

Umgang mit optischen Instrumenten

- **Einleitung**
 - Das Polarisations-Mikroskop gehört zum Grundwerkzeug für geologische bzw. mineralogisches Arbeiten. Diese Übung dient dazu, den alltäglichen Umgang mit diesem Gerät zu lernen.
- **Allgemeiner Umgang**
 - Die Mikroskope sind behutsam aus dem Schrank herauszunehmen und am Ende der Übung wieder einzuräumen.
 - Die Mikroskope haben einige entfernbarer Teile (Hilfsobjekte, usw.). Bitte achten Sie darauf, dass sie nicht entfernt werden.
 - Nehmen Sie **grundsätzlich keine** Reparaturarbeiten (außer Zentrierung) vor! Wenn etwas am Mikroskop nicht in Ordnung ist, bitte sofort melden.

Literatur

G. Müller & M. Raith

Methoden der Dünnschliffmikroskopie

Clausthaler Tektonische Hefte Bd. 14

Standardwerk zum schnellen Nachschlagen z. Z. vergriffen, kursiert aber als Kopie i. d. Fachschaft. Sehr empfehlenswert

R. Phillips

Mineral Optics - Principles and Techniques

New York 1971

Sehr gute und anschauliche Abbildungen

C. Burri

Das Polarisationsmikroskop

Basel 1950

Zur Vertiefung der Theorie

Rinne Berek

Anleitung zur allgemeinen und Polarisationsmikroskopie der Festkörper im Durchlicht

Stuttgart 1973

Zur Vertiefung der Theorie

Aufbau eines Mikroskops

Ocular

1

Bertrand-Amici-Linse

Analysator

2

Schlitz für Hilfsobjekt

Nonius
feststellbar

3

Objektiv am Objektivrevolver
Objekttisch

Zentrierschrauben
des Kondensors

4

Kondensorlinse
Knopf zum Ausklappen
der Kondensorfrontlinse
Hilfslinse des Kondensors, ausklappbar

Grob- und Feintrieb

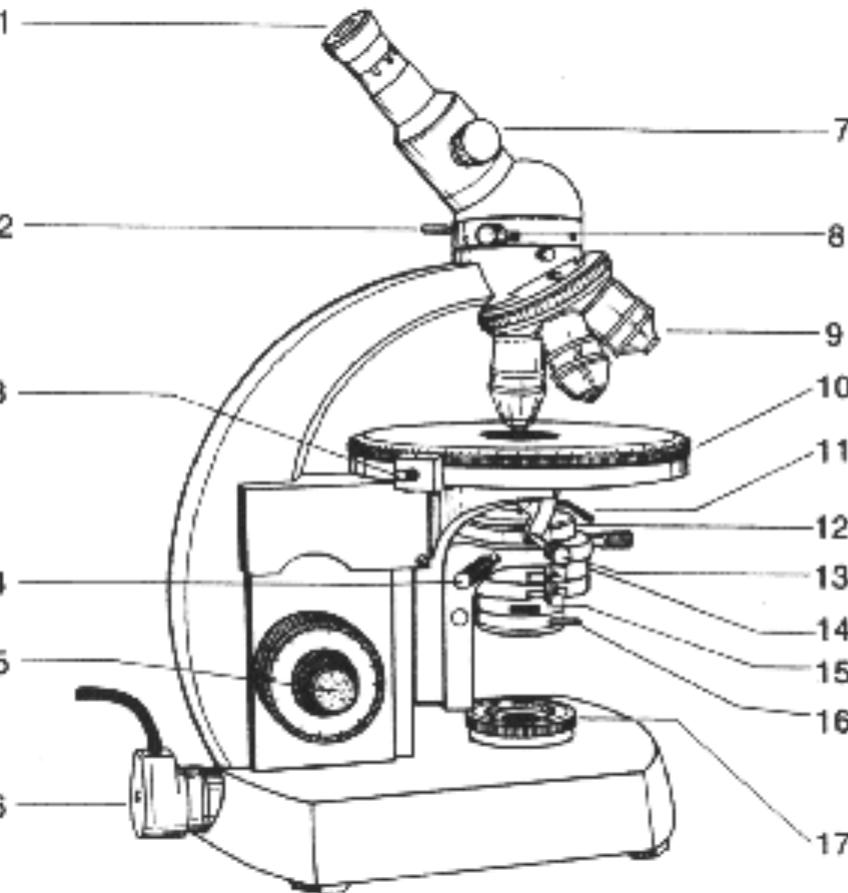
5

Schlitz für Hilfsobjekt
Polarisator

Einbauleuchte

6

Leuchtfeldblende

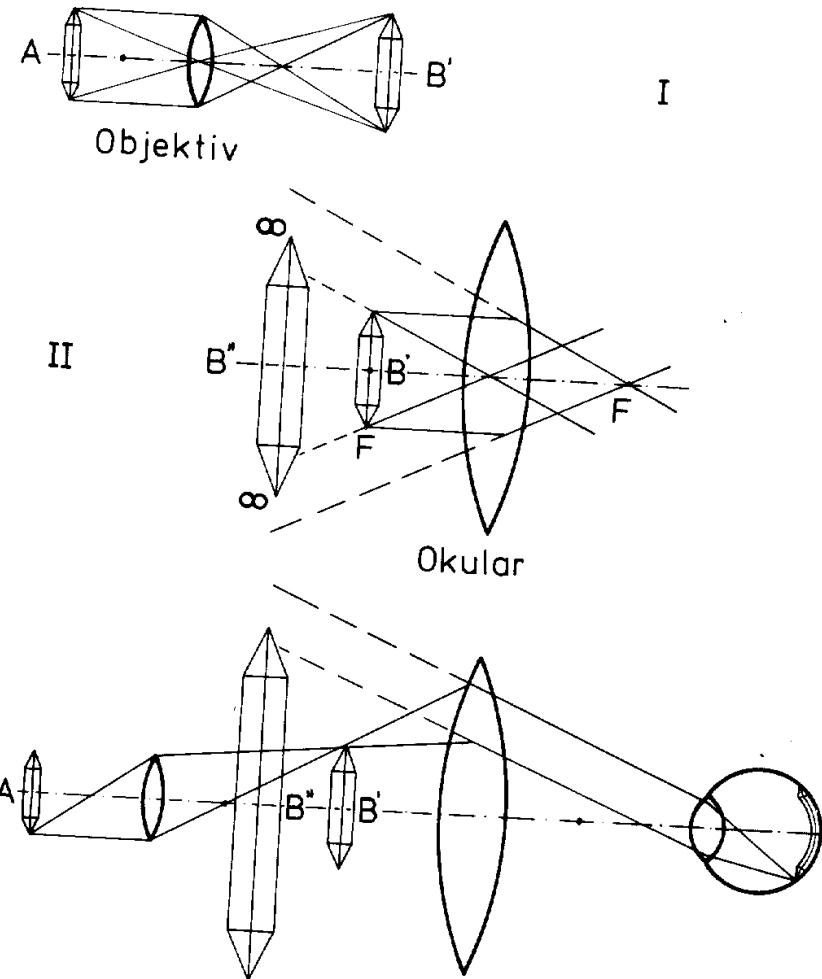


Aufbau Mikroskop

Vergrößerung

Die Vergrößerung erfolgt durch die Kombination von zwei bikonvexen Linsen.

- Das **Objektiv** erzeugt ein reelles umgekehrtes und vergrößertes Bild des Objektes (Zwischenbild B').
- Das Okular wirkt als Lupe. Das Zwischenbild wird nochmals vergrößert (B''). Im Mikroskop liegt das Zwischenbild in der Brennebene des Okulars. Dadurch erscheint dem Auge das Endbild im Unendlichen.
- Die Linse des Auges bewirkt, dass die eigentliche Abbildung auf die Netzhaut erfolgt.



I + II = Mikroskop

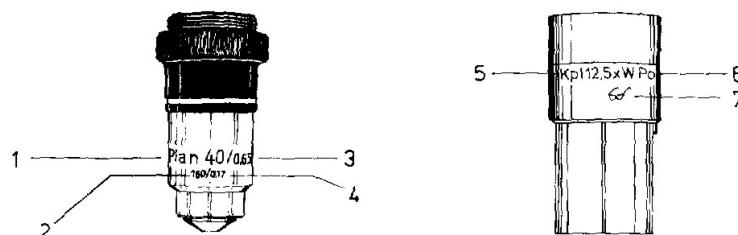
Bild 3 Abbildung und Vergrößerung eines Kristalls im Mikroskop

Auflösung eines Mikroskops

Objektiv

Die Kenngrößen des Objektivs sind

- Maßstabszahl --- Korrekturzustand --- Numerische Apertur
- Die **Korrektur** ist im allgemeinen für ein Deckglas mit der Dicke von 0,17 mm durchgeführt worden.
- Die **numerische Apertur A** ist eine Maßzahl für die vom Objektiv aufgenommene Lichtmenge.
- Mit steigenden Öffnungswinkel des Strahlenkegels wächst das Auflösungsvermögen des Objektivs. Das heißt, hiermit kann der kleinste Abstand d zwischen zwei noch getrennt voneinander erkennbaren Bildpunkten festgestellt werden.



1. Korrekturtyp Maßstabszahl 40
2. Tubuslänge 160
3. numerische Apertur 0,65
4. korrigiert für Deckglasdicke 0,17 mm

5. Kompens - Plan - Okular
Lupenvergrößerung 12,5
6. Weitwinkel
7. Brillenträgerokular

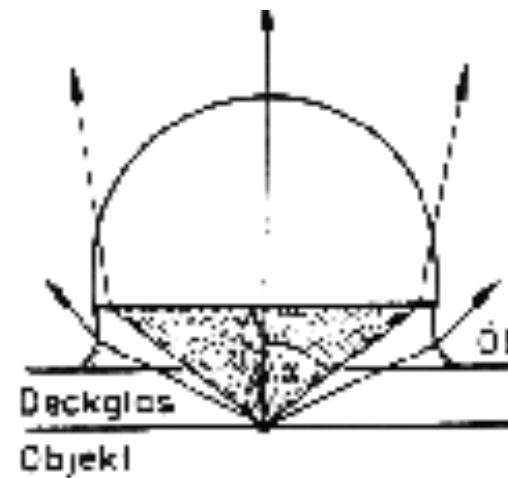
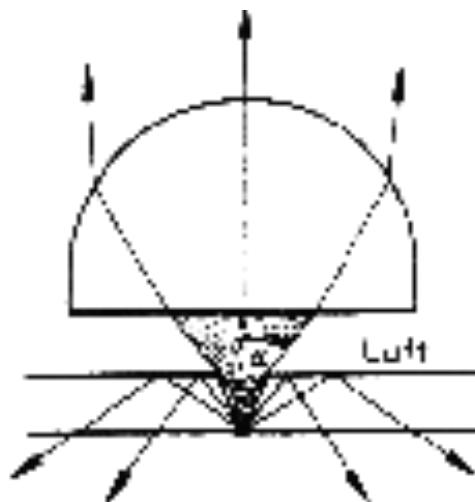
Auflösung eines Mikroskops

Für $\lambda = 600 \text{ nm}$ und eine Apertur A von ca 0,5 - 0,9 folgt: $d = 0,6 - 0,3 \mu\text{m}$. Durch Verwendung eines Ölimmersionsobjektivs lässt sich die Apertur weiter steigern ($> 1,5 \mu\text{m}$).

$$d = \frac{\lambda}{2A}$$

$$A = n \cdot \sin \alpha$$

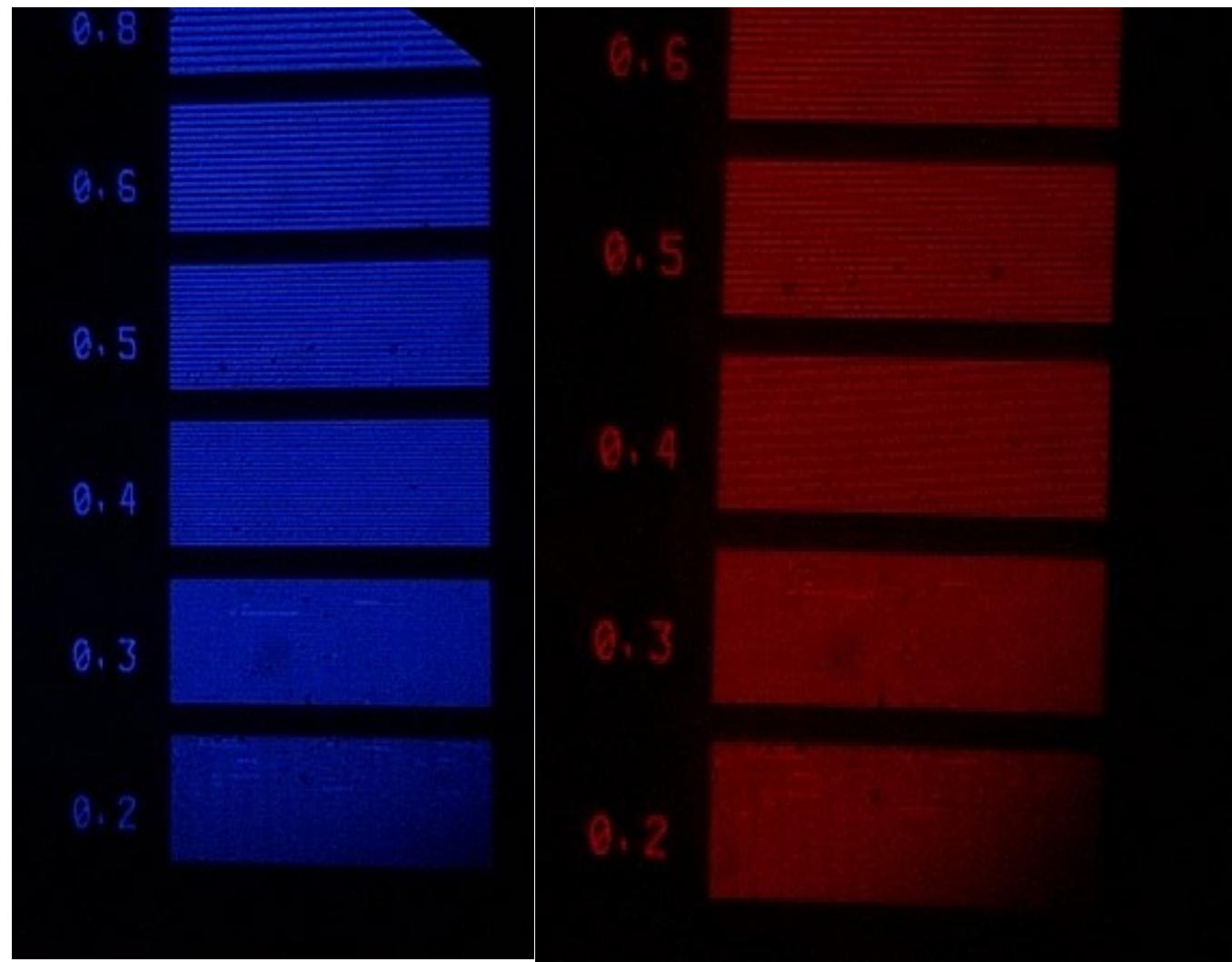
Bei Betrachtung im kurzwellig monochromatischen Licht (ca 400 nm) führt es zu einer theoretischen Auflösung von $d = 400 \text{ nm} / 2 \times 1,5 \mu\text{m} \sim 0,13 \mu\text{m}$



Auflösung eines Mikroskops

μm - Raster
im blauen,
bzw. rotem
Licht.

Das
kurzwelligere
blaue Licht
liefert eine
höhere
Auflösung
als das rote
Licht.



Aufbau eines Mikroskops

Okular:

Der Abstand d muß vom Auge unter einem Sehwinkel von mindestens 2 Bogenminuten betrachtet werden. Dazu wird das Zwischenbild mit dem Okular vergrößert. Okulare haben i. A. eine Vergrößerung von 8 - 12 -fach

Die Gesamtvergrößerung des Mikroskops beträgt

$$V_{\text{mikr}} = V_{\text{Objektiv}} \times V_{\text{Okular}}$$

und sollte das 500 bis 1000 -fache der Apertur betragen.

Niedrigere Vergrößerung löst nicht alle Strukturen des beobachteten Objekts auf, eine höhere Vergrößerung ("leere Vergrößerung") liefert nur ein größeres Bild, ohne aber feinere Strukturen zu zeigen.

Am Okular befindet sich ein Drehring, mit dem das Okular innerhalb einiger Dioptrien für Brillenträger angepasst werden kann.

Aufbau eines Mikroskops

Beleuchtung

erfolgt durch eine Glühlampe oder Halogenlampe. Mit der **Leuchtfeldblende** kann die Ausleuchtung verändert und die Gesamtintensität beeinflußt werden.

- Um einen möglichst natürlichen Farbeindruck zu gewinnen, liegt auf der Leuchtfeldblende ein schwacher Blaufilter auf.
- Der **Kondensor** ist ein fokussierendes Linsensystem. Das Licht wird annähernd parallel und gleichmäßig durch das Objekt gelenkt.
- Die **Aperturblende** ist unterhalb der **Kondensorfrontlinse** angebracht. Durch Einengen dieser Blende wird der Bildkontrast erhöht und gleichzeitig die das Objekt durchstrahlende Lichtmenge eingeschränkt.

Aufbau eines Mikroskops

Polarisator und Analysator

- Ein Polarisator bewirkt, dass Licht nur in einer definierten Richtung schwingt, es wird linear polarisiert.
- Ihr Mikroskop ist mit zwei Polarisatoren ausgestattet. Der erste, kurz *der* Polarisator genannt, befindet sich unterhalb des Kondensors. Seine Schwingungsrichtung liegt parallel zum horizontalen Faden des Fadenkreuzes (=EW-Richtung). Der Polaristor kann ausgeklappt werden. Achten Sie darauf, das er IMMER vollständig eingeklappt und eingerastet ist.
- Der zweite Polarisator wird Analysator genannt und befindet sich zwischen Objektiv und Okular unterhalb der Bertrand-Amici-Linse. Er kann in den Strahlengang eingeklappt bzw. eingeschoben werden.
- Die Schwingungsrichtung des Analysators steht senkrecht auf der des Polarisators (d.h. parallel zum vertikalen Faden des Fadenkreuzes = NS-Richtung).
- Bei eingeklapptem Analysator (auch "gekreuzten Polaristoren") sollte das Blickfeld dunkel erscheinen. (Sofern sich kein anisotropes Präparat unter dem Mikroskop befindet.)

Orthoskopischer und konoskopischer Strahlengang

- Beim **orthoskopischen** Strahlengang wird mit Hilfe des Okulars das **reelle Zwischenbild des Objektivs** betrachtet.
- Beim **konoskopischen** Strahlengang wird durch Einklappen der Bertrand-Amici-Linse die Brennweite des Okulars verlängert, so dass die **hintere Brennebene des Objektivs** betrachtet wird. D. h., jetzt befindet sich die hintere Brennebene des Objektivs in der Brennebene des Okulars.

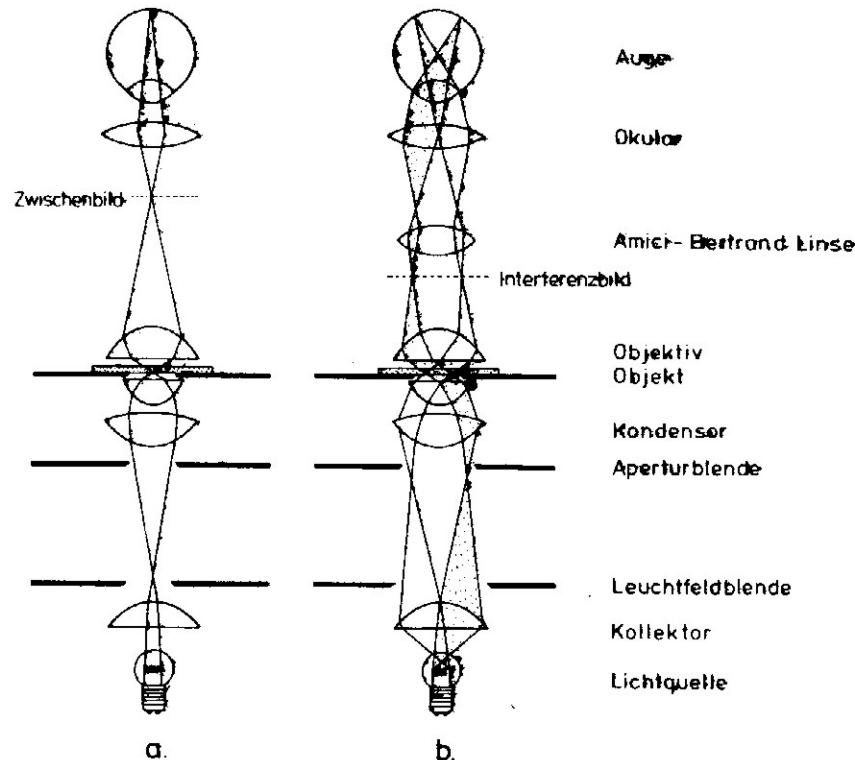


Bild 6

- a. Abbildung des Objekts, orthoskopischer Strahlengang
- b. Abbildung paralleler Lichtstrahlen, konoskopischer Strahlengang
(vgl. auch Beilage)

Orthoskopische Abbildung

- Bei dieser Anordnung wird i. A. mit parallel einfallendem Licht gearbeitet. d. h. die **Kondensorfrontlinse ist nicht eingeklappt**. Es kann mit beliebiger Vergrößerung gearbeitet werden.
- Im orthoskopischen Strahlengang können folgende Eigenschaften der Minerale untersucht werden:

Betrachtung ohne Analysator:

- Form, Spaltbarkeiten
- Lichtbrechung
- Eigenfarbe, Pleochroismus

Betrachtung mit Analysator:

- Interferenzfarbe, Doppelbrechung
- Lage der Schwingungsrichtungen im Kristallschnitt
- Auslöschungsschiefe, Charakter der Hauptzone
- Zwillinge, Entmischungen
- Dispersion der Lichtbrechung

Konoskopische Abbildung

- Bei dieser Anordnung wird mit **konvergentem** einfallendem Licht gearbeitet, d. h. die **Kondensorfrontlinse ist stets eingeklappt**. Es wird stets mit **höchstmöglicher** Vergrößerung gearbeitet. Bertrand-Amici-Linse und Analysator sind stets im Strahlengang.
- Durch diese Anordnung können annähernd alle Lichtwellen erfasst werden, deren Wellennormale innerhalb des Winkelbereichs liegt, der durch die Apertur vorgegeben ist.
- In der hinteren Brennebene des Objektives entsteht ein charakteristisches Interferenzbild, das Informationen über richtungsabhängige kristallographische Eigenschaften des Minerals liefert.
- Im konoskopischen Strahlengang werden die Eigenschaften der Minerale untersucht, die sich auf Form und Lage der optischen Indikatrix beziehen.

Fokussierung

Mit dem Fokussierknopf lässt sich der Fokus einstellen (Grob- und Feintrieb).

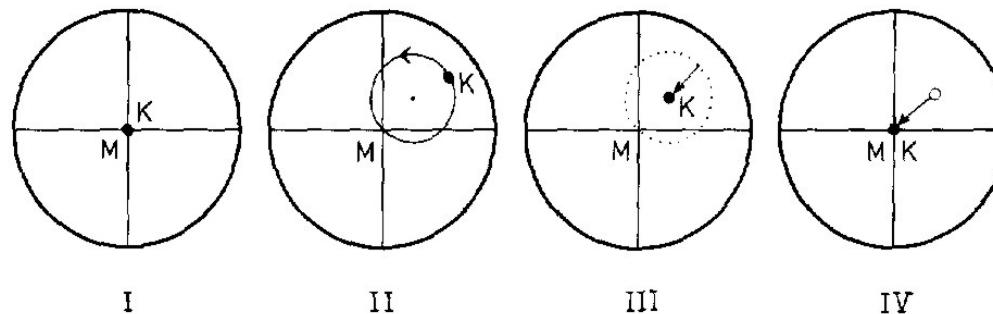
- Zuerst wird bei völlig entspanntem Auge das Okular adaptiert, d. h. das Fadenkreuz muss scharf zu sehen sein.
- Gewünschtes Objektiv wählen. Fassen Sie beim Drehen des Revolverkopfes NIEMALS die Objektive an, sondern drehen Sie den Kopf mit dem gummierten Rändelrad, da die Objektive sonst dezentriert werden
- Dünnschliff auf den Drehtisch (Objekttisch) legen. Das Deckblatt des Schliffes muss oben sein (Beschriftung lesbar)
- Den ungefähren Arbeitsabstand grob einstellen und den Tisch etwas heben.
- Entspannt in das Okular blicken, dabei beide Augen geöffnet lassen und ein Auge mit der Hand abdecken, nicht zusammenkneifen.
- Passen Sie den Fokus an Ihr Auge an, und nicht umgekehrt
- Fokussieren beim Hinunterfahren des Objekttisches - So vermeiden Sie die Zerstörung des Schliffes!

Aufbau eines Mikroskops

Zentrierung des Objektivs

**Nicht alle Okulare lassen sich justieren – bitte fragen Sie nach,
bevor Sie mit Gewalt am Objektiv drehen!**

- Verschieben Sie ein kleines Körnchen in den Schnittpunkt des Fadenkreuzes und drehen Sie den Tisch. Ihr Objektiv ist dezentriert, wenn dieses Körnchen eine Kreisbahn beschreibt.
- Drehen Sie an den Ringen am Objektiv um das Drehzentrum der Kreisbahn in den Schnittpunkt des Fadenkreuzes zu bringen.
- Drehen Sie erneut den Tisch und wiederholen Sie den zweiten Schritt, bis das Objektiv zentriert ist.

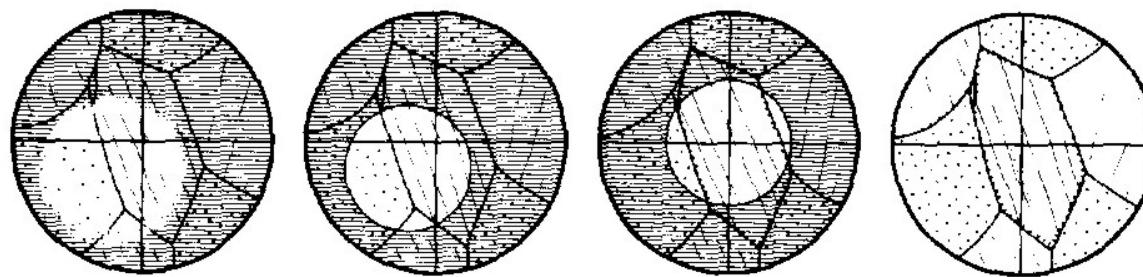


a. Zentrieren des Objektivs

Aufbau eines Mikroskops

Zentrierung des Kondensors

- Legen Sie einen Schliff auf den Tisch & fokussieren Sie
- Schließen Sie die Leuchtfeldblende. Bringen Sie die Frontlinse des Kondensors in den Strahlengang.
- Durch Heben oder Senken des Kondensors kann der Rand der Leuchtfeldblende scharf auf die Schliffebene abgebildet werden.
- Liegt das beleuchtete Objektfeld nicht in der Mitte des Gesichtsfeldes, können Sie mit Hilfe der Zentrierschrauben das helle Feld in den Schnittpunkt des Fadenkreuzes bringen.
- Anschließend Kondensorblende ausklappen und die Leuchtfeldblende so weit öffnen, dass sie gerade aus dem Gesichtsfeld verschwindet.



b. Zentrieren des Kondensors

Messung von Winkel und Längen

Längenmessungen im Dünnschliff

(Korngröße, Längen- Breiten-Verhältnisse u.a.)

- Hierzu benutzt man ein Messokular (Okularmikrometer). Je nach Objektiv / Okularkombination ändert sich Größe des Objekts zwischen den Stricheilungen.
- Mit Hilfe eines Objektmikrometers mit einer Mikrometerskala kann der Abstand zwischen den Teilstichen des Messokulars geeicht werden.

Eichung mit Hilfe eines Messokulares



Der fast nicht erkennbare Strich auf dem Schliff sieht bei höherer Vergrößerung wie ein Lineal aus.

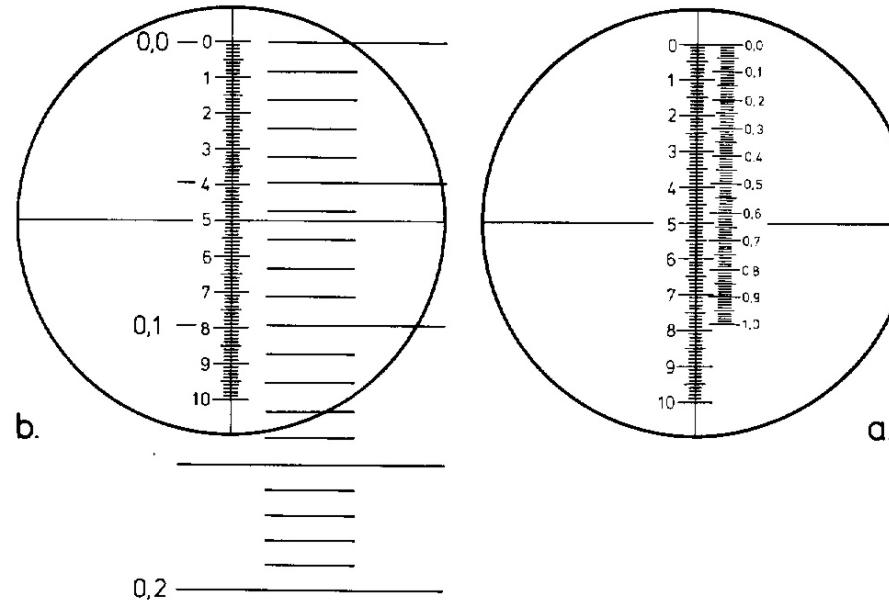
Benutzen Sie dieses Mikrometer, um den Abstand zwischen den Einheiten auf dem Fadenkreuz zu eichen.

(Objektiv, Gesamtvergrößerung, Blickfelddurchmesser, Mikrometereinheit)

Messung von Winkel und Längen

Eichung mit Hilfe eines Messokulares

- Objektmikrometer ist so zu verschieben, dass die Skalen beider Mikrometer parallel nebeneinander erscheinen.



- Okular **12,5x** Objektiv **63 x**
- **100 Teilstriche** des Objektmikrometers entsprechen **79 Teilstriche** des Okularmikrometer

$$1 \text{ Okularteilstrich} = \frac{100 \mu\text{m}}{79} = 1,26 \mu\text{m}$$

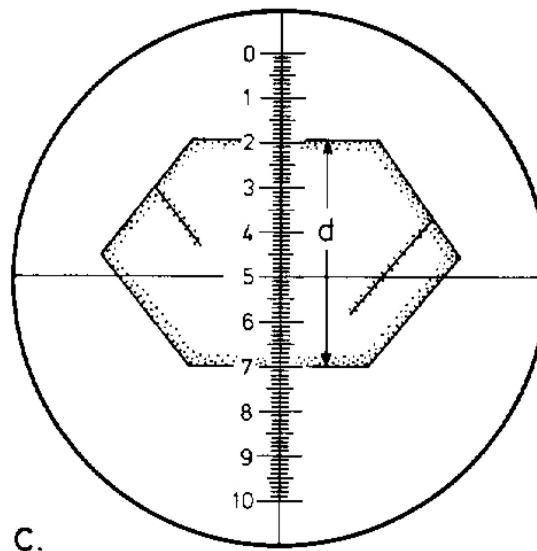
- Objektiv **6,3 x**
- 1000 Teilstriche** des Objektmikrometers
78 Teilstriche des Okularmikrometer

$$1 \text{ Okularteilstrich} = \frac{1000 \mu\text{m}}{78} = 12,8 \mu\text{m}$$

Messung von Winkel und Längen

Längenmessung

- Messung: Korndurchmesser mit 50 Okularteilstriche



Okular **12,5x**

Objektiv **63 x**

6,3 x

Korndurchmesser

$$d = 50 \cdot 1,26 \mu\text{m} = 63 \mu\text{m}$$

$$d = 50 \cdot 12,8 \mu\text{m} = 640 \mu\text{m}$$

Aufgaben:

1. Messung von Längen (abschätzen)

Es werden Schliffe verteilt, auf denen Striche verschiedener Längen abgebildet sind. Schätzen Sie, so genau wie möglich (ohne Fadenkreuzmikrometer) das Gesichtsfeld für alle Objektive.

2. Messung von Längen (exakt)

Ersetzen Sie Ihr Okular gegen ein Messokular. Beachten Sie die unterschiedlichen Vergrößerungen. Eichen Sie die Objektive

Nehmen Sie ein Haar und bestimmen Sie die Haardicke

Okular	Objektiv	Obj.-Mikrometer	Oku.-Teilstreich	Eichwert: 1 Teilstr. =
12,5	2,5	1000 µm	27,2	36,8 µm

Messung von Winkel und Längen

Winkelmessung (zwischen zwei Spaltflächen, Verwachsungsflächen u.a.)

- Im Dünnschliff ist ein Mineralschnitt aussuchen, in dem die Flächen genau senkrecht ausstoßen:
 - d.h. die zwei Linie sollen möglichst dünn erscheinen.
 - Beim Unscharfstellen wandern die Lichtsäume symmetrisch weg.
 - Der Bildkontrast wird deutlicher, wenn die Kondensoraperturblende eingeengt wird.
- Verschieben Sie den Schnittpunkt der beiden Flächenspuren in den Schnittpunkt des Fadenkreuzes.
- Bringen Sie die eine Fläche (Spaltriss 1) zur Deckung mit dem senkrechten Ast des Fadenkreuzes und lesen Sie den Winkelwert 1 am Nonius ab.
- Drehen Sie den Tisch solange, bis die zweite Fläche (Spaltriss 2) mit dem senkrechten Ast des Fadenkreuzes in Deckung kommt und lesen Sie am Nonius den Winkelwert 2 ab.
- Der Differenz der zwei Ablesewerte ergibt den gesuchten Winkel.

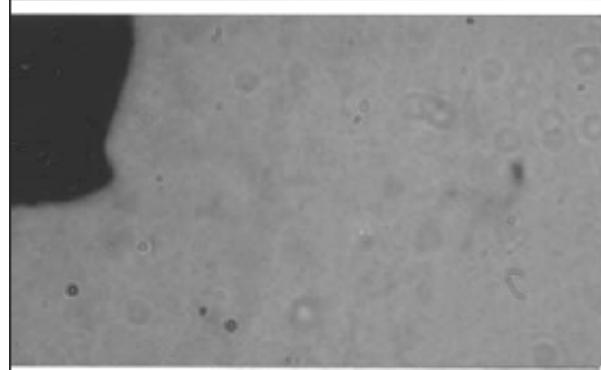
Aufgaben:

3. Messung von Winkel (zum Einreichen)

- Im Dünnschliff finden Sie zwei Mineralgruppen (Pyroxene und Amphibole) mit unterschiedlichen Spaltwinkeln (P62 und P64)
- Suchen Sie geeignete Schnittlagen und messen Sie die Winkel zwischen den Spaltflächen. Erstellen Sie eine Tabelle mit den Winkelwerten.
- Der Winkel zwischen den Spaltflächen soll bei Amphibol 120 Grad, bei Pyroxenen 90 Grad betragen. Wenn Ihre Ergebnisse davon abweichen, überlegen Sie, warum.

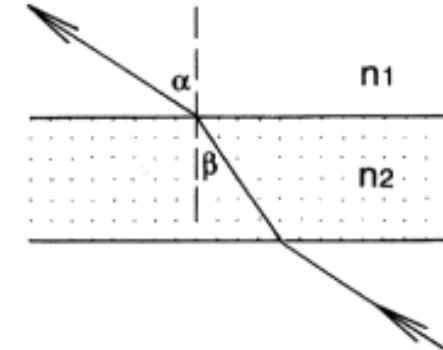
Lichtbrechung

- Die Lichtbrechung bewirkt, daß wir überhaupt Umrisse von manchen Objekten ausmachen können.
- Wenn ein Mineralkorn die gleiche Lichtbrechung hat wie seine Umgebung, ist er fast nicht mehr zu sehen
- Die Lichtbrechung wird zur Bestimmung eines unbekannten Minerales abgeschätzt.
- Sie kann mit Hilfe von Flüssigkeiten mit bekannten Brechungsindex bestimmt werden.



Lichtbrechung

- Licht pflanzt sich in unterschiedlichen Medien mit unterschiedlicher Geschwindigkeit fort. Das hat zur Folge, dass ein Lichtstrahl an Grenzfläche zweier Medien **gebrochen** wird, d. h. er ändert seine Richtung.



- Dieses Verhalten wird durch das **Snellius'sche Brechungsgesetz** beschrieben.

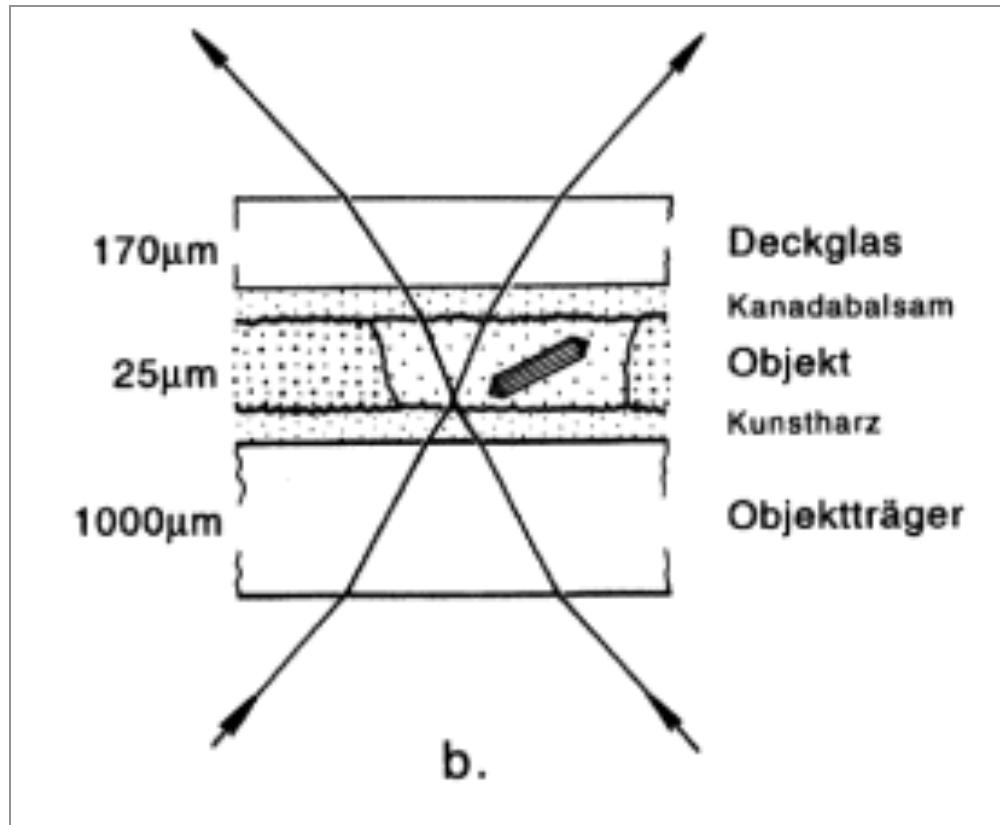
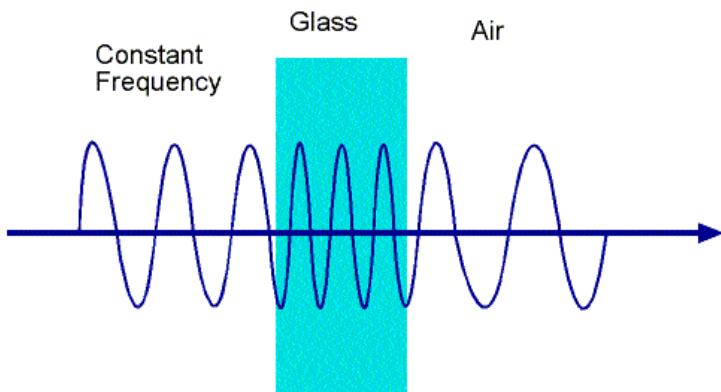
Luft	$n_0 \sim 1,0$	$v_0 \sim 300\ 000 \text{ km/sec}$
Zirkon	$n_1 \sim 2,0$	$v_1 \sim 150\ 000 \text{ km/sec}$
Rutil	$n_2 \sim 3,0$	$v_2 \sim 100\ 000 \text{ km/sec}$

- Der Brechungsindex eines Mediums ist als Verhältnis von Lichtgeschwindigkeit im Vakuum zu der Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Medium definiert.
(Brechungsindex des Vakuums = 1).
Das Snellius Gesetz lautet dann: $\sin\alpha / \sin\beta = 1/v_{\text{Medium}} = n_{\text{Medium}}$.
- Die Frequenz des Lichtstrahls bleibt gleich. Daher ändert sich beim Übergang von einem Medium in ein anderes die Wellenlänge.

$$v \text{ (Geschwindigkeit)} = \lambda \text{ (Wellenlänge)} \cdot v \text{ (Frequenz)}$$

Lichtbrechung

- Im Dünnschliff findet die Lichtbrechung unterm Mikroskop mindestens sechsmal statt
- Die mit der Anisotropie verbundenen Phänomene werden in späteren Stunden ausführlich erläutert.



Lichtbrechung

- In den Mineralen ändert sich die Ausbreitung des Lichts je nach Lage des kristallographischen Gitters in Verhältnis zum einfallenden Lichtstrahl. Das heißt der Lichtbrechungsindex ist abhängig von der Symmetrie der Minerale.
- Bei kubischen Mineralen oder bei nichtkristallinen Materialien wie Glas oder Kanadabalsam oder Wasser ist die Ausbreitung des Lichts unabhängig von der Schnittlage gleich schnell. Diese Materialien verhalten sich **isotrop**.
- Bei allen anderen Mineralen ändert sich der Lichtbrechungsindex in Abhängigkeit von der Richtung. Sie verhalten sich **anisotrop**.
- Zugleich ändert sich der Lichtbrechungsindex mit der chemischen Zusammensetzung eines Mischkristalls. (siehe im Bestimmungsbuch z.B. unter Olivin nach).

Medium	n
Zirkon	1.94
Granat	1.7-1.8
Olivin	1.65-1.85
Quarz	1.55
Albit	1.54
Flußpat	1.44
Vakuum	1.00
Kanadabalsam	1.58
Rhyolitglass	1.492

Abschätzung des Lichtbrechungsindex

- Die Lichtbrechung ist ein charakteristisches Merkmal bei der Mineralbestimmung.
- Die genaue numerische Bestimmung der Lichtbrechung eines Minerals ist im Dünnschliff zwar nicht durchführbar, eine qualitative Abschätzung und insbesondere der Vergleich, welches Mineral eine höhere Lichtbrechung als ein anderes hat, ist aber mit mehreren Methoden möglich.
- In diesem Kurs werden 2 Methoden vorgestellt:

Becke Linie

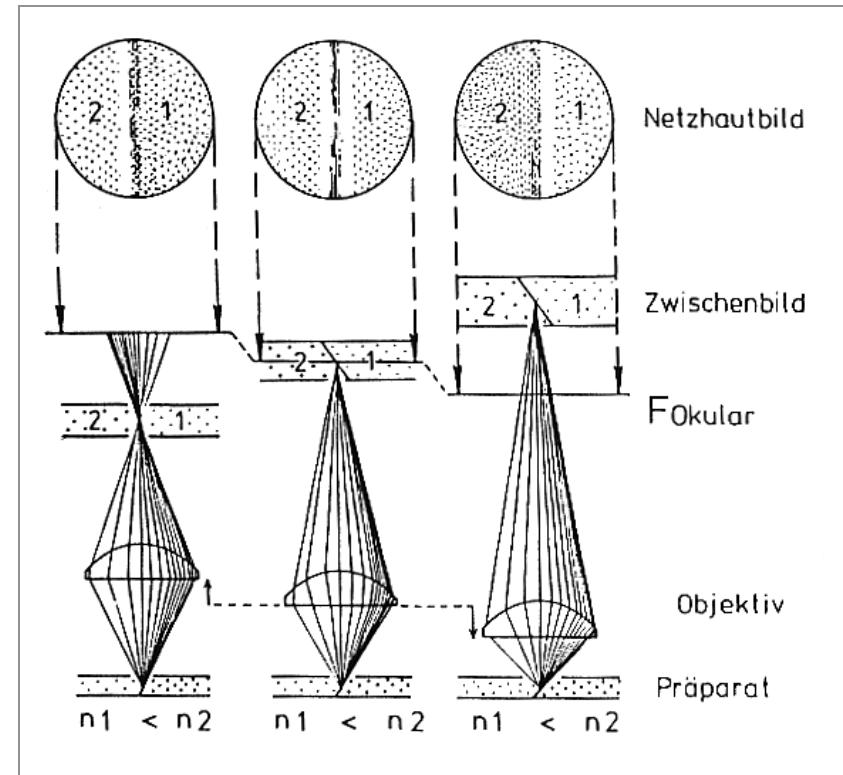
Methode nach Schröder van der Kolk

Abschätzung des Lichtbrechungsindex Becke Linie

➤ Wenn zwei Medien unterschiedliche Lichtbrechungsindizes haben, bildet sich an der Korngrenze ein subtiler, heller Saum, die Becke-Linie. Eine einfache Regel lässt feststellen, welches Medium höher brechend ist:

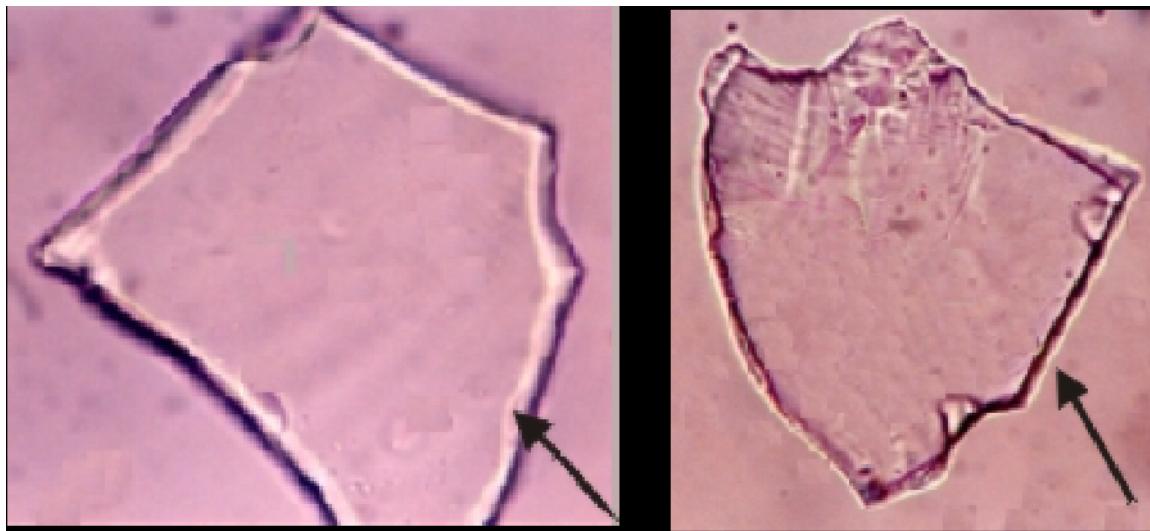
➤ Beim ErHöhen des Abstands (=Senken des Tisches) wandert die Becke-Linie in das Höher brechende Medium Hinein (**3 - H Regel**).

➤ Man verwendet Objektive mit mittlere Maßabszahl (10, 16, 25).



- Der Bildkontrast soll durch Einengen der Aperturblende vergrößert werden.
- Bei starker Dispersion der Lichtbrechung ist es sinnvoll, monochromatische Licht zu verwenden.

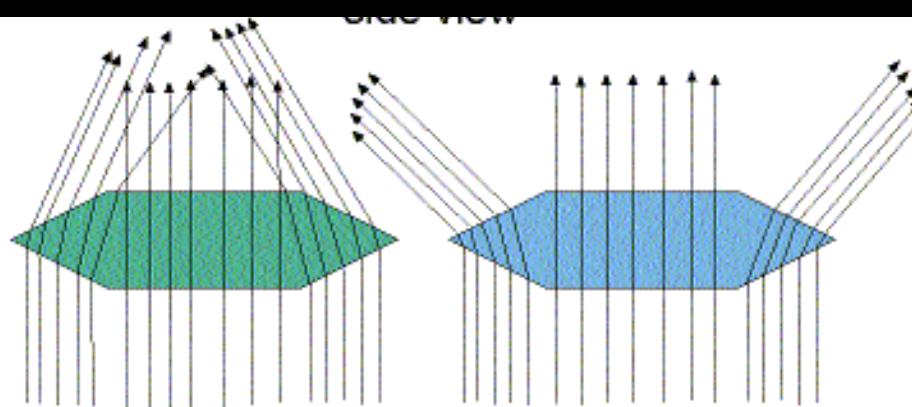
Abschätzung des Lichtbrechungsindex Becke Linie



$$\begin{aligned}n_{\text{glas}} &> n_{\text{medium}} \\n_{\text{medium}} &= 1.525 \\n_{\text{glas}} &= 1.60\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}n_{\text{glas}} &< n_{\text{medium}} \\n_{\text{medium}} &= 1.525 \\n_{\text{glas}} &= 1.34\end{aligned}$$

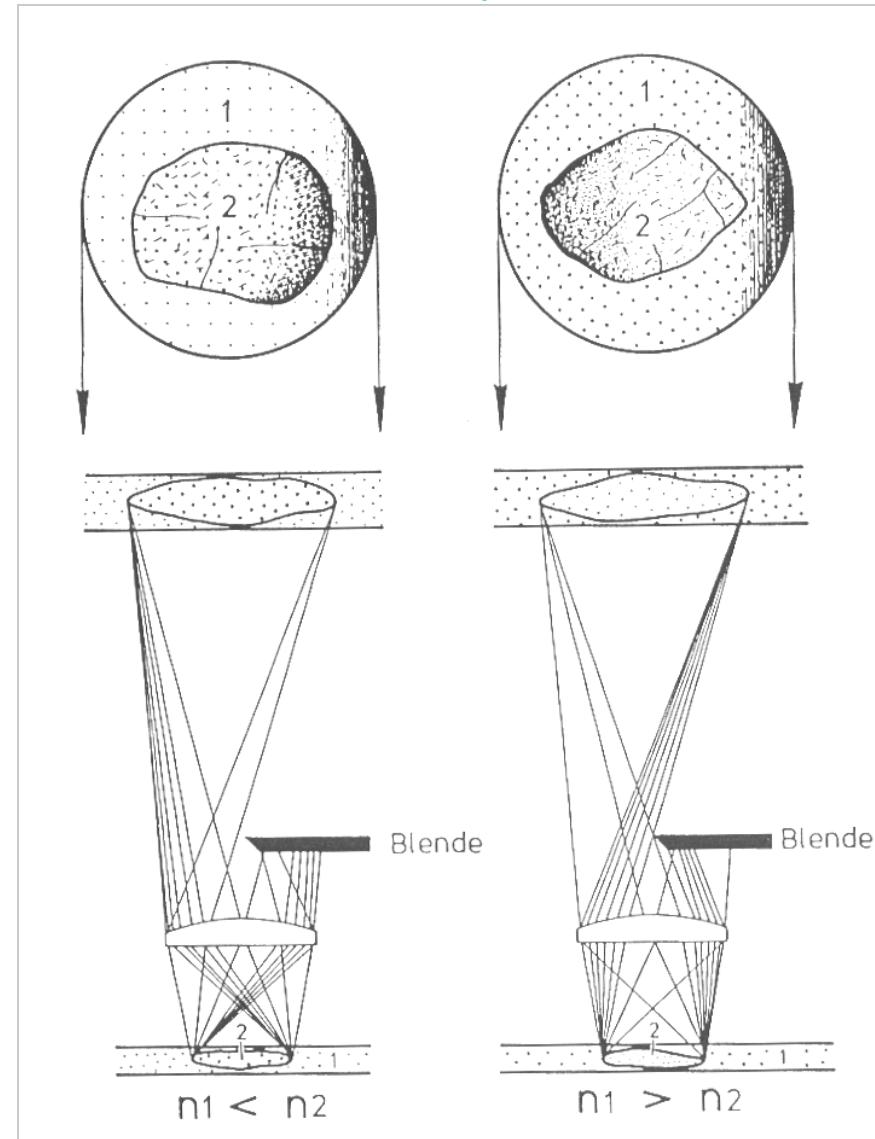
order view



Abschätzung des Lichtbrechungsindex Schröder van der Kolk

MERKREGEL:

Beim Einschieben einer seitlichen Blende (Fassung des Analysators oder Hilfsobjekt Rot I) in den Mikroskopftubus oberhalb des Objektivs ist der dem unscharfen Blendenrand abgewandte Kornrand hell, wenn das Korn höher lichtbrechend ist als das umgebende Medium.



Relief

Relief ist die scheinbare Veränderung der Höhenlage unterschiedlich lichtbrechender Phasen. Diese Erscheinung tritt stärker hervor wenn man die Aperturblende verkleinert und den Abstand zwischen Dünnschliffoberfläche und Objektiv erhöht.

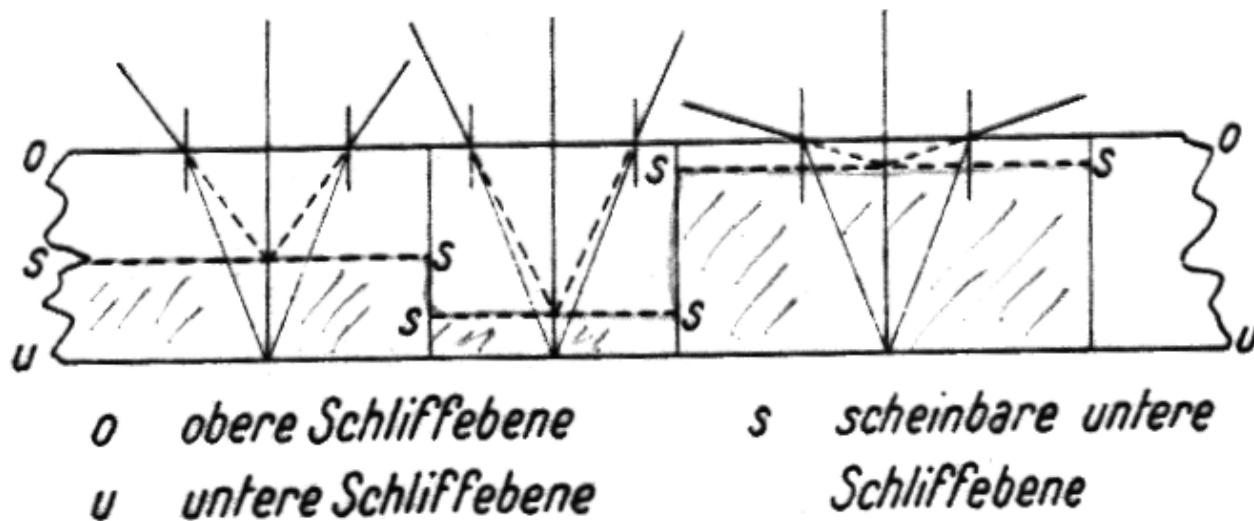
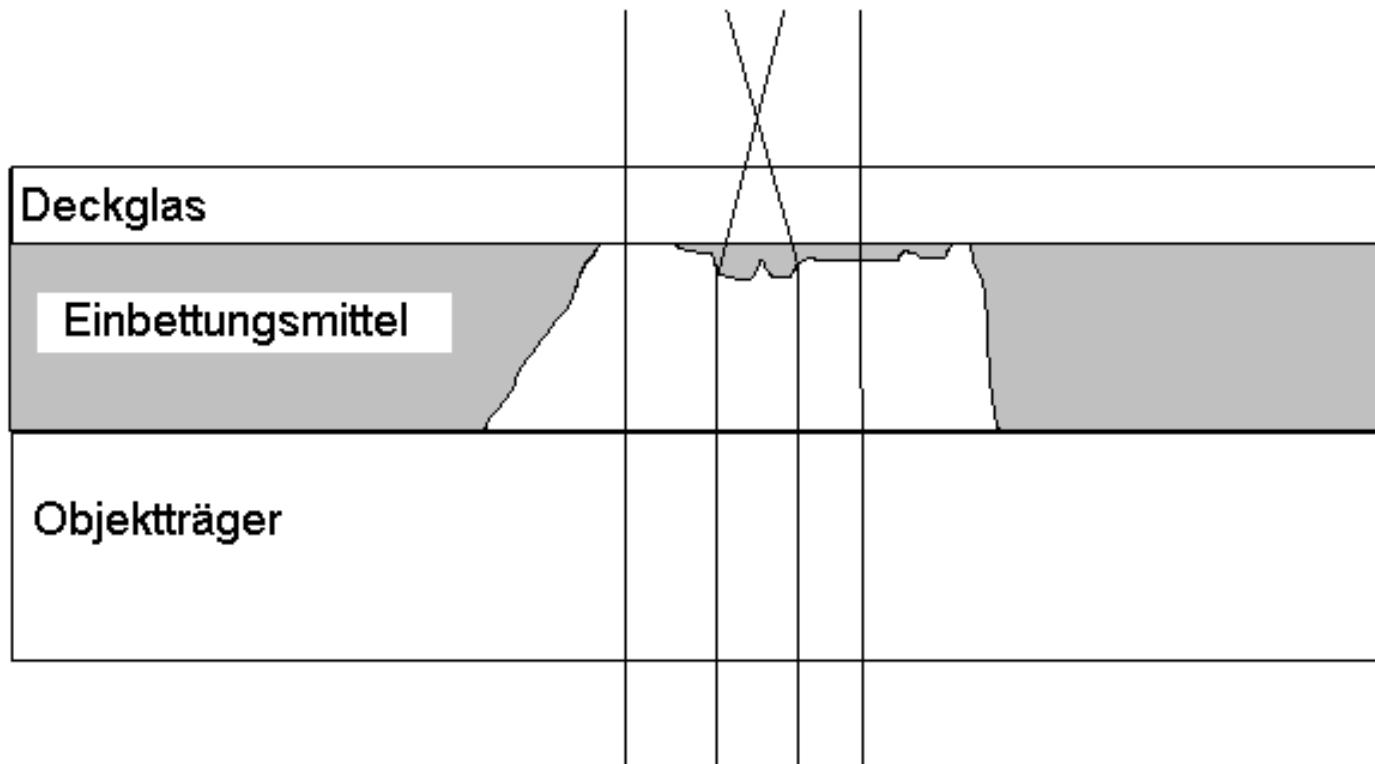


Fig. 123

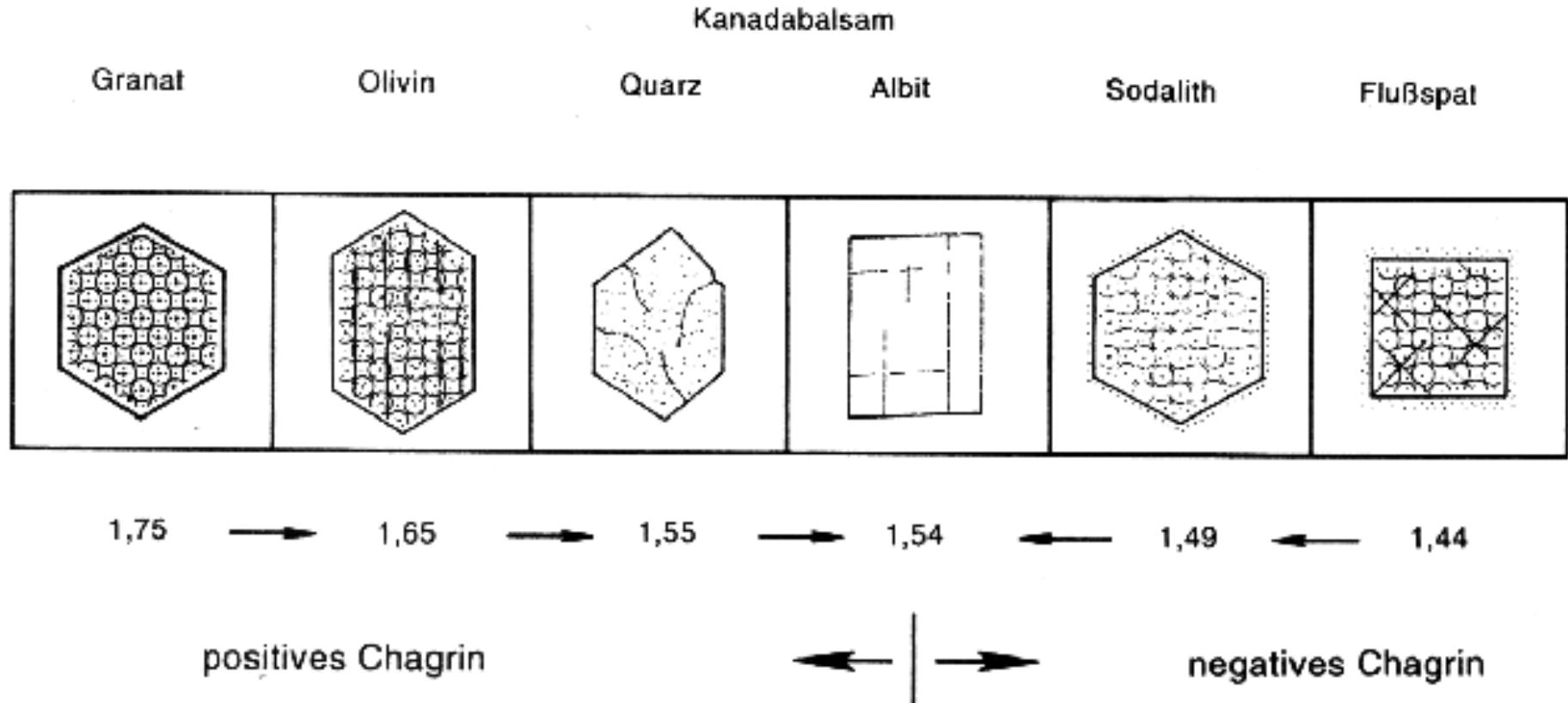
Erklärung der verschiedenen Reliefs der in einem Gesteinsdünnschliff aneinander grenzenden Mineralkörper unterschiedlicher Lichtbrechung und gleicher Dicke. (Nach JOHANNSEN.)

Chagrin

Feine Helligkeitsunterschiede auf der Oberseite eines Korns, hervorgerufen durch feinste Unebenheiten auf der Kornoberfläche. Je größer der Unterschied der Brechungsindizes von Einbettungsmittel und Korn ist, desto stärker werden diese Unebenheiten durch unterschiedliche Brechung an der Grenze: Oberfläche/ Einbettungsmittel sichtbar.



Chagrin



Positives bzw negatives Chagrin sind schwer unterscheidbar.

Bei perfekt geschliffenen oder polierten Schliffen ist das Chagrin nur schlecht oder gar nicht zu beobachten.

Immersionsmethoden

Bestimmen des Lichtbrechungsindex im Streupräparat

- Die Mineralkörner werden in eine Flüssigkeit, von der man das Lichtbrechungsindex schon weiß, gestreut und beobachtet die Becke Linie. Hierzu verwendet man geeichte Lichtbrechungsindexöle
- Durch Mischen von Lichtbrechungsindexöle kann die exakte Lichtbrechungsindex erstellt werden. Der Wert wird mit einem Flüssigkeitsrefraktometer bestimmt.
- Diese Methode ist z.B. in der Umwelttechnik sehr wichtig: hiermit können selbst kleinste Mineralkörnern charakterisiert werden. So lässt sich mit wenig Aufwand feststellen, ob Faser, die in einem Prüffilter gefangen worden sind, einfache Glasfaser oder Asbest sind (Mineralname Chrysotil oder Tremolit).
- Größere Mineralstücke kann man anschleifen und den Lichtbrechungsindex mit einem Refraktometer messen.

Immersionsmethoden

Auswahl der gebräuchlichsten Immersionsflüssigkeiten (n_D)

Wasser	1,333	Bittermandelöl	1,546
Äthyläther	1,352	Anisöl	1,547
Azeton	1,359	Nitrobenzol	1,553
Äthylalkohol	1,362	Dimethylanilin	1,559
Hexan	1,375	Monobrombenzol	1,561
Heptan	1,387	Orthotoluidin	1,572
Chloroform	1,444	Anilin	1,586
Petroleum	1,45	Bromoform	1,589
Lavendelöl	1,461	Monochloranilin	1,592
Kohlenstofftetrachlorid . . .	1,466	Chines. Zimtöl (Cassiaöl) . .	1,586
Terpentin	1,472	Ceylon-Zimtöl	1,619
Glyzerin	1,473	Monojodbenzol	1,621
Olivenöl	1,476	Schwefelkohlenstoff	1,628
Mandelöl	1,478	Phenylsulfid	1,635
Rizinusöl	1,48	α -Monochlornaphthalin . .	1,639
Toluol	1,495	α -Monobromnaphthalin . .	1,656
Benzol	1,498	Cadmiumborowolframat . .	1,70
Sandelholzöl	1,507	(wässrige Lösung)	
Zedernholzöl	1,510	K-Mercurichlorid	1,717
Äthyljodid	1,513	(wässrige Lösung)	
Monochlorbenzol	1,527	Methylenjodid	1,744
Fenchelöl	1,538	Methylenjodid mit Schwefel	
Nelkenöl	1,544	gesättigt	1,778

Abbé - Refraktometer

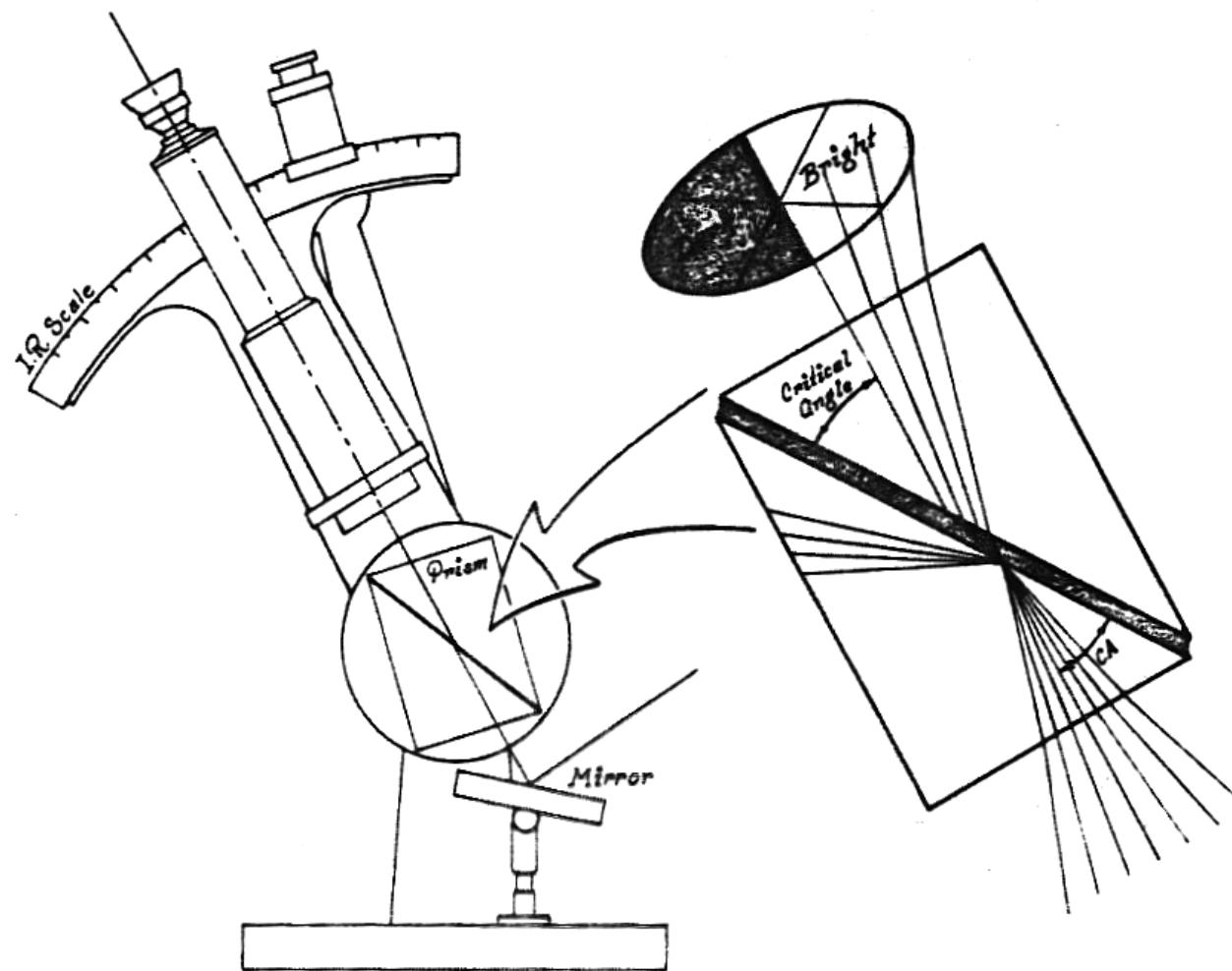


FIGURE 3-8. The Abbe refractometer. An oil interface between split glass prisms transmits refracted light rays at all angles of incidence less than the critical angle, which is measured on an arc scale that can be read directly in index of refraction.

Aufgaben

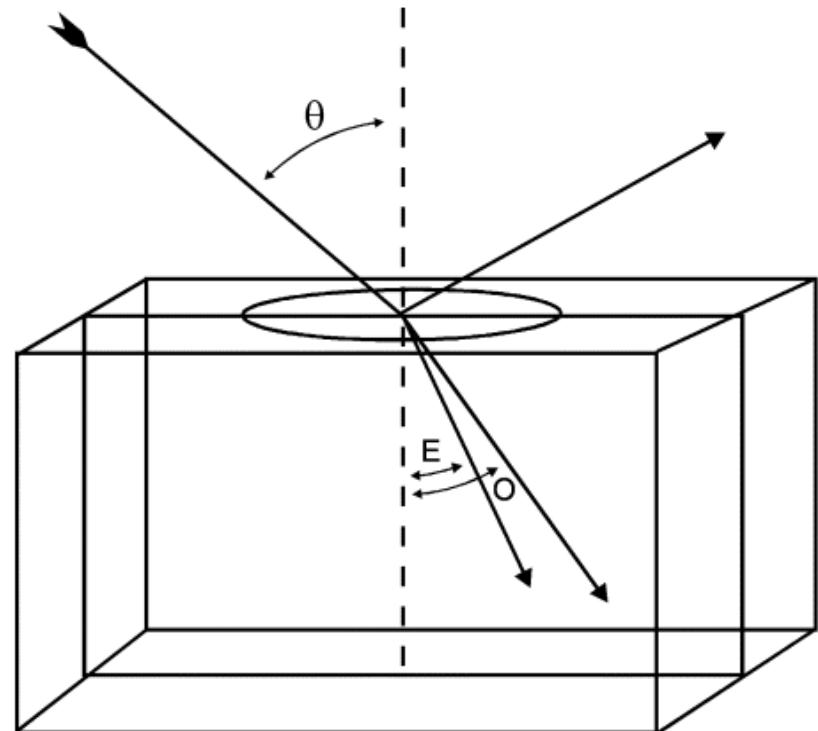
- 1. Im Streupräparat sind drei Minerale (Halit, Granat, Fluorit) eingebettet. Unterscheiden Sie diese Minerale mit Hilfe der Becke – Linien sowie nach der Methode von Schröder van der Kolk.**
- 2. Dünnschliff Min 10 (Granulit):
Wie viele unterschiedliche Minerale können sie im Schliff unterscheiden.**
- 3. Charakterisieren Sie die Lichtbrechung dieser Minerale im Dünnschliff mit Becke-Linie, Chagrin & Relief.**

Doppelbrechung

- In kubischen Kristallen, in Gläsern und Flüssigkeiten breitet sich das Licht in alle Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit aus.
- In niedriger symmetrischen Kristallen wird das Licht in zwei Wellen unterschiedlicher Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Lichtbrechungswert aufgespaltet.
- Die Überlagerung dieser beiden Strahlen mit den beiden Polarisatoren in dem Mikroskop erzeugen eine **Interferenzfarbe**, die eine wichtiges Merkmal für die Mineralbestimmung ist. Diese ist aber nicht mit der Eigenfarbe zu verwechseln, die man ohne Analysator sieht.

Lichtdoppelbrechung

- Ein Lichtstrahl wird in einen anisotropes Material wird in zwei verschiedenen Strahlen gebrochen, die entlang der bevorzugten Schwingungsrichtungen des Materials polarisiert werden.
- Der Strahl, dessen Brechungsindex in allen Raumrichtungen **gleich** ist, wird **ordentlicher** Strahl genannt. (Sein Brechungsindex heißt n_o)
- Der Strahl, dessen Brechungsindex mit der Richtung **variiert**, wird **ausserordentlicher** Strahl genannt. (Sein Brechungsindex heißt n_e)

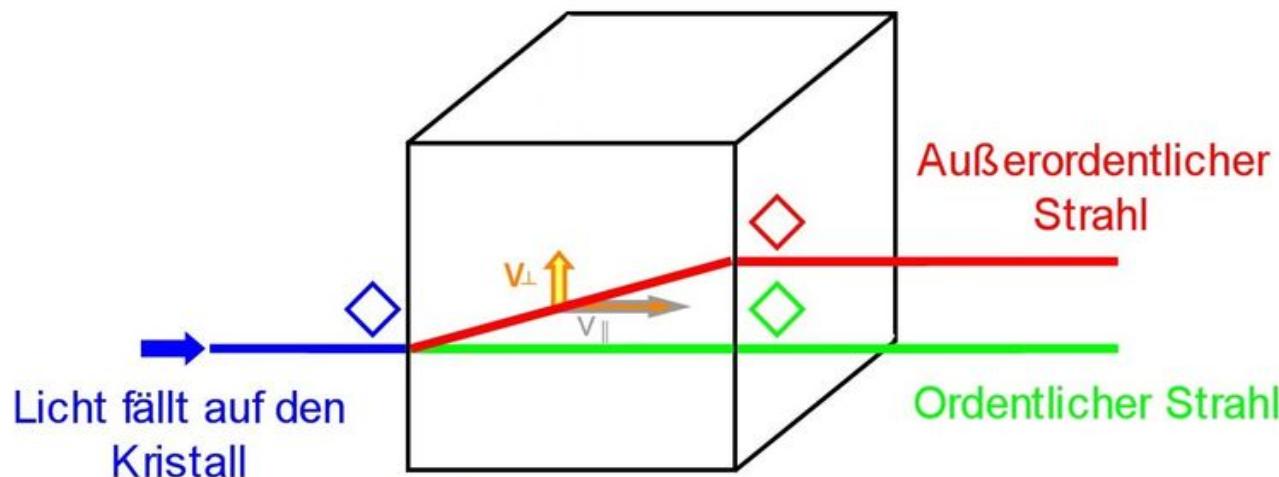


Strahlengang für ein einachsig positives Kristall

Doppelbrechung



Doppelbrechung



Die Raute wird durch die Doppelbrechung zweimal abgebildet

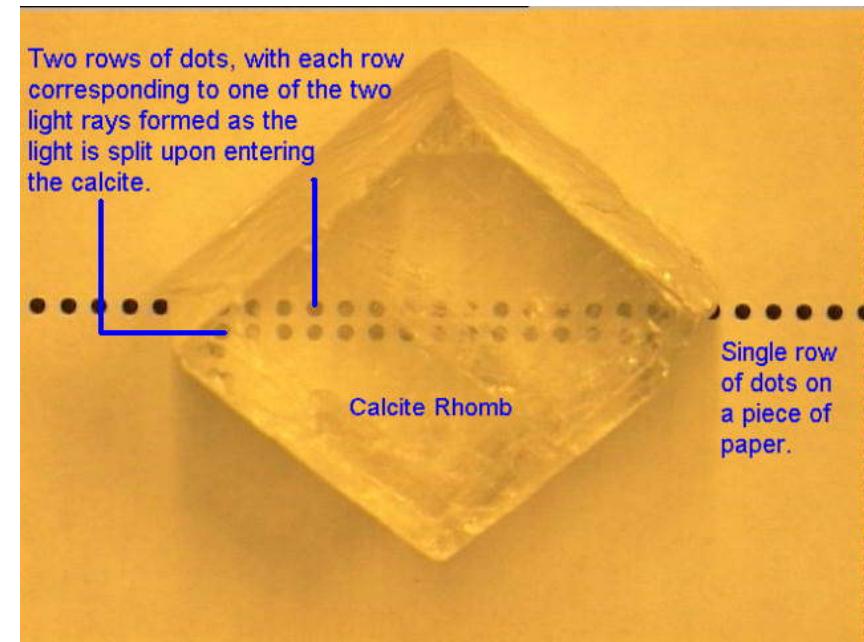
Calcit

Ordentliche Strahl n_o

$$n_o = 1.658$$

Außerordentlicher Strahl n_e

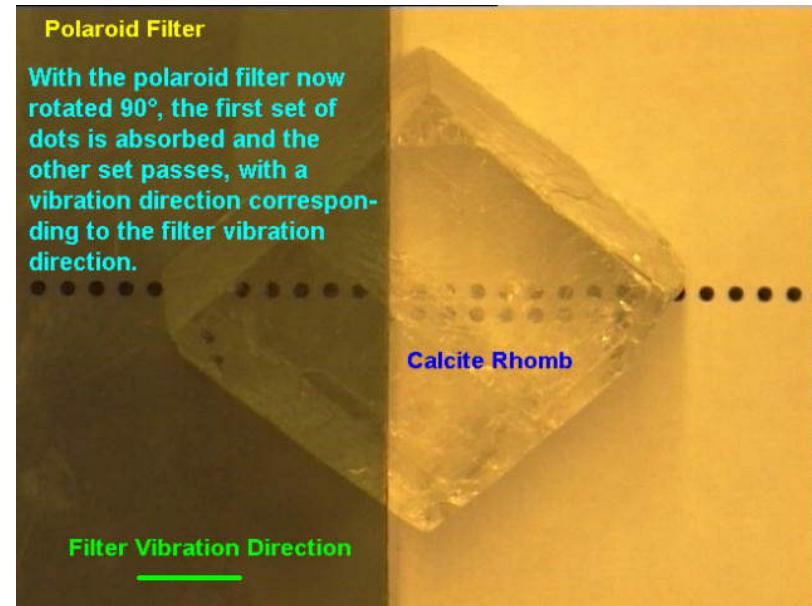
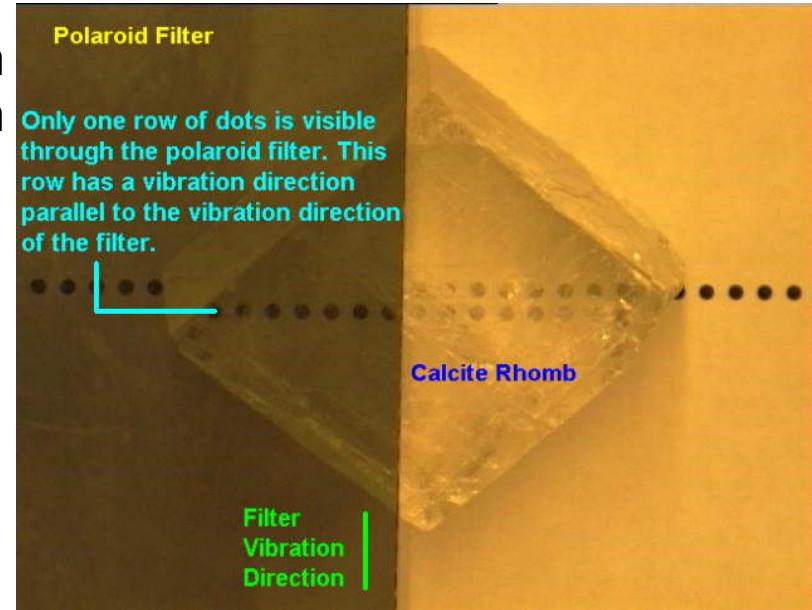
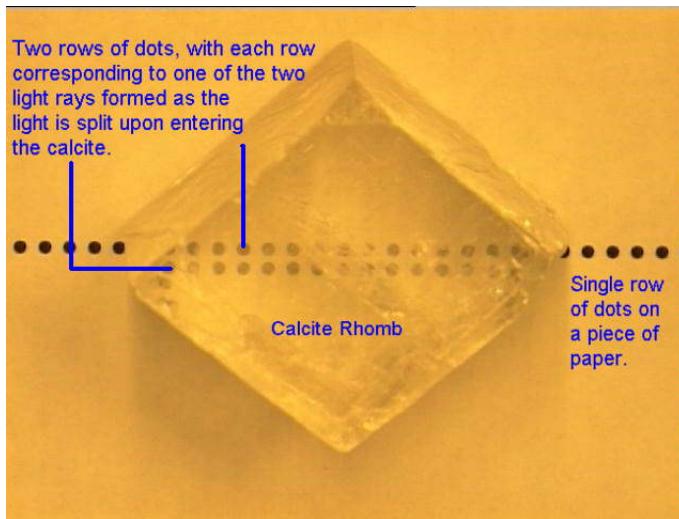
$$n_e = 1.486$$



Doppelbrechung

Einsatz vom Pol-Filter: das Licht wird nur in einer Schwingungsrichtung durchgelassen

Schwingungsrichtung Nord - Süd



Schwingungsrichtung Ost - West

Absorption

Beim Durchgang des Lichts durch ein Kristall nimmt i.d.R. die Amplitude der Lichtwelle ab.

Die Stärke und Art der Absorption hängen von

- der Dicke des Präparats,
- der chemischen Zusammensetzung des Minerals und
- von der Wellenlänge des verwendeten Lichtes ab.

Eigenfarbe:

Sie wird durch die vollständige Absorption einer oder mehrerer Wellenlängen des Lichtspektrums im Mineral hervorgerufen. Bei vollkommener Absorption erscheint ein Mineral schwarz und undurchsichtig (opak).

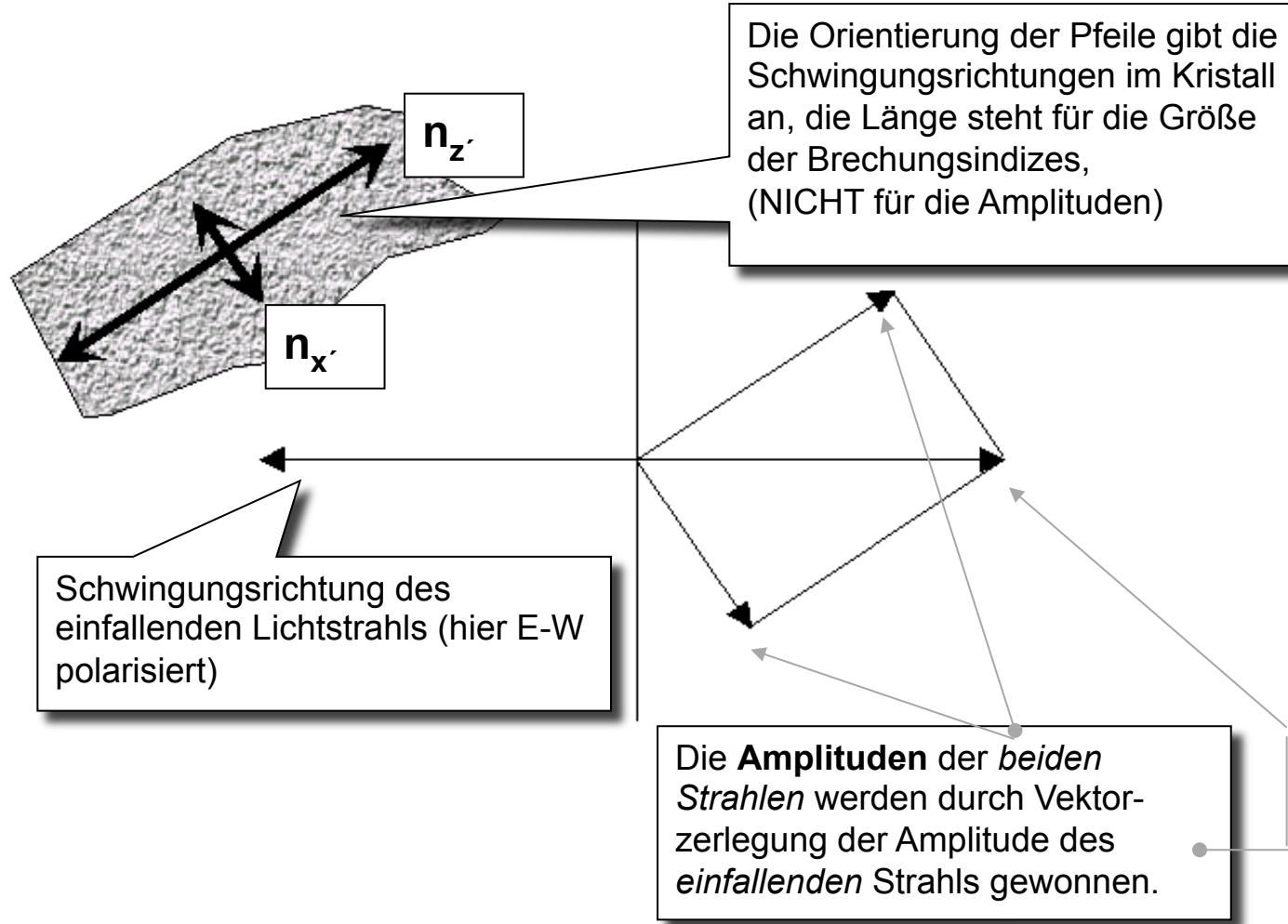
Bei isotropen Mineralen ist die Absorption richtungsunabhängig = Eigenfarbe

Pleochroismus:

bei einigen Mineralen ist die Absorption richtungsabhängig. Das bedeutet, dass beim Drehen des Objekttisches sich die Farbe des Mineralkorns ändert. Dieser Farbwechsel wird **Pleochroismus** bezeichnet.

Bei wirteligen Mineralen heißt die Farbänderung **Dichroismus**.

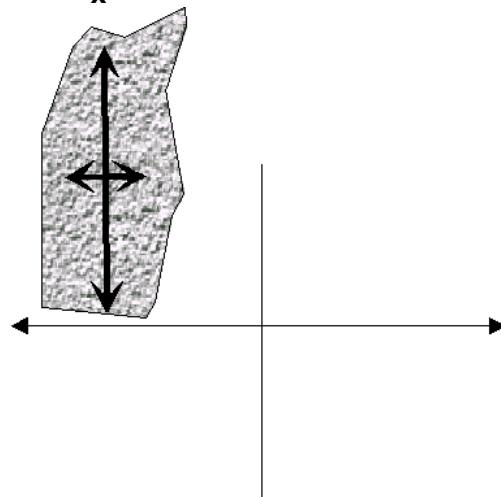
Pleochroismus



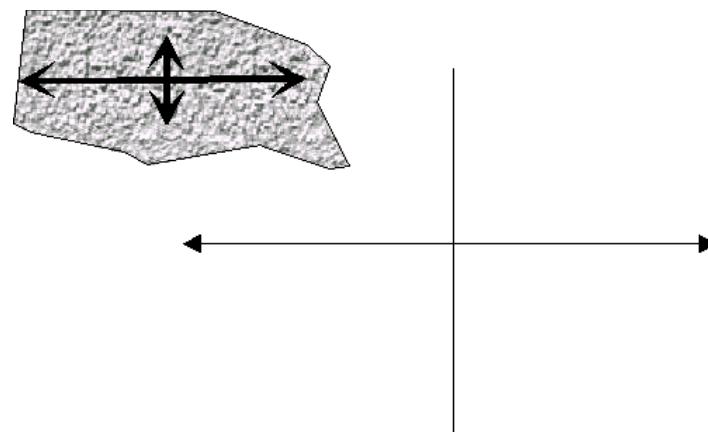
Pleochroismus

Ist der Kristall so orientiert, dass eine Schwingungsrichtung parallel dem Polarisator des Mikroskops schwingt, so kann nur der Strahl mit dieser Schwingungsrichtung den Kristall passieren.

a) nur n_x kann passieren



b) nur n_z kann passieren



In Stellung a) können nur die Eigenschaften von n_x beobachtet werden,
in Stellung b) nur die Eigenschaften von n_z .

Hat der Strahl mit dem Brechungsindex n_x die Farbe braun, der Strahl mit n_z die Farbe grün, so erscheint der Kristall in Stellung a) braun, in Stellung b) dagegen grün.
(Pleochroismus)

Anisotropie - Isotropie

Anisotropie ist die Erscheinung, dass in einem Körper die verschiedenen kristallographischen Richtungen ungleichwertig sind.

Symmetrie system	Bezeichnung	Ausbreitung des Lichts im Kristall	Doppel-brechung
Kubisch	<u>Reguäres System</u> 4 drei-zählige, 3 zwei-zählige Drehachsen	In allen Richtungen gleich	n
Hexagonal Tetragonal Trigonal	<u>Wirtelsysteme</u> eine mehrzählige Drehachse (6, 4, 3)	In einer Richtung <ul style="list-style-type: none">- gleich (Drehachse)- sonst ungleich	no ne
Rhombisch Monoklin Triklin	<u>Mindersymmetrische Systeme</u>	In allen Richtungen ungleich	nx ny nz

Aufgaben

Doppelbrechung

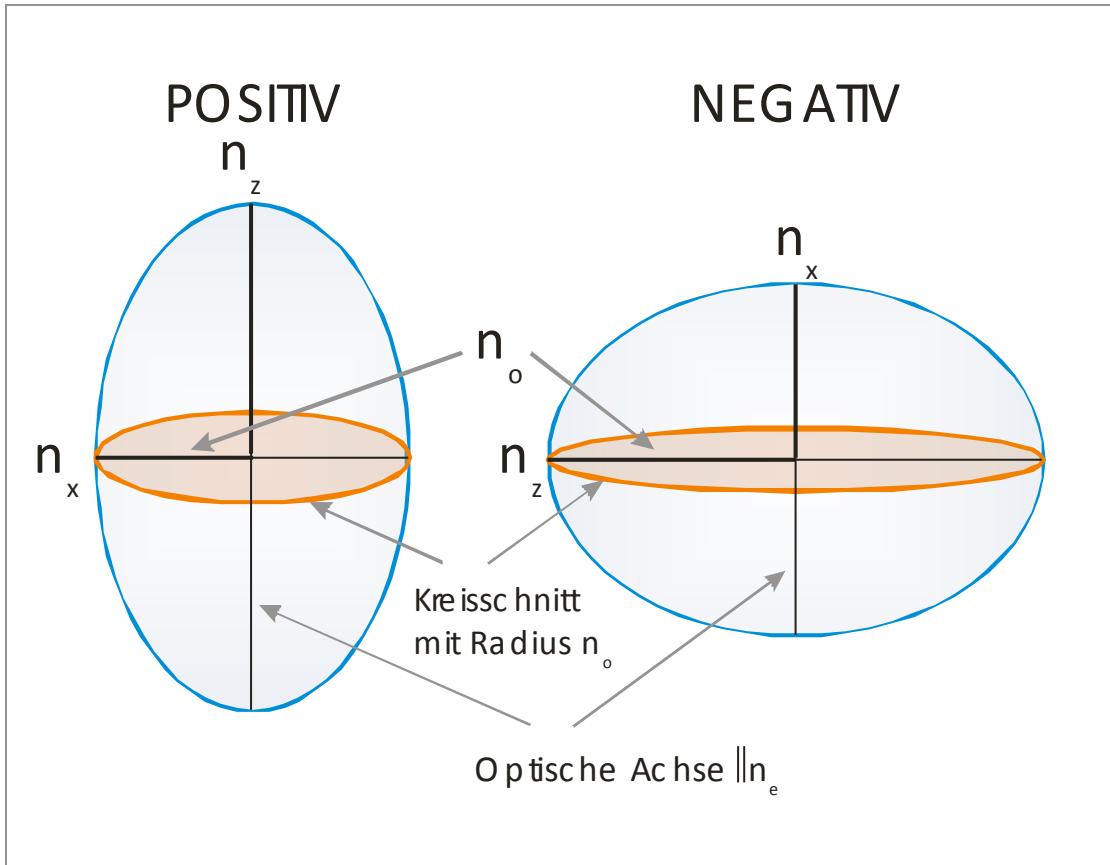
- Bestimmung des ordentlichen – außerordentlichen Strahls an Calcit (Doppelspat)
- Dünnschliff mit Karbonat (Calcit und Dolomit) (P176)

Pleochroismus

- Dünnschliff mit Biotit (P2, P3)
- Dünnschliff mit Turmalin (M24);
Bestimmung des ordentlichen – außerordentlichen Strahl

Einachsige Indikatrix

Minerale der Kristallsysteme hexagonal, trigonal & tetragonal besitzen eine **einachsige** Indikatrix. Die optisch einachsige Indikatrix ist ein **Rotationsellipsoid**.



Rotationsachse des Ellipsoide
= **optische Achse**

Diese Achse ist zugleich
parallel zu der kristallograph.
c-Achse

Senkrecht zur optischen Achse
resultiert stets ein **Kreisschnitt**

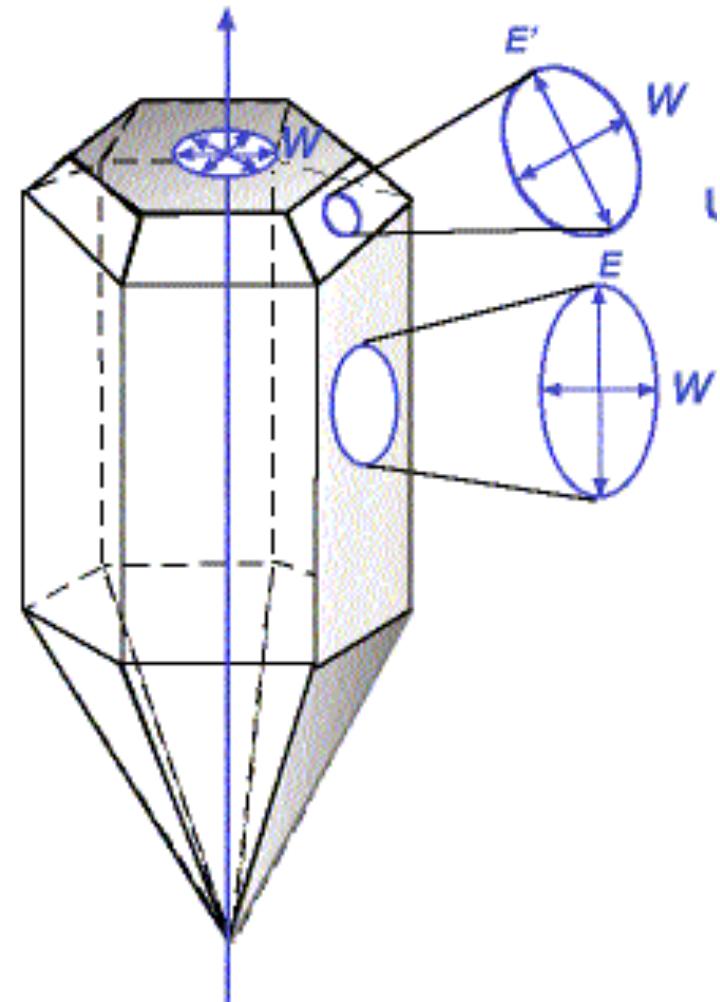
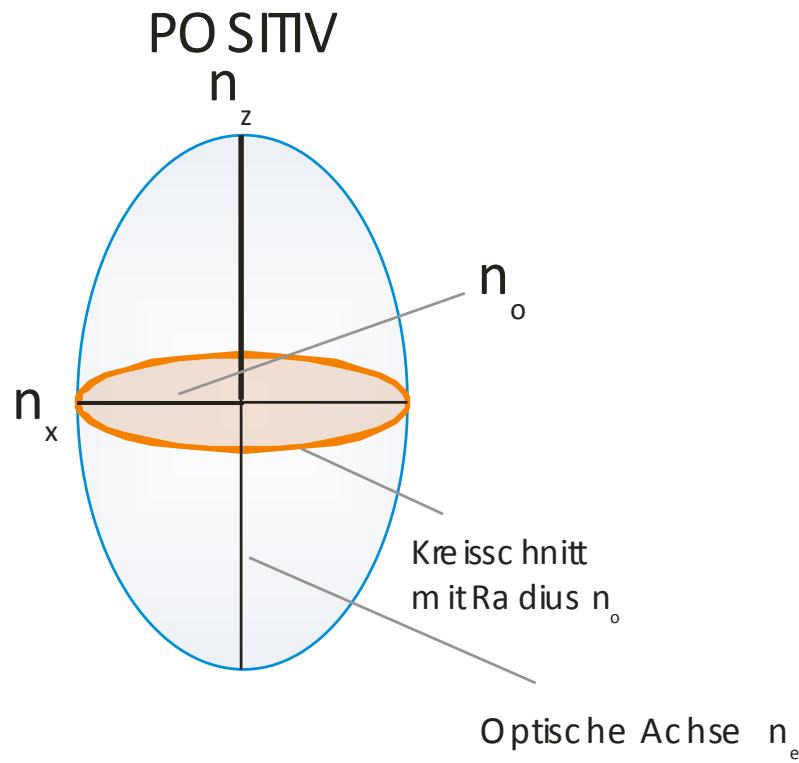
n_e schwingt **parallel** der
optischen Achse, d.h. **parallel**
der kristallograph. **c-Achse**

n_o schwingt **senkrecht** zur
optischen Achse.

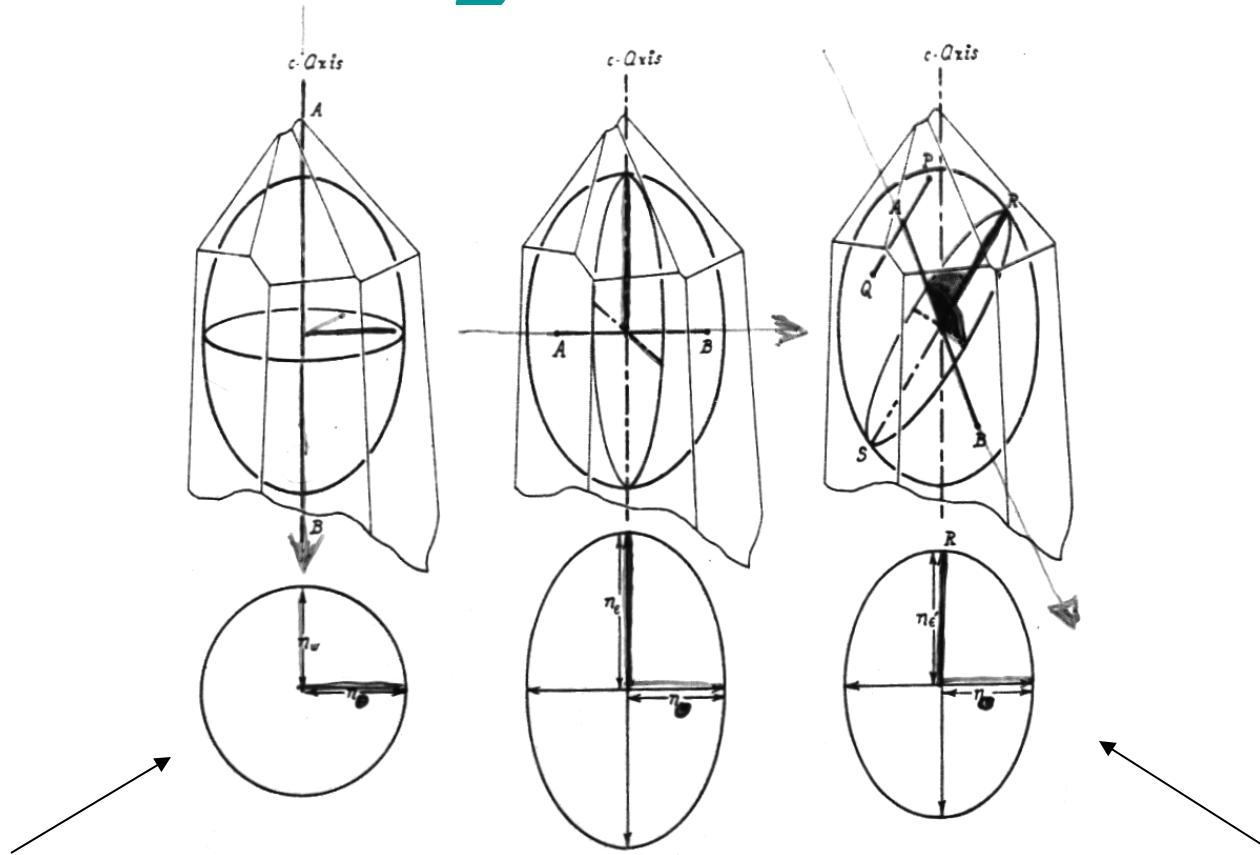
Eine einachsige Indikatrix ist **positiv**, wenn $n_e > n_o$, anders ausgedrückt $n_e = n_z$ und $n_o = n_x$.
Eine einachsige Indikatrix ist **negativ**, wenn $n_e < n_o$, anders ausgedrückt $n_e = n_x$ und $n_o = n_z$.

Einachsige Indikatrix

Optische Orientierung der einachsigen Indikatrix in einem Kristall



Einachsige Indikatrix



Schnitt senkrecht zur optischen Achse

Blickrichtung parallel zur optischen Achse

Schnitt bleibt beim Drehen des Tisches dunkel

Schnitt parallel zur optischen Achse

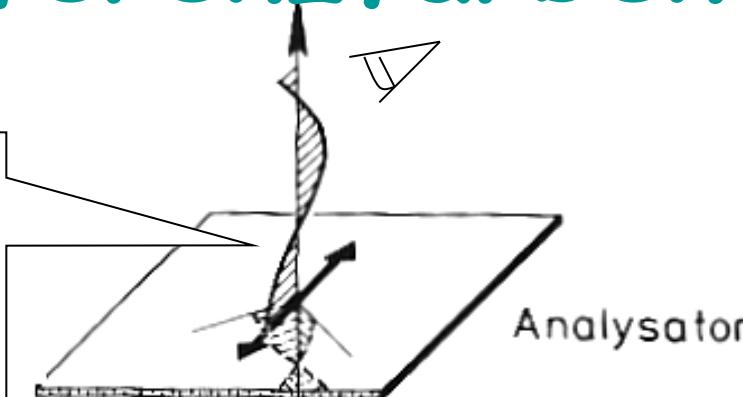
Blickrichtung senkrecht zur optischen Achse

Schnitt zeigt in Diagonalstellung maximale Interferenzfarben

Allgemeine Lage.
Interferenzfarbe niedriger als max IF.

Interferenzfarben

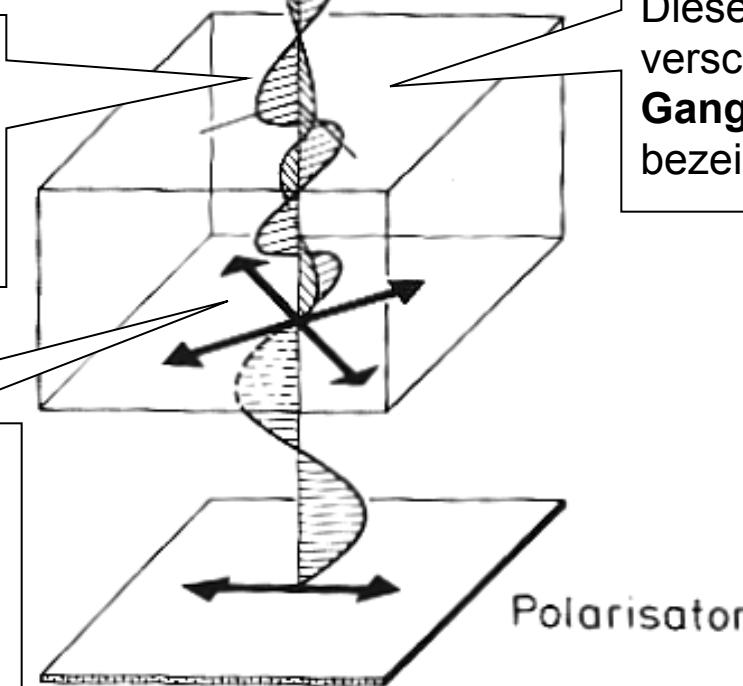
Nach passieren des Analysators schwingen die beiden Strahlen in einer Ebene. Die Überlagung der beiden Wellen nennt man **Interferenz**.



Nach dem Austritt aus dem Kristall pflanzen sich die beiden Strahlen in der Luft mit gleicher Geschwindigkeit fort; - aber sie sind jetzt phasenverschoben !

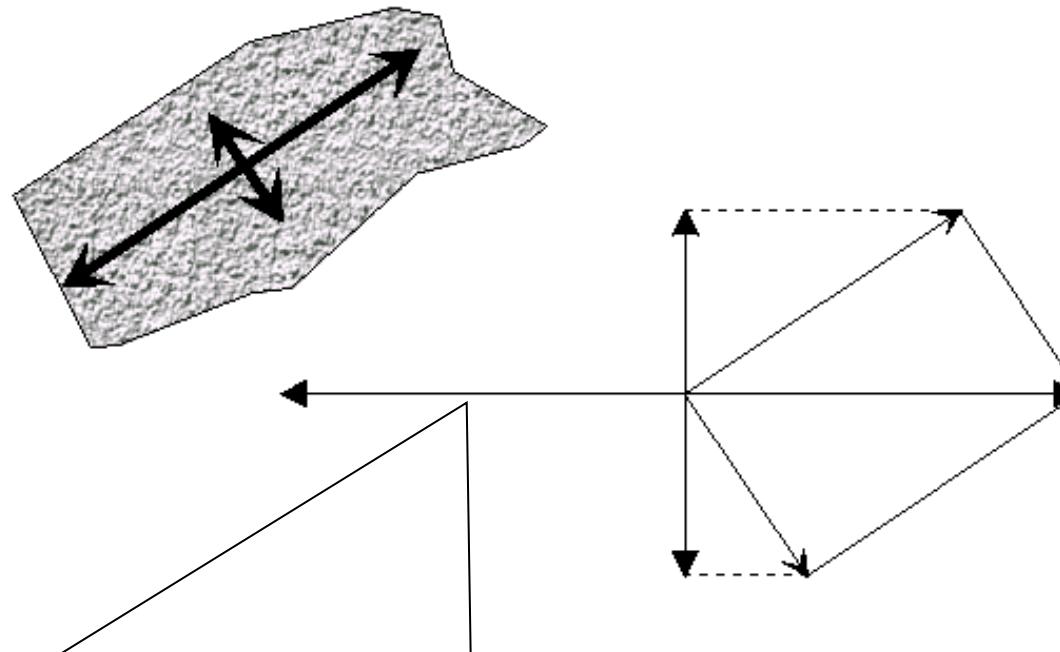
Diese Phasenverschiebung wird **Gangunterschied Γ** bezeichnet

Im Kristall schwingen zwei Strahlen senkrecht zueinander. Die Wellen pflanzen sich mit unterschiedlicher Geschwindigkeit fort



Interferenzfarben

Der zweite Polarisator (=ANALYSATOR) zwingt die aus dem Kristall austretenden Strahlen in **eine** Schwingungsebene (senkrecht zur Schwingungsebene des unteren Polarisators), so dass sie interferieren.



Schwingungsrichtung des Analysators.

BEACHTE: Die Bedingungen für verstärkende / auslöschende Interferenz verhalten sich genau umgekehrt wie bei Beugung an einem Spalt oder Gitter, da die beiden Wellen nach Durchgang durch **Polarisator - Kristall - Analysator** unabhängig von der Wellenlänge **immer um $\lambda/2$ phasenverschoben** sind.

Interferenz im monochromatischen Licht

Wellengeschwindigkeit & Wellenlänge:

Beim Durchgang durch Medien verschiedener optischer Dichte ändern sich Fortpflanzungsgeschwindigkeit v und Wellenlänge λ . Die Frequenz u bleibt gleich.

$$\text{Welle 1: } v_1 = u\lambda_1 \quad \text{Welle 2: } v_2 = u\lambda_2$$

Anzahl der Wellenzüge **wz** einer Welle beim Durchgang durch einen Kristall der Dicke d : **wz = d/λ**

Daraus ergibt sich der Gangunterschied Γ zu :

$$\Gamma = \lambda \left| \frac{d}{\lambda_1} - \frac{d}{\lambda_2} \right|$$

$$\Gamma = d \left| \frac{\lambda}{\lambda_1} - \frac{\lambda}{\lambda_2} \right|$$

$$\Gamma = d \left| \frac{c \cdot v}{v \cdot v_1} - \frac{c \cdot v}{v \cdot v_2} \right|$$

$$\lambda = v / \nu$$

$$\Gamma = d \left| \frac{c}{v_1} - \frac{c}{v_2} \right|$$

Snelliussches
Brechungsgesetz
 $n = v_I / v_{II}$

$$\Gamma = d |n_1 - n_2|$$

Der Term $n_1 - n_2$ ($= \Delta n$) wird numerische Doppelbrechung genannt.



$$\Gamma = d \Delta n$$

Interferenz im monochromatischen Licht

$$\Gamma = d \Delta n$$

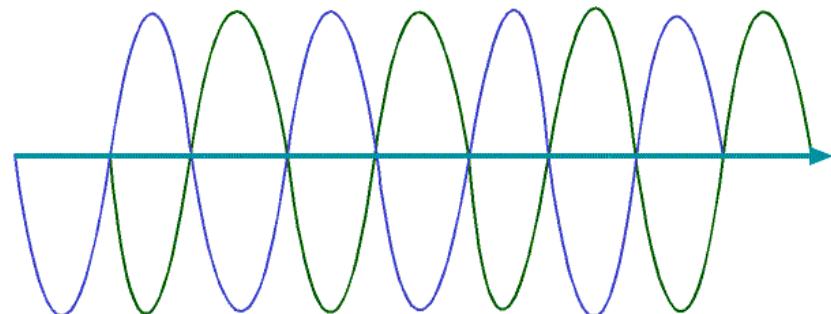
Auslöschende Interferenz

$$\Gamma = d \Delta n = 0$$

für eine bestimmte Wellenlänge, wenn

$$\Gamma = k \times \lambda \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

(Gangunterschied ist ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge)



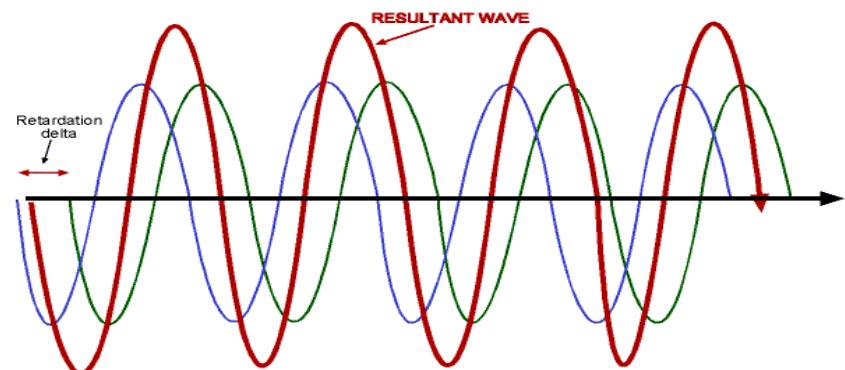
Maximal verstärkende Interferenz

$$\Gamma = d (n_z - n_x)$$

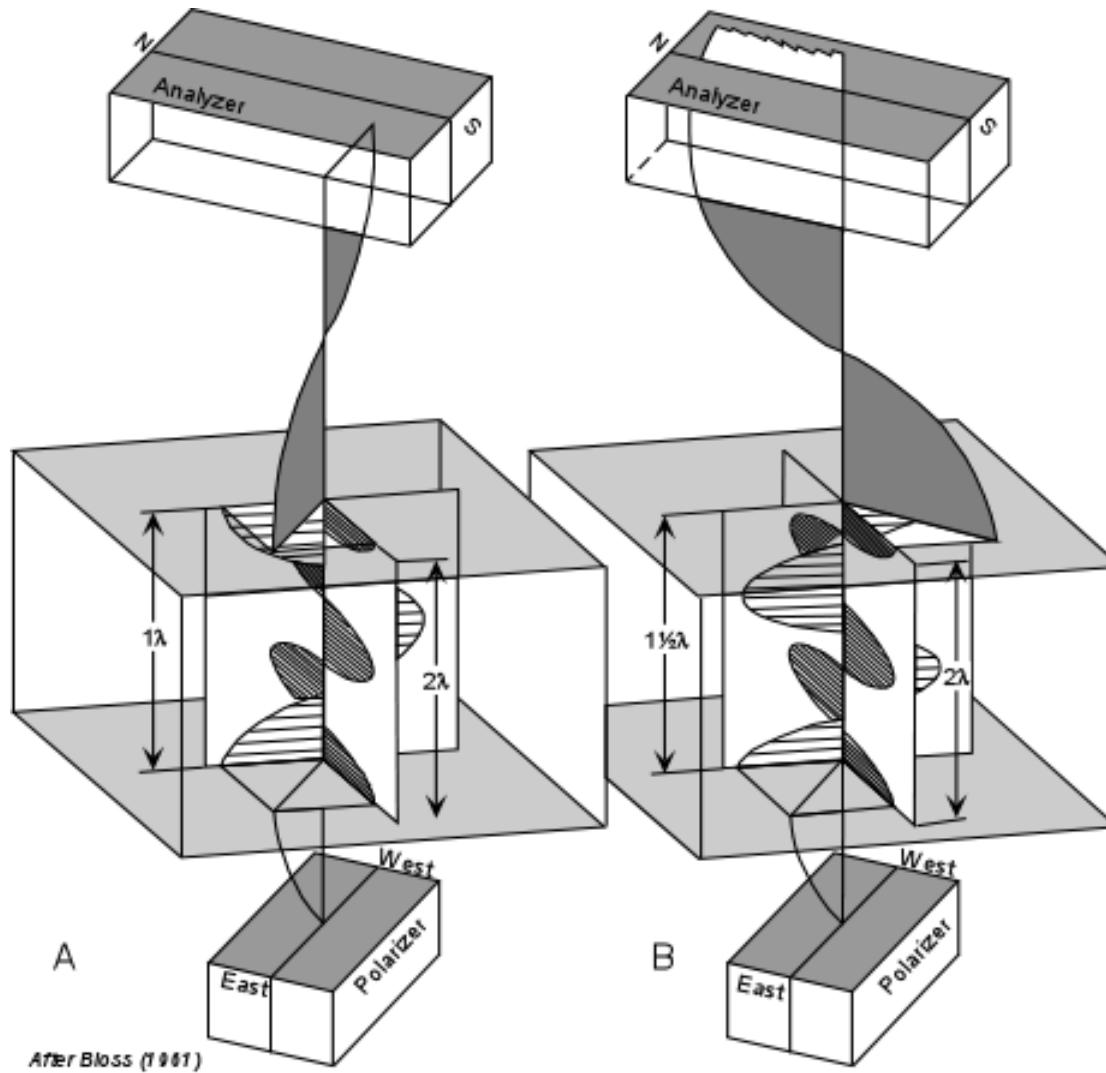
für eine bestimmte Wellenlänge, wenn

$$\Gamma = (2k - 1) \times \lambda/2 \quad k = 1, 2, 3, \dots$$

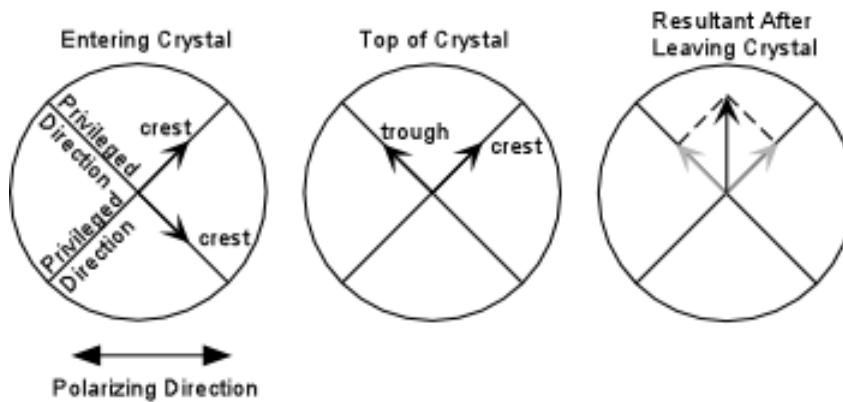
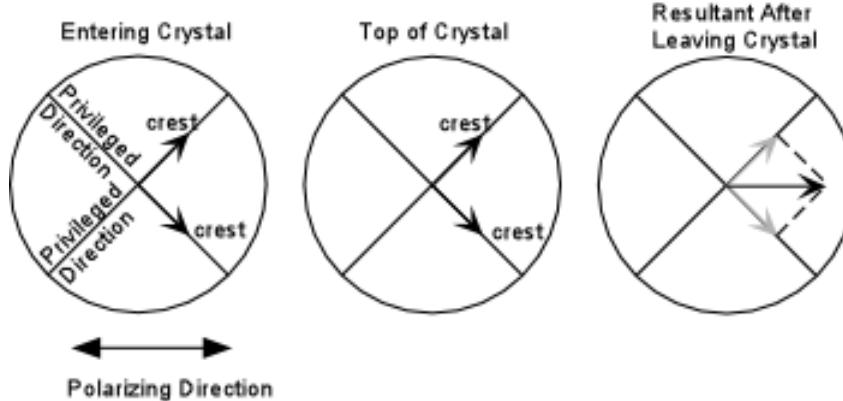
(Gangunterschied ist ein ungerades Vielfaches der halben Wellenlänge)



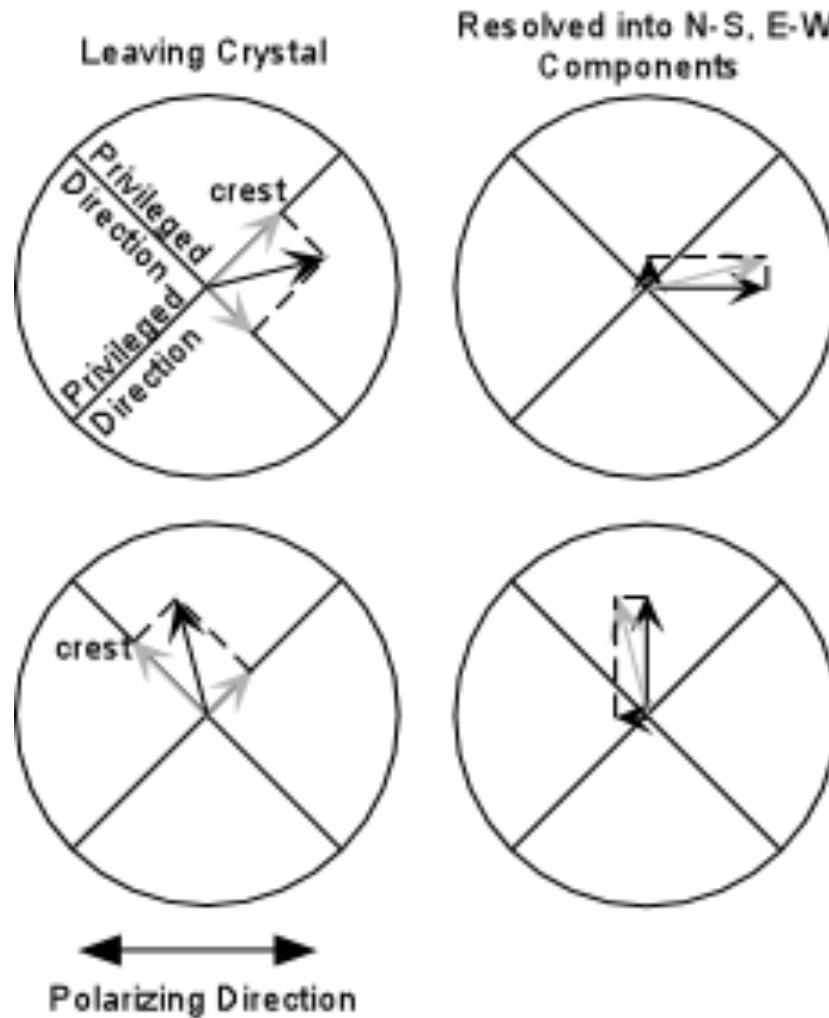
Interferenzfarben



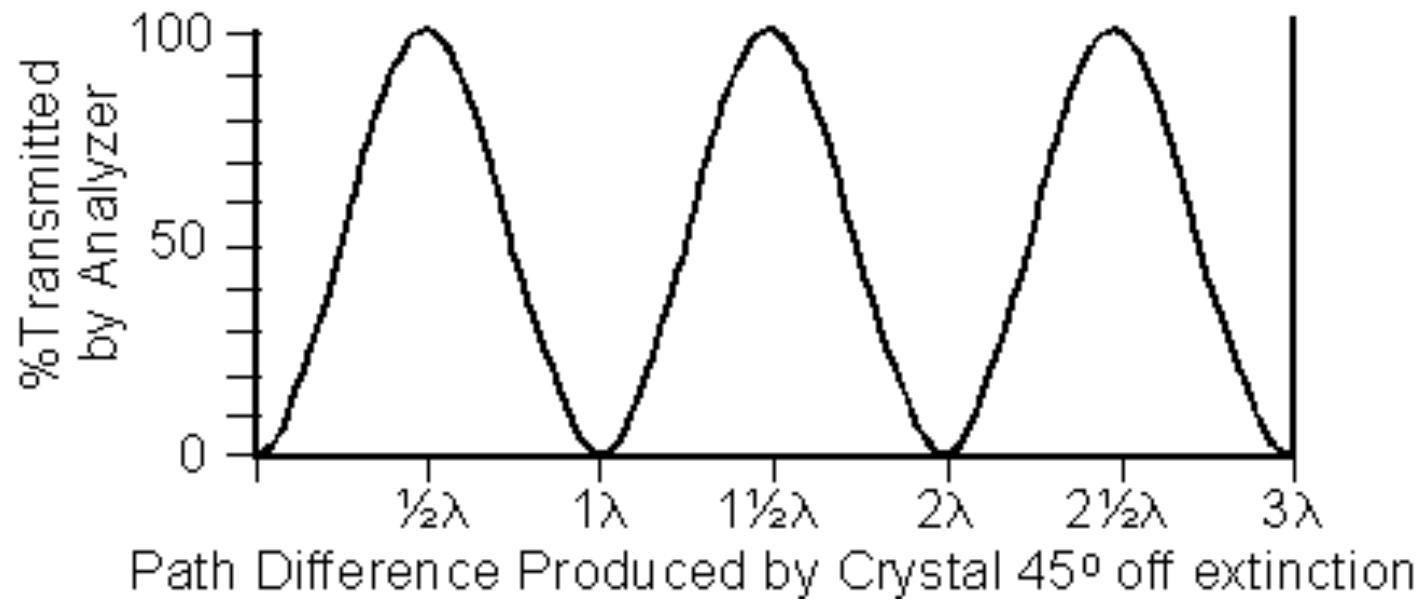
Interferenzfarben



Interferenzfarben



Interferenzfarben



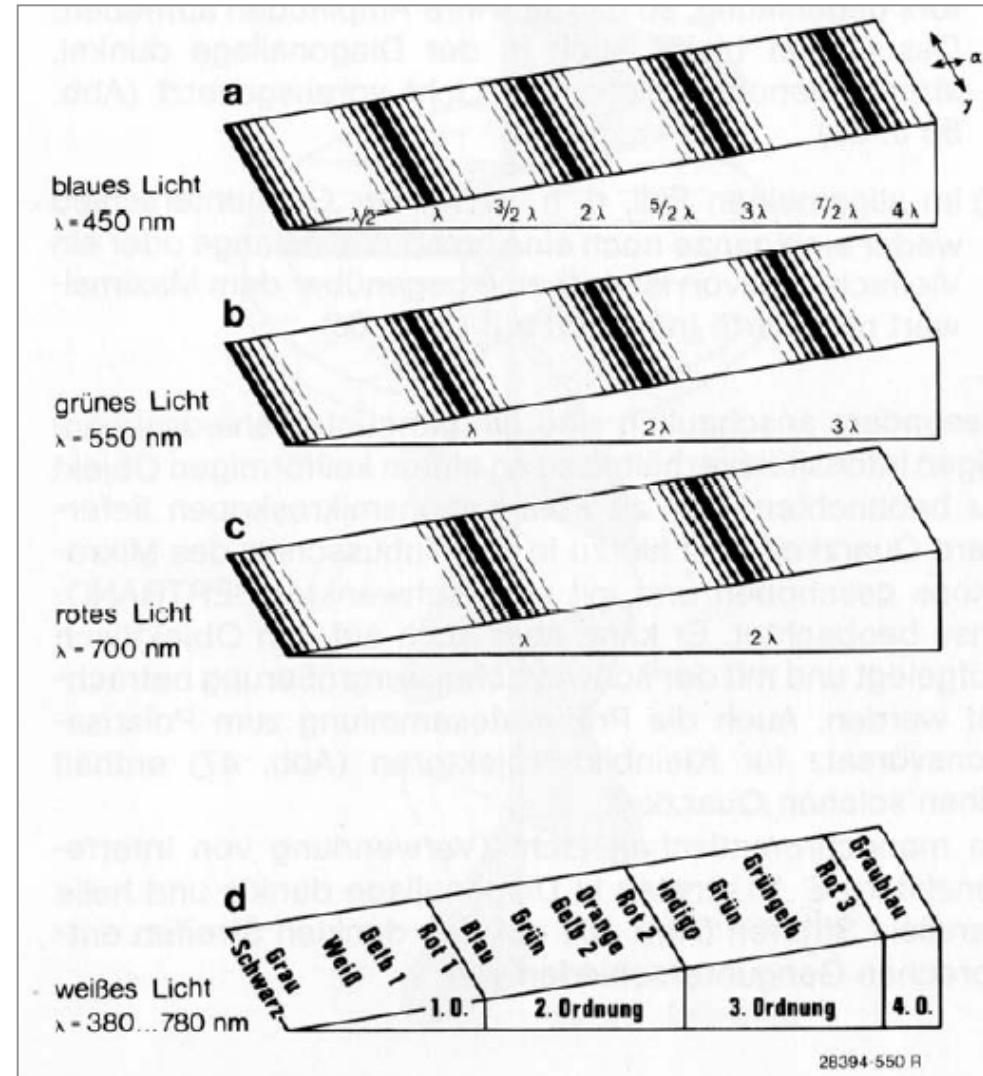
Interferenzfarben

Das Restspektrum erscheint uns nun farbig, und zwar in der Komplementärfarbe der ausgelöschten Frequenz.

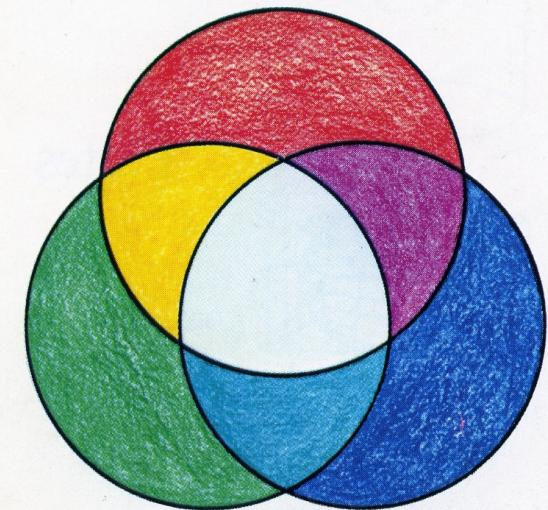
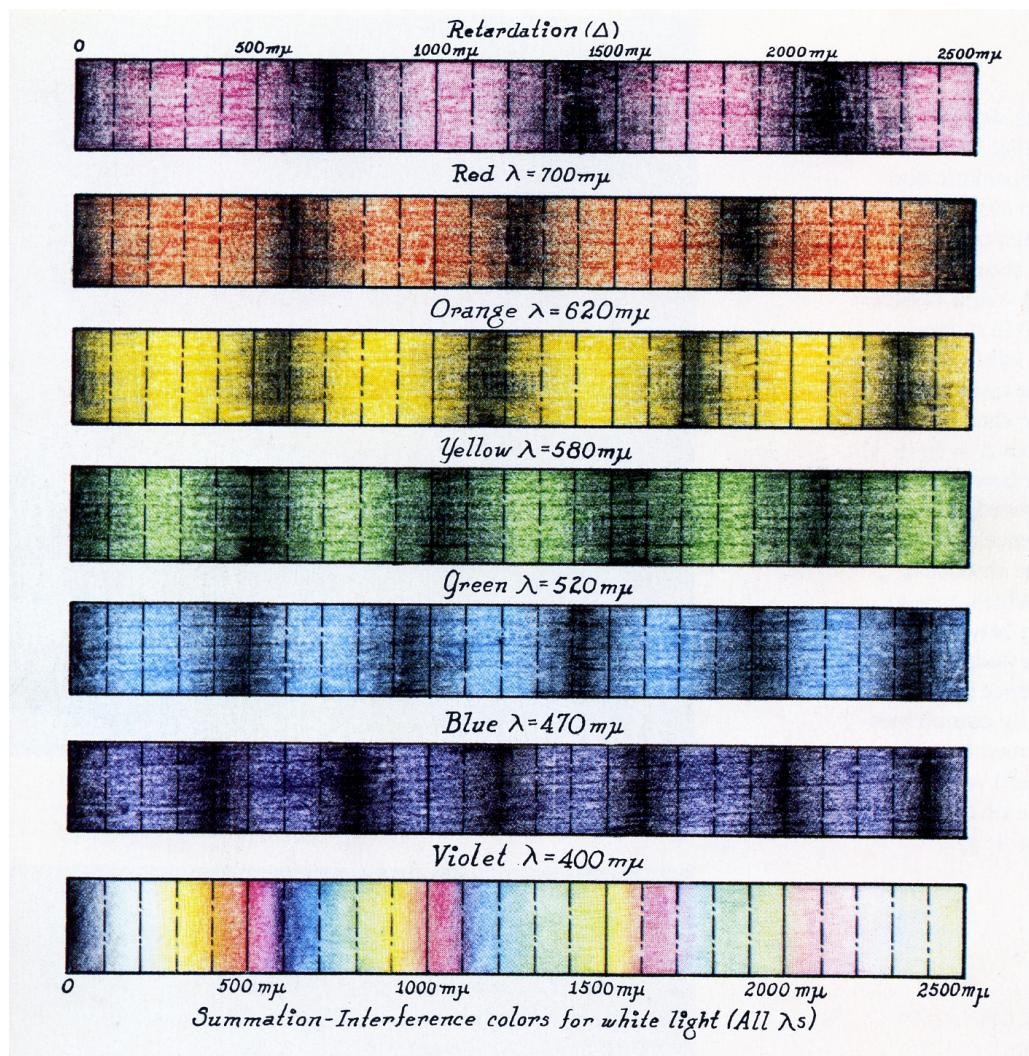
Ein Gangunterschied von 550 nm bedeutet Auslöschung grüner Frequenzen; das Restspektrum erscheint also rot.

Mit steigendem Gangunterschied kommt es zu periodisch wiederkehrenden Farbabfolgen (Ordnungen). Sie erscheinen zunehmend unreiner bzw. verwaschener, da für immer mehr Frequenzen die Auslöschungsbedingung erfüllt ist.

Noch höherer Gangunterschied lässt das Restlicht wiederum weiß erscheinen (**Weiß höherer Ordnung**).



Interferenzfarben



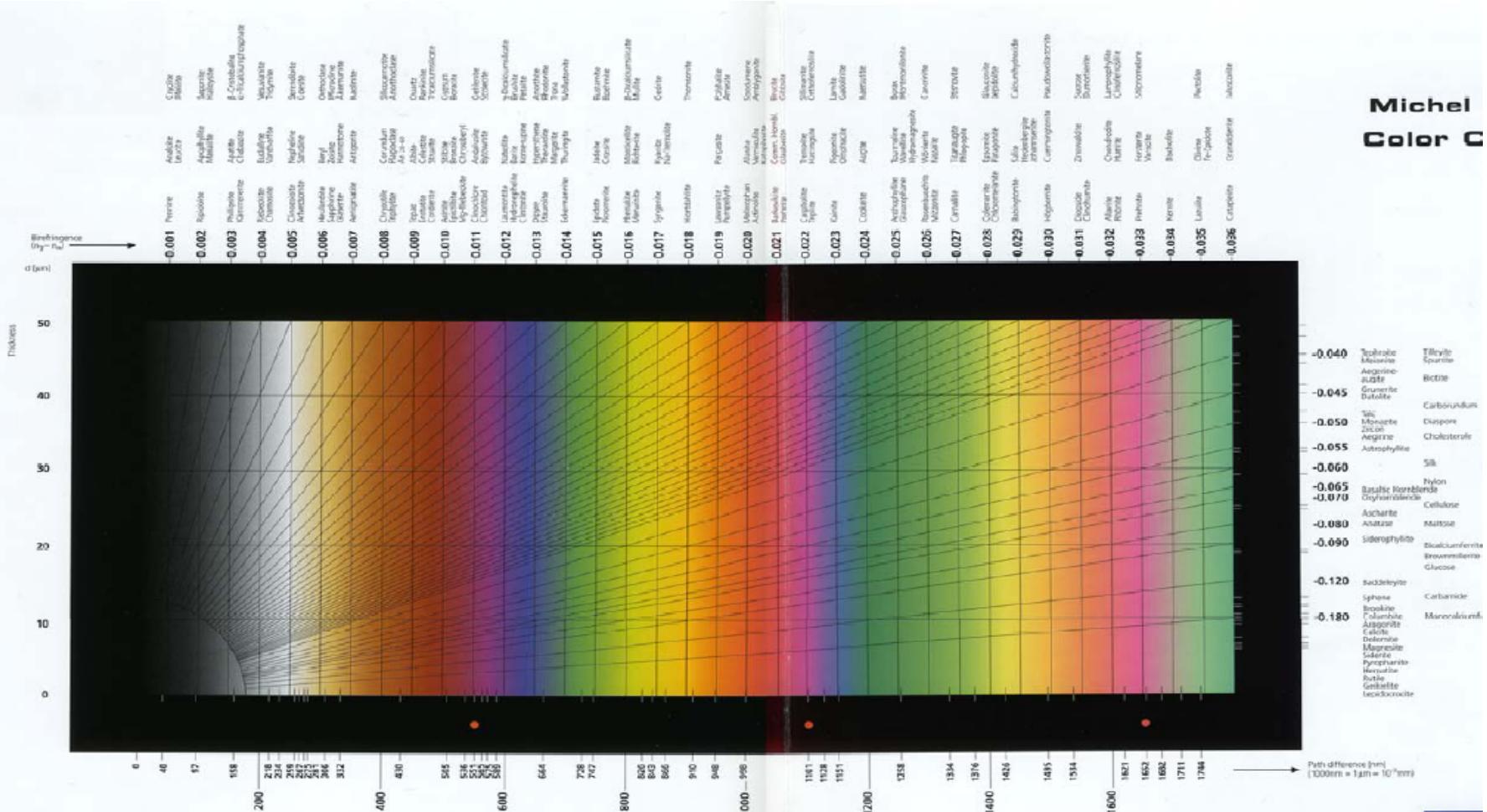
Interferenzfarben

- Einige der dadurch erzeugten Farben haben besondere Namen.
- Die Farbe, die bei einer Doppelbrechung von 0.011 auftritt, bzw. einem Gangunterschied von 551 nm heißt **Rot I**.
- Die Farben, die niedriger als Rot I sind, werden als **Interferenzfarben der ersten Ordnung** (**Weiß** und **orange**) bezeichnet.
- Erst ab **Rot I** treten die Farben **Blau II** und **Grün II** auf. Danach beginnt die Farbfolge sich zu wiederholen. Das geübte Auge kann aber die Interferenzfarben der I Ordnung von denen der II Ordnung gut trennen.
- Bei einem Gangunterschied von 1100 nm schließt **Rot II** die Farben der II. Ordnung ab, und bei 1650 nm schließt **Rot III** die Farben der III. Ordnung ab. Hohe Farben sehen viel blasser aus als die Farben niedrigeren Ordnungen, weil mehr und mehr von dem Gesamtspektrum durchgelassen wird.
- Das **Weiß der höheren Ordnungen** ist von **Weiß I** zu unterscheiden, da es „cremig“ aussieht, und immer noch etwas von anderen Farben (grünen, usw.) zeigt, die bei Weiß I nicht auftreten können.

Interferenzfarben

- Die Farbtafel nach **Michel-Lévy** ist in Prinzip ein Nomogramm, das den linearen Zusammenhang zwischen Interferenzfarbe, Gangunterschied und Dicke des Präparats deutlich macht.
- Die Skala oben auf dem Diagramm zeigt die Dicke des Schliffes. Ist sie bekannt (normalerweise 25 µm), so folgt man senkrecht nach unten, bis man auf die beobachtete Farbe trifft. Von diesem Punkt aus, folgt man eine von den schrägen Linien bis an den Rand des Diagramms. Rechts am Rand ist die Größe der Doppelbrechung aufgeführt, auf der linken Seite steht der Gangunterschied in nm.
- Die **Dicke** des Schliffes beeinflußt die beobachtete Interferenzfarbe: je dicker der Schliff, desto höher der resultierende Gangunterschied (bzw. Doppelbrechung).
- Beachte: Mit Hilfe der **maximalen** Interferenzfarbe können die möglichen Minerale eingegrenzt werden.

Farbtafel nach Michel-Lévy



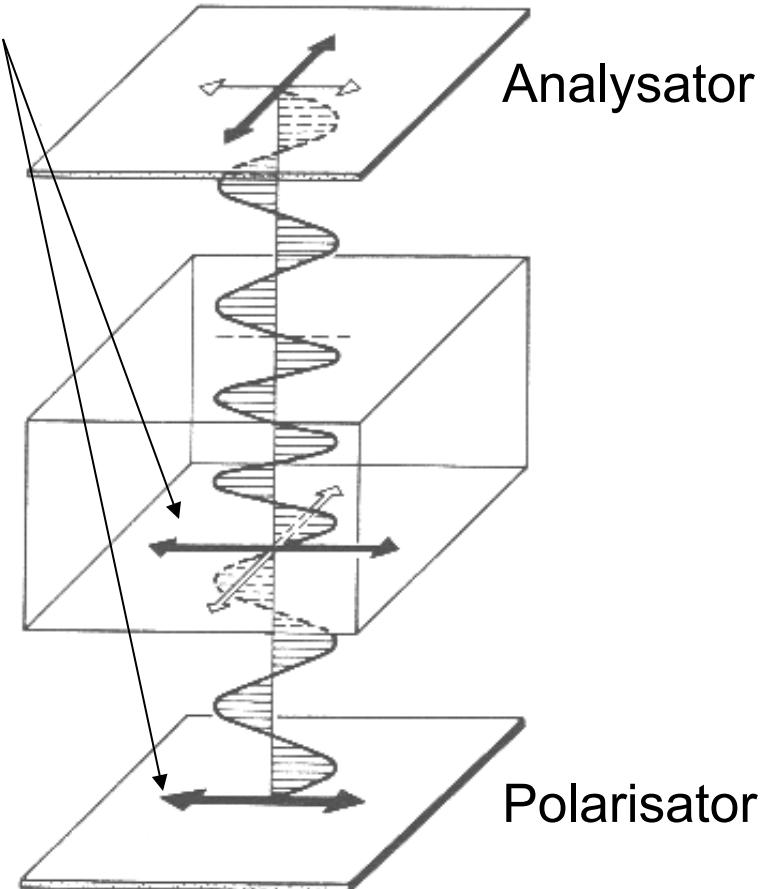
Aufgaben

Bestimmen der maximalen Interferenzfarbe

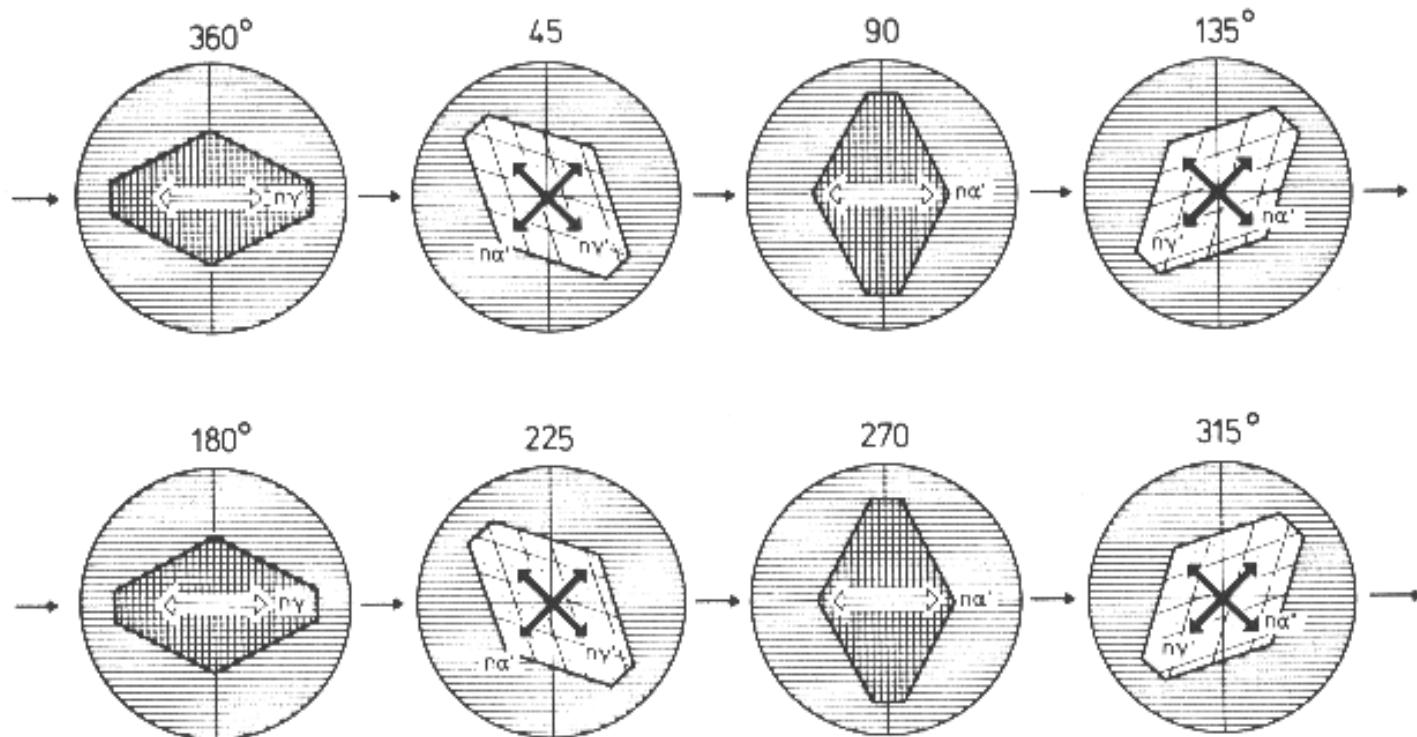
- Quarz
- Muskovit
- Olivin
- Calcit

Bestimmung der Schwingungsrichtungen im Mineralschnitt

Liegt eine der **Schwingungsrichtungen** im Kristallschnitt parallel zum Polarisator (die steht dann senkrecht dazu) so kann nur dieser Strahl den Kristall passieren. Er wird dann durch den Analysator ausgelöscht. Der Kristall erscheint dunkel. ==> **Dunkelstellung**, (Logischerweise wiederholt sich die Dunkelstellung jeweils nach Drehung um 90°) Die Stellung nach Drehung um 45° aus der Dunkelstellung heißt **Diagonalstellung**

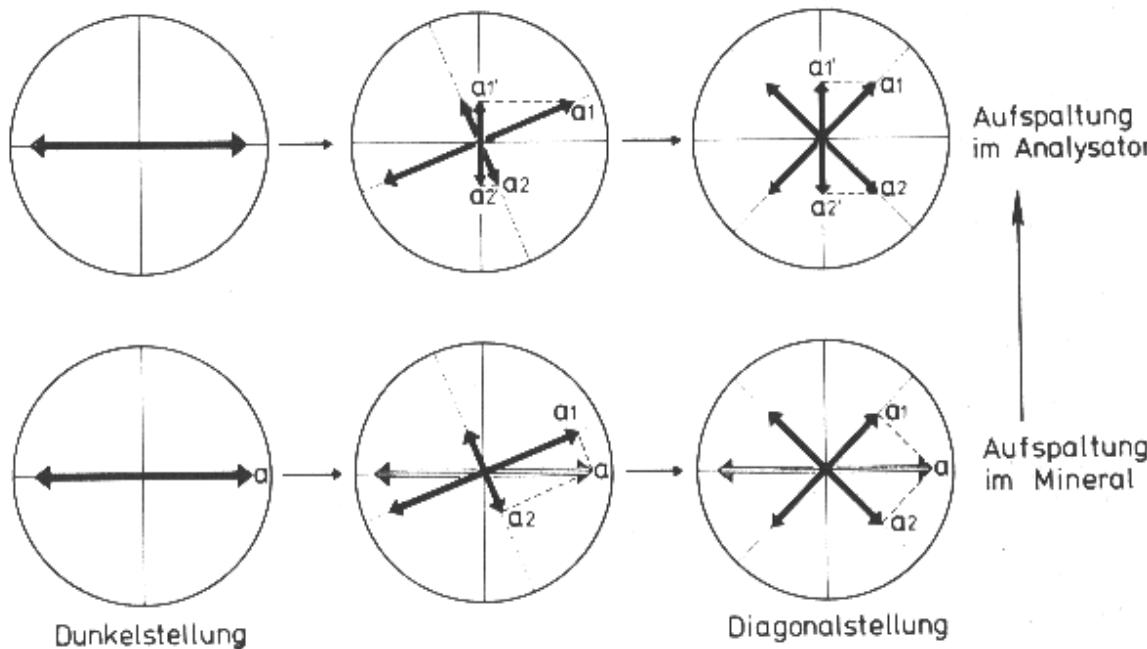


Bestimmung der Schwingungsrichtungen im Mineralschnitt



Dunkel- und Diagonalstellungen des Minerals bei orthoskopischer Betrachtung und einer 360°-Drehung des Mikroskoptisches.

Bestimmung der Schwingungsrichtungen im Mineralschnitt

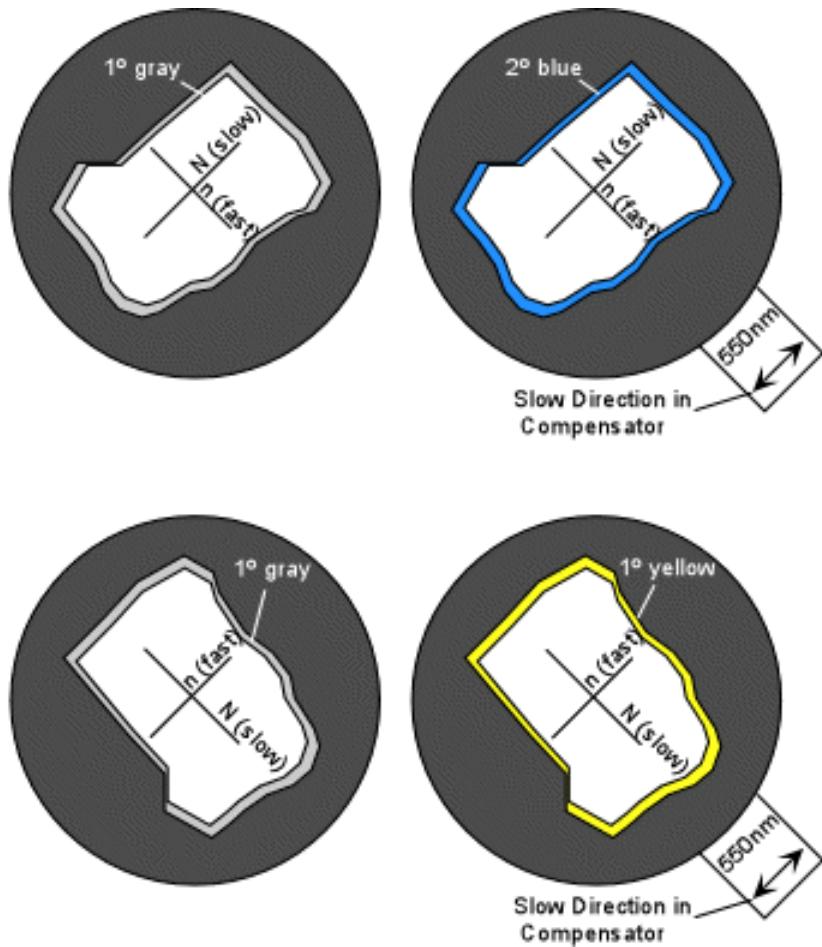
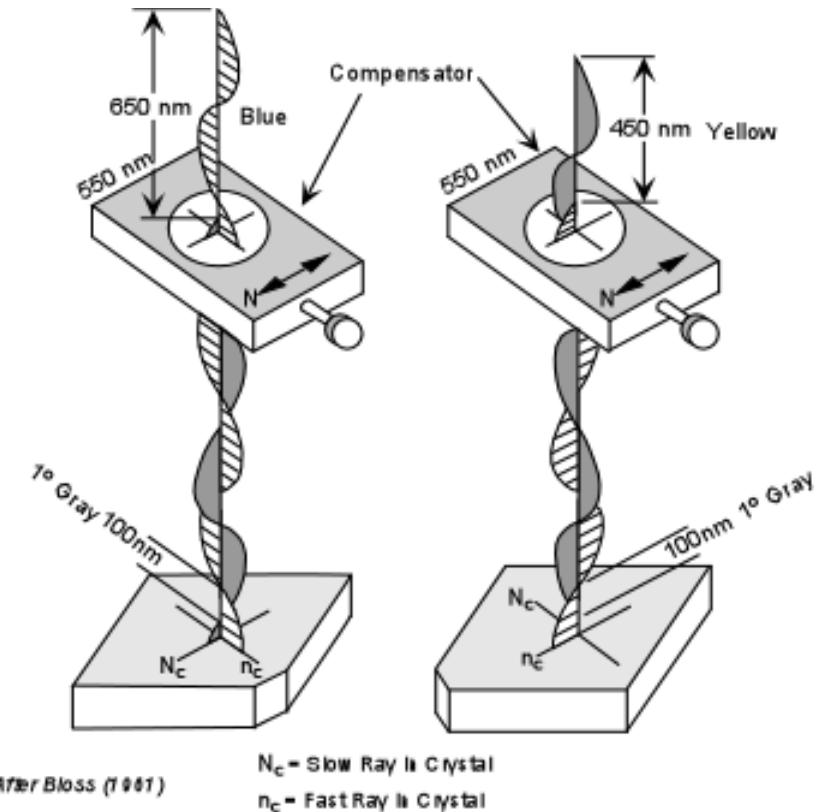


Amplitudenaufspaltung beim Herausdrehen aus der Dunkel- in die Diagonalstellung

Interferenz der beiden Strahlen nach Durchgang durch den Analysator

Aufspaltung im Mineral

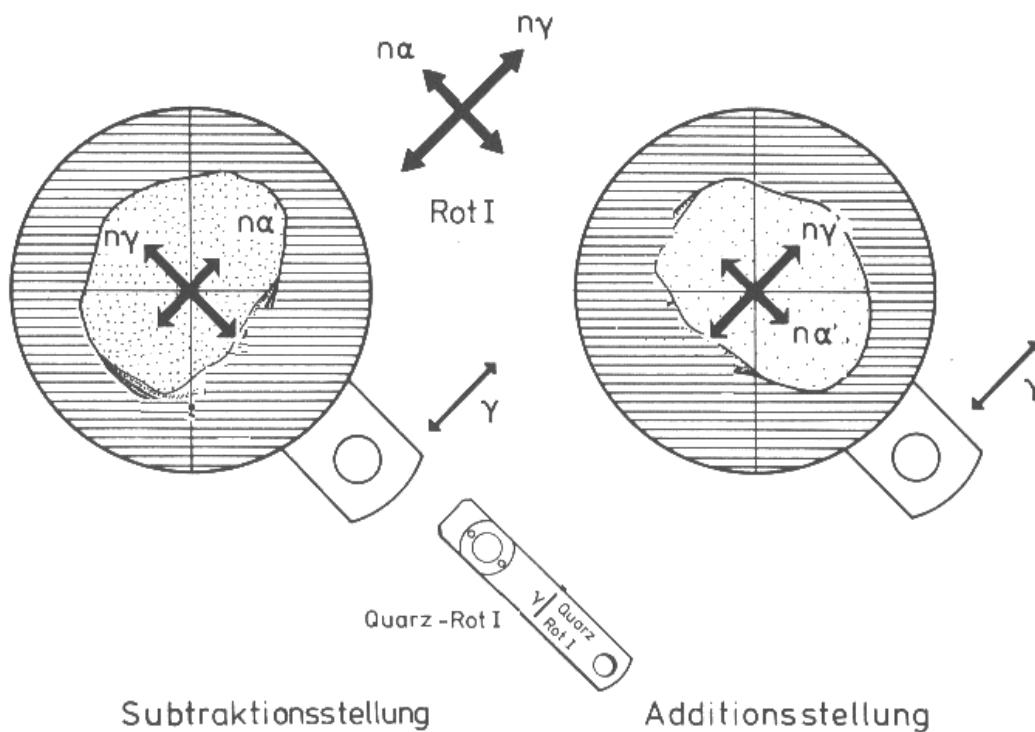
Kompensation



Kompensation

Mit dem Kompensator (= Hilfsobjekt Rot I = "Gipsblatt") wird festgestellt, welche der beiden Schwingungsrichtungen die mit dem größeren Brechungsindex ist

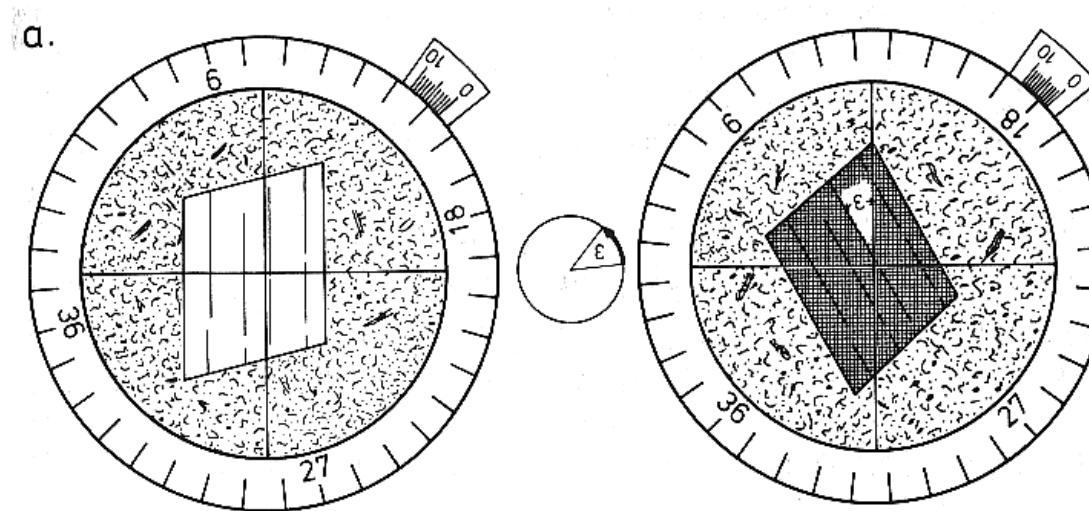
$$[n_z' = n_y']$$



Bestimmung des optischen Charakters der Auslöschungsrichtung n_α' und n_y' mit dem Hilfsobjekt Rot I

Auslöschungsschiefe (ϵ)

Auslöschungsschiefe: Winkel zwischen einer optischen Richtung (Schwingungsrichtung) und einer kristallographischen Richtung.



Winkelwert I = 153,0°

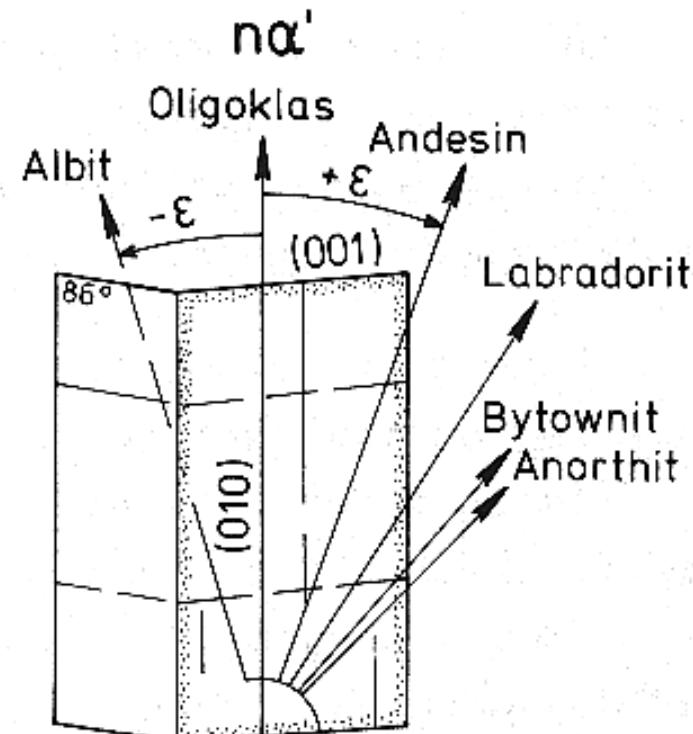
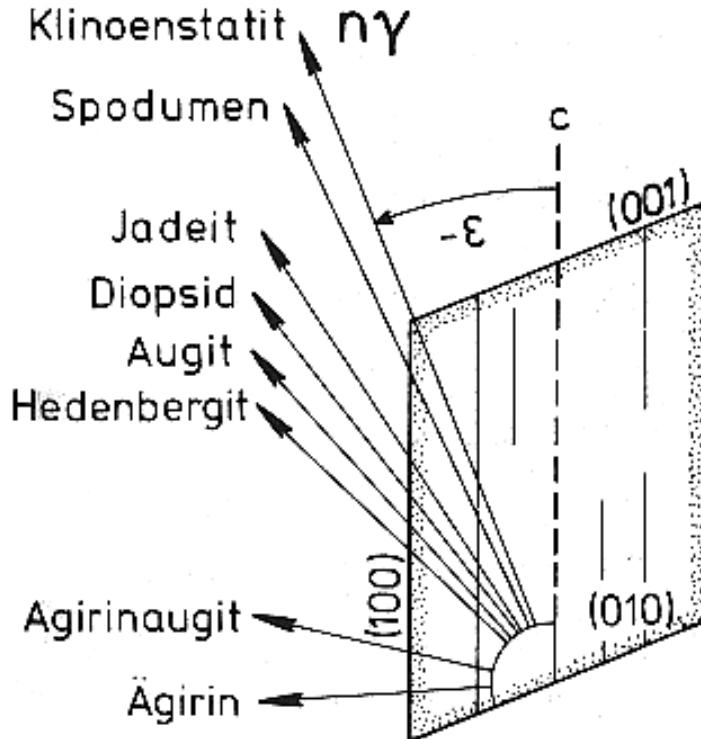
Winkelwert II = 182,5°

$$\text{Auslöschungswinkel } \epsilon = I - II = 29,5^\circ$$

Bestimmung der Auslöschungsschiefe ϵ in einem definierten Schnitt:

Auslöschungsschiefe (ε)

Um die Auslöschungsschiefe ε zu bestimmen muss ein Kristall in einer bestimmten Richtung geschnitten sein.



Zusammenhang zwischen Auslöschungsschiefe und Kristallsystem

Auslöschung			
	gerade $\epsilon = 0$	symmetrisch $\epsilon_1 = \epsilon_2$	
hexagonal trigonal tetragonal	Apatit 	Zirkon 	Calcit
	c in EW- oder NS-Ebene; a_1, a_2, a_3 in NS		$c \perp$ zu EW, NS
o'rhombisch	Orthopyroxen 		
	Schnitte [100], [010], [001] bzw. {0kl}, {h0l}, {hk0}		übrige Schnitte
monoklin	Amphibol 		
	Schnitte llb bzw. \perp (010)		übrige Schnitte
triklin			Plagioklas
			alle Schnitte

Abnormale Interferenzfarben

Übernormale Farben (Supernormale)

$$(n\gamma - n\alpha)_{\text{violett}} > (n\gamma - n\alpha)_{\text{rot}}$$

$$D_{\text{Dispersion}} > 1$$

Unternormale Farben (Subnormale)

$$(n\gamma - n\alpha)_{\text{violett}} < (n\gamma - n\alpha)_{\text{rot}}$$

$$D_{\text{Dispersion}} < 1$$

Anomale Farben

$$(n\gamma - n\alpha)_{\text{violett}} < / > (n\gamma - n\alpha)_{\text{rot}}$$

$$D_{\text{Dispersion}} < / > 1$$

Lebhafte Farben

Epidot

matte Farben

Hornblende, Chlorit

Charakteristisches Tintenblau

Vesuvian, Melilith

Aufgaben

Bestimmen der Schwingungsrichtung



Auslöschungsschiefe

- Amphibol
- Pyroxen

Abnormale Interferenzfarbe

- Chlorit, Titanaugit (Pyroxen)
- Epidot
- Vesuvian

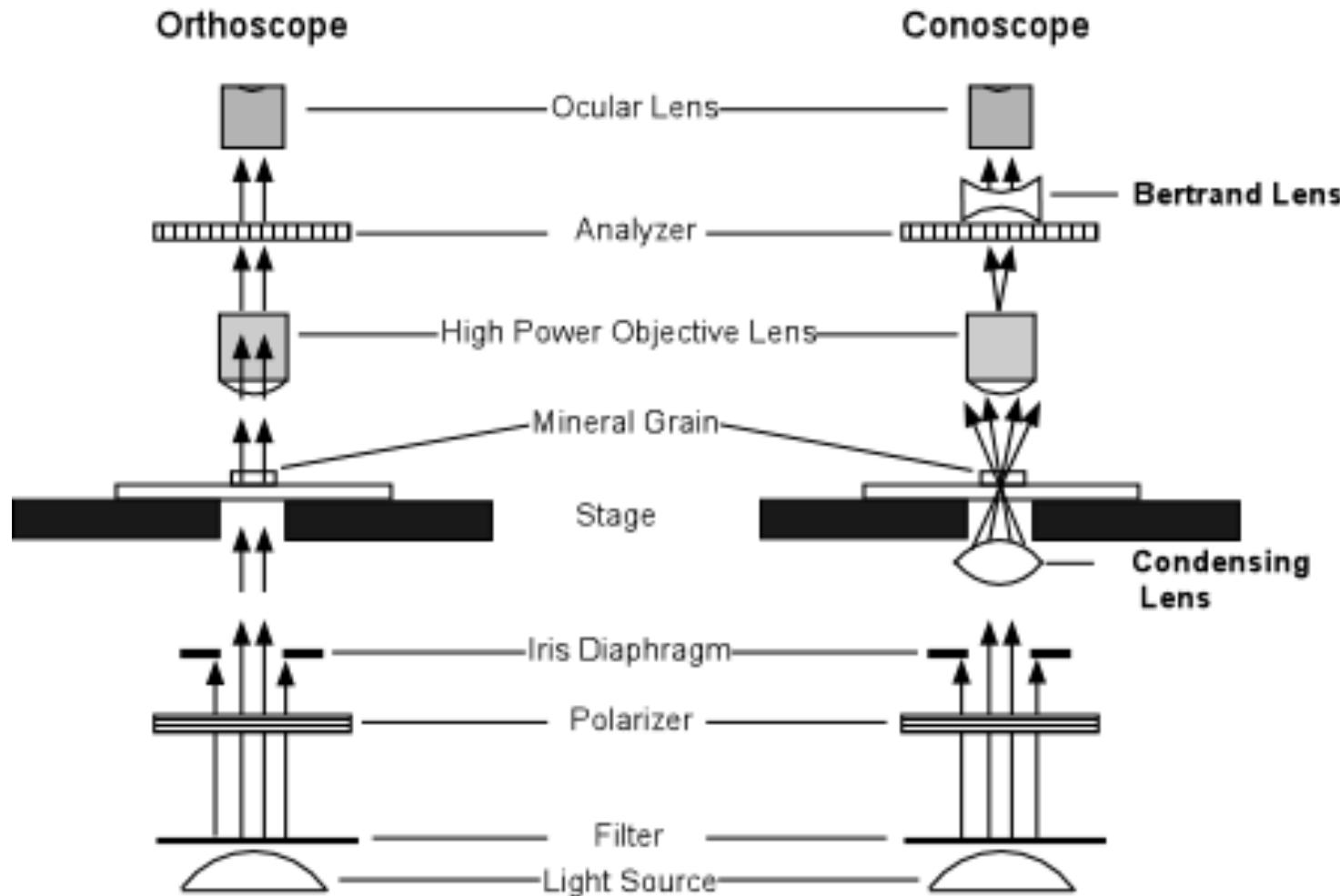
Konoskopie

Im Gegensatz zum orthoskopischen Strahlengang ("normaler Strahlengang") wird beim konoskopischen Strahlengang nicht das vom Objektiv entworfene reelle Zwischenbild durch das Okular betrachtet, sondern - durch Einklappen der Bertrand-Amici-Linse - die Brennebene des Objektivs.
Man erhält ein für Schnittlage und optischen Charakter des Minerals charakteristisches Interferenzbild. („Achsenbild“, „Konoskopbild“)

Arbeitsschritte:

- **Analysator ein**
- **Kondensor muss ganz hochgefahren sein**
- **Aperturblende ganz offen**
- **höchste Vergrößerung**
- **Scharfstellen**
- **Kondensorfrontlinse ein**
- **Amici-Bertrand-Linse einklappen**

Konoskopie



After Perkins & Henke, 1999

Konoskopie

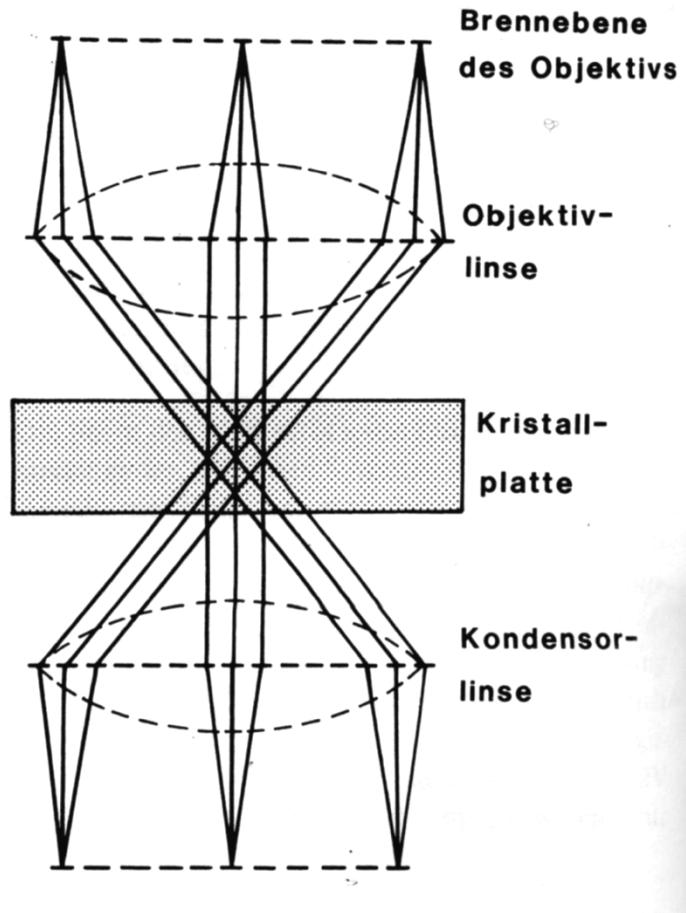
Strahlengang:

Die Kondensorfrontlinse sorgt für eine stark divergente Durchstrahlung des Objekts.

Parallel einfallende Strahlen werden in der Brennebene des Objektivs in einem Punkt vereinigt.

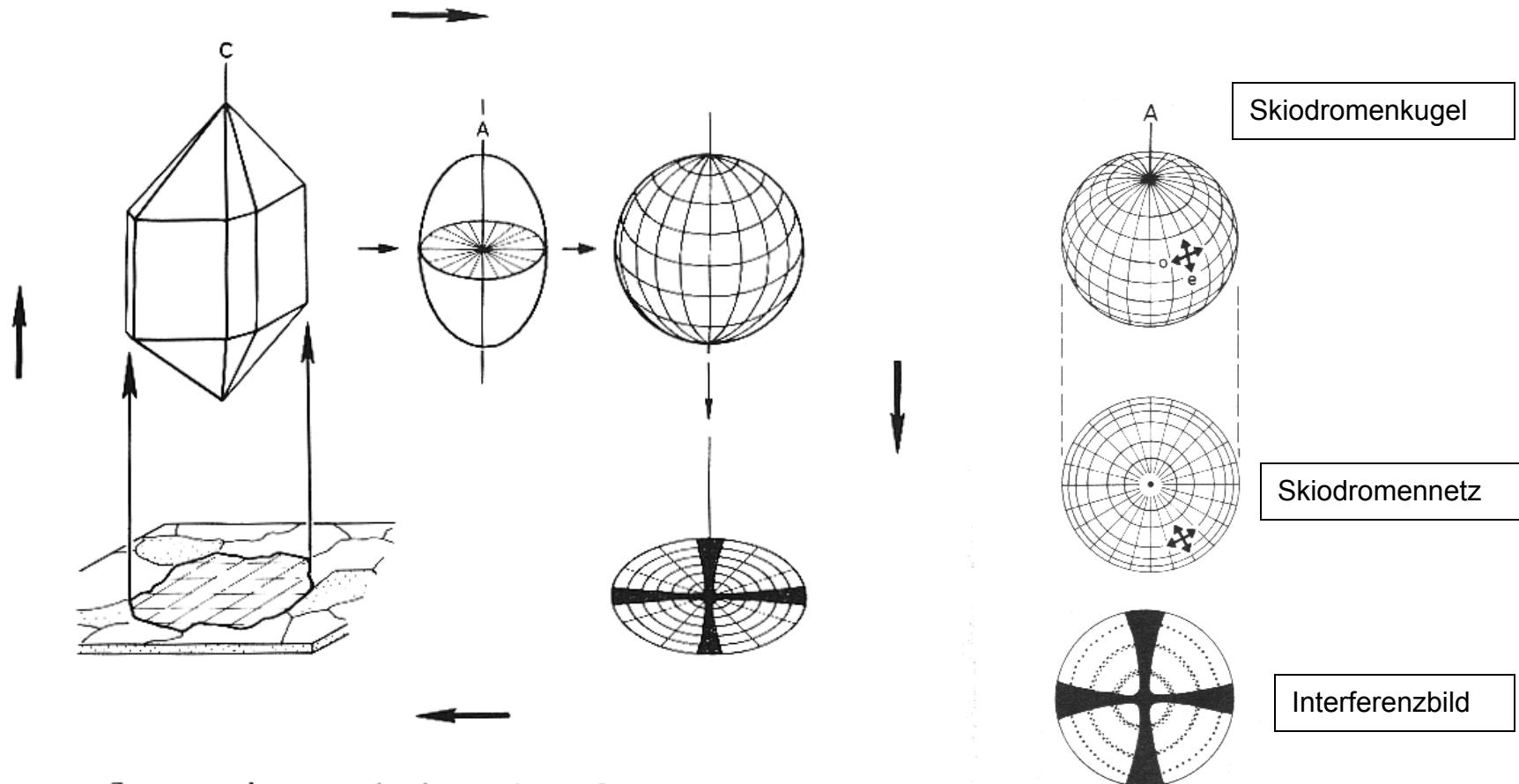
Das resultierende Interferenzbild, ergibt sich aus der Summe der "Brennpunkte" für verschiedene Durchstrahlungsrichtungen.

Das Interferenzbild liefert so eine Übersicht über die Schwingungsrichtungen für verschiedene Durchstrahlungsrichtungen



Konoskopie

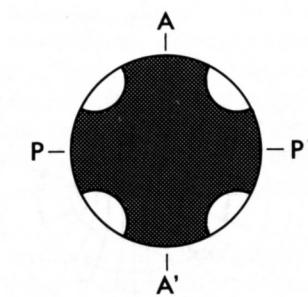
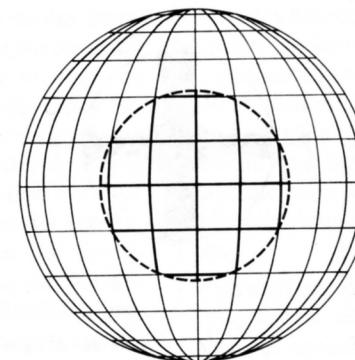
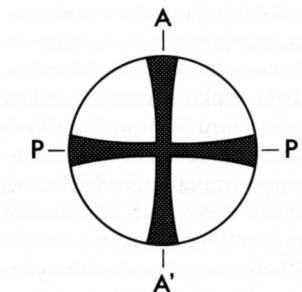
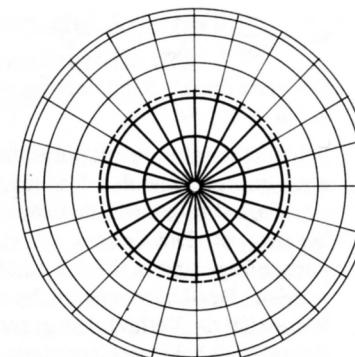
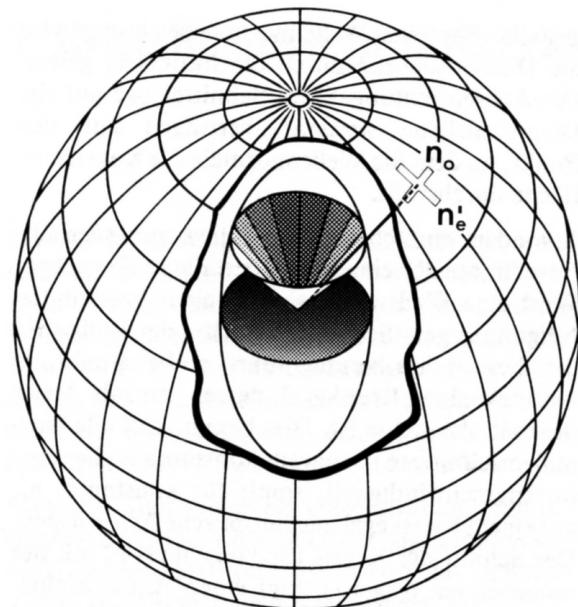
Zusammenhang zwischen
Mineralschnitt, Indikatrix, Skiodromenkugel & -netz, Interferenzbild,



Zusammenhang zwischen Mineralschnitt, Kristall-,
Indikatrix- und Skiodromenorientierung

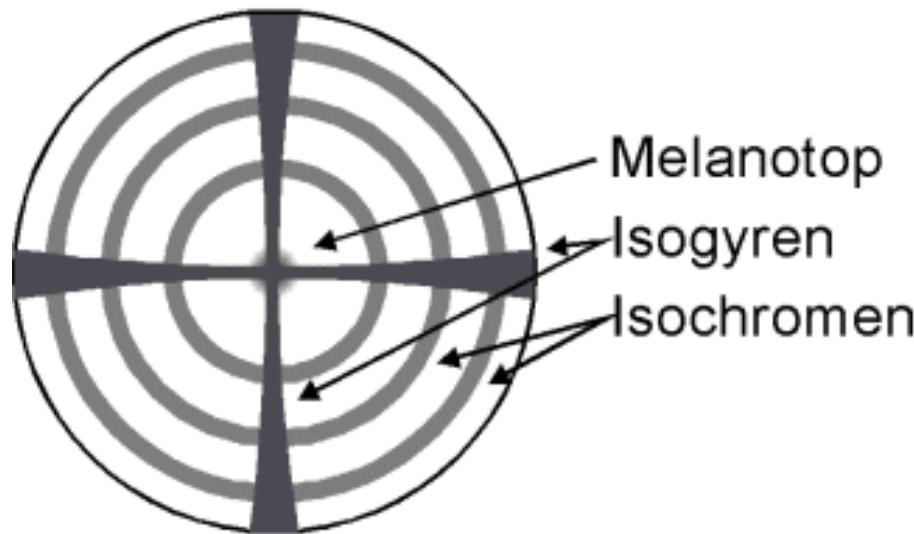
Konoskopie

Skiodromenkugel & -netz, Interferenzbild

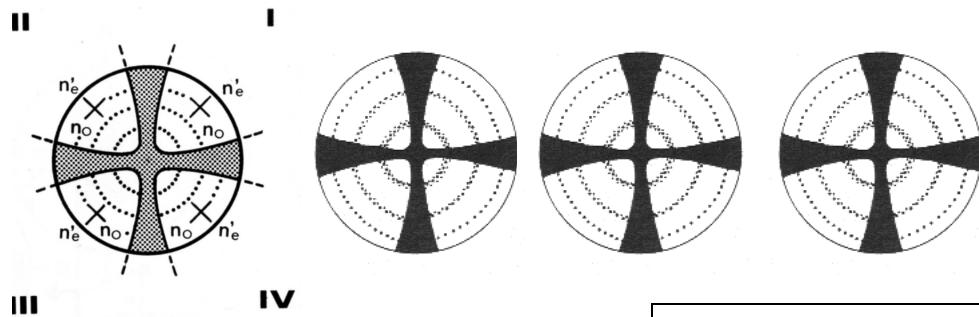


Konoskopie

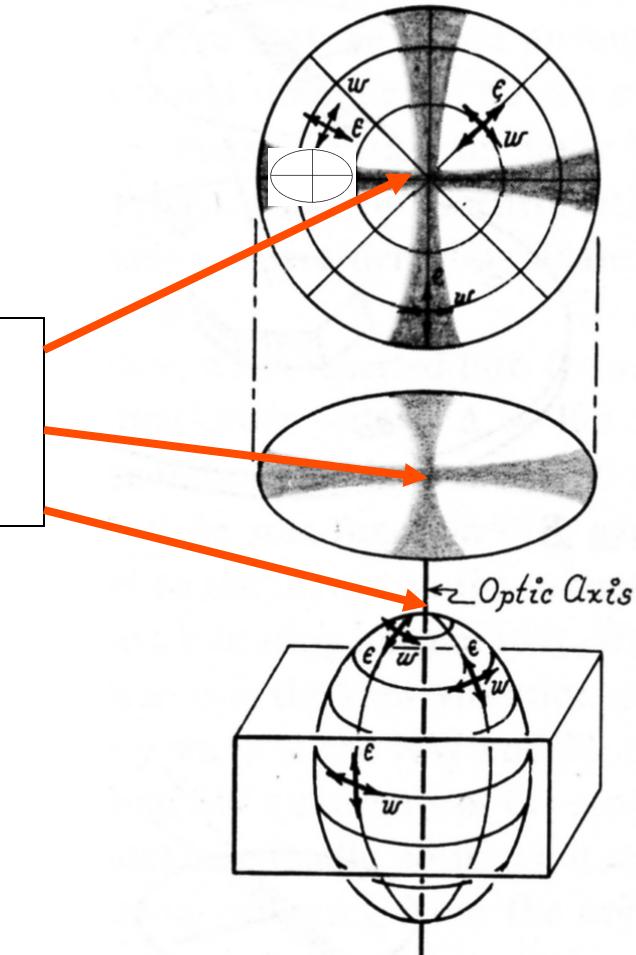
Häufig sieht man farbige Kreise, die konzentrisch um das Melanotop zentriert sind. Sie zeigen den üblichen Farbverlauf der Interferenzfarben von innen nach außen. Diese heißen **Isochromen** oder **Isochromaten**. Bei extrem hochdoppelbrechenden Mineralen (z.B. Zirkon) sind mehrere Ordnungen von Interferenzfarben als konzentrische Isochromen zu sehen. Bei niedrigbrechenden Mineralen hingegen sieht man in dem konoskopischen Blickfeld nur einen begrenzten Bereich von dem Interferenzfarbspektrum.



Konoskopie

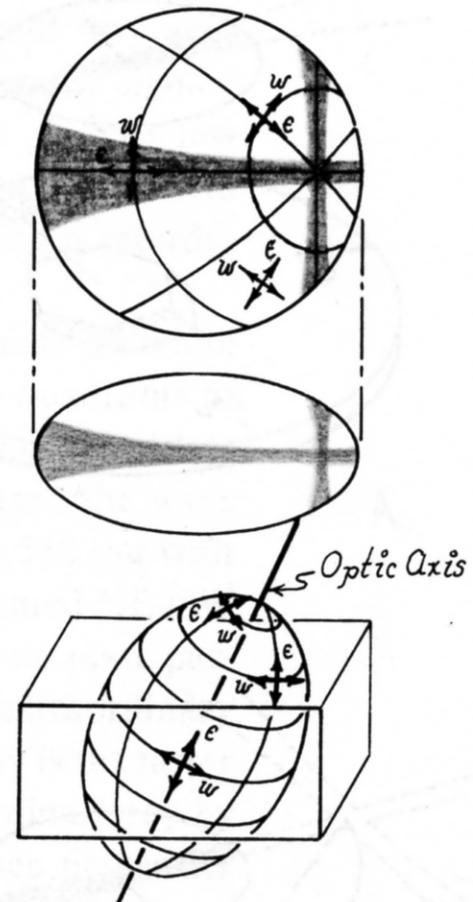
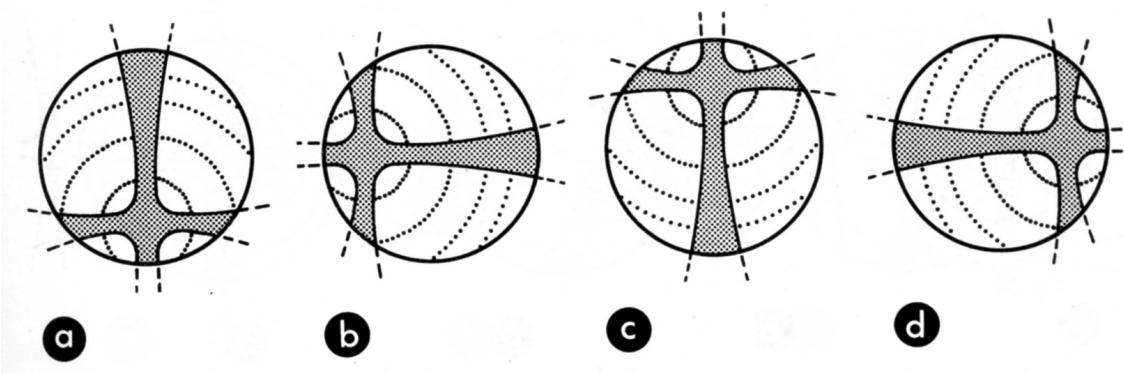


Senkrecht einfallende Strahlen werden in der Mitte des Interferenzbildes abgebildet.



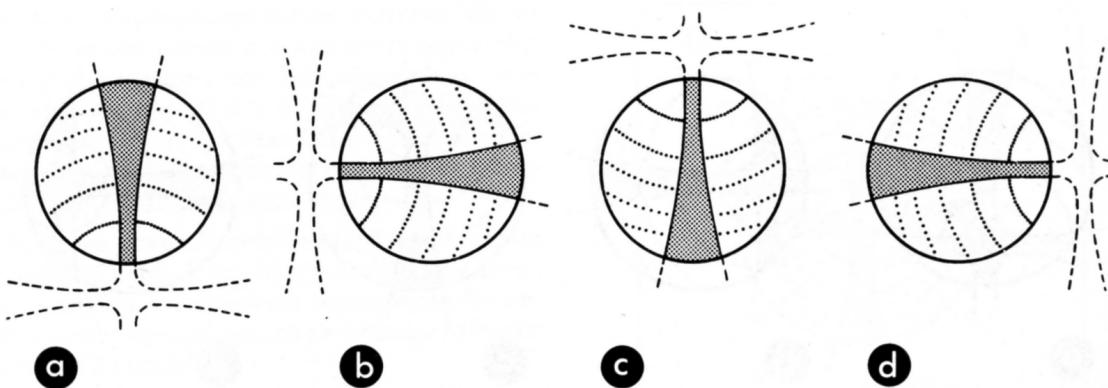
Zustandekommen des Interferenzbildes am Beispiel eines einachsig positiven Minerals, **senkrecht zur optischen Achse geschnitten**.

Konoskopie



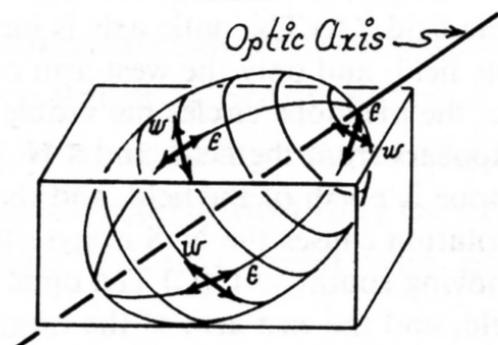
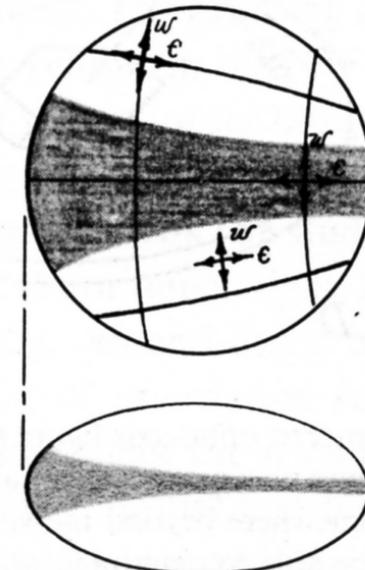
Zustandekommen des Interferenzbildes am Beispiel eines einachsig positiven Minerals, schräg zur optischen Achse geschnitten.

Konoskopie



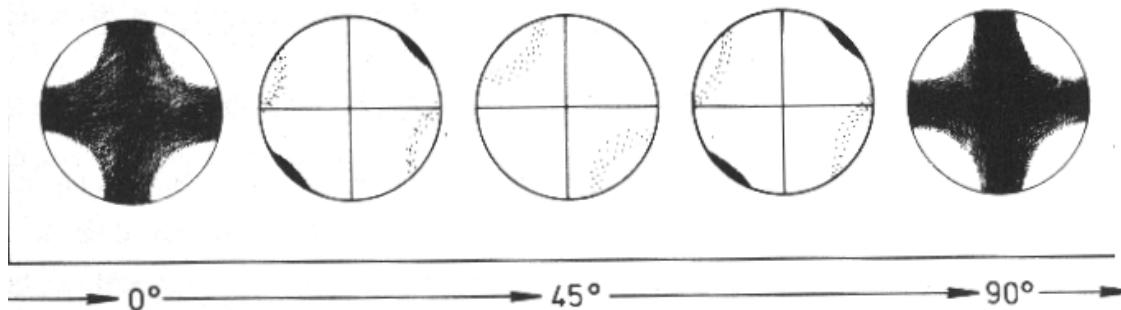
Zustandekommen des Interferenzbildes am Beispiel eines einachsig positiven Minerals, **deutlich schräg zur optischen Achse geschnitten**.

A - Optic Axis Figure (centered)

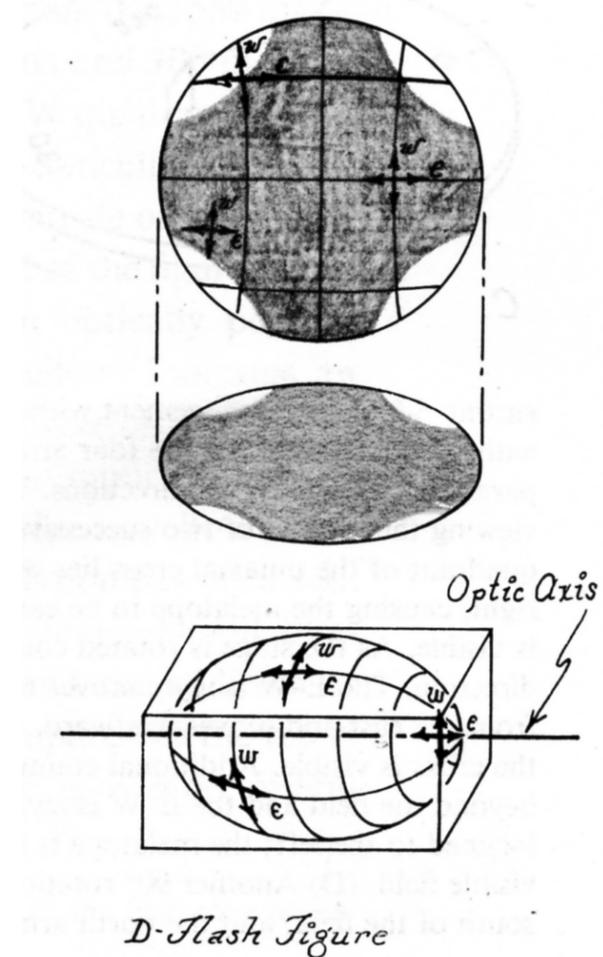


C - Optic Axis Figure (far off center)

Konoskopie



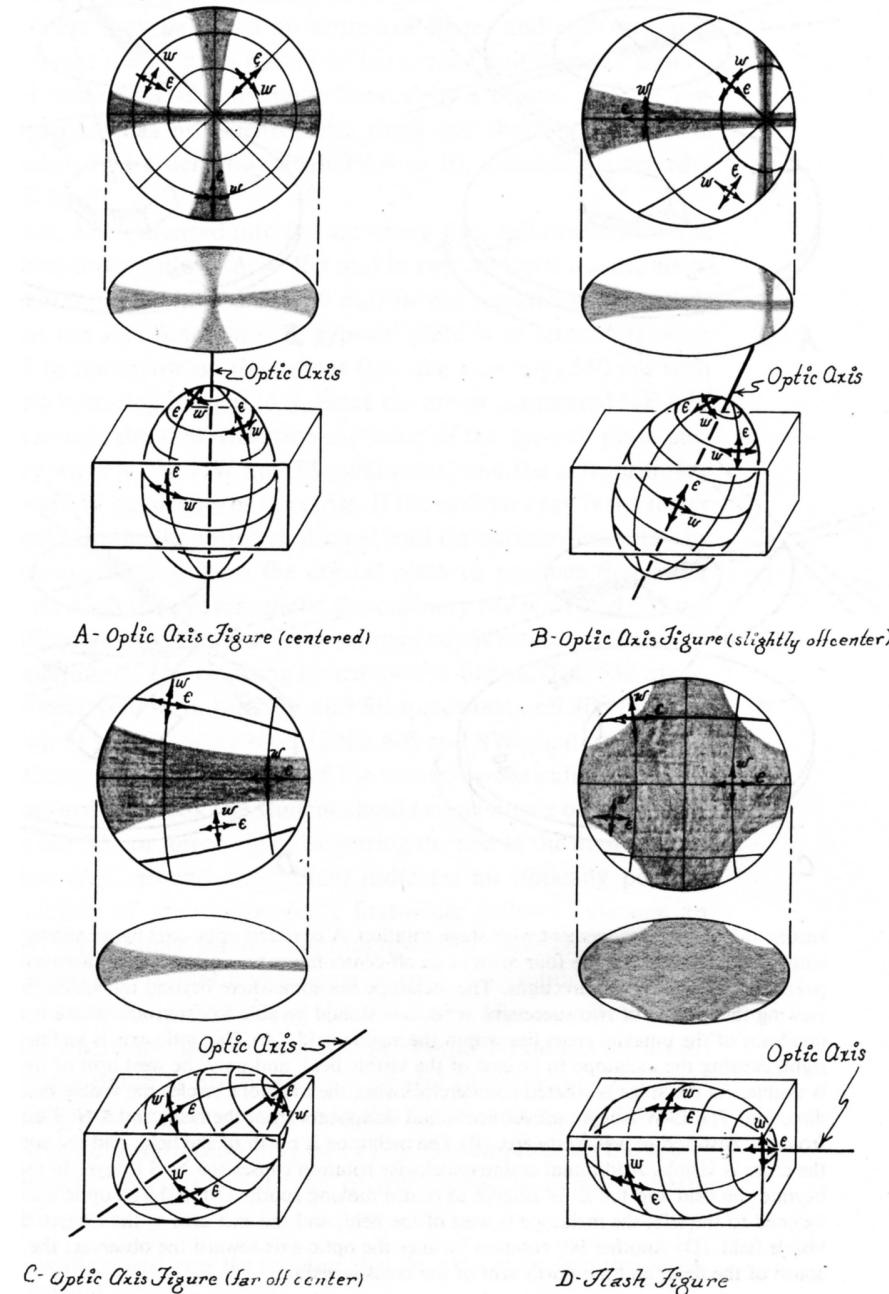
Zustandekommen des Interferenzbildes am Beispiel eines einachsig positiven Minerals, parallel zur optischen Achse geschnitten.



Konoskopie

Übersicht

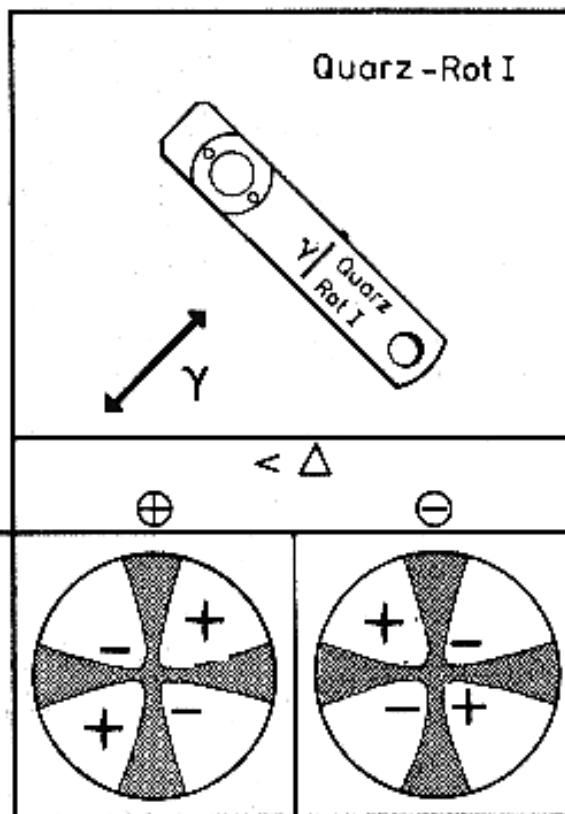
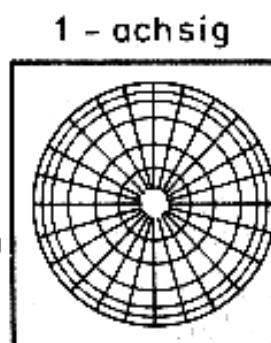
Zustandekommen des Interferenzbildes am Beispiel eines einachsig positiven Minerals, **senkrecht, parallel und schräg** zur optischen Achse geschnitten.



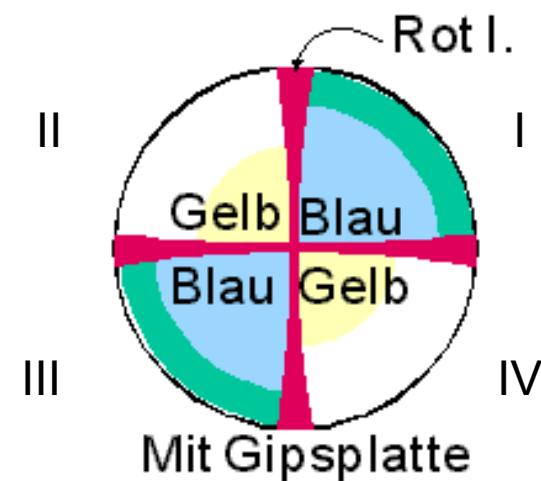
Konoskopie Optischer Charakter

+ = Additionsfarben
blau - grün

- = Subtraktionsfarben
gelb - orange

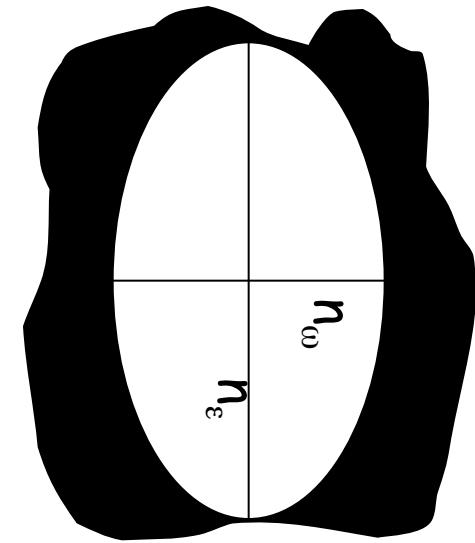
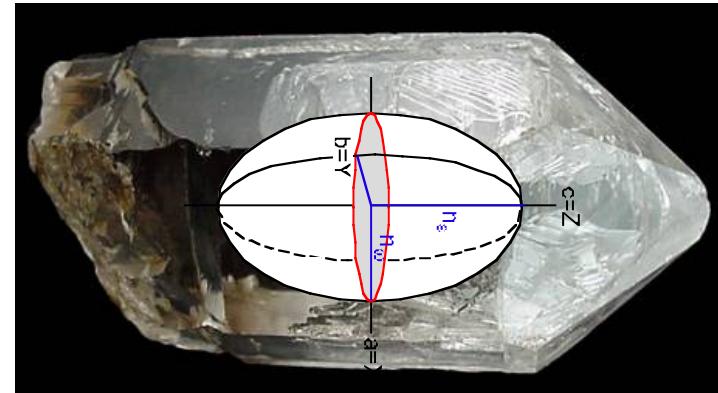
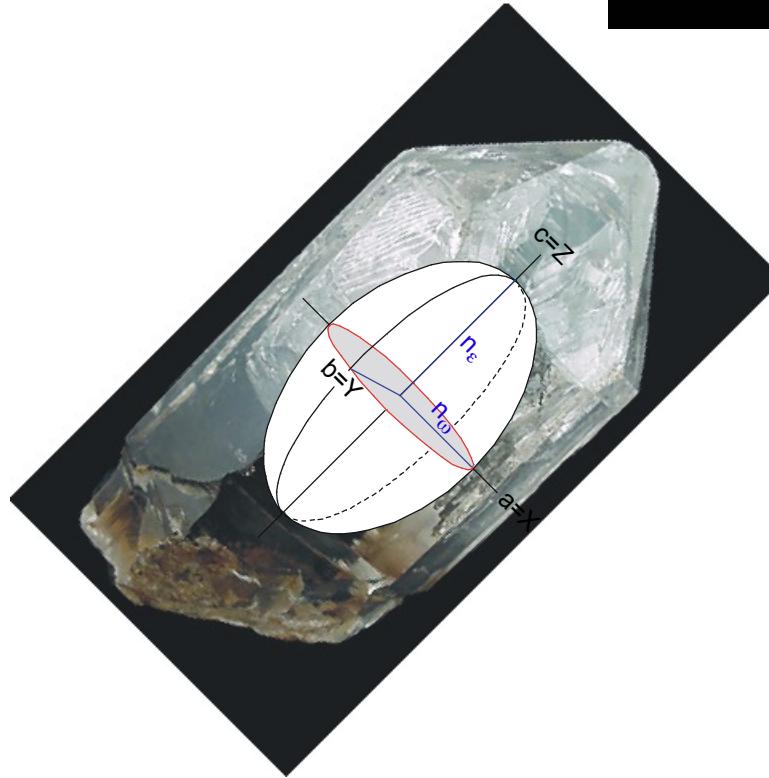
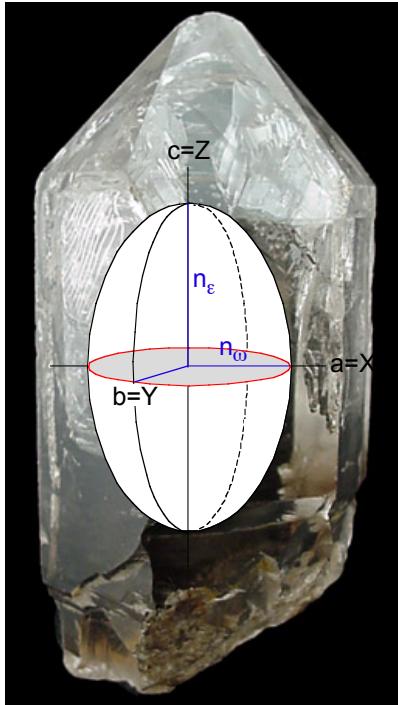
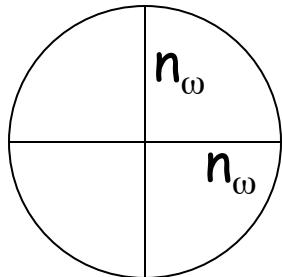


Optisch einachsig
positiv

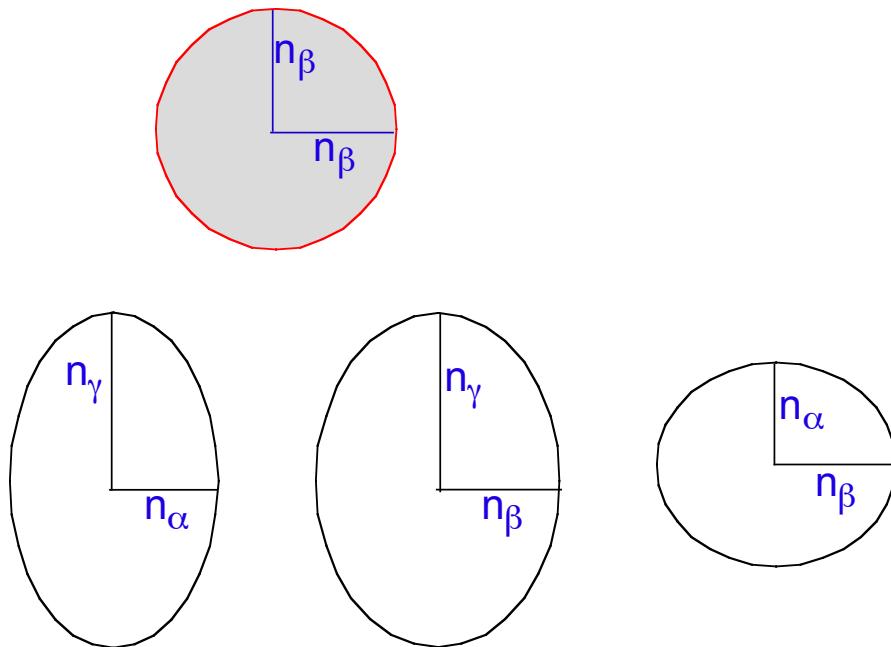
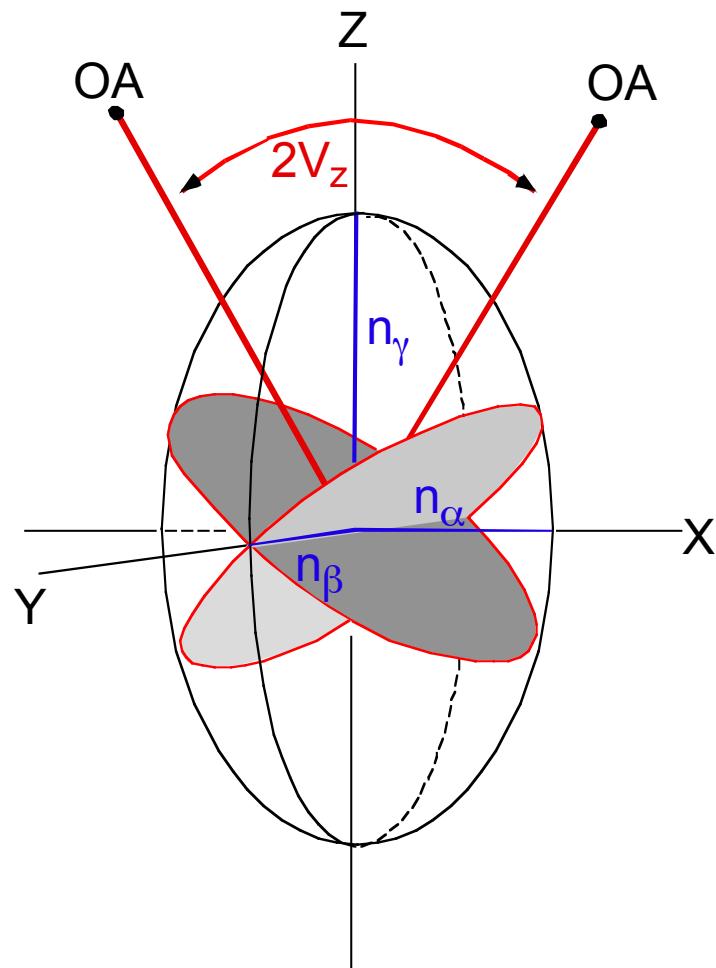


Konoskopie - Schnittlage

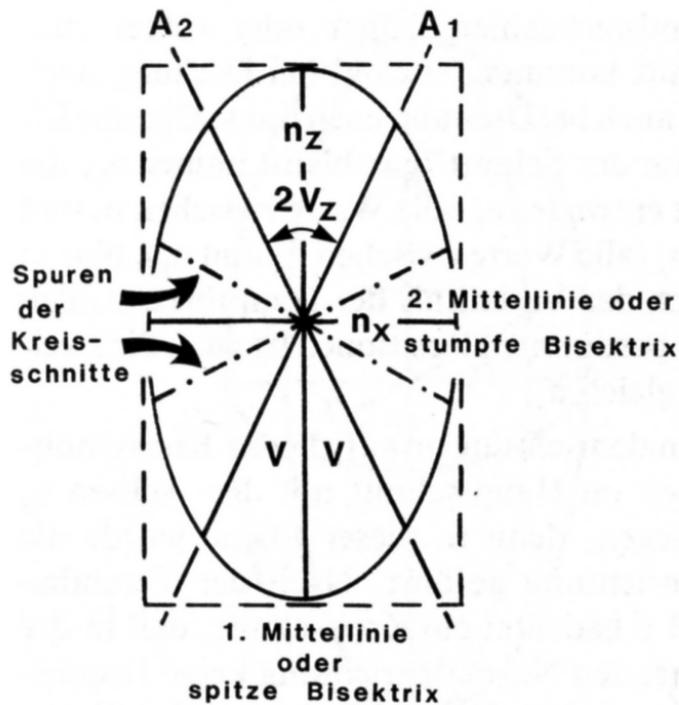
Lage der einachsigen Indikatrix
bei unterschiedlichen Schnittlagen



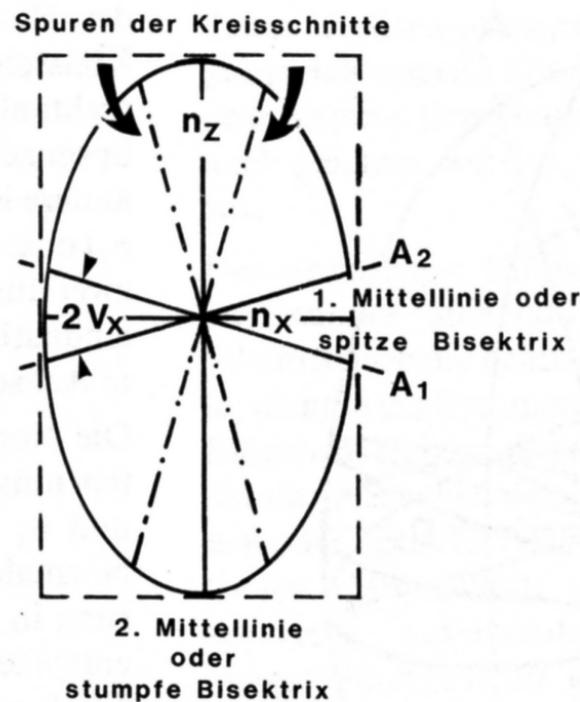
Konoskopie 2-achsige Indikatrix



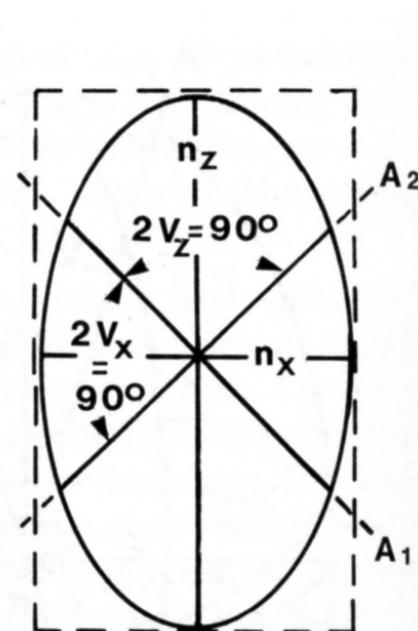
Konoskopie 2-achsige Indikatrix



a

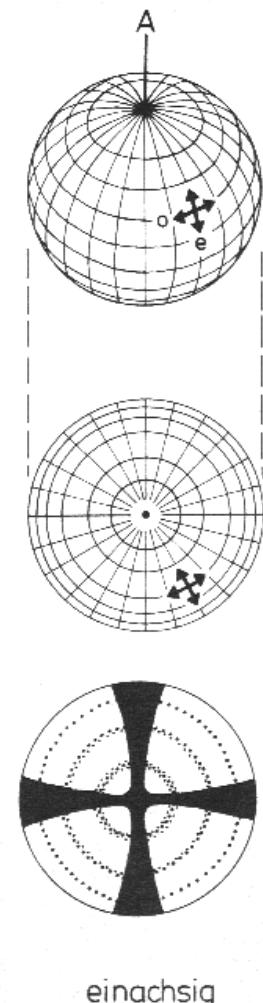


b



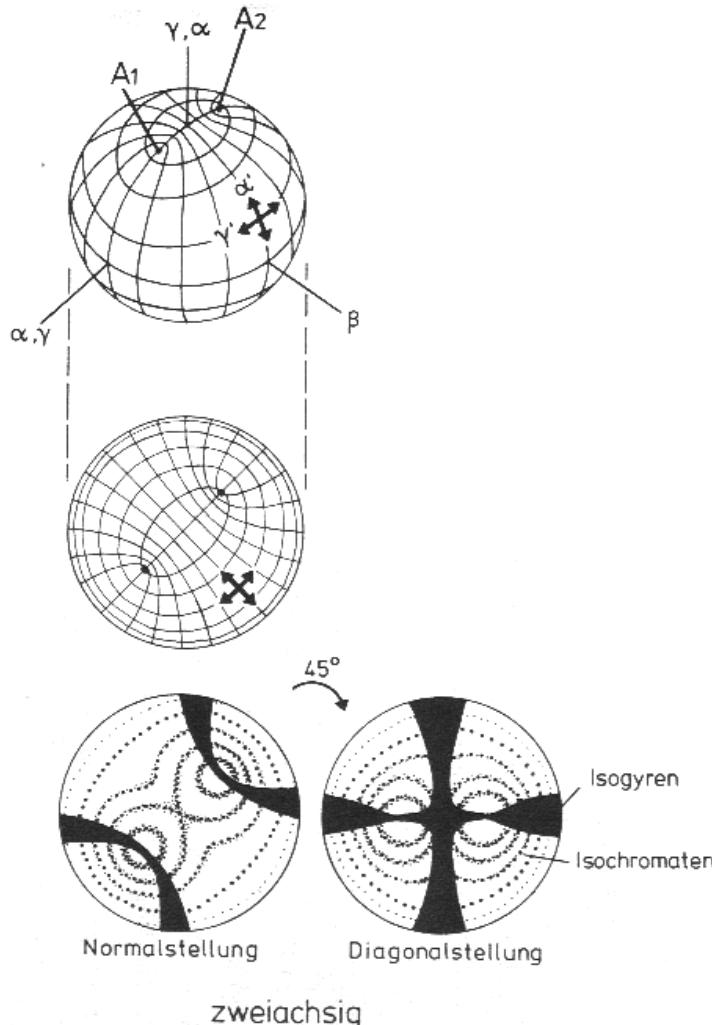
c

Konoskopie - Skiodromennetz

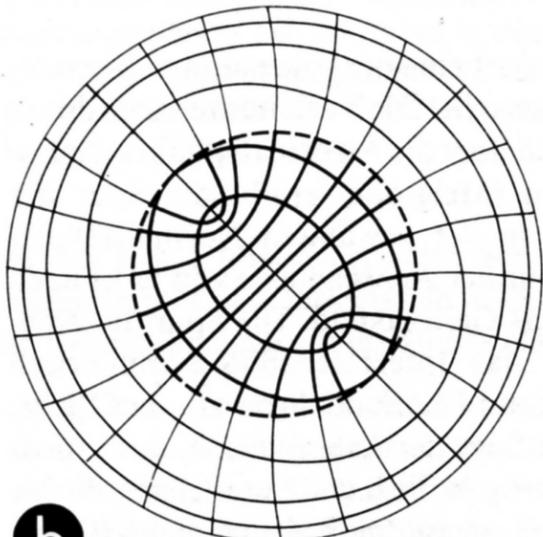
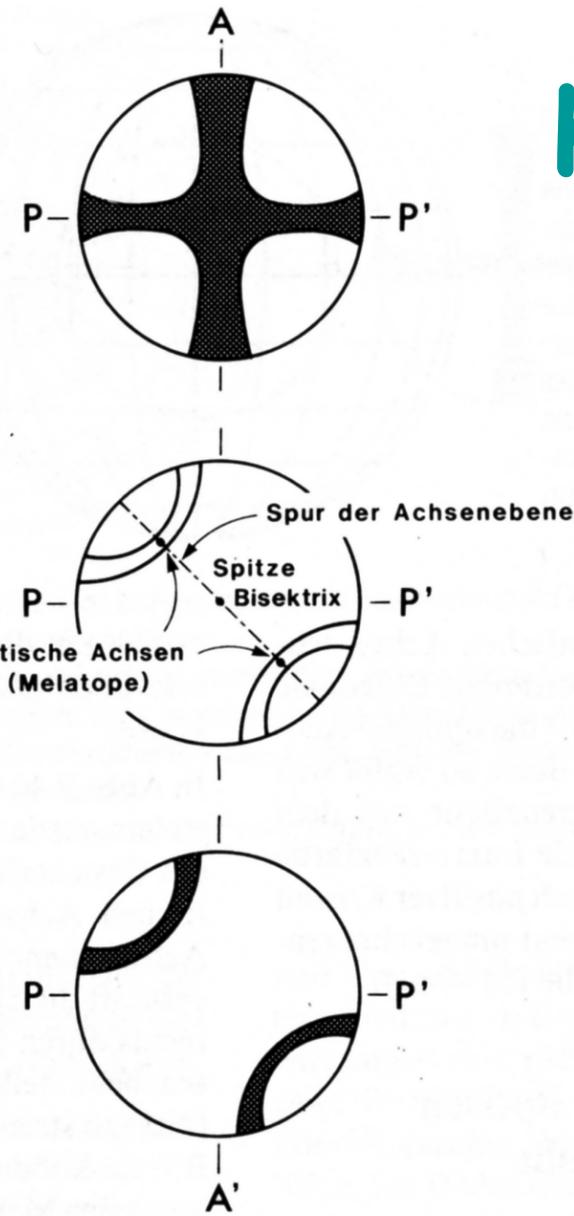
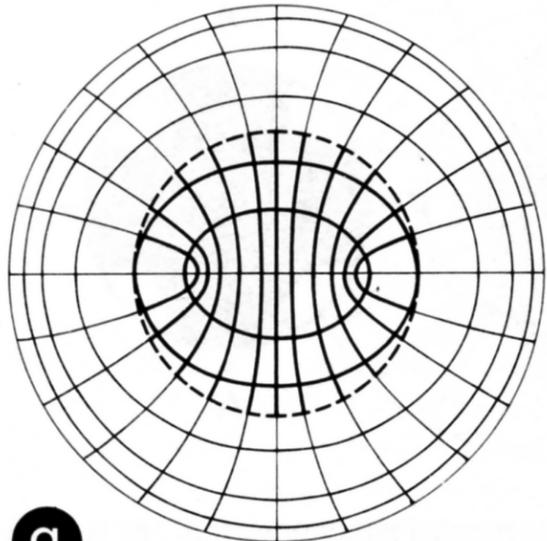


Interferenzbild

einachsig

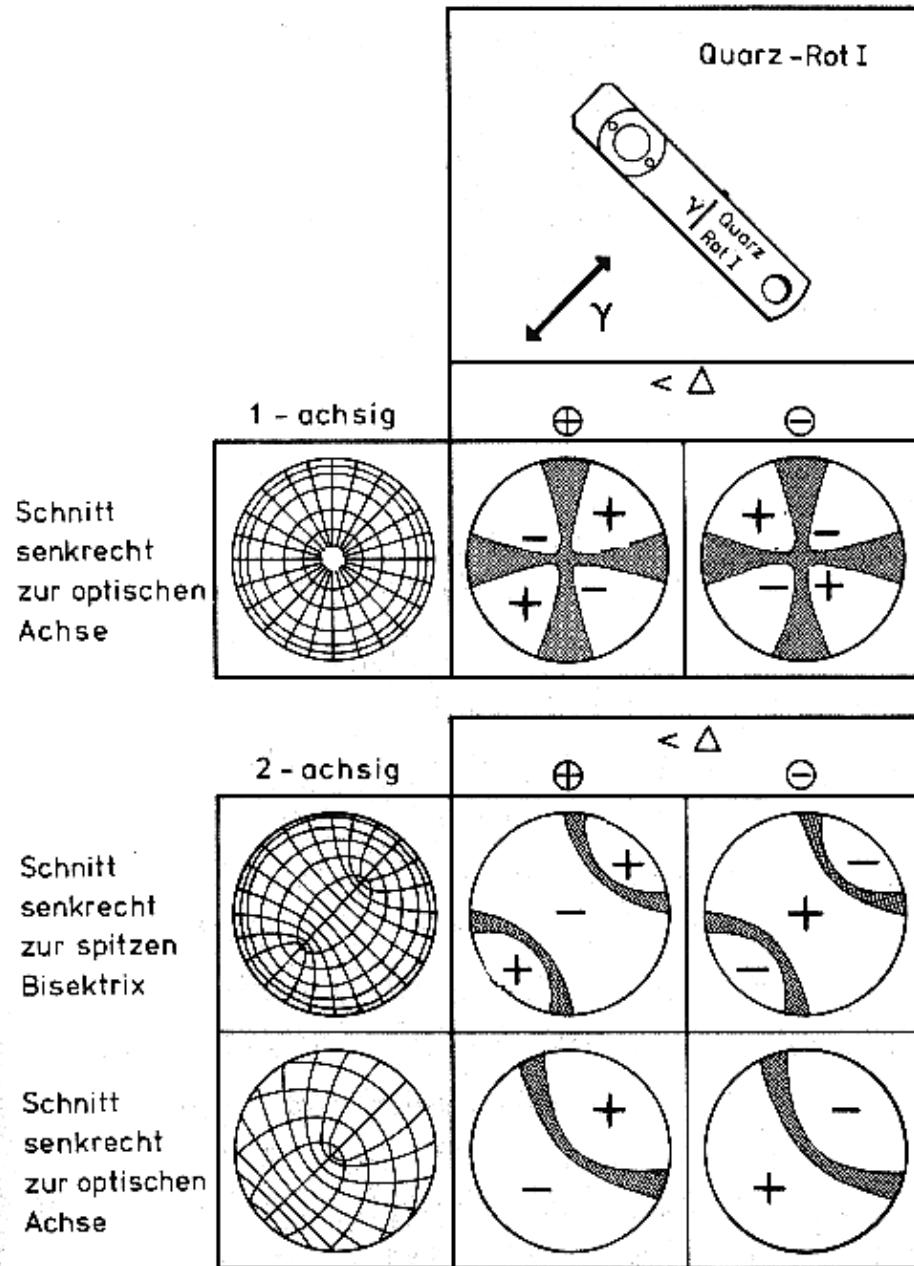


Konoskopie

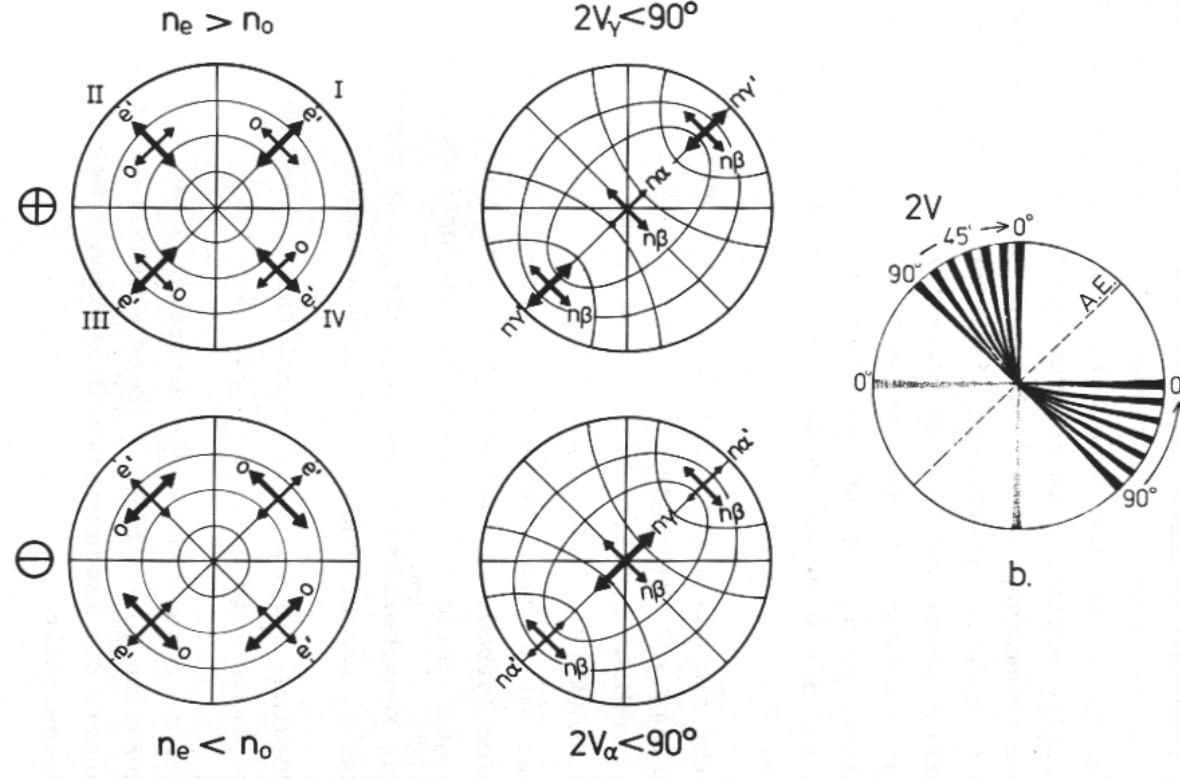


b

Konoskopie Optischer Charakter



Konoskopie



- 1d 35
- Skiodromen der optisch positiven und negativen Kristalle
 - Abhängigkeit der Krümmung der Isogyre vom Achsenwinkel in Schnitten senkrecht zu einer optischen Achse (Diagonalstellung)

Konoskopie

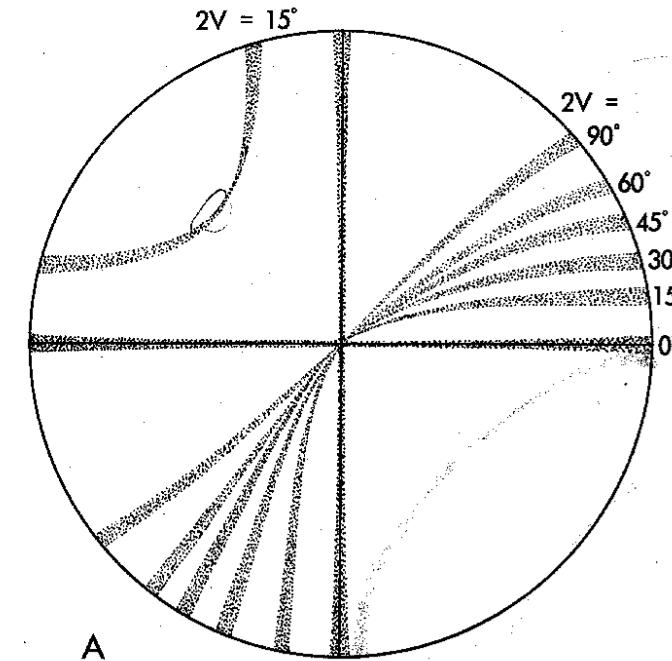
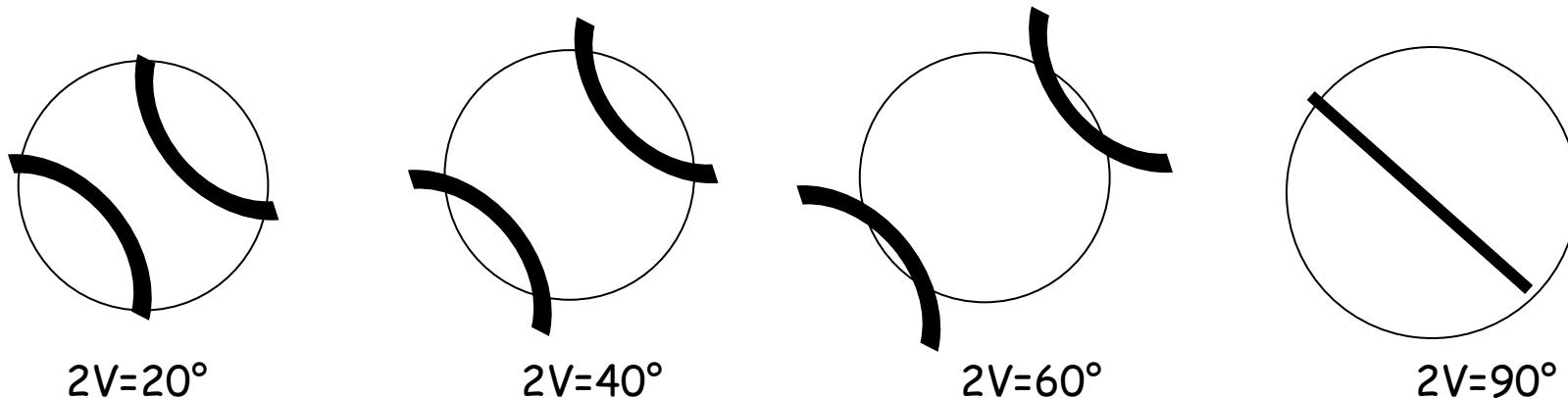
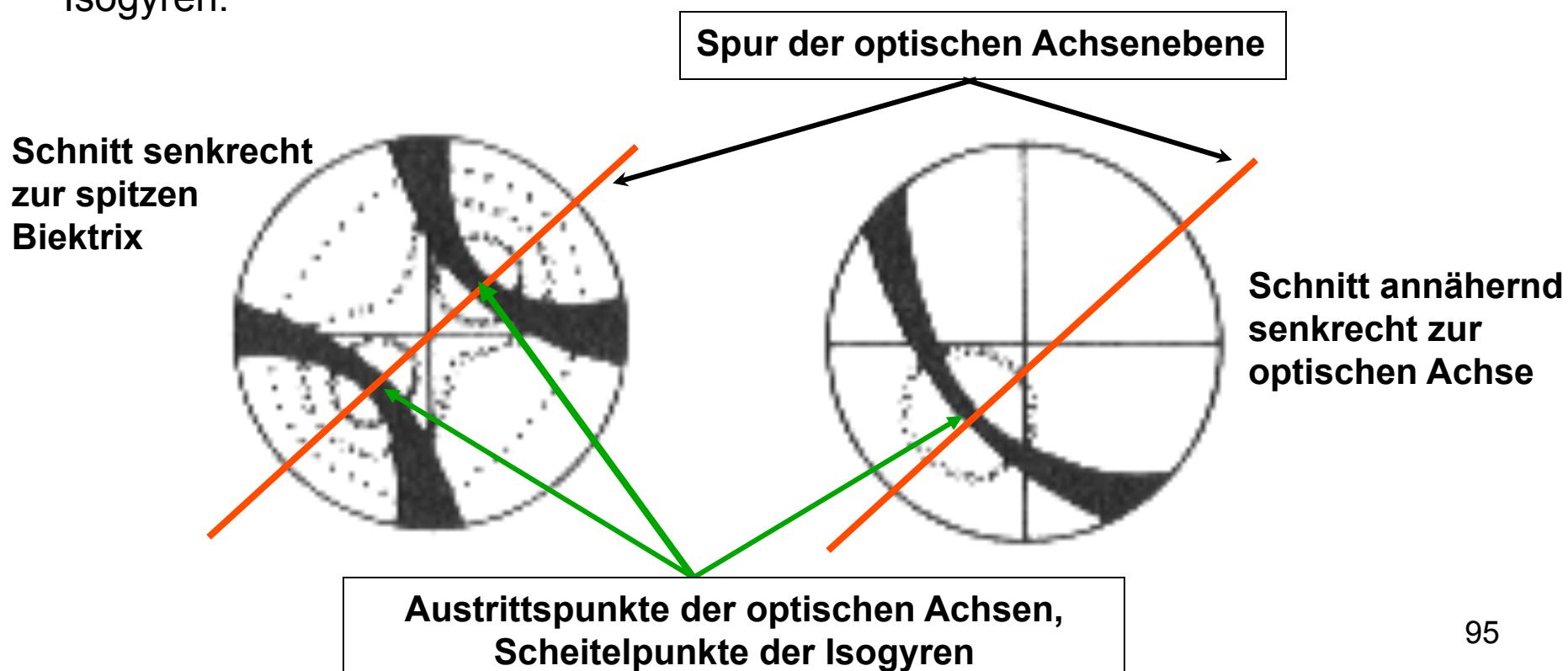


Fig. 10-5. (A) Determination of $2V$ from optic plane is at 45 degrees (NW-SE) to the



Bestimmung der Spur der optischen Achsenebene

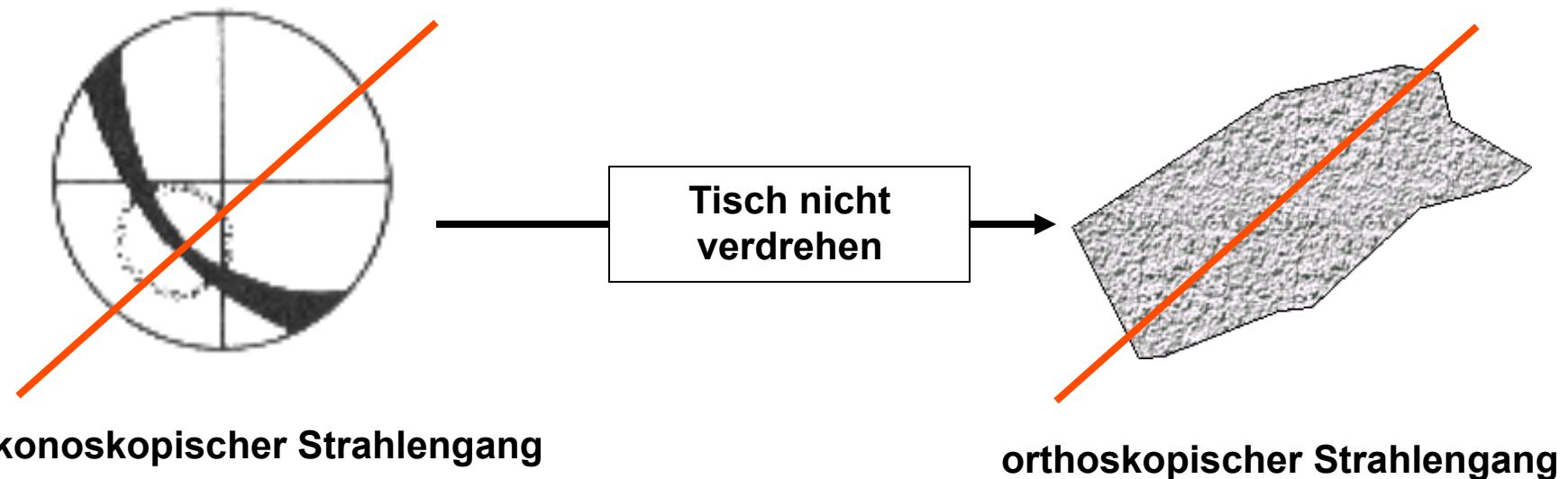
In Schnitten senkrecht zur spitzen Bisektrix bzw. senkrecht zur optischen Achse lässt sich in der Diagonalstellung die Spur der optischen Achsenebene festlegen. Sie verläuft durch die Scheitelpunkte der Isogyrenäste (Austrittspunkte der optischen Achsen) und bildet im Interferenz-Bild eine Symmetrieebene zu den Isogyren.



Bestimmung der Spur der optischen Achsenebene

Vorgehensweise:

Hat man ein geeignetes IF-Bild gefunden (Schnitte senkrecht zur OA sind leicht zu finden), so dreht man den Tisch in eine Diagonalstellung. Nach Zurückkehren in den orthoskopischen Strahlengang (OHNE verdrehen des Tisches) kann man die Spur der Achsenebene in den Kristall einzeichnen



konoskopischer Strahlengang

orthoskopischer Strahlengang

Kristallsystem-Kinoskopie