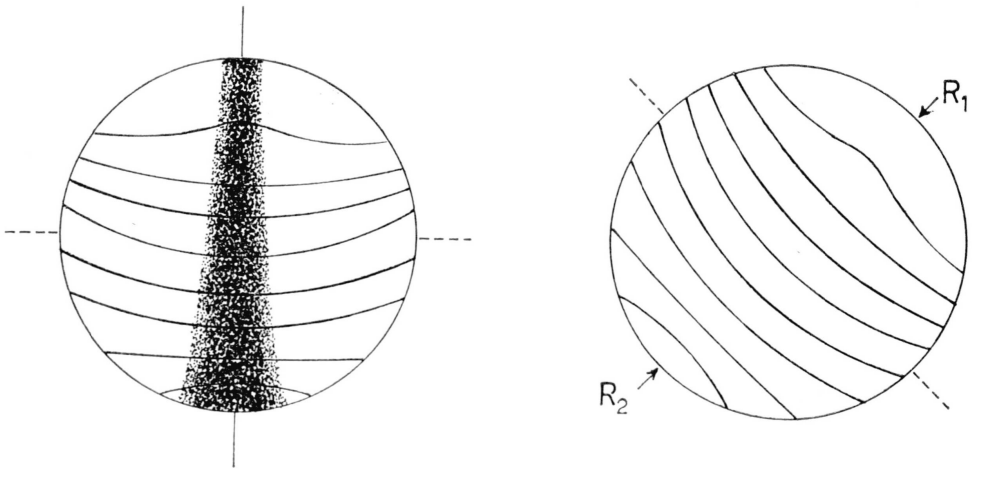

Fig. 16. Monosymmetrisches Interferenzbild IP_{13}. Symmetriedurchmesser = Spur der Ebene P_{13}. Auf ihm liegen am Rande der kleinste (R_1) und der grösste (R_2) Gangunterschied. $Q = R_1/R_2$.

2. Nur eine Melatope liegt im Gesichtsfeld:

   a) in der Diagonalstellung ist die konvexe Seite der Isogyre dem Mittelpunkt zugekehrt = IP_{12} (A) (Fig. 13)
   b) die Isogyre ist konkav = IP_{21} (A) (Fig. 14)

3. Keine Melatope ist sichtbar:

   a) ein Bisektrizenaustritt ist sichtbar = IP (B)
   b) weder Melatopen noch Bisektrizen = IP (Fig. 16 und 17)

In den Fällen 1 und 2 können die Zentralabstände δA in der Diagonalstellung gemessen werden, während die Zentralabstände von Bisektrizen δB in der Auslöschungsstellung annähernd bestimmbar sind. Das zentrierte Achsenbild eines zweiachsigen Kristalls ist ein Grenzfall von IP_{12} (A) mit $\delta A = 0$. In diesen IP (AA) oder IP (A) kann der optische Charakter des Kristalls in der üblichen Weise festgestellt werden.

Im Fall 3b werden die niedrigsten (R_1) und höchsten (R_2) Interferenzfarben an den beiden Endpunkten des Symmetriedurchmessers bestimmt, worauf wiederum der kennzeichnende Wert $Q = R_1/R_2$ festgestellt werden kann. Mit seiner Hilfe kann entschieden werden, in welcher der drei optischen Symmetrieebenen P_{12}, P_{13} oder P_{23} die Beobachtungsrichtung liegt, vorausgesetzt natürlich, dass 2V nicht allzu nahe an 90° oder 0° ist, da bei $2V = 90°$ P_{13} gleichwertig mit P_{23} wird, während für $2V = 0°$ $P_{12} = P_{13}$ ist. Im Fall 3b und auch im Fall 3a, sofern $\delta B > 0{,}5$ ist, können die IP_{23} sofort daran erkannt werden, dass ihr Q grösser als 0,6 ist. Für die IP_{13} dagegen sind die Q-Werte kleiner als 0,5.

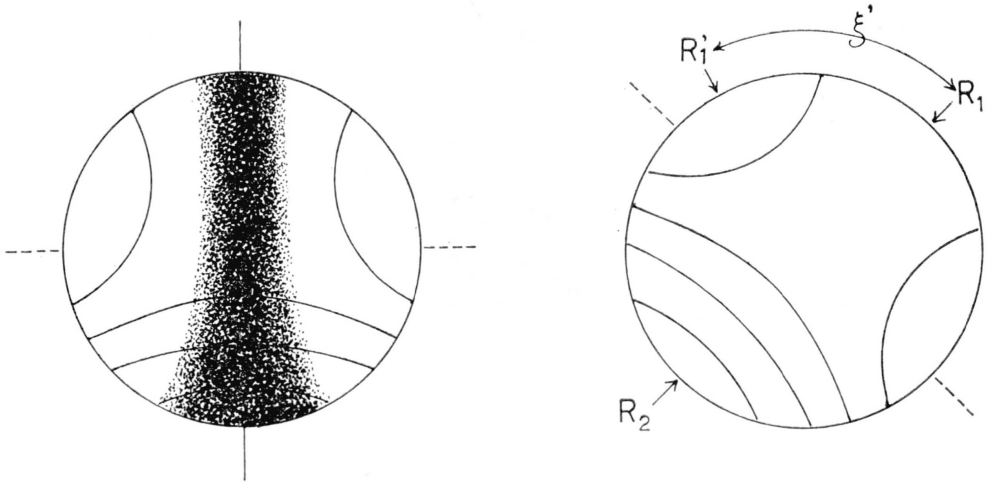

Fig. 17. Monosymmetrisches Interferenzbild IP_{23}. Symmetriedurchmesser = Spur der Ebene P_{23}. Darauf liegen am Rande die R_1 und R_3. $Q = R_1/R_2$.

Überdies zeigen die IP_{23} die niedrigsten Interferenzfarben nicht an dem B_2 zugekehrten Ende des Symmetriedurchmessers ($\varnothing$), sondern am Rande des Gesichtsfeldes (siehe Fig. 17 R_1'). Der Winkel ξ' zwischen dem Symmetriedurchmesser und dem durch R_1' gehenden Radius ist ebenfalls kennzeichnend für die meisten IP_{23}.

Das Nomogramm der Fig. 18 erlaubt eine etwas genauere Bestimmung der Beobachtungsrichtung und eine rohe Schätzung der Grösse von 2V. Als Ordinaten sind die Q-Werte abgetragen; die Abszissen ge-

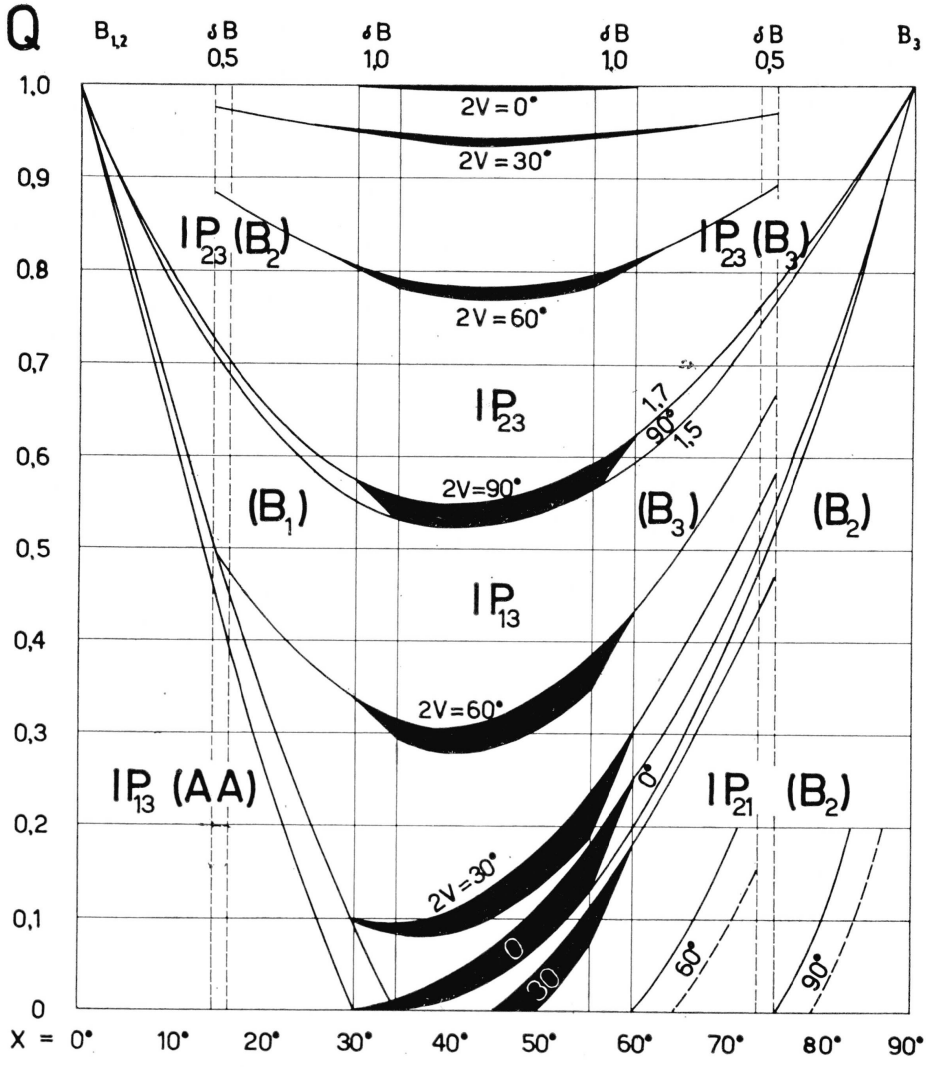

Fig. 18. Diagramm zur semiquantitativen Interpretierung der monosymmetrischen Interferenzbilder IP. Abszissen = Winkelabstände der Beobachtungsrichtungen von B_1 oder B_2 aus gegen B_3 hin gemessen. Ordinaten = Q-Werte. Alle Bezugskurven für 2V, δA und δB sind für n = 1,5 und n = 1,7 eingetragen. Sie begrenzen die Felder der verschiedenen Typen der IP.

ben den Positionswinkel der Beobachtungsrichtung an, der von B_1 oder B_2 aus gegen B_3 gemessen wird. Die Bezugskurven sind für $2V = 0°$, 30°, 60° und 90° eingetragen. Ihre Lage hängt natürlich auch vom Brechungsindex der Substanz ab, da dieser die Öffnung des konoskopischen Lichtkegels bedingt. Im Nomogramm sind die Kurven für $n = 1{,}5$ und $n = 1{,}7$ eingetragen. Im Gebiet der IP ohne Melatopen oder Bisektrizen sind die Zwischenräume der korrespondierenden Kurven ausgefüllt. Ferner sind die Felder der verschiedenen Fälle P_{13} (AA), P_{12} (AA), P_{12} (A) und der P (B) eingetragen. Das Nomogramm genügt zur sicheren Interpretation der monosymmetrischen Konoskopbilder, erlaubt jedoch nur semiquantitative Bestimmungen.

Je nachdem der Symmetriedurchmesser mit Z′ oder X′ zusammenfällt, lassen sich positive und negative IP unterscheiden. Diese Feststellung ist an sich ebenso kennzeichnend wie der optische Charakter des in Frage stehenden Kristalls. Will man jedoch diesen letzteren bestimmen, so muss man vorher feststellen, ob man es mit einer IP_{12}, IP_{13} oder einer IP_{23} zu tun hat, was mit Hilfe des Nomogramms möglich ist, wenn 2V nicht allzu nahe an 90° reicht. Handelt es sich um eine IP_{23}, so ist das Vorzeichen des Symmetriedurchmessers umgekehrt zu dem des optischen Charakters; in den beiden anderen Fällen jedoch gleich.

Es sei noch bemerkt, dass fast alle IP_{12} Achsen- oder Bisektrizenaustritte im Gesichtsfeld aufweisen, so dass sie leicht als solche erkannt werden. Ausser durch ihre Q-Werte sind sie noch durch die δA oder δB quantitativ gekennzeichnet. Dazu kommt noch die Bestimmung von Δ', das an sich für alle IP charakteristisch ist. Auch auf den IP können manchmal anormale Interferenzfarben auftreten, die sich durch die chromatische Kompensation in weissem Licht als übernormal oder unternormal sofort erkennen lassen. Ausser der Dispersion der Doppelbrechung Δ' — die sehr verschieden sein kann von derjenigen von Δ — können hier und da auch Dispersionen der optischen Achsen und der Bisektrizen beobachtet werden.

4. Asymmetrische Interferenzbilder (IS)

Pyramidenflächen im rhombischen System, Pyramiden- und Prismenflächen im monoklinen und alle Flächen im triklinen System zeigen IS.

In der Auslöschungsstellung bildet die Isogyre einen mehr oder weniger gekrümmten Ast, der genau durch den Mittelpunkt des Gesichts-

feldes geht, aber mit keinem der beiden Okularfäden zusammenfällt (Fig. 19—22). Die Isochromaten sind asymmetrisch angeordnet, was sich am besten in der Diagonalstellung mit um 45° gedrehtem Fadenkreuz beobachten lässt. Wenn 2V sehr gross ist und die Beobachtungsrichtung zwischen B_3 und A liegt, können die Isochromaten jedoch symmetrisch zu einem Durchmesser angeordnet sein; dass es sich jedoch um ein

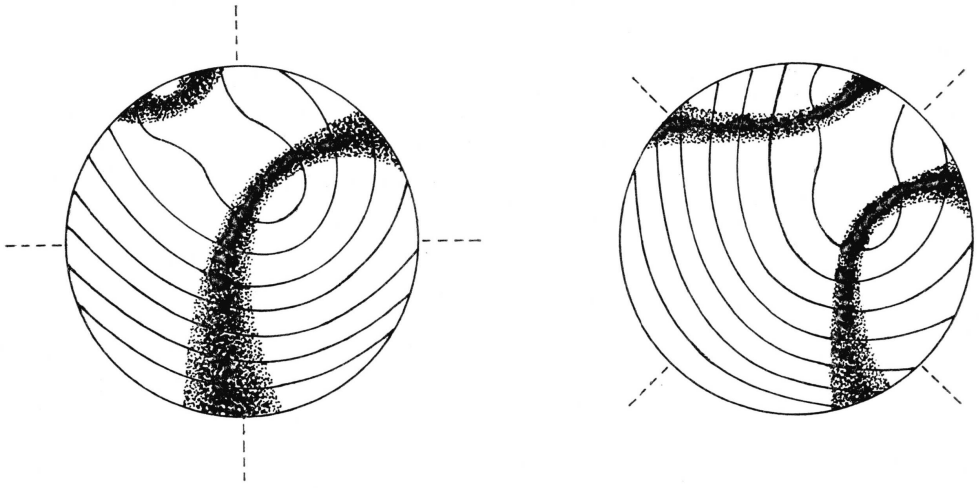

Fig. 19. Asymmetrisches Interferenzbild IS(AA). $\delta A' = 0{,}38$; $\delta A'' = 0{,}86$; $\delta B_1 \sim 0{,}6$. 2V kann leicht geschätzt werden. Misst man mit Hilfe des drehbaren Mikroskoptisches den von den durch A′ und A″ gehenden Radien gebildeten Winkel und liest in Fig. 7 die den $\delta A'$ und $\delta A''$ entsprechenden Winkel ab, so kann 2V berechnet oder graphisch bestimmt werden.

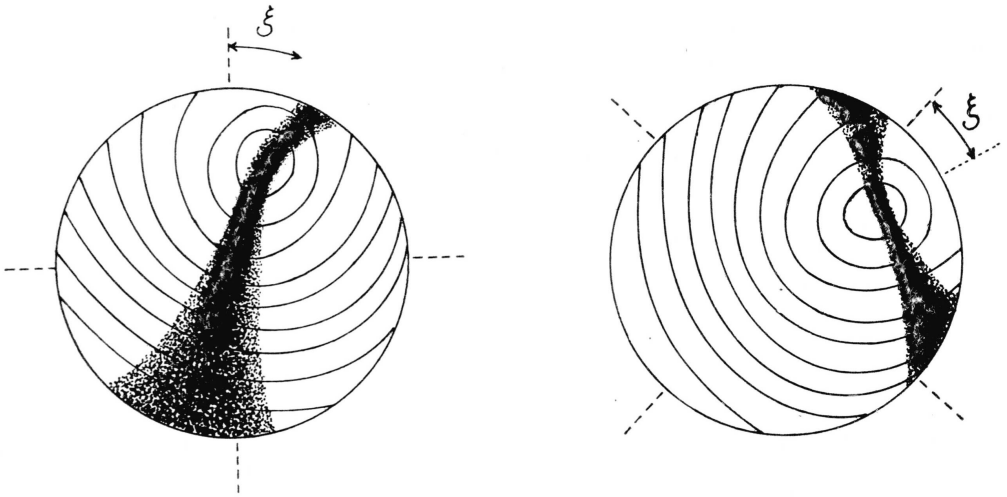

Fig. 20. Asymmetrisches Interferenzbild IS(A). $\delta A = 0{,}63$; Asymmetriewinke $\xi = 20°$.

asymmetrisches Bild handelt, wird durch die diagonale Lage der als gerader Balken erscheinenden Isogyre in Auslöschungsstellung bewiesen (Fig. 22). In diesem seltenen Falle bildet der scheinbare Symmetriedurchmesser einen Winkel von 45° mit den Schwingungsrichtungen, während er in den IP mit einer derselben zusammenfällt.

Auch bei den IS können auf den ersten Blick mehrere Typen quali-

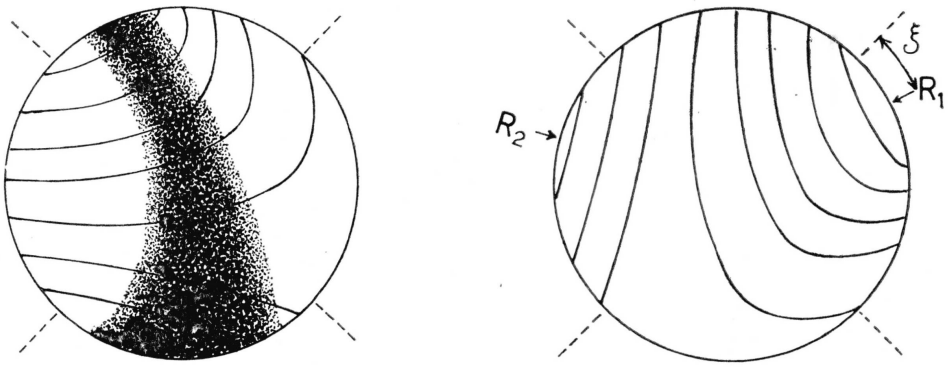

Fig. 21. Asymmetrisches Interferenzbild IS. Die extremen Gangunterschiede R_1 und R_2 liegen nicht mehr diametral gegenüber. Auch hier gilt $Q = R_1/R_2$. Der Asymmetriewinkel zwischen dem durch R_1 gelegten Radius und der benachbarten Schwingungsrichtung beträgt hier $\xi = 18°$.

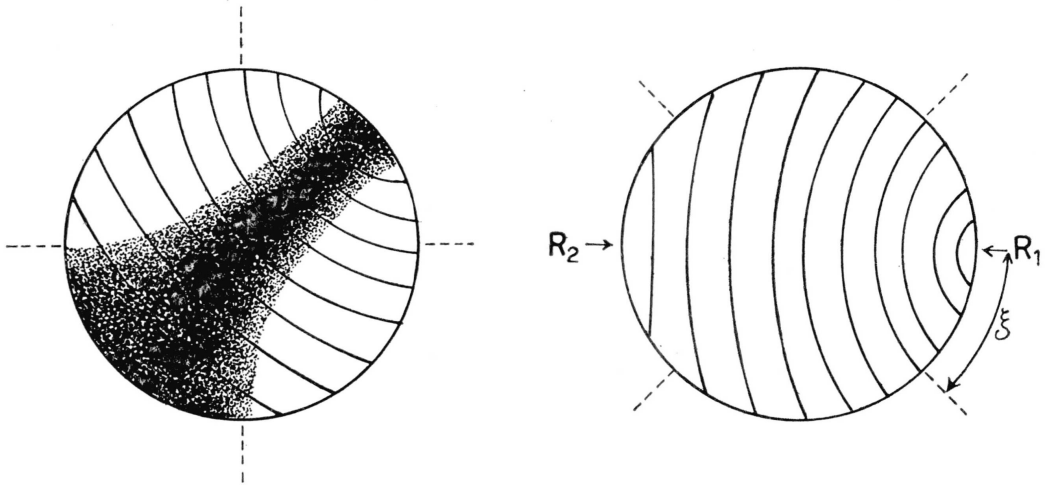

Fig. 22. Asymmetrisches Interferenzbild IS. Bei 2V etwa 90° und einer Beobachtungsrichtung, die etwa zwischen A und B_3 liegt, ist die Anordnung der Isochromaten pseudomonosymmetrisch. R_1 und R_2 liegen auf dem scheinbaren Symmetriedurchmesser, der jedoch mit den Auslöschungsrichtungen etwa 45° bildet. Der Asymmetriewinkel beträgt also $\xi \cong 45°$, und in der Auslöschungsstellung liegt der gerade Isogyrenbalken diagonal zu den Schwingungsrichtungen.

tativ unterschieden werden, je nachdem ein oder zwei Achsenaustritte oder ein Bisektrizenaustritt im Gesichtsfeld liegen oder nicht. Das wird durch die folgenden Symbole veranschaulicht: IS (AA), IS (A), IS (B) und IS. Die Zentralabstände δA und δB sind auch hier sehr gute Kennzeichen, die wie üblich gemessen werden.

Weitere quantitative Angaben sind durch die Q-Werte und den sogenannten Asymmetriewinkel ξ gegeben. In den IS liegen die niedrigsten (R_1) und höchsten (R_2) Interferenzfarben am Rande nicht auf demselben Durchmesser noch auf den Schwingungsrichtungen X′ oder Z′. Die Gangunterschiede R_1 und R_2 werden nach den Interferenzfarben geschätzt oder, wenn diese zu niedrig sind, mit einem Drehkompensator gemessen, nachdem man die betreffenden Randstellen in Subtraktionsstellung gebracht hat. Der Quotient $Q = R_1/R_2$ ist auch hier kennzeichnend für den Kristall.

Der Asymmetriewinkel ξ wird folgendermassen gemessen: Man bringe durch Drehen des Tisches die Stelle R_1 auf einen Okularfaden und lese die Tischstellung ab. Darauf drehe man in die nächstliegende ($< 45°$) Auslöschungsstellung. Die Differenz der beiden Tischstellungen ergibt den Winkel ξ. Man muss nun noch feststellen, auf welche der beiden Schwingungsrichtungen man sich bezogen hat. Ist dies Z′, so wird ξ als positiv bezeichnet, ist es X′, so ist ξ negativ. Der Wert von ξ und sein Vorzeichen sind an sich ebenso gute Kennzeichen wie ein Auslöschungswinkel und der optische Charakter des Kristalls, wobei allerdings bemerkt werden muss, dass die Messung von ξ weniger genau ist als diejenige eines Auslöschungswinkels bei orthoskopischer Beobachtung.

In den IS (A) kann ebenfalls ein Asymmetriewinkel gemessen werden. Dieser Winkel ξ' wird gebildet durch den durch A gehenden Durchmesser und die nächstliegende Schwingungsrichtung, die X′ oder Z′ sein kann.

Selbstverständlich können auch in den IS Dispersionen der Schwingungsrichtungen und der Doppelbrechung beobachtet werden und geben — neben dem absoluten Wert der Δ' — weitere wertvolle Kennzeichen der in Frage stehenden Substanz.

BEISPIELE

Im folgenden seien noch Beispiele von Konoskopbildern angeführt, die auf Spaltblättchen von einigen Mineralien beobachtet werden.

Zentrosymmetrische Interferenzbilder IA (vgl. Fig. 1)

Alunit	(0001)	R/d = 0,007	$\Delta = 0{,}020$	opt. Char. +
Phlogopit	(001)	0,010 – 0,015	0,030 – 0,047	–
Biotit	(001)	0,015 – 0,018	0,045 – 0,060	–
Brucit	(0001)	0,0067 – 0,0075	0,019 – 0,021	+

Bem. Brucit zeigt stark unternormale Interferenzfarben.

Disymmetrische Interferenbilder IB

IB_1 (AA) (siehe Fig. 3)

Phlogopit	(001)	oA = 0,01—0,30	$\Delta_1 = 0{,}000$—0,003	2V = – 5° — – 18°
Biotit	(001)	0,01—0,50	0,000—0,007	– 5° — – 25°
Phengit	(001)	0,40—0,55	0,003—0,004	– 25° — – 37°
Muskowit	(001)	0,55—0,75	0,004—0,006	– 37° — – 50°
Talk	(001)	0,05—0,53	0,000—0,003	– 5° — – 30°
Pyrophyllit	(001)	0,83—0,94	0,010—0,210	– 53° — – 60°

IB_1

Disthen	(100)	Q = 0,33	$\Delta_1 = 0{,}006$—0,007	2V = – 83°

IB_2 (siehe Fig. 4)

Orthoklas	(010)	Q = 0,46—0,62	$\Delta_2 = 0{,}004$—0,005	2V = – 32° — – 70°
Anhydrit	(001)	0,63	0,038	+ 42°
Coelestin	(001)	0,63	0,007	+ 51°
Baryt	(001)	0,68	0,011	+ 36° — + 38°

IO

Cancrinit	$(10\bar{1}0)$	Q = 0,67—0,68	$\Delta = 0{,}023$—0,029	opt. Char. –
Marialith	(110)	0,70	0,002—0,010	–
Dipyr	(110)	0,70	0,010—0,018	–
Mizzonit	(110)	0,71	0,018—0,032	–
Mejonit	(110)	0,71	0,032—0,042	–
Zirkon	(110)	0,81	0,044—0,055	+

IB_3 (siehe Fig. 5)

Desmin	(010)	Q = 0,71—0,77	$\Delta = 0{,}010$—0,011	2V = – 30° — – 49°
Sanidin	(010)	0,70—0,83	0,006—0,007	– 60° — – 5°
Sillimanit	(010)	0,76—0,77	0,020—0,022	+ 21° — + 30°
Anhydrit	(010)	0,77	0,044	+ 42°
Gips	(010)	0,82	0,010	+ 58°
Diaspor	(100)	0,98	0,048	+ 84° — + 85°
Bronzit	(100)	0,91—1,00	0,010	– 65° — – 90°

Monosymmetrische Interferenzbilder (IP)

IP_{12} (AA) (siehe Fig. 12)

Hydrargillit (Gibbsit) (001). $\delta B = 0{,}78$—$0{,}86$ mit stark wechselnden 2V, wobei die Achsenebene parallel oder senkrecht zu (010) sein kann. Dementsprechend zeigt der Hydrargillit verschiedene Typen von Konoskopbildern, wie folgende Tabelle zeigt:

2V	P_{12}	δB_1	$\delta A'$	$\delta A''$	Δ'	IP	
+40°	∥ (010)	0,78	0,16	1	0,001	IP_{21} (A)	IP_{AO}
+12°	∥ (010)	0,85	0,68	1,00	0,004	IP_{21} (AA)	
+ 0°	in (010)	0,87 =	0,87 =	0,87	0,0045	IP_{13} (AA)	
+15°	⊥ (010)	0,90	1,00 =	1,00	0,0065	IP_{13}	
+20°	⊥ (010)	0,92	>1	>1	0,007		

IP_{12} (A) (siehe Fig. 13)

Epidot 10% Fe–Ep.	$\delta B_1 = 0{,}85$	$\delta A = 0{,}69$	2V = 90°
(001) 20%	0,92	0,49	−82°
(001) 30%	1,00	0,25	−72°
(001) 40%	—	0,13	−68°

IP_{21} (A) (siehe Fig. 14)

Hydrargillit s. oben.

Klinozoisit (001)	$\delta B_1 = 0{,}62$—$0{,}84$	$\delta A = 1{,}00$ —$0{,}70$	2V = +84°— 90°
Diallag (100) Abs.	$\delta A = 0{,}60$—$0{,}85$	$\Delta' = 0{,}007$—$0{,}011$	2V = +50°—+60°

IP_{12} (B)

Klinozoisit (100)	$\delta B_{1=Z} = 0{,}25$—$0{,}01$	Q = 0,29—0,99
Epidot 10% (100)	$\delta B = 0{,}00$ (Grenzfall = IB)	Q = 1,00
Epidot 20% (100)	0,07	0,84
Epidot 30% (100)	0,14	0,75
Epidot 40% (100)	0,18	0,72

IP_{AO}

Calcit ($10\bar{1}1$) $Q = 0{,}05$ $\Delta' = 0{,}092$ $\Phi = X'$

IP_{13} (AA) (siehe Fig. 15)

Hydrargillit s. oben bei IP_{21} (AA)

Margarit (001)	$\delta B_1 = 0{,}20$—$0{,}27$	$\delta A = 0{,}88$ —1,00
	$Q = 0{,}63$—$0{,}69$	$\Delta' = 0{,}001$—$0{,}004$

IP_{13} (siehe Fig. 16)

Baryt	(110)	$Q = 0{,}13$	$\Delta' = 0{,}005$	$\Phi = Z'$
Coelestin	(110)	0,24	0,005	Z′
Bronzit	(110)	0,58—0,35	0,007—0,008	X′
Hypersthen	(110)	0,35—0,20	0,008—0,009	X′
Anthophyllit	(110)	0,38—0,60	0,008—0,016	X′ oB = 0,85
Orthoklas	(001)	0,76—0,83	0,005—0,007	X′ $oB_3 = 0{,}16$—0,37

IP_{23} (siehe Fig. 17)

Enstatit	(110)	$Q = 0{,}80$—0,59	$\Delta' = 0{,}006$—0,007	$\Phi = X'$
Andalusit	(110)	0,59	0,007—0,009	Z′
Natrolith	(110)	0,74—0,77	0,010—0,011	X′

Asymmetrische Interferenzbilder (IS)

IS (AA) (siehe Fig. 19)

Sassolin	(001)	$\delta B_1 = 0{,}3$—0,6	$2V = -6°$	(fast IP_{13} (AA))
Crossit z. T.	(110)	0,90	$2V = 8°$	$\delta A > 0{,}8$

IS (A) (siehe Fig. 20)

Crossit	(110)	$\delta A = 0{,}99$—0,27	$\xi = -\ 0°$—16°	$\delta B = 0{,}90$	$\Delta' = 0{,}002$
Bababudanit	(110)	0,07—0,26	−10°—16°	0,90	0,001
Anorthit	(001)	0,63	−24°	—	0,005
Anorthit	(010)	0,93	−31°	—	0,007

IS (siehe Fig. 21 und 22)

Glaukophan	(110)	$Q = 0{,}00$—0,05	$\xi = -\ 5°$—45°	$\Delta' = 0{,}003$
Grammatit	(110)	0,10	+30°	0,013
Aktinolith	(110)	0,14	+31°	0,010
Fe-Aktinolith	(110)	0,15	+32°	0,008
Augit	(110)	0,30—0,27	+26°—+28°	0,020—0,022
Aegirinaugit	(25% Ac)	0,31	+44°	0,024
„	(110) (50% Ac)	0,47	−32°	0,031
„	(110) (75% Ac)	0,61	−25° [3])	0,040
Aegirin	(110) (100% Ac)	0,54	−21°	0,051
Skolezit	(110)	0,42—0,48	−9°—22°	0,007

---

[3]) Da c = X wird, geht das IS in ein IP_{23} über, für das $Q = 0{,}71$ und $\xi = 0°$, ξ' dagegen −23° werden (vgl. Fig. 17).

Literatur

Burri, C. (1950): Das Polarisationsmikroskop. Basel.

Niggli, P. (1924): Lehrbuch der Mineralogie. 2. Aufl., Bd. 1, Berlin.

Rittmann, A. (1946): Metodo del quoziente caratteristico dei ritardi per la determinazione indiretta dell'angelo 2V degli assi ottici. Rend. Soc. Min. Italiana. Vol. 3, Roma.

— (1947): Il metodo della compensazione cromatica. Rend. Soc. Min. Italiana. Vol. 4, Roma.

— (1951): On the determination of birefringence in the case of high retardations. Bull. Fac. Sci. Alexandria University.

Rittmann, A. und Flaschenträger, B. (1953): Untersuchung von Kristallen mit den Polarisationsmikroskop. Handbuch der physiologisch- und pathologisch-chemischen Analyse. Bd. 1, Berlin.

Rittmann, A. und El-Hinnawi, E. E. (1961): The Application of the Zonal Method for the Distinction between Low- and High-Temperature Plagioclase Feldspars. Schweiz. Min. Petr. Mitt., Bd. 41, 41—48.

Tröger, W. E. (1956): Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale. Teil 1, Stuttgart.

Manuskript eingegangen am 14. Januar 1963.