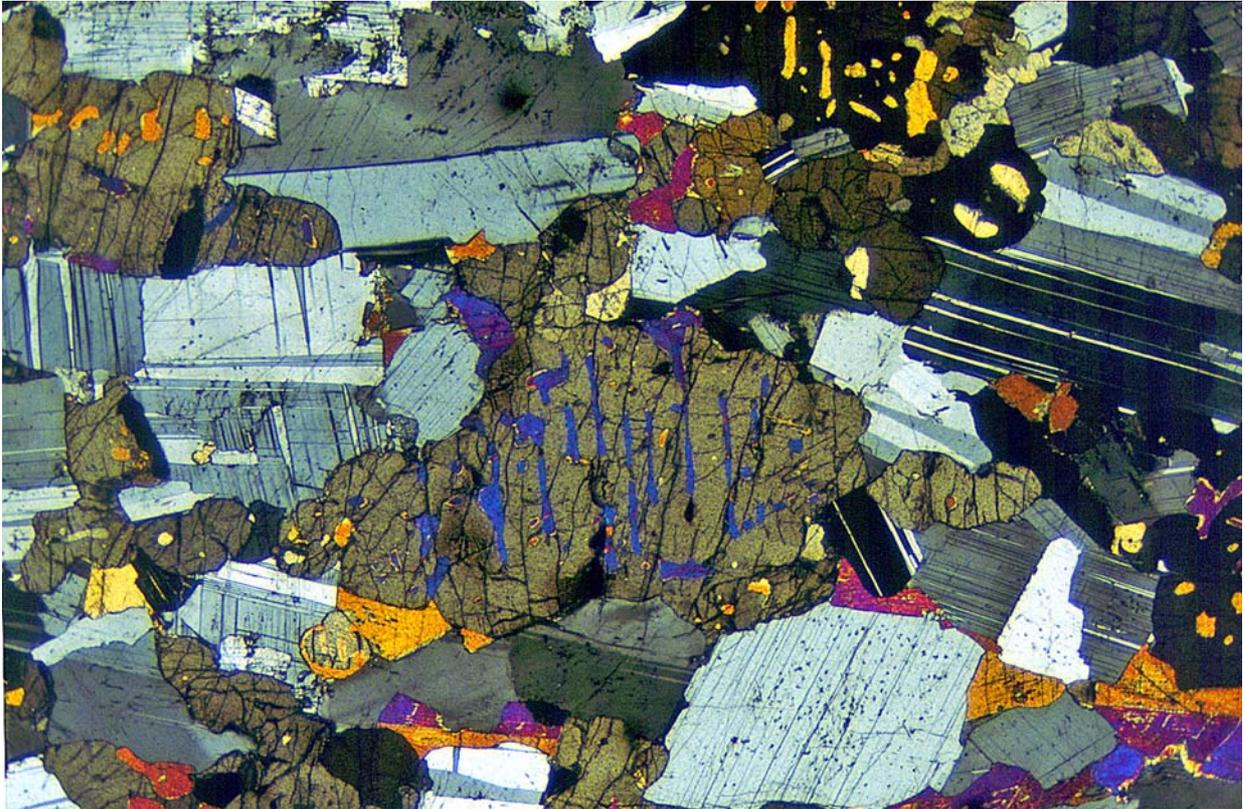

SKRIPT ZUR KRISTALLOPTIK II – MINERALMIKROSKOPIE



Plagioklase und entmischte Pyroxene in einem Gabbroerit aus der Bushveld-Intrusion; Kantenlänge des Bildes ca. 8.0 mm

H.-G. STOSCH
KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT)
INSTITUT FÜR ANGEWANDTE GEOWISSENSCHAFTEN
KAISERSTRASSE 12
76131 KARLSRUHE

NUR ZUM PERSÖNLICHEN GEBRAUCH!

<https://www.agw.kit.edu/downloads/Studiengang/KOII-150.pdf>

letztmals geändert am 14.10.09

	Seite
Literaturliste	1
Theorie und Methodik	1
Mineralbestimmung	1
Vorbemerkungen	2
Verzeichnis wichtiger verwendeter Abkürzungen	2
Gang einer Bestimmung gesteinsbildender Minerale	2
Beobachtungen im einfach polarisierten Licht	2
Beobachtungen unter gekreuzten Polarisatoren	3
Konoskopische Betrachtungen	4
Allgemeine Hinweise zur petrographischen Bestimmung	4
Rekapitulation einiger wichtiger Begriffe der Polarisationsmikroskopie	5
Definitionen	5
Indikatrix	8
Auslöschungsschiefe	10
Optischer Charakter	11
Gebrauch der Michel-Lévy-Tafel	15
Optisch isotrope Minerale	16
Fluorit [Flußspat]	16
Granatgruppe	16
Leucit	18
Pyrochlor und Koppit	19
Sodalithgruppe	20
Spinellgruppe	21
Optisch einachsige Minerale	22
Apatit	22
Beryll	22
trigonale Karbonate	23
Calcit	24
Dolomit	25
Magnesit	25
Siderit	25
Korund	26
Melilithgruppe	27
Nephelin	29
Osumilith	30
Rutil	31
SiO ₂ -Minerale	32
Quarz:	32
Tridymit	34
Cristobalit	35

Coesit	35
Skapolith.	37
Turmalin.	38
Vesuvian [Idokras]	39
Zinnstein [Cassiterit]	40
Zirkon.	41
Optisch zweiachsige Minerale	43
Al ₂ SiO ₅ -Gruppe	43
Andalusit.	43
Disthen.	45
Sillimanit	46
Amphibole	49
Anthophyllit – Gedrit	52
Cumingtonit – Grunerit	53
Tremolit – Ferroaktinolith	54
Hornblenden	56
Oxyhornblenden	57
Kaersutit	58
Richterit	59
Arfvedsonit, Riebeckit, Eckermannit	59
Glaukophan, Crossit	61
Anhydrit	62
Aragonit	63
Chlorite	64
Chloritoid.	66
Cordierit	68
Epidot-Zoisit-Gruppe	70
Zoisit	70
Klinozoisit.	72
Epidot.	73
Orthit [Allanit]	74
Feldspäte	76
Alkalifeldspäte	76
Sanidin	80
Orthoklas	80
Anorthoklas	82
Mikroclin	82
Plagioklase	84
Anhang: Ermittlung des An-Gehaltes von Plagioklasen	88
Gips	90
Glaukonit, Seladonit.	91
Glimmer	92

	Seite
Muskovit	93
Phengit	94
Paragonit	94
Biotit	95
Phlogopit	97
Lepidolith	97
Zinnwaldit	98
Humitgruppe	99
Karpholith	101
Lawsonit	102
Monticellit	103
Olivin	104
Prehnit	105
Pumpellyit	107
Pyrophyllit	108
Pyroxene	109
Orthopyroxene	109
Klinopyroxene	111
Pigeonit	112
Diopsid – Hedenbergit	113
Augit	114
Titanaugit	116
Ägirinaugit – Ägirin [= Akmit]	116
Omphacit	117
Jadeit	118
Spodumen	119
Sapphirin	119
Serpentin	120
Staurolith	122
Stilpnomelan	123
Talk	124
Titanit [= Sphen]	125
Wollastonit	126
Ergänzung: wichtige gesteinsbildende Minerale in kleinen Farbfotos	128
einige wichtige Minerale in Magmatiten	128
einige wichtige Minerale in Metamorphiten	130
International gebräuchliche Abkürzungen einiger Mineralnamen	132
Anhang: Mineralbestimmungstabellen	i

I. LITERATURLISTE

Theorie und Methodik

- F. D. Bloss (1999) *Optical Crystallography*, MSA Monograph Series 5, The Mineralogical Society of America, Washington, 239 Seiten [32 US-\$]
- G. Müller & M. Raith *Methoden der Dünnschliffmikroskopie*, Clausthaler Tektonische Hefte 14, Verlag Sven von Loga, 5. Auflage, Köln 1993, 111 Seiten [29.80 DM], vergriffen; erheblich überarbeitet als PDF-Datei erhältlich: M. M. Raith & P. Raase (2009) *Leitfaden zur Dünnschliffmikroskopie*, 110 Seiten, erhältlich unter http://www.min.uni-bonn.de/mitarbeiter/professoren_homepage_raith.html
- W. D. Nesse *Introduction to Optical Mineralogy*, Oxford University Press, 1991, 335 Seiten [70 US-\$]
- W.D. Nesse *Introduction to Mineralogy*, Oxford University Press, Oxford 2000, 442 Seiten [90 US-\$]
- D. Puhán *Anleitung zur Dünnschliffmikroskopie*, Spektrum Akad. Verl., Heidelberg 1994, 172 Seiten [29.95 €]
- D. Shelley *Igneous and Metamorphic Rocks under the Microscope*, Chapman & Hall, London 1993, 445 Seiten [ca. 110 DM]
- R.E. Stoiber & S.A. Morse *Crystal Identification with the Polarizing Microscope*, Chapman & Hall, New York 1994, 358 Seiten [ca. 75 DM]
- Ein Internet-Kurs mit Schwerpunkt Theorie und Methodik wird in englischer Sprache angeboten unter <http://www.brocku.ca/earthsciences/people/gfinn/optical/222lect.htm> (Stand: 07/05).

Mineralbestimmung

- W.A. Deer, R.A. Howie & J. Zussman *An Introduction to the Rock-Forming Minerals*, Longman Scientific and Technical, Harlow/England 1992, 696 Seiten, [£ 22, ca. 100 DM]
- W.S. MacKenzie & A.E. Adams *Minerale und Gesteine in Dünnschliffen*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1995, 191 Seiten [29.95 €]
- W.S. MacKenzie & C. Guilford *Atlas gesteinsbildender Minerale in Dünnschliffen*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1981, 98 Seiten [29.95 €]
- W.S. MacKenzie, C.H. Donaldson & C. Guilford *Atlas der magmatischen Gesteine in Dünnschliffen*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1989, 147 Seiten [29.95 €]
- H. Pichler & C. Schmitt-Riegraf *Gesteinsbildende Minerale im Dünnschliff*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2. Auflage, 1993, 233 Seiten [29.95 €]
- W.E. Tröger (1982) *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, Teil 1: Bestimmungstabellen*, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 188 Seiten [54 DM]
- W. E. Tröger *Optische Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale, Teil 2: Textband*, Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart 1969, 822 Seiten [vergriffen]
- B.W.D. Yardley, W.S. MacKenzie & B. Bühn *Atlas metamorpher Gesteine und ihrer Gefüge im Dünnschliff*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 1992, 120 Seiten [29.95 €]
- Einen Internet-Kurs zur Gesteinsmikroskopie für nicht ausgefüllte Abende finden Sie derzeit (Stand: 10/09) unter <http://www.uni-koeln.de/math-nat-fak/geomin/polarisationsmikroskopie/index.html>
- Mineraldaten (Kristallographie, Kristalloptik) im Internet: <http://minsocam.org/msa/Handbook/> (ladbare pdf-Dateien) oder unter <http://webmineral.com/determin.shtml>.

Viele der in diesem Skript reproduzierten Dünnschliffphotos wurden dankenswerterweise von Frau Weiher-Schröder aufgenommen. In wenigen Fällen mußte auf Photos in der zitierten Literatur zurückgegriffen werden. (Kristall-)Zeichnungen und optische Daten stammen in zumeist veränderter Form ebenfalls aus der genannten Literatur. Bitte dieses Skript nur für den „Hausgebrauch“ verwenden!

II. VORBEMERKUNGEN

Verzeichnis wichtiger verwendeter Abkürzungen

a, b, c	kristallographische Achsen
X, Y, Z	Achsen der Indikatrix
n	Brechungsindex
n_o (n_ω), n_e (n_ϵ)	Brechungsindex der ordentlichen bzw. außerordentlichen Welle (einachsige Kristalle)
n_α , n_β , n_γ	Brechungsindizes zweiachsiger Kristalle ($n_\alpha < n_\beta < n_\gamma$)
Δ	maximale Doppelbrechung
2V	Achsenwinkel
\oplus , \ominus	Vorzeichen des optischen Charakters (positiv bzw. negativ)
(+), (-)	positiver bzw. negativer Charakter der Hauptzone
\parallel , \perp	parallel bzw. senkrecht
$\sphericalangle(\alpha, a)$, $\sphericalangle(\alpha', a)$	Winkel zwischen der Schwingungsrichtung eines Brechwertes und einer kristallographischen Achse (hier: zwischen der X-Achse der Indikatrix (n_α) und der kristallographischen a-Achse bzw. dem kleineren der beiden Brechungsindizes in der Schnittlage (n_α) und der a-Achse)
(hkl)	Miller-Indices einer Kristallfläche
{hkl}	Miller-Indices eines Satzes symmetrieäquivalenter Kristallflächen
[hkl]	kristallographische Richtung

Gang einer Bestimmung gesteinsbildender Minerale

Diese Zusammenstellung zeigt die Möglichkeiten, um im Dünnschliff ein Mineral zu identifizieren. Im Fall eines einzelnen Mineralkorns wird natürlich nur eine Teilmenge dieser Punkte geprüft werden können.

Beobachtungen im einfach polarisierten Licht

Farbe:

- Beobachtung von Eigenfarbe und Pleochroismus
- Wenn Pleochroismus vorhanden ist, weitere Bestimmung in definierten Schnittlagen nach Anwendung konoskopischer Methoden.
- Fremdfarben (durch Einlagerung färbender Substanzen): In der Regel keine homogene Farbverteilung!
- Verteilung von Farbe oder Farbintensität: homogen/inhomogen (zonal, fleckig, streifig, Sektoren, Streifen entlang von Korngrenzen/Fugen), Breite von Zonen oder Streifen); polare Farbunterschiede

Lichtbrechung:

- Relief: Relative Abweichung von der Lichtbrechung des Einbettungsmittels nach oben oder unten
- Vorsicht: Perfekte Spaltflächen zeigen kein Relief trotz großen Unterschieds in der Lichtbrechung (z.B. Glimmerbasisflächen)
- Becke-Linie: Vergleich der Lichtbrechung zu Einbettungsmittel bzw. zu bekannten Mineralen (Zur genaueren Bestimmung in definierten Schnittlagen Zuhilfenahme konoskopischer Methoden)
- Abschätzung der Lichtbrechung durch den Vergleich mit einer Reihe häufiger Minerale, die als „Stützpunkte“ dienen können;
- z.B. von niedriger zu hoher Lichtbrechung: Flußspat, Feldspatvertreter, K-Feldspat, Albit, Quarz, Apatit, Muskovit, Amphibol (variabel), Pyroxen (variabel), Olivin, Granat (variabel), Zirkon
- Änderung der Lichtbrechung beim Drehen des Mikroskoptisches (Minerale mit sehr hoher Doppelbrechung)

Morphologie:

- Größe, Größenverteilung
- Idiomorphie / Xenomorphie
- Korngrenzen: einfach, eckig, suturiert (Wellenlänge der Suturen, Suturierungsgrad, überlagerte Suturierungen)
- Habitus: isometrisch, stengelig, nadelig, tafelig etc. (unter Berücksichtigung verschiedener Schnittlagen)
- Spaltbarkeit: vollkommen, sehr gut, gut, mäßig, schlecht,
- eine oder mehrere Scharen, Winkel zwischen Scharen,
- Lage zu idiomorphen Kornkanten
- Teilbarkeit: in Zusammenhang mit Entmischungskörpern nach Beanspruchung
- Zwillinge: einspringende Winkel, Um- und Neubildungen bei mechanischen Zwillingen, genaue Beobachtung unter gekreuzten Polarisatoren
- Nachbarschaftsverhältnisse (Clusterbildung, nicht zufälliges Umwachsen, Reaktionsgefüge)
- Auftreten in nur einer oder in mehreren Formen

Einschlüsse:

- umwachsene Fremdkristalle:
- Art, Größe, Menge, Größenverteilung, Form der Einzelkristalle, Bindung an bestimmte Flächen (Anlagerungsgefüge)
- Reaktive Um- und Neubildungen im Kristall (z.B. Sericitisierung)
- Entmischungen: bei Temperaturerniedrigung aus Mischkristallen abgeschiedene Phasen (Stäbchen, Platten, Parallelepipede), oft mit diagnostisch wichtigen gesetzmäßigen Verwachsungen, Änderungen der Verwachsungsebene (vor allem bei Feldspäten, Pyroxenen, Amphibolen);
- weitere Betrachtung mit gekreuzten Polarisatoren!
- Fluideinschlüsse (= „fluid inclusions“): idiomorph, xenomorph, erkennbare Phasen (gasförmig, flüssig, fest), Verteilung, Größe, Größenverteilung; Unterschiede zwischen Körnern gleicher Art

Gesetzmäßige Verwachsungen:

- Epitaktische Verwachsungen (bei Staurolith/Disthen, Andalusit/Sillimanit etc.)
- Parallelverwachsungen bei reaktiver Umwandlung: Biotit zu Chlorit, Pyroxen zu Amphibol
- Parallelverwachsung bei Entmischung (siehe 1.4.3)

Charakteristische Deformationsmikrostrukturen:

- Biegegleitung, Verbiegung (in Mineralen mit gut ausgebildeter Translationsebene, z.B. bei Glimmern oder Disthen)
- kink-bands (Knickbänder)
- mechanische Zwillinge
- Teilbarkeiten
- Riß- und Fugenbildung (kristallographisch gesteuert?)
- Rekristallisation
- straininduzierte Grenzflächenwanderung
- Drucklösung, Drucklösungsreihe

Beobachtungen unter gekreuzten Polarisatoren

- isotrop/anisotrop: Betrachtung mehrerer Schnittlagen (Vorsicht: auch anisotrope Minerale haben einen isotropen Schnitt! Löcher erscheinen ebenfalls isotrop!); [verwechseln Sie nicht isotrop mit *opak*; als opak bezeichnet man ein lichtundurchlässiges Mineral; es erscheint bereits im unpolarisierten Licht schwarz!]
- Festlegung der Schwingungsrichtung (in Dunkelstellung parallel zu Polarisatoren): Identifizierung von schneller und langsamer Welle durch Überlagerung mit Rot I in Diagonalstellung
- Bestimmung der Doppelbrechung (am besten in konoskopisch definierten Schnittlagen) aus maximalen Interferenzfarben; bei höherer Doppelbrechung keilförmige Mineralränder benutzen

- zonare Unterschiede in der Doppelbrechung
- anomale Interferenzfarben (Dispersion der Doppelbrechung)
 - übernormale Interferenzfarben: $n_{\text{violett}} > n_{\text{rot}}$ (z.B. Epidot: tintenblau und zitronengelb)
 - unternormale Interferenzfarben: $n_{\text{violett}} < n_{\text{rot}}$ (z.B. Mg-Chlorit: lederbraun und graubraun)
- Charakter der Hauptzone (Richtung der größten Längserstreckung in einem Mineralschnitt)
- Zwillinge: Winkel zwischen identischen Richtungen (genauere Bestimmung jedoch erst am Universaldrehtisch möglich);
- Deformations-, Inversions- und Wachstumszwillinge
- Intrakristalline Deformation:
 - Undulation
 - Subkornfelderung (Polygonisierung)
 - Rekristallisation

Konoskopische Betrachtungen

- Isotroper Schnitt: Bestimmung ob isotrop, einachsig oder zweiachsig
- Bestimmung des optischen Charakters in geeigneten Schnittlagen
- Bestimmung des Achsenwinkels (Isogyrenkrümmung)
- Identifizierung bzw. Abschätzung der Schnittlage aus dem Interferenzbild, Lage von Indikatrix-Achsen, in Beziehung setzen zu kristallographischen Richtungen (soweit möglich, genaue Identifizierung mit dem Universaldrehtisch)
- Dispersion der optischen Achsen (Kristallsymmetrie?)
- Auslöschung: gerade – symmetrisch – schief in definierten Schnittlagen
- Pleochroismus in definierten Schwingungsrichtungen

©Reiner Kleinschrodt (Köln)

Allgemeine Hinweise zur petrographischen Bestimmung

Beginnen Sie die Beobachtung eines Dünnschliffes damit, ihn gegen das Licht zu halten; schon so können eventuell Gefügeelemente gesehen und große Mineralkörner mit ausgeprägter Eigenfarbe identifiziert werden.

Bei der Beobachtung unter dem Mikroskop wählen Sie zunächst ein Objektiv mit niedriger Vergrößerung und beobachten Sie den Schliff bei nicht gekreuzten Polarisatoren. Auf diese Weise sollten Sie in der Lage sein, Minerale mit niedrigem Relief und ohne Eigenfarbe (z.B. Feldspäte, Quarz, Foide) von Fe,Mg-reichen Mineralen zu unterscheiden, die höheres Relief zeigen und meist eine Eigenfarbe aufweisen. Suchen Sie darüber hinaus nach solchen Eigenschaften wie Pleochroismus, und notieren Sie sich Kornformen, textuelle Beziehungen zwischen den Körnern und Spaltbarkeiten.

Erst dann sollten Sie den Schliff bei gekreuzten Polarisatoren untersuchen und dabei genau darauf achten, wie die im Hellfeld farblosen bzw. gefärbten Minerale im Dunkelfeld aussehen. Soweit erforderlich, bestimmen Sie Auslöschungsschiefen, den optischen Charakter der Hauptzone, die Höhe der Doppelbrechung. Anschließend wählen Sie eine höhere Vergrößerung, um zusätzliche Beobachtungen zu machen (z.B. kleine Körnchen zu identifizieren, relative Lichtbrechungen zu bestimmen). Zu guter letzt machen Sie Beobachtungen im konoskopischen Strahlengang.

Zu Beginn der Bearbeitung sollte die Lichtquelle des Mikroskops nicht ganz aufgedreht werden; auch sollte der Kondensor ausgeklappt sein, damit man Farbunterschiede und das Relief der Minerale sehen und beurteilen kann.

Es ist selten erforderlich, alle optischen Eigenschaften eines Minerals zu beurteilen, um seine Identität zu ermitteln. Ein wesentlicher Gesichtspunkt des Erlernens petrographisch-mikroskopischer Methoden liegt darin zu wissen, welche optischen Eigenschaften eines Minerals für seine Identifizierung erforderlich sind.

Erfahrene Petrographen wissen, welche Mineralparagenesen zu erwarten sind und welche Minerale sich gegenseitig ausschließen. Nachdem einige Minerale sicher identifiziert wurden, kann man dann gezielter weitersuchen als ohne dieses Wissen. In Metamorphiten entspricht die Anzahl der Minerale in erster Näherung der Anzahl der Komponenten (nach: A.R. Philpotts, 1989)

Rekapitulation einiger wichtiger Begriffe der Polarisationsmikroskopie

Definitionen

Brechungsindex: n (Lichtgeschwindigkeit in Luft \approx Vakuum) / (Lichtgeschwindigkeit im Mineral). Die Lichtgeschwindigkeit v steht mit der Wellenlänge λ und der Frequenz ν im Zusammenhang

$$v = \nu / \lambda$$

Für die Belange der Kristalloptik kann v als konstant betrachtet werden, unabhängig davon, in welchem Material sich das Licht ausbreitet. Da v im Vakuum die höchstmögliche Geschwindigkeit einnimmt, ist n für alle Materialien größer als 1. Die niedrigere Lichtgeschwindigkeit in Kristallen geht mit einer Verkürzung der Wellenlänge einher, damit v konstant bleibt.

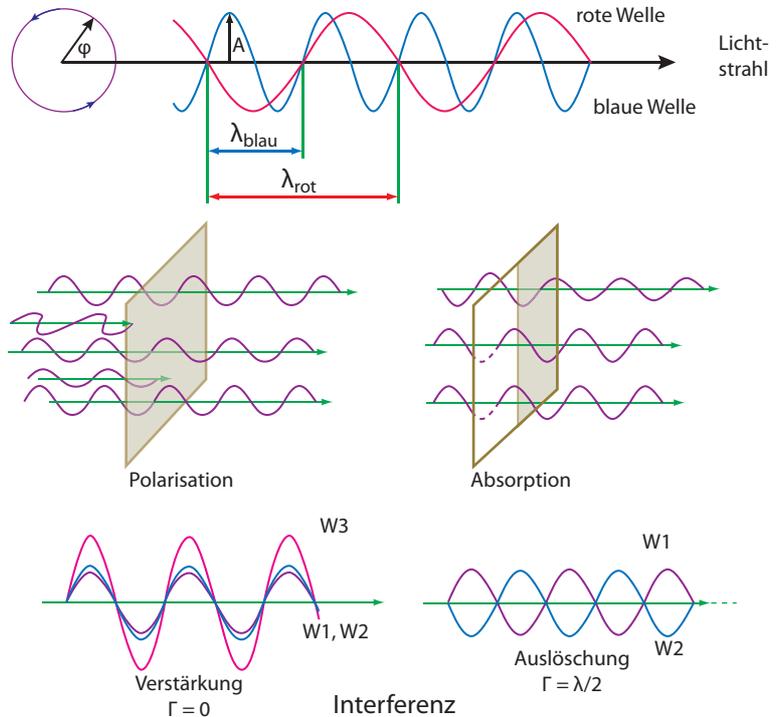


ABBILDUNG 1 Lichtwellen, Polarisation, Absorption, Interferenz

- Dispersion:** Abhängigkeit der Lichtbrechung von der Wellenlänge des Lichtes; bei allen durchsichtigen Kristallen ist die Lichtbrechung für kurzwelliges Licht größer als für langwelliges. Sehr ausgeprägt ist sie z.B. beim Diamant ($n = 2.402$ bei 760.8 nm und 2.465 bei 396.8 nm), gering beim Flußspat (1.431 bzw. 1.442 nm).
- Polarisation:** In Luft, Flüssigkeiten und isotropen Feststoffen sind die Vektoren der Schwingungen natürlicher Lichtwellen um die Achse der Fortpflanzungsrichtung statistisch verteilt. Beim Eintritt einer Lichtwelle in eine doppelbrechende Kristallplatte wird deren Energie in zwei senkrecht aufeinander schwingende, linearpolarisierte Teilwellen zerlegt.
- Absorption:** ist die Änderung der Amplitude beim Eintritt einer Lichtwelle in einen Kristall. Stärke und Art der Absorption hängen ab von der Dicke des Präparats, seiner chemischen Zusammensetzung und der Wellenlänge des eingestrahelten Lichts (siehe auch obige Abbildung). Die Absorption erzeugt bei Verwendung von weißem Licht durch Schwächung und Vernichtung von Licht bestimmter Frequenzen die Eigenfarben der Minerale. In isotropen Mineralen ist die Absorption richtungsunabhängig, in anisotropen Mineralen richtungsabhängig. Bei den Mineralen der wirteligen Kristallsysteme (tetragonal, hexagonal, rhomboedrisch) ist die Absorption für ordentliche und außerordentliche Welle unterschiedlich. Ein bekanntes Beispiel für diesen *Dichroismus* ist der Turmalin, der (bei nicht gekreuzten Polarisatoren zu beobachten) parallel zur trigonalen Hauptachse (\parallel zu e) nur schwach absorbiert, senkrecht dazu (\parallel zu o) die Lichtintensität so stark vermindert, daß bei genügender Dicke des Präparats eine völlige Vernichtung der ordentlichen Welle erreicht wird. Bei den niedriger symmetrischen Mineralen der orthorhombischen, monoklinen und triklinen Kristallsysteme ist die Absorption in allen Richtungen verschieden. Dieser *Pleochroismus* ist besonders stark z.B. bei Biotiten und Hornblenden ausgeprägt.

Doppelbrechung: In allen Kristallsystemen mit Ausnahme des kubischen wird eine einfallende Lichtwelle in zwei Transversalwellen aufgespalten, die unterschiedliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit und damit Lichtbrechung besitzen. Die Doppelbrechung ist definiert als der Differenzbetrag beider Brechungsindizes. Die maximale Doppelbrechung ist ein wichtiges Kriterium zur Identifizierung von Mineralen im Dünnschliff. Je nach Schnittlage eines (nicht kubischen) Minerals variiert die beobachtete Doppelbrechung zwischen 0 (senkrecht zur bzw. einer der beiden optischen Achsen: Kreisschnitt durch die Indikatritz) und dem maximalen Wert.

Schön verdeutlichen lässt sich die Doppelbrechung an einem klaren Spaltrhomboeder von Calcit. Auf ein beschriebenes Blatt gelegt, erscheint die Schrift doppelt. Rotiert man den Kristall auf dem Blatt, bleibt die Position einer der Schriftzüge fest, während der andere hin und her wandert. In optisch einachsigen Kristallen breitet sich eine der beiden Wellen aus wie in einem isotropen Medium, während Ausbreitungsgeschwindigkeit und Brechungsindex der anderen richtungsabhängig sind. Der fest bleibende Schriftzug charakterisiert daher die erstere dieser beiden Wellen („ordentlicher“ Strahl), der wandernde Schriftzug die zweitgenannte Welle („außerordentlicher“ Strahl).



Gangunterschied Γ : Dicke des Kristalls \times Doppelbrechung

Der Gangunterschied bestimmt die Amplitude interferierender Wellen (siehe auch Abbildungen 1 und 3). Werden einzelne Anteile (Farben) des weißen Lichtes durch Interferenz selektiv geschwächt, entstehen im Analysator des Polarisationsmikroskops die bunten Interferenzfarben, die in der Michel-Lévy-Tafel als Funktion von Gangunterschied und Schlifffdicke dargestellt sind (siehe auch Abbildung 2).

Die Gleichung zur Berechnung des Gangunterschiedes lässt sich einfach ableiten: Die Geschwindigkeiten der beiden Teilwellen im Kristall seien v_s (schnelle Teilwelle) und v_b (langsame Teilwelle), die Geschwindigkeit in Luft v ; die Dicke des Kristalls sei D . Die Zeit t , welche die langsame Welle benötigt, um den Kristall zu durchlaufen, ergibt sich dann zu

$$t = D/v_l$$

In derselben Zeit hat die schnelle Welle bereits ein zusätzliches Stück Weg in Luft zurückgelegt:

$$t = D/v_s + \Gamma/v$$

Daraus wird durch Gleichsetzen:

$$\frac{D}{v_l} = \frac{D}{v_s} + \frac{\Gamma}{v} \Rightarrow \Gamma = v \left(\frac{D}{v_l} - \frac{D}{v_s} \right) = D \left(\frac{v}{v_l} - \frac{v}{v_s} \right)$$

Die Quotienten in der letzten Klammer entsprechen den Brechungsindizes, also:

$$\Gamma = D(n_l - n_s)$$

Anomale Interferenzfarben entstehen durch eine Änderung der Doppelbrechung in Abhängigkeit von der Wellenlänge λ . Wenn die Doppelbrechung für kurzwelliges Licht größer ist als für langwelliges, entstehen *übernormale Interferenzfarben*; hier gilt: $(n_\gamma - n_\alpha)_{\text{violett}} > (n_\gamma - n_\alpha)_{\text{rot}}$. Anstelle grauweißer und weißgelber Interferenzfarben der I. Ordnung beobachtet man lebhafte blaue (tintenblau) und gelbe (zitronengelb) Farben, die in der Michel-Lévy-Tafel nicht vorkommen (Beispiel: Epidot/Klinozoisit).

Unternormale Interferenzfarben treten auf, wenn die Doppelbrechung für langwelliges Licht größer ist als für kurzwelliges, wenn also $(n_\gamma - n_\alpha)_{\text{violett}} < (n_\gamma - n_\alpha)_{\text{rot}}$. Hier werden für die I. Ordnung stumpfe Farbtöne (lederbraun, graubraun) beobachtet. Bekannt dafür sind die Mg-Chlorite.



ABBILDUNG 2 Abhängigkeit des Gangunterschieds von der Dicke am Beispiel eines Gipskeils vom intensiven Rot der 1. Ordnung rechts (ca. 10 μm dick) zum verwachsenen Rot der 4. Ordnung links (ca. 40 μm)

Anomale Interferenzfarben im engeren Sinn sind vorhanden, wenn in Abhängigkeit von der Wellenlänge ein Vorzeichenwechsel der Doppelbrechung eintritt, d.h. wenn die Doppelbrechung für das eine Ende des Spektrums positiv, für das andere aber negativ ist. Das Grau der ersten Ordnung wird dann zu einem tintenblau bis violett (Beispiele: Vesuvian, Melilith).

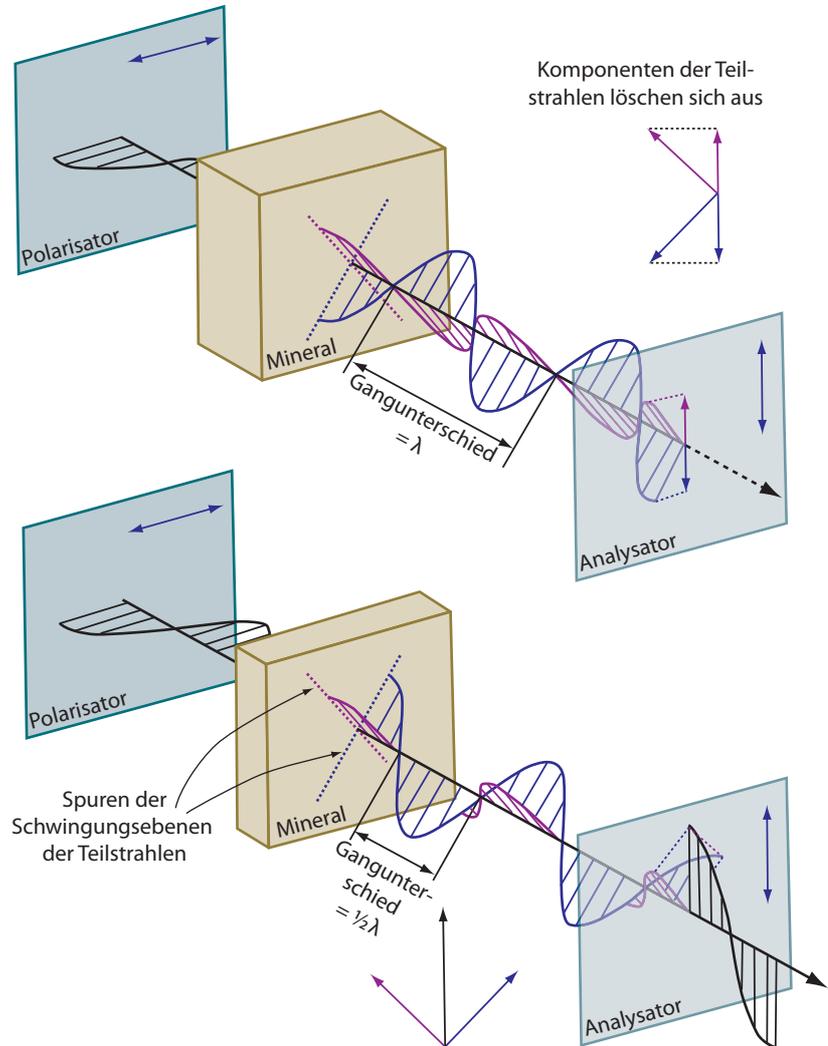


ABBILDUNG 3

Illustration von Gangunterschied und Interferenz (umgezeichnet nach Nesse, 2000). In der oberen Skizze fällt linear polarisiertes Licht auf einen Kristall, wird dort in zwei senkrecht aufeinander stehende Teilstrahlen aufgespalten. Der im Kristall erzeugte Gangunterschied möge einer ganzen Wellenlänge entsprechen. Im Licht, das den Kristall verläßt, fallen daher Wellentäler und Wellenberge der beiden Teilstrahlen exakt zusammen. Der resultierende Vektor liegt in der Schwingungsebene des durch den Polarisator erzeugten Lichtes. Da der Analysator eines Polarisationsmikroskops aber so orientiert wird, daß nur Licht durch ihn treten kann, dessen Schwingungsebene senkrecht dazu steht, wird alles auf ihn fallende Licht ausgelöscht; der Kristall erscheint dunkel. Die untere Zeichnung skizziert den Fall eines im Kristall erzeugten Gangunterschiedes von einer halben Wellenlänge. Damit verläuft der resultierende Vektor senkrecht zur Schwingungsebene des auf den Kristall auftreffenden Lichtes und parallel der Schwingungsebene des Lichtes, das vom Analysator durchgelassen wird.

Dispersion der Auslöschung ist des öfteren bei niedrig symmetrischen Kristallen (monoklin, triklin) zu beobachten. Sie äußert sich darin, daß der Auslöschungswinkel von λ abhängig ist, so daß ein Mine-

ral nie ganz auslöscht, sondern auch in der dunkelsten Stellung noch stumpfe (graublau und braunrote) Farbtonungen zeigt.

Chagrin und Relief: Wenn Minerale eine vom Einbettungsmittel unterschiedliche Lichtbrechung aufweisen, kommt es an diesem Relief zur Beugung, Brechung und Reflexion des Lichts. Die daraus resultierende Struktur geringer Helligkeitsunterschiede wird als *Chagrin* bezeichnet. Die höher lichtbrechenden Minerale erscheinen im Dünnschliff aus der Schliffebene herausgehoben und machen dadurch das Relief aus. *Positives Chagrin* liegt vor, wenn das Mineral eine höhere Lichtbrechung hat als das Einbettungsmittel, negatives Chagrin, wenn es eine niedrigere Lichtbrechung aufweist (Abbildung 4). Minerale mit sehr niedriger Lichtbrechung (insbesondere Fluorit) erscheinen neben Mineralen mit mittelhoher Lichtbrechung ebenfalls herausgehoben. Es ist daher unerlässlich sicherzustellen, daß ihre Lichtbrechung in der Tat sehr gering ist (Becke-Linie).

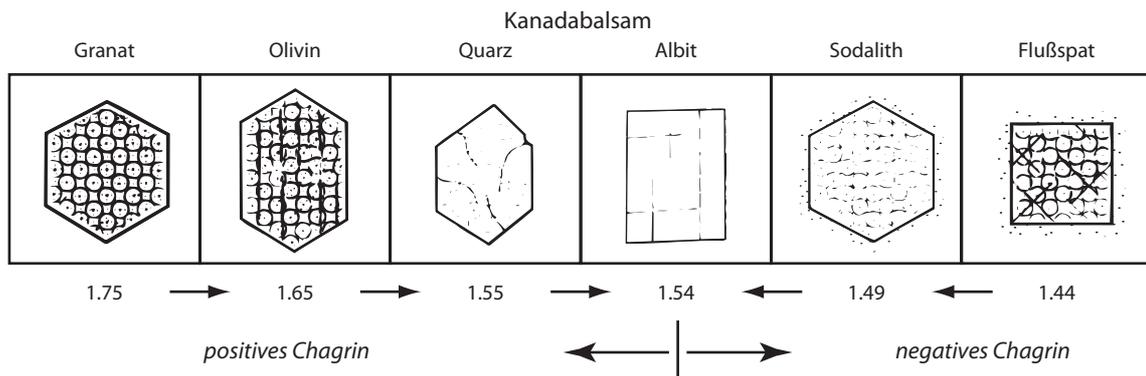
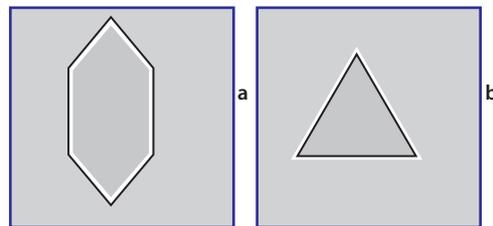


ABBILDUNG 4 Chagrinkontrast in Abhängigkeit von der Lichtbrechung

Eine empfindlichere und einfache Möglichkeit, relative Unterschiede von Brechungsindizes zu bestimmen und sehr niedrige von hoher Lichtbrechung zu unterscheiden, bietet die

Becke-Linie: An Phasengrenzen verschieden lichtbrechender Medien beobachtet man bei starker Vergrößerung einen hellen Lichtsaum, der sich beim Einengen der Aperturblenne des Mikroskops in ein buntes Interferenzstreifensystem auflöst, die Becke-Linie, die beim Heben des Tubus (= Senken des Mikroskoptisches) in das höherbrechende Medium hineinläuft (Illustration siehe links). Die Wanderung der Becke-Linie beobachtet man am besten mit einem stärker vergrößernden Objektiv und bei Einengen der Kondensoraperturblenne.



Die Methode nach **Schröder van der Kolk** zur Bestimmung von Lichtbrechungsunterschieden eignet sich am besten für Streupräparate oder für Dünnschliffe von fast monomineralischen Gesteinen und beruht auf der Streuung des Lichts an Korngrenzen. Als Merkregel gilt: Beim Einschieben einer seitlichen Blende (z.B. dem Rot I-Plättchen) in den Mikroskoptubus oberhalb des Objektivs ist der dem unscharfen Blendenrand abgewandte Kornrand hell, wenn das Korn höher lichtbrechend ist als das umgebende Medium.

Indikatrix

Die **Indikatrix:** ist ein Rotationsellipsoid, das modellhaft die Lichtausbreitung in Mineralen beschreibt. Sie wird konstruiert, indem man, ausgehend vom Kristallmittelpunkt, die Lichtbrechwerte derjenigen Wellen aufträgt, die in diesen Richtungen schwingen.

Für *kubische* Kristalle (und andere isotrope Medien wie Gesteinsgläser) ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichts in allen Richtungen gleich. Das Rotationsellipsoid wird damit eine Kugel.

In Kristallen der *wirteligen Systeme* breitet sich die ordentliche Welle o aus wie in einem isotropen Medium. Die Lichtbrechung der außerordentlichen Welle e ist dagegen richtungsabhängig und nimmt Werte zwischen n_e und n_o an. Die Indikatrix ist ein Rotationsellipsoid, dessen Drehachse parallel der kristallographischen c -Achse ist; sie entspricht der Schwingungsrichtung der außerordentlichen Welle n_e . Kristallschnitte senkrecht zur Rotationsachse sind Kreisschnitte; d.h. in Richtung der c -Achse pflanzt sich nur eine Welle (die ordentliche Welle) fort, so daß keine Doppelbrechung auftreten kann. Diese Achse der Isotropie heißt *optische Achse*, und die Kristalle dieser Systeme heißen *optisch einachsig*. In allen anderen Richtungen pflanzen sich in den Kristallen zwei Wellen mit verschiedener Lichtbrechung n_o und n_e fort.

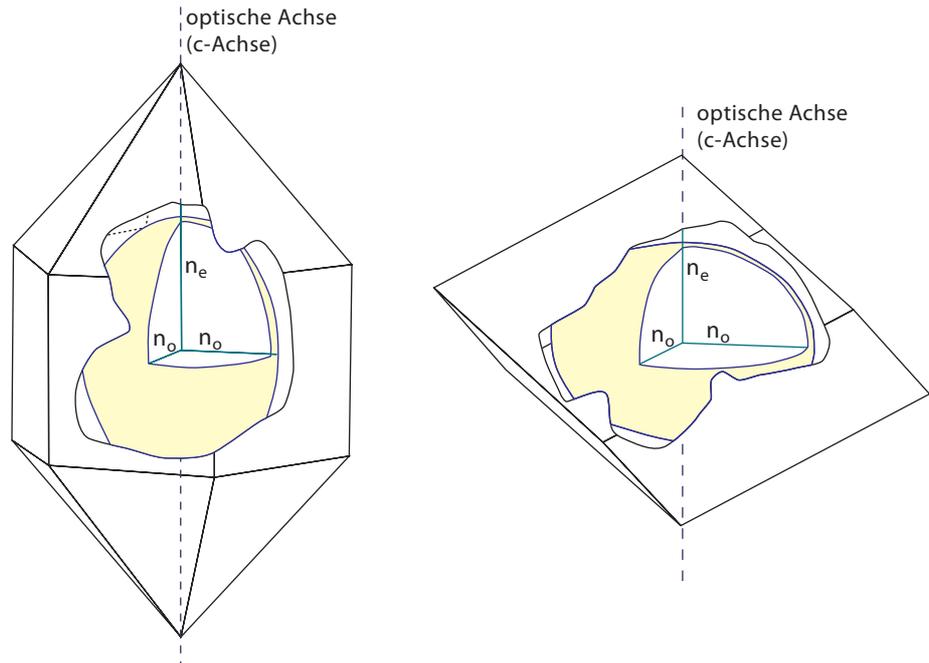


ABBILDUNG 5

Indiktrizen einachsiger Kristalle, jeweils in einen Kristall einbeschrieben, links für einen positiven, rechts für einen negativen Kristall

Einachsig positiv ist ein Kristall, dessen Brechungsindex für den außerordentlichen Strahl n_e (oder n_ϵ) größer ist als für den ordentlichen Strahl n_o (oder n_ω), *einachsig negativ* wenn $n_e < n_o$. Im ersten Fall ist die Indikatrix in Richtung von n_e gestreckt, im zweiten Fall gestaucht. Die Orientierung der Indikatrix in einem einachsigen

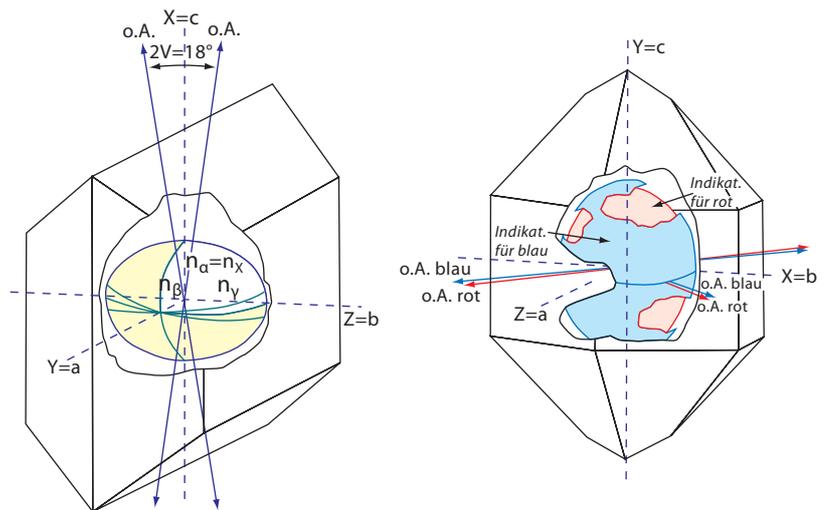


ABBILDUNG 6 Indikatrix eines zweiachsigen Kristalls (links) und Indiktrizen für einen Kristall mit Dispersion der optischen Achsen (rechts; skizziert sind die Indiktrizen für rotes und für blaues Licht); o.A. = optische Achse

positiven Kristall ist in Abbildung 5-links gezeigt (Beispiel: Quarz), ihre Orientierung in einem einachsigen negativen Kristall rechts daneben (Beispiel: Calcit).

In Kristallen des *orthorhombischen*, des *monoklinen* und des *triklinen* Systems ist die Indikatrix ein dreiaxsiges Ellipsoid mit den Achsen X, Y, Z und den Brechungsindizes $n_\alpha < n_\beta < n_\gamma$ (auch mit n_x, n_y, n_z bezeichnet). In einem solchen Ellipsoid gibt es zwei Kreisschnitte, senkrecht zu denen sich das Licht wie in einem isotropen Medium fortpflanzt, entsprechend dem mittleren Brechungsindex n_β . Die Normalen dieser beiden Kreisschnitte sind die *optischen Achsen*, und die Minerale dieser Kristallsysteme werden *optisch zweiachsig* genannt. Die beiden optischen Achsen liegen immer in der Hauptschnittebene XZ, der *optischen Achsenebene*, auf der Y, die *optische Normale*, senkrecht steht. Der Winkel zwischen den beiden optischen Achsen ist der *Achsenwinkel* $2V$; die Winkelhalbierende wird *Bisektrix* (Mittellinie) genannt. Im spitzen Winkel der optischen Achsen liegt die *spitze Bisektrix* ($2V < 90^\circ$), im stumpfen Winkel die *stumpfe Bisektrix* ($2V > 90^\circ$). Von einem *optisch zweiachsig positiven* Kristall spricht man, wenn Z die spitze Bisektrix ist, von einem *optisch zweiachsig negativen* Kristall, wenn X spitze Bisektrix ist. Ein Beispiel für die Lage der Indikatrix in einem zweiachsig \ominus orthorhombischen Kristall ist Abbildung 6–links angegeben. Bei orthorhombischen Kristallen fallen die drei Achsen der Indikatrix mit den kristallographischen Achsen zusammen. Daher zeigen alle Kristalle dieses Systems in Schnitten \perp den Flächen (100), (010) und (001) *gerade Auslöschung* bei gekreuzten Polarisatoren. Im monoklinen System sind nur die kristallographische b-Achse und eine der drei Achsen der Indikatrix gleich orientiert (In seltenen Fällen kann jedoch noch eine weitere Achse der Indikatrix mit einer der beiden anderen kristallographischen Achsen zusammenfallen.). In Schnitten in der Zone [010] zeigen Kristalle dieses Systems gerade Auslöschung. Im triklinen System schließlich besteht keinerlei Zusammenhang zwischen Orientierung der kristallographischen Achsen und denen der Indikatrix, und schiefe Auslöschung wird in allen Schnittlagen beobachtet.

Dispersion der optischen Achsen liegt vor, wenn sich die Größe des optischen Achsenwinkels in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichtes ändert (Abbildung 6-rechts). Zu jeder Wellenlänge gehört dann eine eigene Indikatrix. Das best bekannte Beispiel ist Brookit (rhombische Modifikation von TiO_2). Bei Einfall von rotem Licht liegt die Achsenebene in der Fläche (001). Bei Verringerung der Wellenlänge verringert sich $2V$, bis für gelbgrün $2V=0^\circ$ erreicht wird. Bei noch niedrigerem λ öffnet sich $2V$ wieder, und die optische Achsenebene liegt bei violett in (010). In monoklinen und in triklinen Kristallen ändert sich in Abhängigkeit von λ zudem die Lage der Indikatrixachsen.

Auslöschungsschiefe

Als **Auslöschungswinkel** ϵ oder **Auslöschungsschiefe** wird der Winkel bezeichnet, den eine Schwingungsrichtung des Lichts beim Durchtritt durch einen ein- oder zweiachsigen Kristall mit einer morphologisch definierten Richtung im Mineralschnitt bildet.

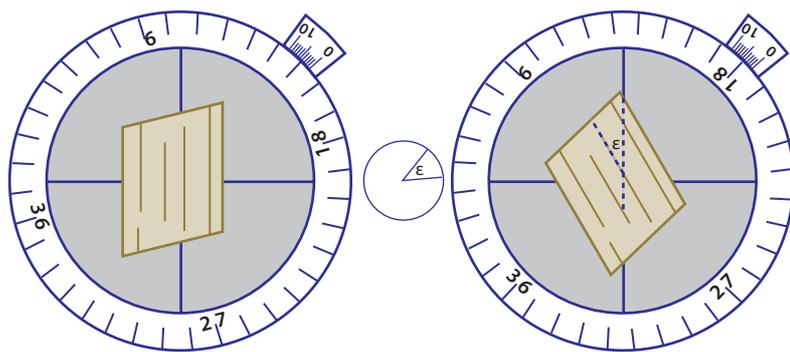


ABBILDUNG 7 Ermittlung des Auslöschungswinkels

Gerade Auslöschung liegt vor, wenn die Schwingungsrichtung parallel zu einer morphologischen Bezugsrichtung (Kanten, Spaltrisse, Verwachsungsebenen, Lamellen) liegt und $\epsilon = 0$ ist. *Symmetrisch* wird die Auslöschung genannt, wenn die Schwingungsrichtungen Winkel zwischen zwei gleichwertigen morphologischen Bezugsrichtungen halbiert. *Schief* heißt die Auslöschung, wenn die Schwingungsrichtung einen beliebigen Winkel ($\neq 0^\circ$ und $\neq 90^\circ$) mit der morphologischen Bezugsrichtung bildet (siehe Abbildung 8).

Um die Auslöschungsschiefe zu bestimmen, bringt man zunächst die morphologische Bezugsrichtung durch Drehen des Mikroskoptisches mit dem Nord-Süd-Faden des Okularfadenkreuzes zur Deckung und liest am Nonius den Winkelwert ab. Dann dreht man den Mikroskoptisch, bis das Mineral völlig auslöscht, um die optische Bezugsrichtung (Schwingungsrichtung n'_γ bzw. n'_α) mit dem Nord-Süd-Faden zur Deckung zu bringen. Man liest erneut den Winkelwert am Nonius ab; die Differenz der beiden Winkelwerte entspricht ϵ (Abbildung 7).

		Auslöschung		
		gerade $\epsilon = 0$	symmetrisch $\epsilon_1 = \epsilon_2$	schief $\epsilon_1 \neq \epsilon_2$
hexagonal, trigonal, tetragonal	Apatit		Zirkon ϵ_1, ϵ_2 	Calcit ϵ_1, ϵ_2'
		c in EW- oder NS-Ebene; a_1, a_2, a_3 in NS		c \nrightarrow zu EW, NS
ortho- rhombisch	Orthopyroxen			
		Schnitte [100], [010], [001] bzw. [0kl], [h0l], [hk0]		übrige Schnitte
monoklin	Amphibol			
		Schnitte b bzw. [010]		übrige Schnitte
triklin	Plagioklas			
				alle Schnitte

ABBILDUNG 8

Kristallsymmetrie und Auslöschung; die Kristalle befinden sich in einer der beiden Auslöschungsstellungen.

Optischer Charakter

Der **optische Charakter** eines Minerals wird im *konoskopischen Strahlengang* bestimmt, bei dem das Mineral mit einem kegelförmigen Lichtbündel (unter verschiedenen Winkeln) durchstrahlt wird (Bei gekreuzten Polarisatoren wird die Amici-Bertrand-Linse in den Strahlengang geklappt oder das Okular herausgenommen.).

Bei **einachsigen** Kristallen benötigt man Schnitte ungefähr \perp zur optischen Achse (erkennbar an möglichst niedriger Doppelbrechung – im Idealfall schwarz). Im konoskopischen Strahlengang sollte man dann ein schwarzes Isogyrenkreuz beobachten, das beim Drehen des Mikroskoptisches mehr oder weniger stark wandert, je nachdem, wie hoch die Fehlorientierung der Schnittlage von der Senkrechten zur optischen Achse ist. Schiebt man das Rot I-Plättchen (von vorne rechts) in den Strahlengang, dann beobachtet man im Fall von *einachsig positiven* Mineralen Farbadaddition in den Quadranten I (oben-rechts) und III (unten-links – siehe Abbildung 9), erkennbar an einem Blau in diesen Quadranten nahe dem Ausstichpunkt der optischen Achse (Melatop), und Farbsubtraktion in den Quadranten II (oben-links) und IV (unten-rechts), erkennbar an einem Rot in diesen Quadranten nahe dem Melatop. Bei *einachsig negativen* Kristallen wird Farbadaddition (Blau) in den Quadranten II und IV, Farbsubtraktion (Rot) in den Quadranten I und III beobachtet.

Abbildung 10 zeigt eine Zusammenstellung konoskopischer Bilder von einachsigen Kristallen bei unterschiedlicher Schnittlage und Tischdrehung (obere Reihe: Schnitte ungefähr senkrecht der optischen Achse, untere Reihe: Schnitte deutlich schräg). Auch in Schnittlagen deutlich schräg zur optischen Achse ist die Bestimmung des optischen Charakters noch möglich, sofern man weiß oder sieht, in welche Richtung sich die Isogyren verzüngen, d.h. in welcher Richtung das Melatop liegt.

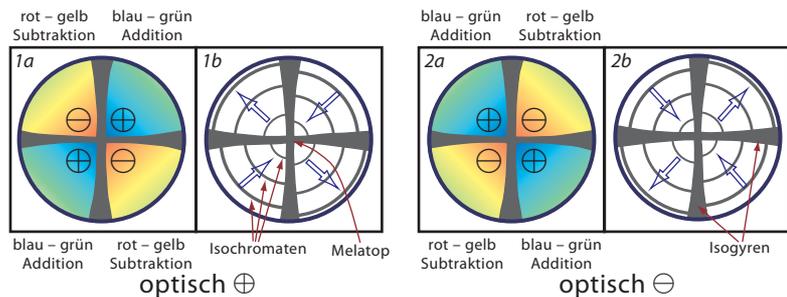


ABBILDUNG 9 Bestimmung des optischen Charakters einachsiger Kristalle, dargestellt für Minerale mit mäßiger Doppelbrechung (Interferenzfarben der ersten Ordnung) in den Skizzen 1a und 2a unter Verwendung eines Rot-I-Kompensators bzw. für Minerale mit hoher Doppelbrechung (mehrere dunkle Isochromaten) in den Skizzen 1b und 2b bei Verwendung eines Quarzkeils. Im letzteren Fall ist der Kristall positiv, wenn die Isochromaten im rechten oberen und linken unteren Quadrant beim Einschieben des Quarzkeils nach innen wandern und negativ, wenn sie nach außen wandern (durch die Pfeile markiert).

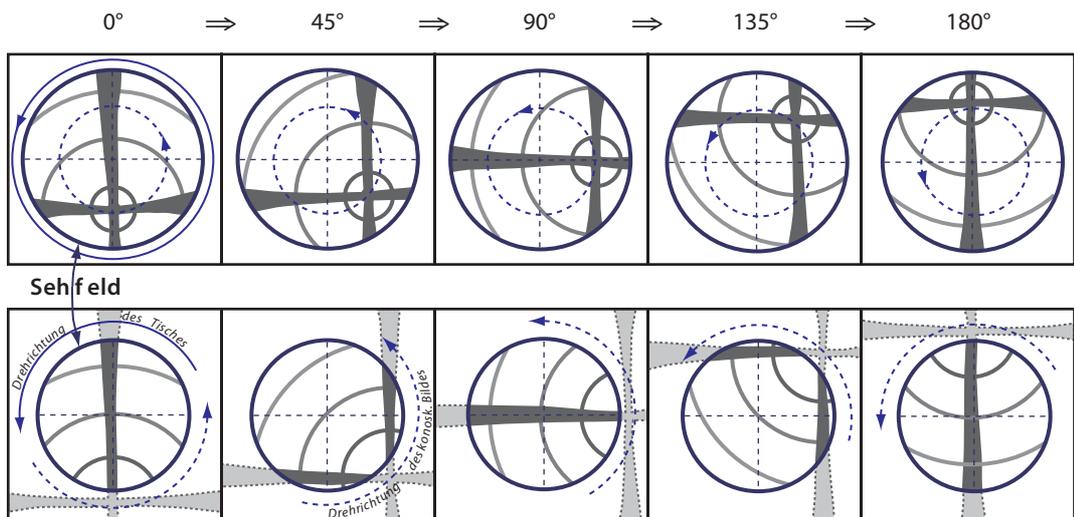


ABBILDUNG 10

Konoskopische Bilder optisch einachsiger Kristalle bei unterschiedlicher Schnittlage; Isochromaten sind in Grautönen dargestellt. In der oberen Reihe sind Schnittlagen fast senkrecht zur optischen Achse skizziert, in der unteren Reihe deutlich schräger zur optischen Achse, so daß das Isogyrenkreuz außerhalb des Gesichtsfeldes liegt.

An **zweiachsigen** Kristallen lässt sich der optische Charakter an Schnitten ungefähr senkrecht zur spitzen Bisektrix bestimmen. Solche Schnitte zeigen bei kleinen bis mittleren Achsenwinkeln in den Normalstellungen (0° , 90° , 180° , 270°) ein schwarzes Kreuz, das dem einachsiger Kristalle ähnelt. Der dünnere der beiden Arme weist zwei Einschnürungen auf, die der Lage der beiden Melatope entspricht (Abbildung 12 – obere Reihe: Schnitte \perp zur spitzen Bisektrix, mittlere Reihe: Schnitte ungefähr \perp zu einer optischen Achse [$2V \approx 80^\circ$], untere Reihe: Schnitte \perp zur stumpfen Bisektrix und \parallel zur optischen Achsenebene), und der Balken gibt damit die Orientierung der optischen Achsenebene an. Beim Drehen des Mikroskoptisches öffnet sich das Kreuz und wandelt sich in zwei Hyperbeln um, deren Abstand in Diagonalstellung (45° , 135° , 225° , 315°) maximal wird.

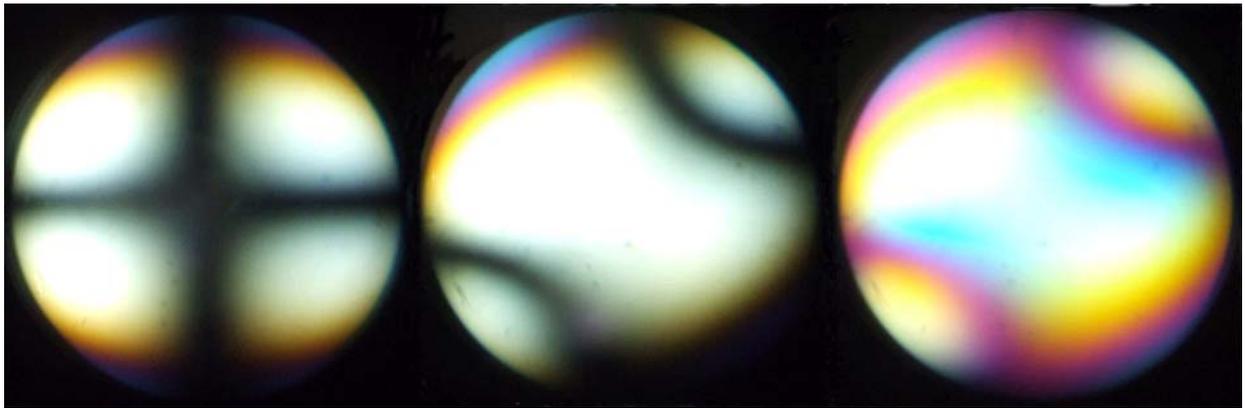


ABBILDUNG 11

Achsenbilder von Muskovit senkrecht zur spitzen Bisektrix. Links: in Normalstellung, in welcher der Arm, der sich von links nach rechts erstreckt, der dünnere ist und links eine leichte Einschnürung zeigt, die der Lage eines Melatops entspricht; Mitte: in 45° -Stellung; rechts: in 45° -Stellung mit Rot-I-Plättchen; Farbaddition zwischen den beiden Hyperbeln weist Muskovit als optisch negativ aus.

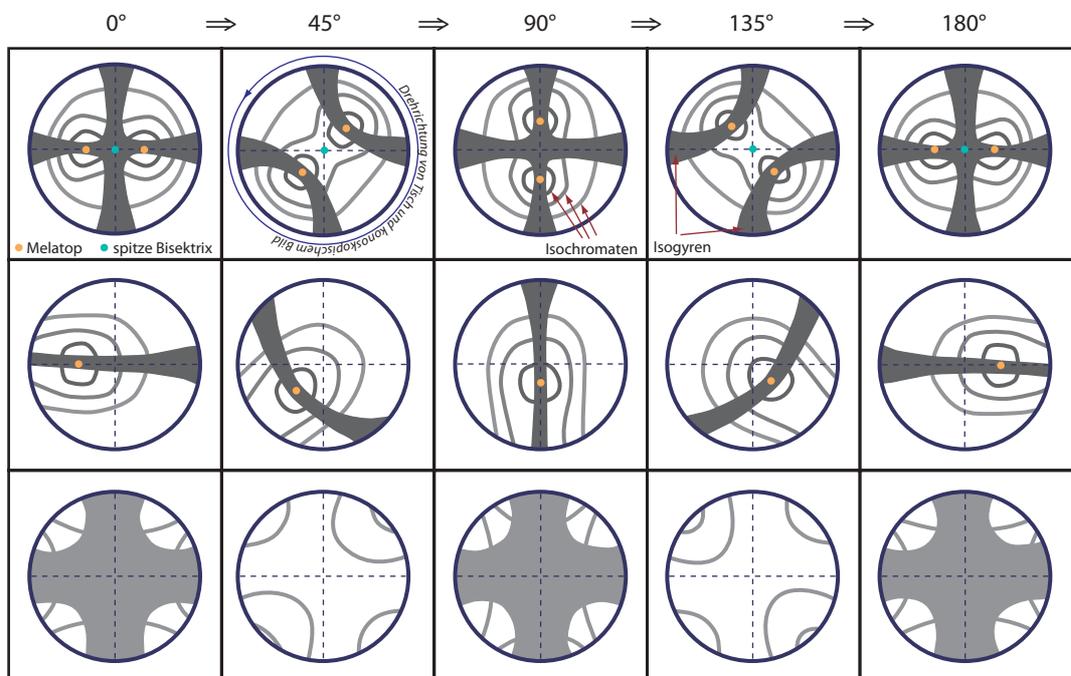


ABBILDUNG 12

Konoskopische Skizzen optisch zweiachsiger Kristalle bei unterschiedlicher Schnittlage und Tischdrehung; Isochromaten sind grau dargestellt. Obere Reihe: Schnitte ungefähr \perp zur spitzen Bisektrix bei einem Mineral mit mittelhohem Achsenwinkel

(ca. 30°); mittlere Reihe: Schnitte fast \perp zu einer optischen Achse bei einem Mineral mit hohem Achsenwinkel (ca. 70°); untere Reihe: Schnitte fast \perp zur stumpfen Bisektrix und \parallel zur optischen Achsenebene.

In Schnitten deutlich schräg zur spitzen Bisektrix oder, bei größeren Achsenwinkeln, in Schnitten ungefähr \perp zur spitzen Bisektrix wird man nur eine Isogyre sehen, die in Normalstellung gerade ist (N–S oder E–W orientiert) und sich bei Drehung des Mikroskoptisches mehr oder weniger stark verbiegt und diagonal durch das Gesichtsfeld wandert, wobei der Scheitel der Krümmung in Richtung der spitzen Bisektrix weist. In Schnitten \perp zur stumpfen Bisektrix sieht man in Normalstellung nur ein verwaschenes Kreuz, das sich bei Drehen des Mikroskoptisches rasch öffnet und aus dem Gesichtsfeld wandert. Schnitte \parallel zur optischen Achsenebene sehen praktisch genauso aus (Vorsicht: Auch Schnitte \parallel zur optischen Achse einachsiger Kristalle liefern ein sehr ähnliches Bild!)

Zur Bestimmung des optischen Charakters schiebt man wieder das Rot I-Plättchen ein. In 45° Stellung wird man in Schnitten \perp zur spitzen Bisektrix, wenn beide Isogyren sichtbar sind, Addition (Blau) im I und III Quadranten auf der konkaven Seite (außen) beobachten, wenn es sich um ein zweiachsig \oplus Mineral handelt bzw. Subtraktion (rot) bei einem zweiachsig \ominus Mineral (siehe Abbildung 13). Bei Mineralen mit höherer Doppelbrechung läßt sich zur Bestimmung des optischen Charakters sinnvoll ein Quarzkeil („Quarzkeil“) verwenden. Die beiden mittleren Skizzen von Abbildung 13 (c, d) zeigen das Wandern der Isochromaten.

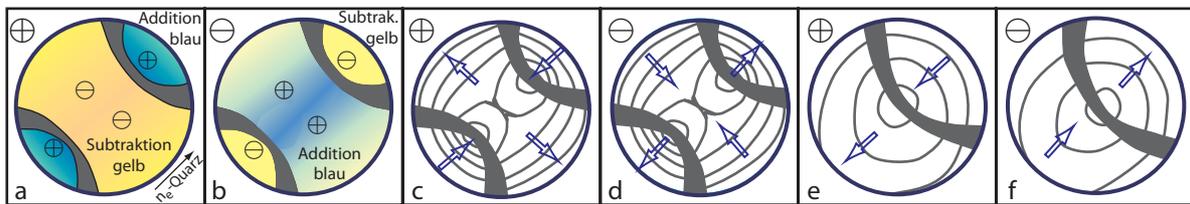
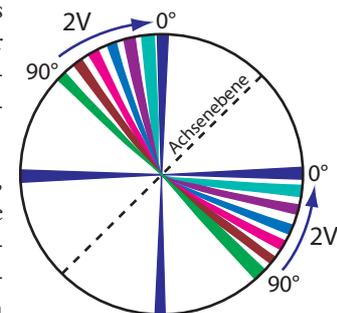


ABBILDUNG 13

Bestimmung des optischen Charakters zweiachsiger Kristalle; in a–d liegen Schnittlagen \perp zur spitzen Bisektrix vor, in Schnittlagen e und f annähernd \perp zu einer der optischen Achsen. Bei Mineralen mit niedriger bis mäßig hoher Doppelbrechung läßt sich das Vorzeichen des optischen Charakters mit dem Rot-I-Plättchen bestimmen (a, b – bei Drehung des Schliffes um 90° kehren sich die Bereiche mit Addition und Subtraktion um), bei Mineralen mit hoher Doppelbrechung mittels eines Quarzkeils (c–f).

Da die Krümmung der Isogyren ein Maß für die Größe des Achsenwinkels ist, läßt sich bei Schnitten ungefähr \perp zu einer optischen Achse in 45°-Stellung $2V$ unter Zuhilfenahme der Abbildung rechts grob abschätzen (Isogyren in ca. 15°-Abständen eingezeichnet).

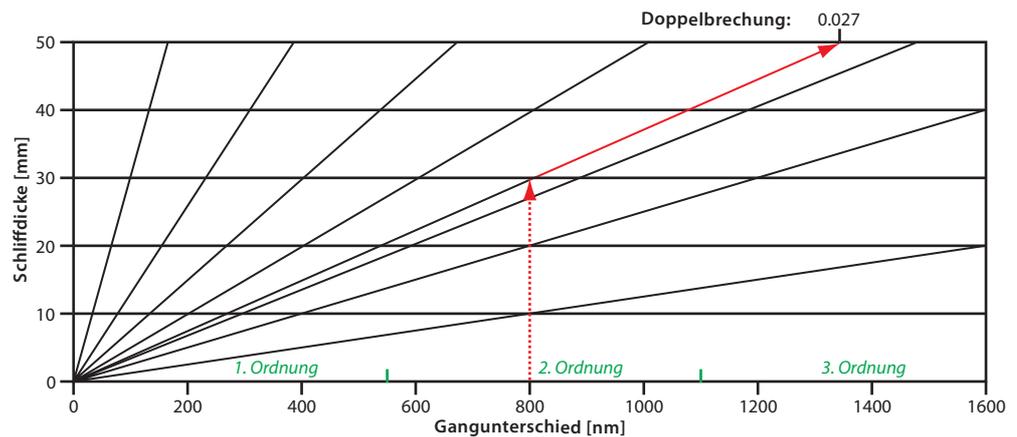
Bei (im Dünnschliff) langgestreckten Kristallen der tetragonalen, hexagonalen, trigonalen und rhombischen Kristallsysteme sowie bei monoklinen und triklinen Kristallen mit nur geringer Auslöschungsschiefe, ist der optische Charakter der **Hauptzone** (Richtung der größten Längserstreckung in einem Mineralschnitt) ein nützliches Erkennungsmerkmal der Minerale. Zur Bestimmung dreht man den Kristall von der N–S-Richtung (Auslöschungsstellung) um 45° im Uhrzeigersinn (maximale Aufhellung) und schiebt das Rot I-Plättchen in den Strahlengang (die Schwingungsrichtung der außerordentlichen Lichtwelle ist auf dem Plättchen markiert; sie liegt jetzt „NE–SW“). Beobachtet man Farbadaddition (z.B. Grau 1. Ordnung wird zum Blau 2. Ordnung), ist die Hauptzone positiv (englisch: *length slow*, da sich die Lichtwelle mit dem größeren Brechungsindex mit der kleineren Geschwindigkeit im Kristall ausbreitet). Wird Farbsubtraktion festgestellt (z.B. Grau 1. Ordnung wird zum Gelb der 1. Ordnung), ist die Hauptzone negativ (englisch: *length fast* – die Lichtwelle mit dem kleineren Brechungsindex bzw. der größeren Geschwindigkeit breitet sich in Richtung der langen Achse des Kristalls aus; vergleiche auch die Lage der Indikatrix in Abbildung 6, Seite 9). Bei Mineralen mit Interferenzfarben der zweiten Ordnung mag es einfacher sein, Farbsubtraktion zu erkennen als Farbadaddition (blau oder



grün zweiter Ordnung wird dann zu grau der 1. Ordnung). Kristalle mit positiver Hauptzone müssen dazu von der N-S-Stellung um 45° im Gegenuhrzeigersinn gedreht werden.

Gebrauch der Michel-Lévy-Tafel

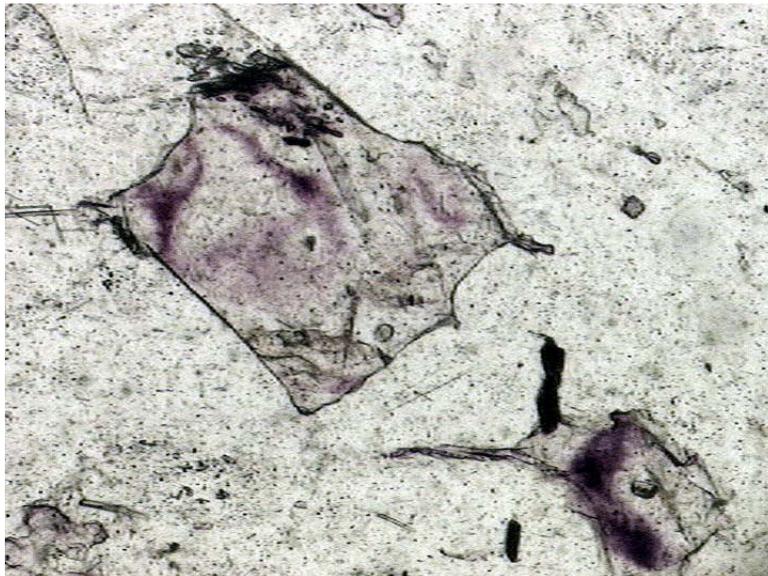
Die Farbtabelle nach Michel-Lévy ist ein sehr nützliches Hilfsmittel zur Identifizierung von Mineralen. In ihr sind die Interferenzfarben in Abhängigkeit von Schliffdicke und Gangunterschied aufgetragen. Eine wichtige optische Kenngröße von Mineralen ist ihre maximale Doppelbrechung, die auch in diesem Skript für jedes vorgestellte Mineral genannt ist. Sie läßt sich aus dem beobachteten Gangunterschied bei bekannter Schliffdicke (meist um 30 µm) abschätzen. Es ist zu bedenken, daß die Minerale meist in zufälligen Schnittlagen im Schliff vorliegen, entsprechend Doppelbrechungen zwischen 0 und dem maximal möglichen Wert; nur letzterer ist diagnostisch ($|n_e - n_o|$ bei einachsigen Kristallen, $n_\gamma - n_\alpha$ bei zweiachsigen Kristallen). Um z.B. für einen Gangunterschied von ca. 800 nm (grünlich der zweiten Ordnung) bei einer Schliffdicke von 30 µm die zugehörige Doppelbrechung zu ermitteln, geht man folgendermaßen vor: Man sucht bei 800 nm Gangunterschied und 30 µm Schliffdicke eine vom Koordinatenursprung ausgehende Gerade auf und folgt ihr zum rechten Ende. Dort läßt sich die Doppelbrechung zu ca. 0.027 ablesen. Falls dies dem Maximalwert des Minerals entspricht, könnte es sich z.B. um Phlogopit oder Titanaugit handeln. Ist man sich nicht klar, ob tatsächlich grünlich zweiter Ordnung vorlag, kann die Ordnung mit Hilfe eines Rot-I-Plättchens ermittelt werden; bei einem Gangunterschied von 800 nm würde in Subtraktionsstellung ein leicht erkennbares Hellgrau der ersten Ordnung resultieren ($800 - 551 = 249$ nm).



III. OPTISCH ISOTROPE MINERALE

Fluorit [Flußspat] CaF_2

- Kristallsystem:** kubisch, Kristallklasse $m\bar{3}m$
- Zusammensetzung:** fast reines CaF_2
- Brechungsindex:** 1.434 (stark negatives Relief)
- Farbe:** farblos, oft auch bläulich bis violett
- Spaltbarkeit:** vollkommen nach {100}
- Ausbildung:** meist xenomorphe Zwickelfüllung, weil er in Magmatiten ein Spätkristallit darstellt; in Gängen auch idiomorph (Würfel und Oktaeder)
- Unterscheidung:** isotrop; niedrigster Brechungsindex aller häufigeren Minerale, stark negatives Relief; häufige violette Flecken und Bänder oder Zonarbau, v.a. im Kontakt mit oder bei Einschluß von radioaktiven Mineralen
- Vorkommen:** häufig in hydrothermalen Gängen; als Spätkristallite in einigen Graniten, Syeniten und Nephelinsyeniten
- Paragenese:** Topas, Turmalin, Quarz



Fluorit in einem Alkali-granit; gegenüber Quarz und Alkalifeldspäten fällt der Fluorit durch sein markantes (niedrigeres) Relief auf.; Bildausschnitt ist ca. 0.60 mm quer.

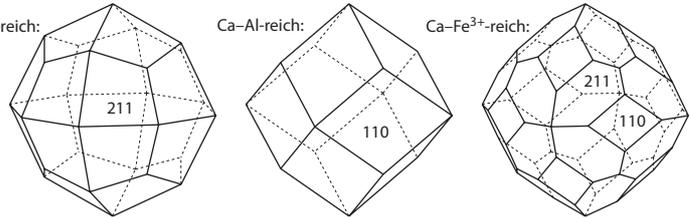
Eine weitere Abbildung mit Fluorit ist auf Seite 60 zu sehen.

Granatgruppe $(\text{Mg,Fe}^{\text{II}},\text{Ca})_3 (\text{Al,Fe}^{\text{III}})_2 (\text{SiO}_4)_3$

- Endglieder:** Pyrop $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, Almandin $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, Spessartin $\text{Mn}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, Grossular $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, Andradit $\text{Ca}_3\text{Fe}_2^{\text{III}}(\text{SiO}_4)_3$, Uwarowit $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$, Melanit $\text{Ca}_3\text{Fe}_2^{\text{III}}[(\text{Si, Ti})\text{O}_4]_3$
- Kristallsystem:** kubisch, Kristallklasse $m\bar{3}m$
- Brechungsindex:** 1.72 – 1.89 (– 2.00) (hohes Relief)
- Pyrop 1.72 – 1.76; Almandin 1.77 – 1.82; Spessartin 1.79 – 1.81;
Grossular 1.735 – 1.77; Andradit 1.85 – 1.89; Uwarowit 1.84 – 1.87; Melanit 1.86 – 2.00

Farbe: farblos, pink, gelb braun im Dünnschliff
Spaltbarkeit: keine [schlecht nach {110}]
Ausbildung: häufig idiomorph (insbes. in Glimmerschiefern → häufig almandin- oder grossularreich), rundlich – unregelmäßig (pyropereich)

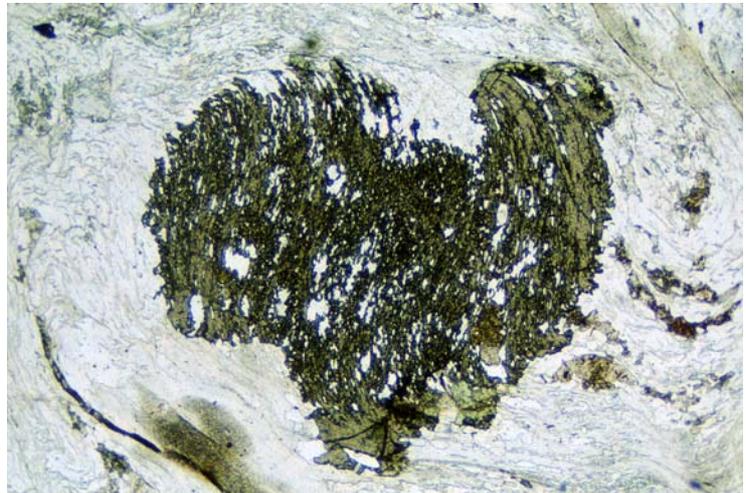
- a: Ikositetraeder [Pyrop, Almandin, Spessartin]
- b: Rhombendodekaeder [Grossular]
- c: Kombination von a und b: Andradit



Zusammensetzung: vollständige Mischkristallbildung zwischen Pyrop – Almandin – Spessartin bzw. Grossular – Andradit – Uwarowit

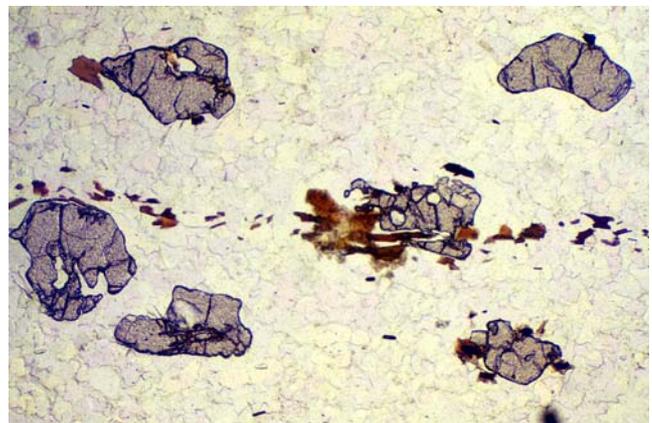
Unterscheidung: isotrop; hohe Lichtbrechung; ähnlich hohe Lichtbrechung hat nur Spinell, der aber meist oktaedrisch ausgebildet ist und grün bis dunkelbraun oder opak ist.

Schneeballgranat in einem Glimmerschiefer; Bildausschnitt ca. 8 mm quer; die zahlreichen Einschlüsse im Granat weisen eine andere Orientierung auf als die gleichen Minerale außerhalb; die Deformation, die das Gesteine prägte, fand also statt, als die Granate bereits vorhanden waren.



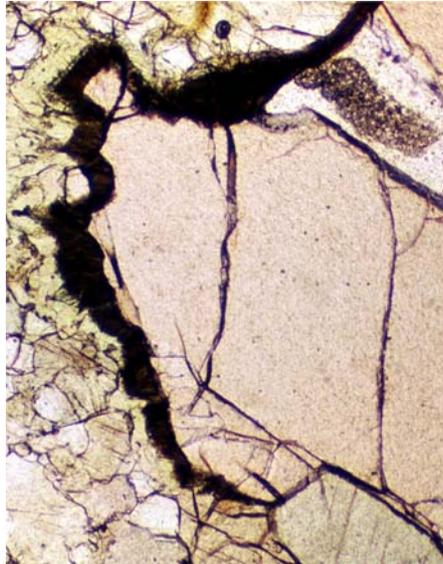
Besonderheiten: Grossular, Andradit und Uwarowit neigen in größeren Individuen zu anomaler Doppelbrechung (Δ bis 0.008); „helizitische Einschlußwirbel“ um tektonisch beanspruchte Porphyroblasten (Granate scheinen während der Metamorphose rotiert zu sein und haben dabei viele Fremdminerale eingeschlossen; sie erinnern in ihrem Aussehen dabei an einen schmutzigen Schneeball); randliche Bildung von *Kelyphit* [vornehmlich in mafischen und ultramafischen Gesteinen; linke Abbildung Seite 18] bei Temperaturerhöhung oder Druckerniedrigung durch Verlassen des Stabilitätsfeldes; Kelyphit kann mineralogisch sehr variabel zusammengesetzt sein (z.B. Spinell, Klinopyroxen, Orthopyroxen)

Granate in einem felsischen Granulit aus Böhmen; oft zeigen Granate der Granulitfazies weniger Einschlüsse an Fremdmineralen als Granate, die bei niedrigeren Temperaturen gebildet wurden; vergleiche hierzu auch den Granat der oberen Abbildung; Bildausschnitt ca. 3.0 mm quer.

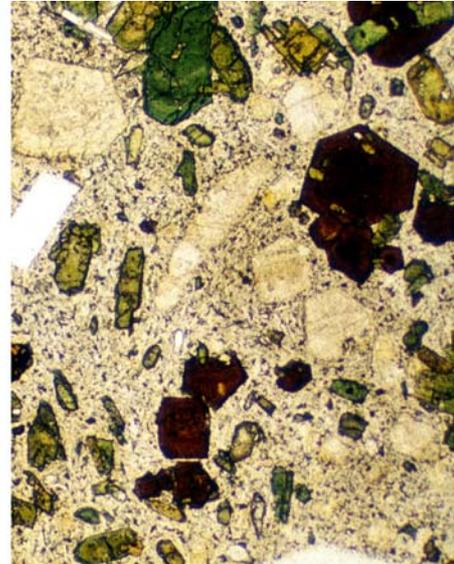


Optisch isotrope Minerale

- Vorkommen:** in vielen kontakt- und regionalmetamorphen Gesteinen; Melanit in unterkieselten Vulkaniten: Phonolithe, Tephrite, Foidite; Almandin selten in Al-reichen Graniten und Rhyolithen);
- Paragenese:** *Pyrop*: Olivin, Pyroxene (Omphacit in Eklogiten), Serpentin; *Almandin*: in Glimmerschiefern mit Biotit, Muskovit, Chlorit, Quarz; *Grossular*: mit Diopsid, Wollastonit, Vesuvian, Calcit; *Melanit* (siehe auch Abbildung unten rechts): mit Nephelin, Leucit, Mineralen der Sodalithgruppe, Sanidin.



großer Pyrop mit dunklem Kelyphitrand aus Granatperidotit (Bildausschnitt ca. 1.7 mm quer)

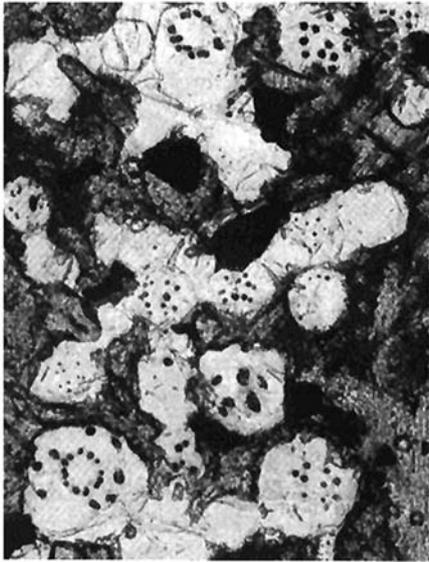


dunkelbraune Melanitkristalle neben grünem Ägirinaugit (ebenfalls hohes Relief) in Tinguait vom Kaiserstuhl (Bildausschnitt ca. 1.7 mm quer)

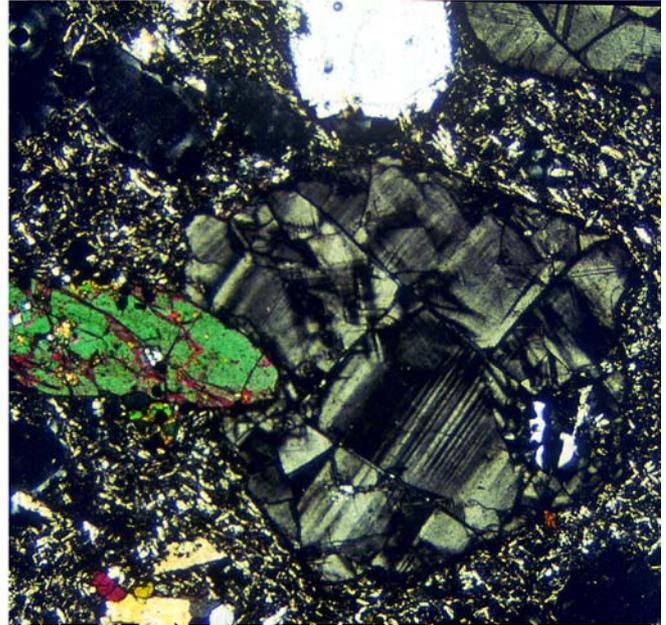
Leucit $K(AlSi_2O_6)$

- Zusammensetzung:** wenig Abweichung von obiger Formel; etwas K kann durch Na ersetzt werden;
- Kristallsystem:** kubisch, Kristallklasse $m\bar{3}m$, und tetragonal, Kristallklasse $4/m$
- Brechungsindex:** n_e 1.509, n_o 1.508 \Rightarrow einachsig \oplus mit $\Delta = 0.001$ (negatives Relief, extrem niedrige Doppelbrechung)
- Farbe:** farblos
- Spaltbarkeit:** keine [sehr schlecht nach $\{110\}$]
- Verzwilligung:** feinlamellar nach $\{110\}$ [siehe Abbildung]
- Ausbildung:** idiomorph mit achteckigem (oder rundlichem) Querschnitt („Leucitoeder“)
- Unterscheidung:** Verwechslungsmöglichkeiten nur mit Analcim, der noch niedriger lichtbrechend und meist xenomorph ist; Chabasit ist ebenfalls schwach doppelbrechend mit anomaler Felderteilung, besitzt aber gute Spaltbarkeit;
- Besonderheiten:** oberhalb von $\approx 600^\circ\text{C}$ ist Leucit kubisch und wächst in Form trapezoedrischer Kristalle; bei der Abkühlung wird er tetragonal, und eine feine Zwillingslamellierung entwickelt sich in zahlreichen Sektoren des Kristalls (rechte Abbildung); kleine Grundmasseleucite weisen zuweilen orientierte Einschlüsse, meist von Glas, auf („Schlackenkränzchen“ – siehe linke Abbildung);
- Vorkommen:** als Einsprenglinge in K-reichen, SiO_2 -untersättigten jungen Vulkaniten, z.B. in Leucittephriten und Leucititen, oft zusammen mit Ägirin; in seicht intrudierten K-reichen Plutoniten kann es auch zur Bildung von Leucit kommen; hier zerfällt er jedoch oder reagiert mit dem Magma zu Nephelin und Orthoklas, die noch die Morphologie des Leucits bewahrt haben; nie in Metamorphen;

Paragenese: häufige Begleiter sind Nephelin, Minerale der Sodalithgruppe, Ägirin, Olivin, Klinopyroxen, Melanit; *nie* zusammen mit Quarz!



Leucite mit Schlackenkränzchen; Bildausschnitt ca. $0.5 \times 0.7\text{mm}$



Leucit mit feiner lamellarer Verzwilligung neben Ägirin-augit (Mitte links) in einem Leucittephrit aus Italien; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt ca. $5.2 \times 5.2\text{mm}$

Pyrochlor und Koppit $(\text{Na,Ca})_2(\text{Nb,Ta,Ti})_2\text{O}_6(\text{OH,F,O})$

Brechungsindex: 1.96 – 2.02 (Pyrochlor); 2.12 – 2.18 (Koppit)

Kristallsystem: kubisch, Kristallklasse $m\bar{3}m$

Farbe: Pyrochlor: rötlichbraun bis schwärzlichbraun; Koppit: braun bis fast farblos

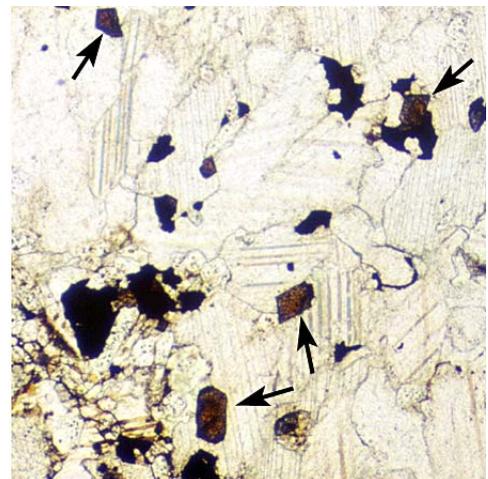
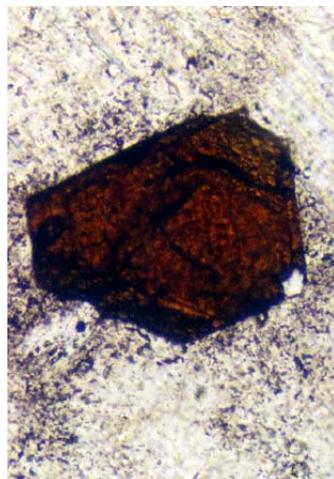
Spaltbarkeit: keine

Ausbildung: meist in sehr kleinen Körnern (Nb und Ta sind in Gesteinen praktisch immer Spurenelemente); häufig idiomorph-oktaedrisch in vier- bis sechsseitigen Querschnitten;

Zusammensetzung: sehr variabel (enthalten auch immer viel Seltene Erden, Th, U)

links: fast idiomorpher Koppit in Karbonatit des Kaiserstuhls; Bildausschnitt ca. 0.90mm quer;

rechts: kleine dunkelbraune Körner von Koppit in demselben Gestein; Bildausschnitt ca. 2.05mm quer

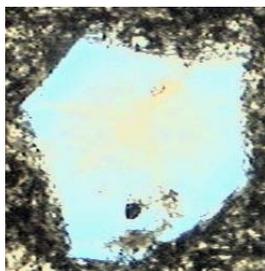


Optisch isotrope Minerale

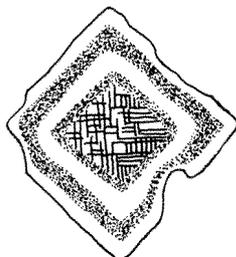
- Unterscheidung:** Unterscheidung untereinander und von Perowskit, Chromit, Picotit, Melanit ist mikroskopisch nicht möglich; Rutil und Zinnstein haben andere Paragenese;
- Vorkommen:** in foidführenden Pegmatiten, in Sanidiniten; Koppit in Karbonatiten (siehe Abbildungen auf Seite 19); beide Minerale sind sehr selten;
- Paragenese:** Calcit, Apatit, Phlogopit

Sodalithgruppe $(\text{Na,Ca})_{8-4}(\text{AlSiO}_4)_6(\text{Cl,SO}_4)_{2-1}$

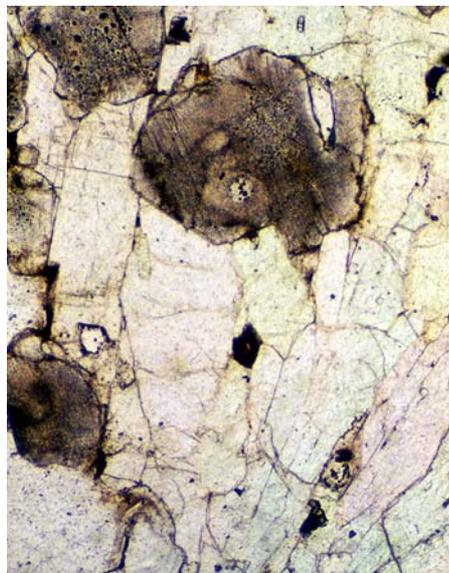
- Zusammensetzung:** Sodalith $\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6\text{Cl}_2$, Nosean $\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6\text{SO}_4$, Hauyn $(\text{Na,Ca})_{8-4}(\text{AlSiO}_4)_6(\text{SO}_4)_{2-1}$
- Kristallsystem:** kubisch, Kristallklasse $\bar{4}3m$
- Brechungsindex:** 1.483 – 1.490 (Sodalith), 1.488 – 1.495 (Nosean), 1.496 – 1.508 (Hauyn)
- Farbe:** farblos bis leicht grau (Sodalith), farblos bis graubraun (Nosean), hellblau bis farblos (Hauyn); bei Nosean und Hauyn sind die Farbtöne oft unregelmäßig als Flecken oder Streifen im Kristall verteilt;
- Spaltbarkeit:** undeutlich nach {110}
- Ausbildung:** idiomorph mit vier- und sechs-, aber auch zehneckigen Umrissen, z.T. verzerrt; Ecken meist gerundet; Flächen oft korrodiert bis zum Auftreten von Einbuchtungen; aber auch xenomorphe Zwickelfüllung (in Plutoniten)
- Unterscheidung:** voneinander sind die Minerale dieser Gruppe mikroskopisch nicht sicher unterscheidbar; bläuliche Eigenfarbe ist sehr diagnostisch; Verwechslungsmöglichkeiten mit Analcim (der jedoch häufig als Drusenfüllung vorkommt) und Leucit (der oft polysynthetisch verzwilligt ist); Nosean und Hauyn enthalten oft dunkle Einschlüsse, die in Sektoren konzentriert sind („Trauerränder“);
- Besonderheiten:** zonenartige Punktanreicherungen und Strichsysteme sind häufig; sie werden als Entmischungen von submikroskopischen Fe-Sulfiden und Fe-Oxiden gedeutet (siehe Skizze unten links);
- Paragenese:** mit Nephelin, Leucit, Ägirin, Melanit, Olivin Titanagit; *nie* mit Quarz!



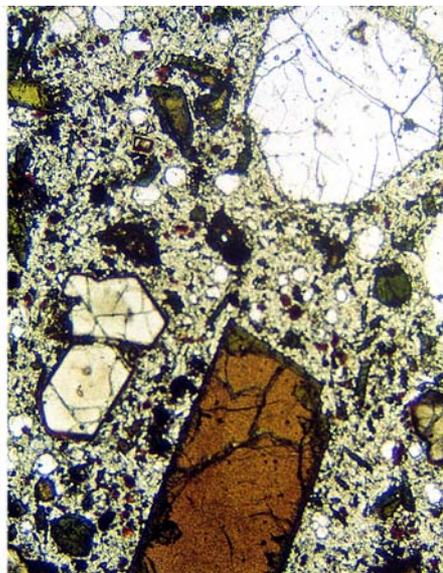
Hauyn (hellblauer Rand) aus Noseanphonolith; ca. 0.20mm quer



Nosean/Hauyn mit zonenartiger Punktanreicherung und Korrosionserscheinungen



Kristalle von Sodalith (durch Einschlüsse von Ägirinaugit und Fluiden getrübt) in Sodalith-Sanidinit aus der Eifel; Bildausschnitt ca. 1.7 mm hoch



Nosean mit Trauerrand (Mitte links) neben Ägirinaugit und Leucit in einem Tinguaitporphyr aus der Eifel; oben rechts ein Leucit, unten in der Mitte ein Ägirinaugit; Bildausschnitt ca. 5.3 mm hoch

Vorkommen: Sodalith ist das häufigste Mineral dieser Gruppe und kommt v.a. in Na-betonten, SiO₂-untersättigten sauren bis intermediären Magmatiten vor (Nephelinsyenite, Sodalithsyenite); Nosean und Hauyn sind häufig in Phonolithen, Foiditen und Tephriten zu finden.

Spinellgruppe (Mg,Fe^{II})(Fe^{III},Cr,Ti,Al)₂O₄

Zusammensetzung: drei Mischkristallreihen

Spinellreihe: Spinell MgAl₂O₄, Hercynit FeAl₂O₄, Gahnit ZnAl₂O₄,

Chromitreihe: Chromit FeCr₂O₄, Magnesiochromit MgCr₂O₄,

Magnetitreihe: Magnetit Fe^{II}Fe^{III}O₄, Magnesioferrit MgFe^{III}O₄, Jacobsit MnFe^{III}O₄;

bei hohen Temperaturen weitgehende Mischbarkeit, daher sind reine Endglieder mit Ausnahme von Magnetit und Spinell im engeren Sinn nicht aus der Natur bekannt; Entmischung bei Temperaturerniedrigung; z.B. führt Magnetit oft Entmischungslamellen von Hercynit oder Ulvöspinell [Fe^{II}Fe^{II}TiO₄], wobei die letzteren nur im Auflicht sichtbar sind; bei der Oxidation von Magnetit-Ulvöspinell-Mischkristallen entstehen Ilmenitlamellen im Magnetit, die jedoch keine Entmischungslamellen sind, weil es zwischen Magnetit und Ilmenit keine Mischbarkeit gibt;

Kristallsystem: kubisch, Kristallklasse m $\bar{3}$ m

Brechungsindex: 1.72 – 1.74 (Spinell), 1.78 – 1.80 (Hercynit), 2.05 – 2.16 Chromit, 2.42 (Magnetit)

Farbe: farblos, zartrosa, blaßbläulich, grünlichgrau (Spinell); dunkelgrün, intensiv smaragdgrün (Hercynit); tiefbraun bis opak (Chromit); eisenschwarz bis dunkelbraun (Magnetit)

Spaltbarkeit: keine [Ausnahme: Spinell aus Forsteritmarmoren zeigt deutliche Spaltbarkeit nach {100}]

Ausbildung: oft idiomorph-oktaedrisch (vier- und dreiseitige Querschnitte) oder xenomorph rundlich bis eckig; Entmischung von einem Spinell aus einem anderen ist sichtbar in Form von Lamellen oder Körnchen.

Unterscheidung: Verwechslungsmöglichkeit mit Granat; Unterscheidung durch dreieckige Querschnitte (Spinell) und ggf. optische Anomalien (Granat)

Vorkommen: häufige Akzessorien in Magmatiten, Metamorphiten und Sedimenten;

Magnetit ist der häufigste (inverse) Spinell und in vielen Gesteinen der Hauptträger von dreiwertigem Fe; er kristallisiert meist früh aus Magmatiten (nicht aber aus tholeiitischen Basaltmagmen, in denen sehr wenig Fe^{III} vorhanden ist); Chromit ist Frühkristallisationsprodukt basischer Magmen; Picotit (Spinell-Chromit-Mischkristall) in ultramafischen Gesteinen; Spinell im engeren Sinn kann in Kontaktmetamorphiten und in Granuliten vorkommen.



blaßgrüne Mg-Al-Spinelle neben einem Olivin (hell, am unteren Bildrand) und Calcit (z.T. mit typischer Rhomboederspaltbarkeit in einem Marmor aus dem Baikalsee-Gebiet; Hellfeld; Bildausschnitt ca. 2.6 mm quer

IV. OPTISCH EINACHSIGE MINERALE

Apatit $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH},\text{F},\text{Cl})$

Zusammensetzung: OH, F und Cl können als Extremwerte jeweils 1 annehmen; leichte Seltene Erden (La, Ce, Nd) werden bis in den unteren Prozentbereich eingebaut;

Kristallsystem: hexagonal, Kristallklasse 6/m

Brechungsindex: $n_c 1.624 - 1.666$, $n_o 1.629 - 1.667 \Rightarrow$ einachsig \ominus mit $\Delta = 0.001 - 0.007$

Hauptzone: (-)

Farbe: farblos; gelegentlich durch orientierte Einschlüsse schwach pleochroitische Farbtöne (bräunlich bis blaugrau)

Spaltbarkeit: schlecht nach $\{001\}$ und $\{100\}$

Verzwilligung: selten nach $\{111\}$ oder $\{103\}$

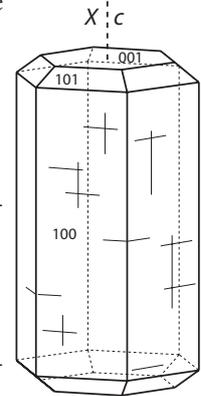
Ausbildung: kurzsäulig bis schmal langsäulig; in Basisschnitten sechseckiger Umriss; in Metamorphiten auch xenomorph

Unterscheidung: charakteristische niedrige Doppelbrechung bei hohem Relief; keine Spaltbarkeit; verwechselbar mit Nephelin, der ebenfalls optisch einachsig \ominus , aber niedriger lichtbrechend ist; Melilith hat meist anomale Interferenzfarben; Sillimanit ist zweiachsig, höher doppelbrechend und gut spaltbar;

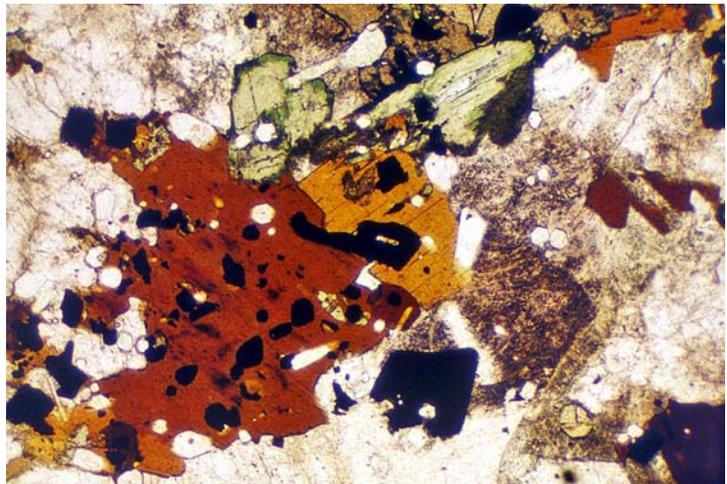
Besonderheiten: als Einschluß in Biotit oder Hornblende kann Apatit bei hohem U- oder Th-Gehalt pleochroitische Höfe in diesen Mineralen erzeugen

Vorkommen: Apatit ist das einzige gesteinsbildende P-Mineral und kommt als Frühausscheidung in fast allen Magmatiten akzessorisch vor, wobei seine Häufigkeit durch den Gesamtphosphorgehalt des Gesteins kontrolliert wird; in Sedimenten als abgerollte Körner; in Metamorphiten über einen weiten P,T-Bereich stabil;

Paragenese: Durchläufer



idiomorphe Apatite in Sodalithsyenit aus Indien; die Apatite konzentrieren sich in Biotit und Klinopyroxen (farblose sechseckige und rundliche Kristalle sowie ein stengeliger Kristall unten rechts); Bildausschnitt ca. 2.6 mm quer.



Beryll $\text{Be}_3\text{Al}_2[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$

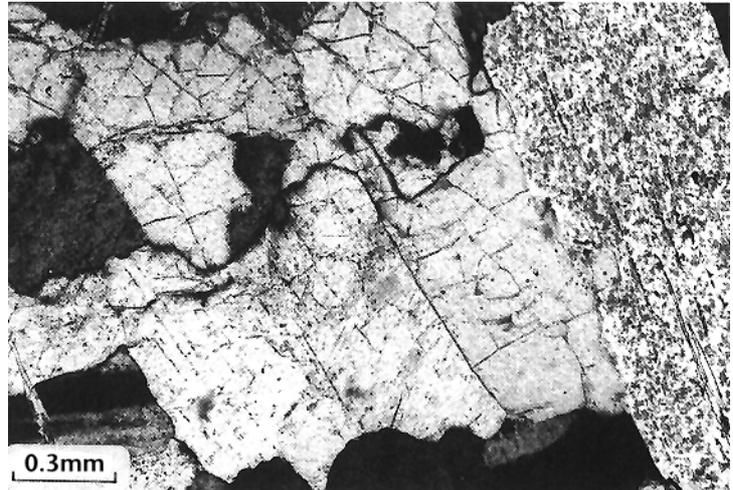
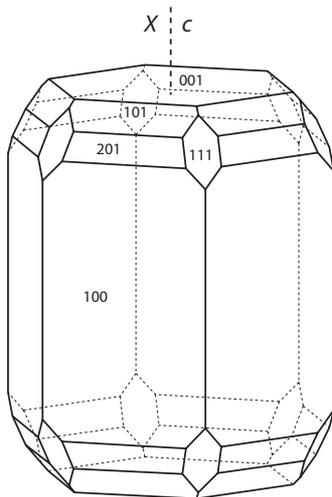
Zusammensetzung: große Hohlräume in der Ringstruktur erlauben den Einbau von großen Alkaliionen;

Kristallsystem: hexagonal, Kristallklasse 6/mmm

Brechungsindex: $n_c 1.565 - 1.599$, $n_o 1.569 - 1.610 \Rightarrow$ einachsig \ominus mit $\Delta = 0.004 - 0.009$

- Hauptzone:** (-)
Achsenwinkel: des öfteren anomal zweiachsig \ominus mit $2V_\alpha \leq 6^\circ$
Auslöschung: meist gerade
Farbe: farblos; gelegentlich schwach pleochroitisch (Smaragd: n_γ blaßblau, n_α blaßgrün)
Spaltbarkeit: schlecht nach {001}, meist nicht sichtbar
Verzwilligung: keine
Ausbildung: lange hexagonale Prismen nach [001]; öfter jedoch xenomorph; vielfach einschlußreich
Unterscheidung: kann lediglich mit Apatit und Quarz verwechselt werden; der erstere hat höhere Lichtbrechung; Quarz ist einachsig \oplus ;
Besonderheiten: geringe Mengen an Cr sind für die Grünfärbung der Varietät *Smaragd* verantwortlich;
Umwandlungen: selten; von Rissen ausgehend in Kaolinit oder in Muskovit
Vorkommen: in Pegmatiten oder Hohlräumen in Graniten und Syeniten; in Marmoren und selten in regional-metamorphen Glimmerschiefern (Smaragd)

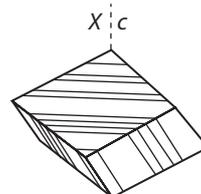
Paragenese: Quarz, Turmalin, Topas, Lithiumglimmer, Zinnstein



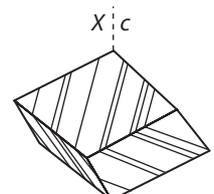
Tektonisch beanspruchter Beryll mit kataklastisch bedingter Mosaikstruktur

trigonale Karbonate (Ca,Mg,Fe,Mn)CO₃

- Zusammensetzung:** Substitutionen möglich, besonders bei höheren Temperaturen;
 Calcit, Aragonit CaCO₃; Dolomit CaMg(CO₃); Magnesit MgCO₃; Siderit FeCO₃
Kristallsystem: Calcit: trigonal, Kristallklasse $\bar{3}m$
 Aragonit: orthorhombisch, Kristallklasse mmm (weitere Daten siehe Seite 63)
 Dolomit: trigonal, Kristallklasse $\bar{3}$
 Magnesit: trigonal, Kristallklasse $\bar{3}m$
 Siderit: trigonal, Kristallklasse $\bar{3}m$



Calcit
 Spaltrhomboeder (101) mit
 Zwillingsene nach (012)



Dolomit
 Spaltrhomboeder (101) mit
 Zwillingsene nach (021)

Calcit CaCO_3

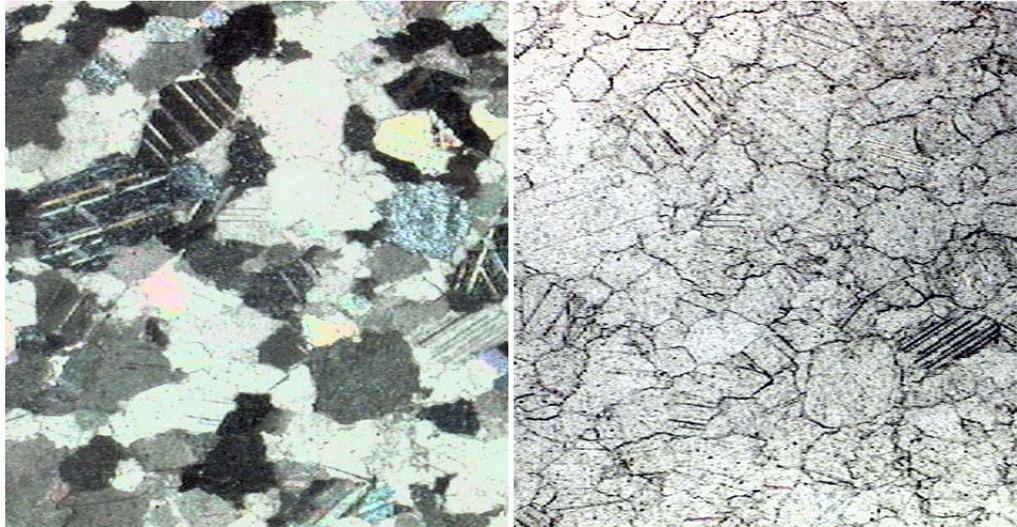
Brechungsindex: n_c 1.486, n_o 1.658 \Rightarrow einachsig \ominus mit $\Delta = 0.172$

Achsenwinkel: in Metamorphiten durch Druckverzwillingung meist anomal zweiachsig mit $2V_\alpha = 4 - 14^\circ$

Auslöschung: symmetrisch zur Spur der Spaltrisse

Farbe: farblos; häufig trüb

Calcit in einem Marmor aus Carrara, rechts im Hellfeld, links unter gekreuzten Polarisatoren; zahlreiche Kristalle zeigen ein oder zwei Zwillingssysteme; Bildausschnitt jeweils ca. 1.5 mm quer.

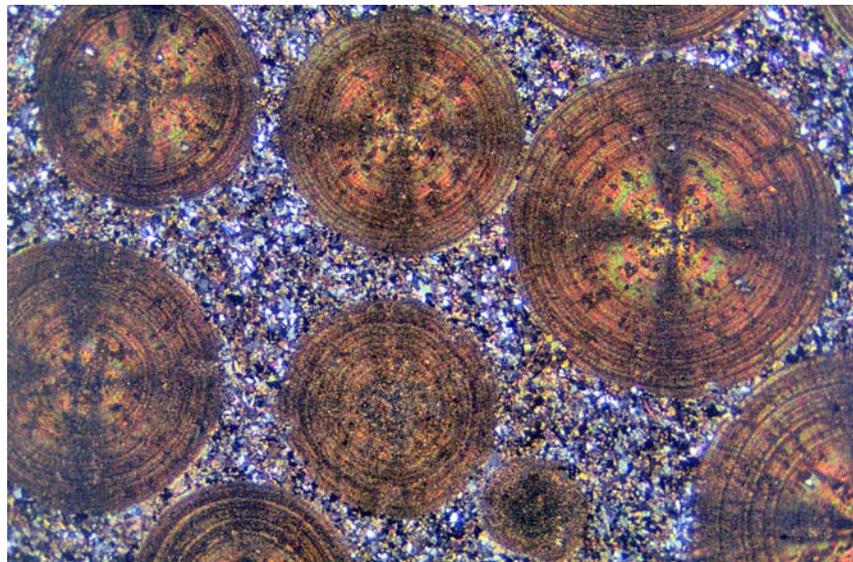


Spaltbarkeit: vollkommen nach dem Rhomboeder $\{101\}$ (Spaltwinkel 75°)

Verzwilligung: häufig Gleitzwillinge (polysynthetische Translationslamellen) nach $\{012\}$; siehe obige Abbildung

Ausbildung: meist xenomorph, auch strahlig-sphärolitisch, faserig, oolithisch; häufig verzahnte körnige Aggregate oder als Polygon-Pflaster (in Marmoren)

Kalkoolith aus dem norddeutschen Buntsandstein; gekreuzte Polarisatoren; die Ooide bestehen aus faserigem Calcit, wobei sich die einzelnen Fasern vom Mittelpunkt bis zum Rand des Ooids erstrecken; die Matrix besteht aus Calcit und Quarz; Bildausschnitt ca. 8.0 mm quer



Unterscheidung: extrem hohe Doppelbrechung unterscheidet die Karbonate von den meisten anderen Mineralen; Titanit hat ebenfalls hohe Doppelbrechung, ist jedoch zweiachsig, erscheint gelblich bis bräunlich im Dünnschliff und hat viel höhere Lichtbrechung; Dolomit ist im Gesteinsverband immer idiomorph; ansonsten sind die Karbonate untereinander ohne Universaldrehtisch nicht unterscheidbar;

Besonderheiten: infolge des großen Unterschiedes in den beiden Lichtbrechwerten ist ein starker Wechsel des Chagrins zu beobachten, der Pleochroismus ähnelt (n_c farblos, n_o hohes Relief) und für alle rhomboed-

rischen Karbonate gilt; optisch zweiachsige Kristalle löschen meist unvollständig aus und zeigen fleckig-blaue Interferenzfarben;

Vorkommen: in sedimentären Kalksteinen, metamorphen Marmoren, hydrothermalen Gängen, magmatischen Karbonatiten sowie als Verwitterungsprodukt mafischer Magmatite

Dolomit CaMg(CO₃)₂

Brechungsindex: n_e 1.500 (rein) – 1.520 (Fe-haltig), n_o 1.679 (rein) – 1.703 (Fe-haltig) \Rightarrow einachsig \ominus mit $\Delta = 0.179 - 0.185$

Auslöschung: symmetrisch zur Spur der Spaltrisse

Farbe: farblos bis grau; häufig trüb

Spaltbarkeit: vollkommen nach dem Rhomboeder {101} (Spaltwinkel $73\frac{3}{4}^\circ$)

Verzwillingung: weniger häufig als beim Calcit; oft nach {001}, {100}, {110} sowie Gleitzwillinge nach {021}

Ausbildung: im Gesteinsverband rhomboedrisch-idiomorph gegenüber Calcit; detritische Körner; in Marmoren xenomorph bis hypidiomorph;

Unterscheidung: siehe bei Calcit

Besonderheiten: Fe, Mn und Ca können Mg ersetzen; Varietäten mit mehr als 20% der Fe-Komponente werden *Ankerit* genannt;

Vorkommen: Hauptkomponente dolomitischer Sedimente; in metamorphen Marmoren bei niedrigen bis mittleren Metamorphosegraden als „zuckerkörniger“ Dolomitmarmor; porphyroblastisch in Talk- und Chloritschiefern; in Karbonatiten; als magmatisches Gangmineral

Magnesit MgCO₃

Brechungsindex: n_e 1.509 (rein) – 1.563 (Fe-haltig), n_o 1.700 (rein) – 1.782 (Fe-haltig) \Rightarrow einachsig \ominus mit $\Delta = 0.190 - 0.218$

Auslöschung: symmetrisch zur Spur der Spaltrisse

Farbe: farblos bis weiß oder trüb

Spaltbarkeit: vollkommen nach dem Rhomboeder {101}

Verzwillingung: selten lamellare Druckzwillinge nach {012}

Ausbildung: hypidiomorph bis xenomorph; auch körnig, faserig, dicht (porzellanartig); gelförmig

Unterscheidung: siehe bei Calcit

Vorkommen: hydrothermales Verwitterungsprodukt von Mg-reichen Magmatiten und Metamorphiten wie Peridotite

Siderit FeCO₃

Brechungsindex: n_e 1.575 (unrein) – 1.635 (rein), n_o 1.782 (unrein) – 1.875 (rein) \Rightarrow einachsig \ominus mit $\Delta = (0.207) - 0.242$

Auslöschung: symmetrisch zur Spur der Spaltrisse

Farbe: farblos bis blaß gelbbraun

Spaltbarkeit: vollkommen nach dem Rhomboeder {101}

Verzwillingung: selten lamellare Druckzwillinge nach {012}

Ausbildung: meist hypidiomorph bis xenomorph-körnig oder oolithisch

Unterscheidung: siehe bei Calcit

Vorkommen: sedimentär (in Toneisensteinen oder oolithischen Eisensteinen); als Gangart von Erzgängen sowie hydrothermal bis metasomatisch als Verdrängung von Kalken und Dolomiten

Korund Al_2O_3

Zusammensetzung: fast rein

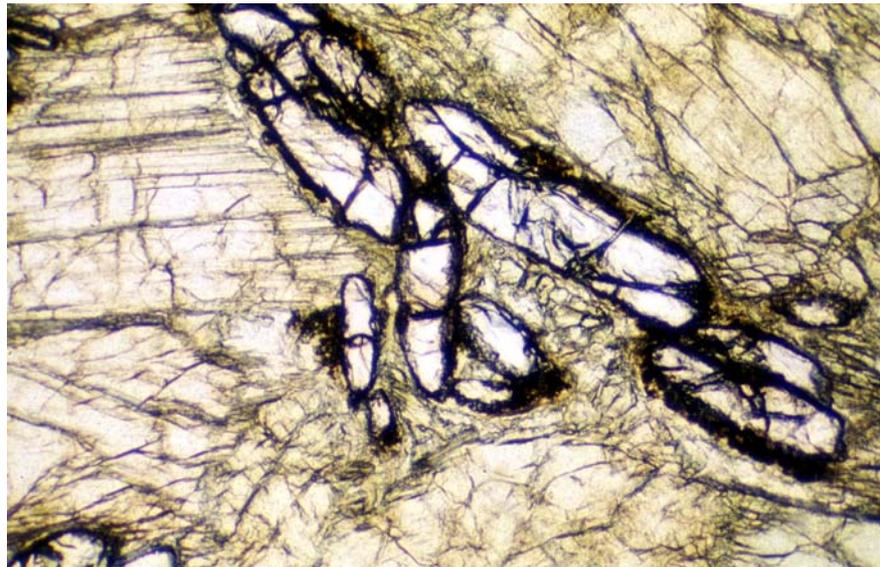
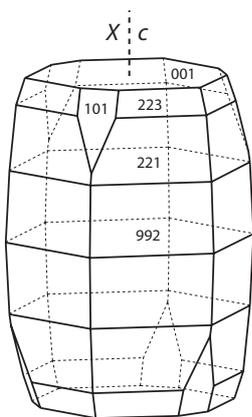
Kristallsystem: trigonal, Kristallklasse $\bar{3}m$

Brechungsindex: n_c 1.760 – 1.764, n_o 1.768 – 1.772 \Rightarrow einachsig \ominus mit $\Delta = 0.008 - 0.009$

Hauptzone: (-), hin und wieder auch (+)

Achsenwinkel: gelegentlich anomal zweiachsig \ominus mit $2V_\alpha \approx 5 - 7^\circ$

Farbe: farblos; gelegentlich charakteristische fleckige, streifige oder zonare rötliche oder bläuliche Farbverteilung mit Pleochroismus;



große Kristalle von Korund (hohes Relief) in einem Pargasitfels; Bildausschnitt 3.0 mm quer; der Schliff ist zu dick; daher erscheint der Korund deutlich rosa gefärbt

Spaltbarkeit: keine (teilbar nach {001} und {101})

Verzwilligung: häufig lamellar nach {101}; selten einfache Verzwilligung nach {001} und {101}

Ausbildung: meist in Form idiomorpher sechsseitiger Prismen oder Tafeln; wegen seiner großen Härte kann seine Dicke größer sein als der übrige Dünnschliff, was unerwartet hohe Interferenzfarben bewirkt;

Unterscheidung: hohes Relief; niedrige (bis mäßige) Interferenzfarben; Apatit ist niedriger lichtbrechend; Turmalin ist höher doppelbrechend und pleochroitisch; Chrysoberyll ist zweiachsig \oplus ;

Besonderheiten: geringe Mengen an Cr färben den Korund rot (Rubin), geringe Mengen an Fe und Ti blau (Saphir);

Umwandlungen: bei Verwitterung Umwandlung in ein feinschuppiges Gemenge von Hellglimmern

Vorkommen: bei extrem hochgradiger Kontaktmetamorphose pelitischer Gesteine; in einigen Syeniten und Nephelinsyeniten; in Xenolithen der Unterkruste; gelegentlich in mafischen Vulkaniten (wahrscheinlich als Fremdminerale)

Paragenese: Spinell, Cordierit, Sillimanit, Granat, Turmalin, Disthen, Rutil, Magnetit, Ilmenit, Quarz

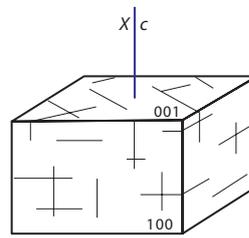
Melilithgruppe (Ca,Na)₂(Mg,Fe^{II},Al)[(Al,Si)₂O₇]

Zusammensetzung: Die Melilithgruppe umfasst die folgenden drei Endglieder, zwischen denen vollständige Mischbarkeit besteht:

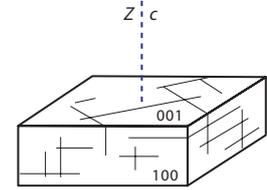
Åkermanit Ca₂Mg(Si₂O₇) – in der Natur nicht bekannt

Gehlenit Ca₂Al(AlSiO₇)

Na-Melilith CaNaAl(Si₂O₇)



Gehlenit



Åkermanit

Kristallsystem: tetragonal, Kristallklasse $\bar{4}2m$

Brechungsindex: Åkermanit: n_e 1.639, n_o 1.631 \Rightarrow einachsig \oplus mit $\Delta = 0.008$

Gehlenit: n_e 1.658, n_o 1.669 \Rightarrow einachsig \ominus mit $\Delta = 0.011$

Na-Melilith: n_e 1.616 – 1.661, n_o 1.624 – 1.666 \Rightarrow einachsig \oplus oder \ominus mit $\Delta = 0.001 – 0.013$

Hauptzone: entgegengesetzt dem optischen Charakter

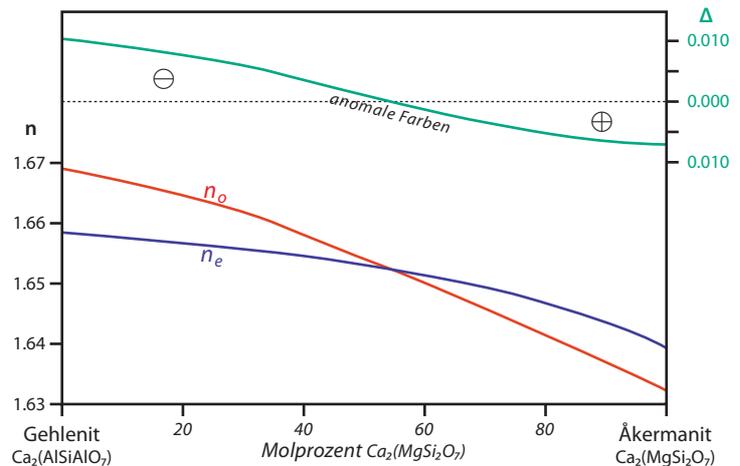
Farbe: farblos (Gehlenit auch blaß honiggelb bis bräunlich mit schwachem Pleochroismus)

Spaltbarkeit: mäßig nach {001}

Verzwilligung: Durchkreuzungszwillinge

Ausbildung: rechteckige Kristalle, z.T. abgeflacht \parallel (001), säulig, tafelig; auch xenomorph

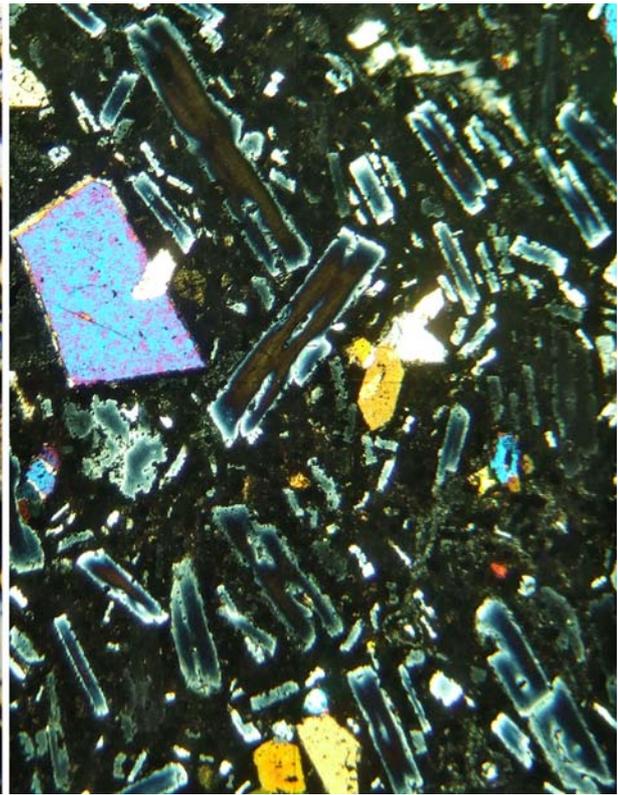
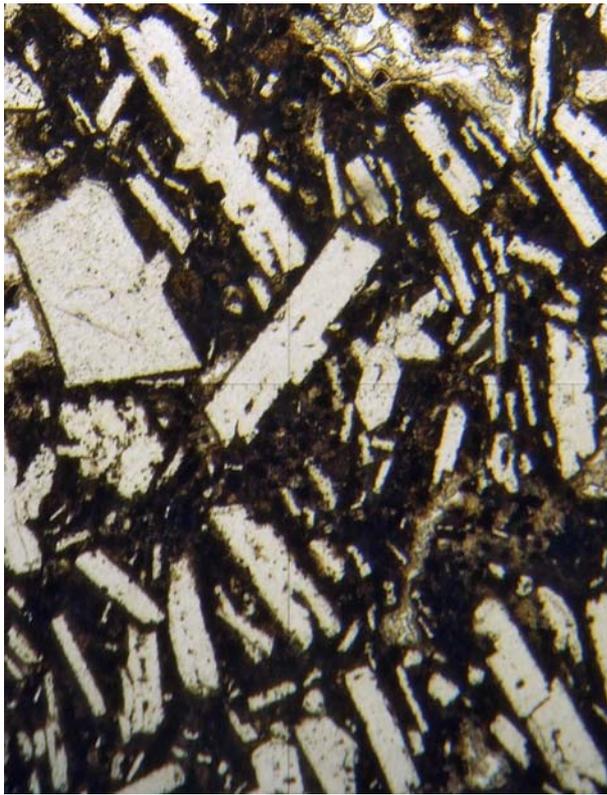
Unterscheidung: alle Melilithe haben niedrige Doppelbrechung; der Wechsel von einachsig \oplus nach einachsig \ominus vollzieht sich ungefähr in der Mitte der Zusammensetzung der Mischkristallreihe (siehe nebenstehende Skizze); mittlere Glieder sind daher fast isotrop und zeigen außerdem anomale blaue bis lederbraune Interferenzfarben; Glas ist isotrop; Nephelin hat erheblich niedrigere Lichtbrechung; Apatit hat hexagonale Querschnitte und zeigt keine anomalen Interferenzfarben; Vesuvian hat höhere Lichtbrechung; Zoisit ist zweiachsig \oplus ;



Besonderheiten: „Pflockstruktur“: \parallel c angeordnete Zeolithfasern durchsetzen die tafeligen Schnitte bis ca. zur Mitte; „Mittelnahrt“: Verunreinigungen und Glaseinschlüsse bilden eine dunkle Linie ungefähr in der Mitte; Alterationsprodukte sind häufig (schmutzigbraune faserige Massen, Karbonate – Melilith in den miozänen Vulkaniten des Uracher Gebietes auf der Schwäbischen Alb sind sehr oft alteriert);

Vorkommen: In sehr stark SiO₂-untersättigten Magmatiten (vor allem in Vulkaniten: Melilithite, Nephelinite; seltener in Plutoniten und Subvulkaniten; hin und wieder auch in Karbonatiten);

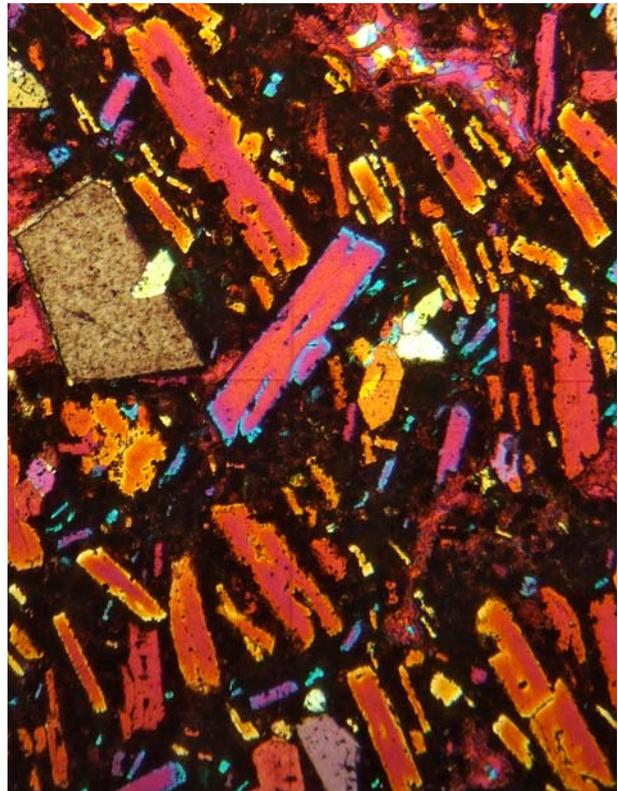
Paragenese: Nephelin, Leucit (in Vulkaniten), Perowskit, Olivin, Klinopyroxen, Melanit (in Plutoniten), Karbonate; *nie* neben Quarz!



frische Melilithe (leistenförmige Kristalle) neben einigen Olivinen (große farblose Körner) in Katungit (Olivin-melilithit) aus dem Südosten von Uganda (Katunga-Vulkan); oben links im Hellfeld, oben rechts unter gekreuzten Polarisatoren, unten rechts unter gekreuzten Polarisatoren plus Rot I; oben rechts sind die anomalen braunen und blauen Interferenzfarben gut zu erkennen; im Foto unten rechts befinden sich zwei größere Kristalle ungefähr in Diagonalstellung; der Kristall in der Mitte, der von Nord-Süd-Stellung im Uhrzeigersinn gedreht ausgerichtet ist, zeigt randlich blaue Additionsfarben; der Kristall darüber, der entgegen dem Uhrzeigersinn gedreht ausgerichtet ist, zeigt randlich gelbe Subtraktionsfarben; der Charakter der Hauptzone dieser Melilithe ist also positiv, so daß es sich um einachsig negative Kristalle (reicher als ca. 50% an Gehlenitkomponente) handelt;

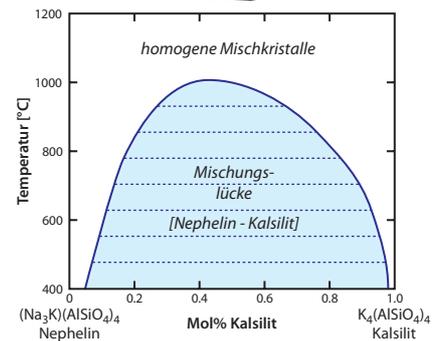
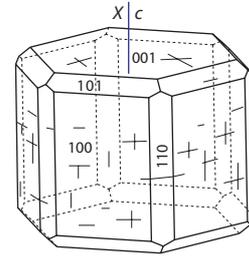
Bildausschnitt jeweils ≈ 1.9 mm quer;

Gestein zur Verfügung gestellt von K. Link, Universität Mainz



Nephelin $\text{Na}_3(\text{Na,K})(\text{AlSiO}_4)_4$

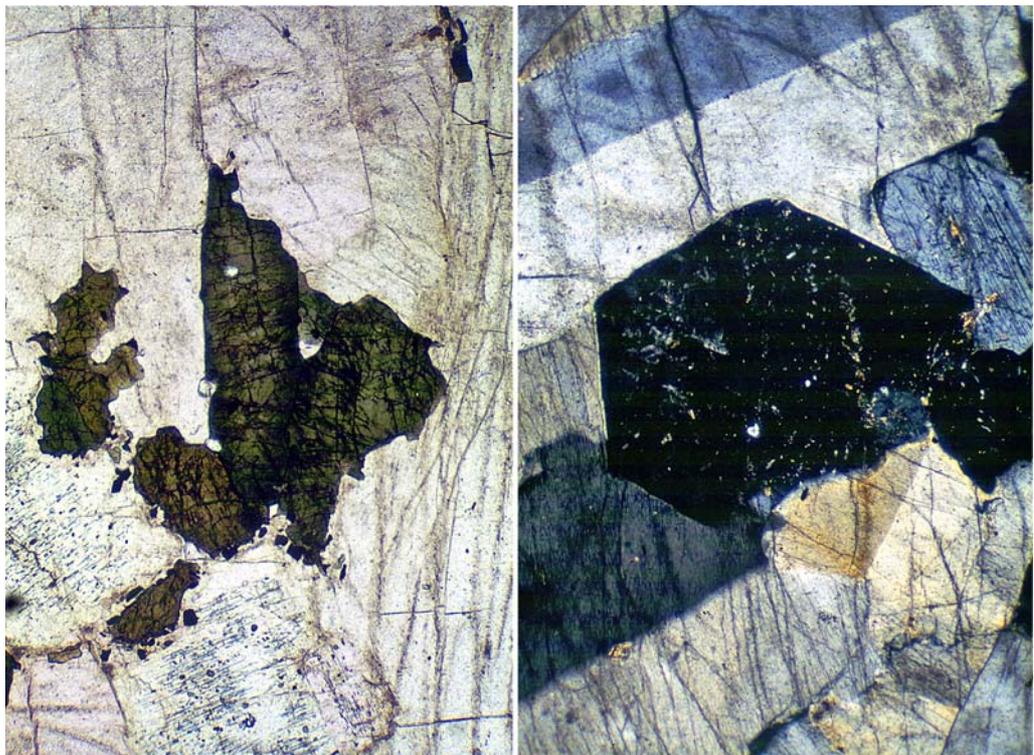
- Zusammensetzung:** die meisten Nepheline enthalten ungefähr 1 K pro 3 Na; je höher die Temperatur, desto mehr Kalsilitkomponente (KAlSiO_4) kann aufgenommen werden (siehe folgendes T-X-Diagramm);
- Kristallsystem:** hexagonal, Kristallklasse 6
- Brechungsindex:** n_e 1.529 – 1.542, n_o 1.532 – 1.547 \Rightarrow einachsig \ominus mit $\Delta = 0.003 - 0.005$ (kein Relief gegenüber Kanadabalsam)
- Hauptzone:** (–)
- Farbe:** farblos; in Plutoniten milchig-trüb durch Entmischung der Kalsilitkomponente
- Spaltbarkeit:** keine hervorstechende; im Prinzip nach {100} bzw. {001}, die meist nicht sichtbar ist
- Verzwilligung:** selten nach {100}
- Ausbildung:** xenomorph in basischen und intermediären Si-untersättigten Magmatiten (Spätausscheidung); aber auch idiomorph kurzsäulig mit hexagonalem nach {001} oder rechteckigem Querschnitt \parallel [001]



links: Nephelin mit vielen kleinen Einschlüssen von Ägirinaugit (unten und links unten im Bild) in Alkalisyenit neben Alkalifeldspäten (farblos) und Ägirinaugit (dunkelgrün); Hellfeld;

rechts: idiomorpher Nephelin neben Alkalifeldspäten aus demselben Gestein; gekreuzte Polarisatoren;

Bildausschnitt in beiden Fällen ca. 3.3 mm hoch.

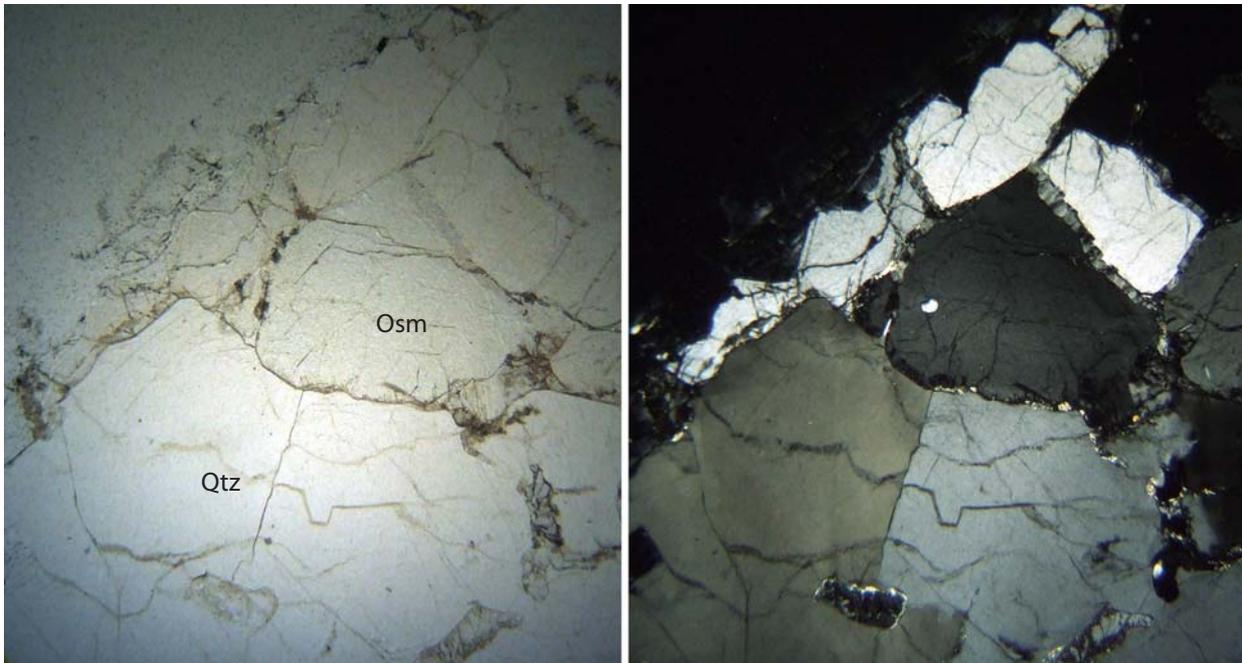


- Unterscheidung:** niedrige Lichtbrechung, niedrige Doppelbrechung; Quarz und Tridymit sind optisch \oplus und immer frisch; in Zwickelfüllungen schwer nachweisbar, falls nur geringe Mengen vorliegen;
- Besonderheiten:** zuweilen anomale Felderteilung; oft deutlich anomal zweiachsig \ominus mit $2V_\alpha$ bis $>6^\circ$; leicht hydrothermal umzuwandeln in Zeolithe, Analcim, Sodalith;

- Vorkommen:** wichtigster Feldspatvertreter; häufiges Mineral in Si-untersättigten Magmatiten; Hauptkomponente in Nephelinsyeniten; in geringerer Menge in Essexit (Nephelingabbro) und dem vulkanischen Äquivalent Basanit und verwandten Vulkaniten;
- Paragenese:** häufige Begleiter sind andere Foide (Sodalithgruppe, Leucit) sowie Ägirin, Melanit, Olivin, Titanaugit; *nie* zusammen mit Quarz!

Osumilith $(K,Na)(Mg,Fe)_2(Al,Fe,Mg)_3[(Si,Al)_{12}O_{30}]$

- Zusammensetzung:** in der Regel K-reich; weite Variation im Mg/Fe-Verhältnis;
- Kristallsystem:** hexagonal, Kristallklasse 6/mmm; Kristallstruktur aus doppelten Sechseringen von $(Si,Al)_6O_{18}$; diese doppelten Ringe entstehen, indem zwei Sechseringe „übereinander gestapelt“ werden, so daß jedes Tetraeder des einen Ringes über ein Sauerstoffanion mit einem Tetraeder des zweiten Ringes verknüpft ist;
- Brechungsindex:** $n_c 1.545 - 1.551, n_o 1.539 - 1.547 \Rightarrow$ einachsig \oplus mit $\Delta \approx 0.005$
- Hauptzone:** (-)
- Auslöschung:** meist gerade
- Farbe:** farblos, hellblau, zartrosa, schwach gelb;
- Spaltbarkeit:** schwach ausgebildete Basisspaltbarkeit;
- Verzwilligung:** öfters einfache Zwillinge auf $\{101\}$, seltener polysynthetische Zwillinge;
- Ausbildung:** tafelig
- Unterscheidung:** ähnelt Quarz, der jedoch meist frischer und klarer aussieht und keine Spaltbarkeit zeigt; Cordierit ist häufig verzwillingt und hat hohen Achsenwinkel; ansonsten schwer von Cordierit zu unterscheiden;



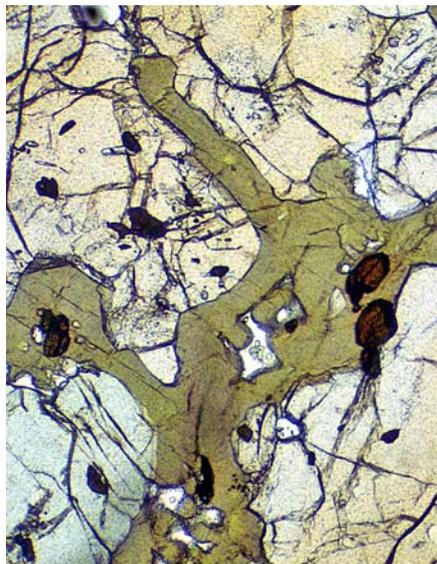
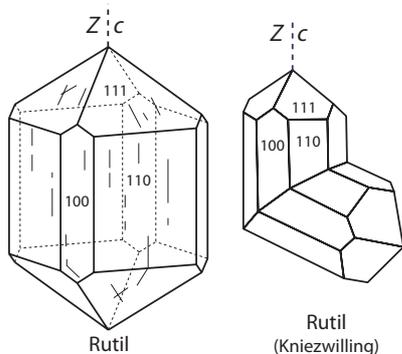
Osumilith neben Quarz in einem Granulit der Lützow-Holm-Bucht in der Ostantarktis; links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 3.2 mm quer

- Besonderheiten:** kann anomal zweiachsig sein (bis $>30^\circ!$); gefärbte Varietäten sind schwach pleochroitisch;
- Umwandlungen:** bei retrograder Metamorphose in Cordierit, Kalifeldspat, Quarz und Orthopyroxen;

- Vorkommen:** ursprünglich nur aus Hohlräumen in sauren bis intermediären Vulkaniten bekannt; hauptsächlich aber in aus pelitischen Sedimenten hervorgegangenen Hochtemperaturgranuliten auftretend, in denen Kalifeldspäte als K-Träger nicht mehr stabil sind; auch in Kontakt-aureolen um Anorthosite/Norite;
- Paragenese:** Cordierit, Sapphirin, Granat, Quarz, Orthopyroxen.

Rutil TiO₂

- Zusammensetzung:** meist rein; gelegentlich mit größeren Mengen an Fe, Nb, Ta
- Kristallsystem:** ditetragonal, Kristallklasse 4/mmm
- Brechungsindex:** n_e 2.899 – 2.901, n_o 2.605 – 2.613 \Rightarrow einachsig \oplus mit $\Delta = 0.286 - 0.296$
- Hauptzone:** (+)
- Farbe:** rötlich braun, bräunlich, gelblich
- Spaltbarkeit:** gut nach {110}, mittelmäßig nach {100}
- Verzwilligung:** häufig nach (101) und (301)
- Ausbildung:** säulig bis nadelig gestreckt, oft in Körnern
- Unterscheidung:** Als Folge der extremen Doppelbrechung sowie Eigenfarbe unter gekreuzten Polarisatoren Interferenzfarben kaum erkennbar (Rutile sind allerdings vielfach so winzig, daß ihre Dicke nur einen Bruchteil der Schliffdicke ausmacht); von Erzen durch die Durchsichtigkeit unterscheidbar (Kondensor-Frontlinse einklappen!); Titanit und Brookit sind optisch zweiachsig; Zirkon ist meist farblos und niedriger lichtbrechend;

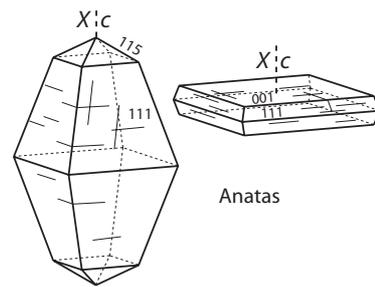


kleine Rutile (dunkelbraun) als Einschlüsse in Amphibol (olivgrün) und Granat (orange) aus Eklogit; das hellgrüne Korn unten links ist ein Omphacit (Ausschnitt ca. 1.5 mm quer); siehe auch Abbildung Seite 94!

- Besonderheiten:** Biotit kann durch Entmischung von dünnen Rutilnadeln in ein gitterartiges Netzwerk zerlegt werden („Sagenitgitter“);
- Vorkommen:** weit verbreitet in geringen Mengen in Metamorphiten (oft in Form dünner Nadeln); in Plutoniten als meist winzige Körner; detritisch in klastischen Sedimenten
- Paragenese:** Disthen, Cordierit, Korund, Spinell, Biotit, Quarz

Anmerkung: Erheblich seltener als Rutil sind die TiO_2 -Modifikationen Anatas (ditetragonal-dipyramidal, einachsig \ominus) und Brookit (orthorhombisch, zweiachsig \oplus); beide Minerale haben niedrigere Licht- und Doppelbrechung als Rutil;

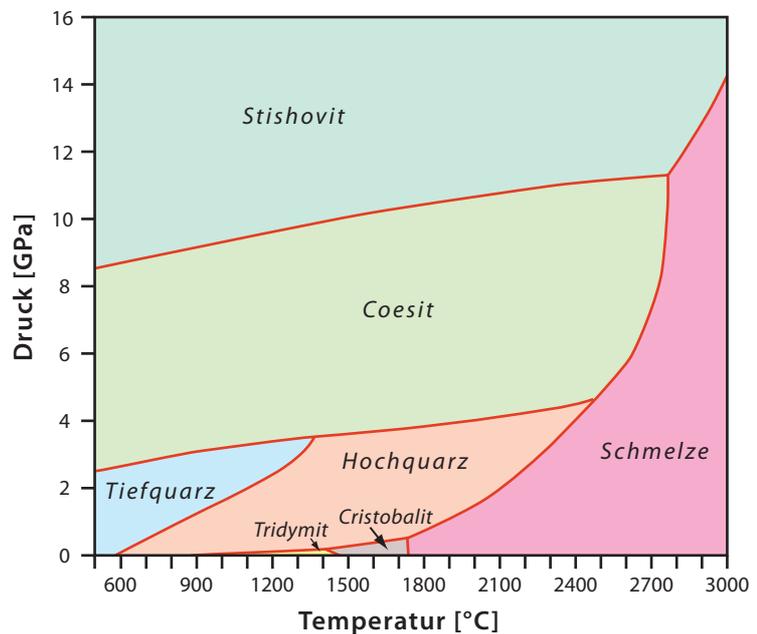
Anatas ist die Niedrigtemperaturmodifikation und entsteht z.B. bei der Diagenese sowie beim Abbau TiO_2 -haltiger Minerale während der Verwitterung; akzessorisch kann Anatas auch in einigen Magmatiten und Metamorphiten vorkommen; Brookit wird ebenfalls oft sekundär gebildet und kommt z.B. zusammen mit Chlorit und Titanit vor; außerdem ist Brookit detritisch in Sedimenten zu finden.



SiO₂-Minerale

Modifikationen: α -Quarz/ β -Quarz (Tiefquarz/Hochquarz)
 α -Tridymit/ β -Tridymit (Tieftridymit/Hochtridymit)
 α -Cristobalit/ β -Cristobalit (Tiefcristobalit/Hochcristobalit)
 Coesit
 Stishovit (Si in sechsfacher Koordination durch Sauerstoff!)

Anmerkung: Der Gebrauch von α und β ist in der Literatur nicht einheitlich und sollte zugunsten von „Tief-“ bzw. „Hoch-“ vermieden werden!



Zusammensetzung: Quarz zeigt fast keine Abweichung von der Idealformel; die Hochtemperaturformen von Tridymit und Cristobalit, die offenere Kristallstrukturen haben, können nennenswerte Mengen an Al und Alkalien enthalten;

Kristallsystem: Tiefquarz: trigonal, Kristallklasse 32; Hochquarz: hexagonal, Kristallklasse 622
 Tieftridymit: monoklin, Kristallklasse 2/m; Hochtridymit: hexagonal, Kristallklasse 6/mmm
 Tiefcristobalit: tetragonal, Kristallklasse 422; Hochcristobalit: kubisch, Kristallklasse m3m
 Coesit: monoklin, Kristallklasse 2/m (pseudo-hexagonal)

Stabilität: siehe Abbildung; ursprünglich bei > 573 °C ausgeschiedener Hochquarz liegt stets als Tiefquarz vor (Umwandlung spontan!);

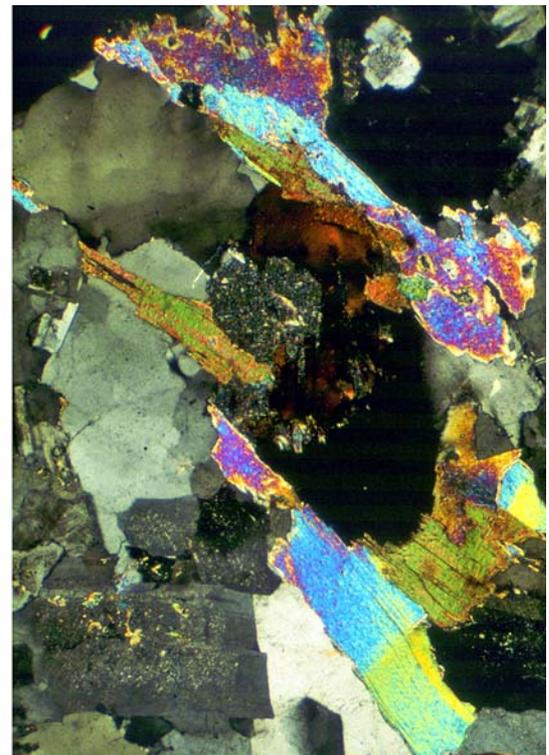
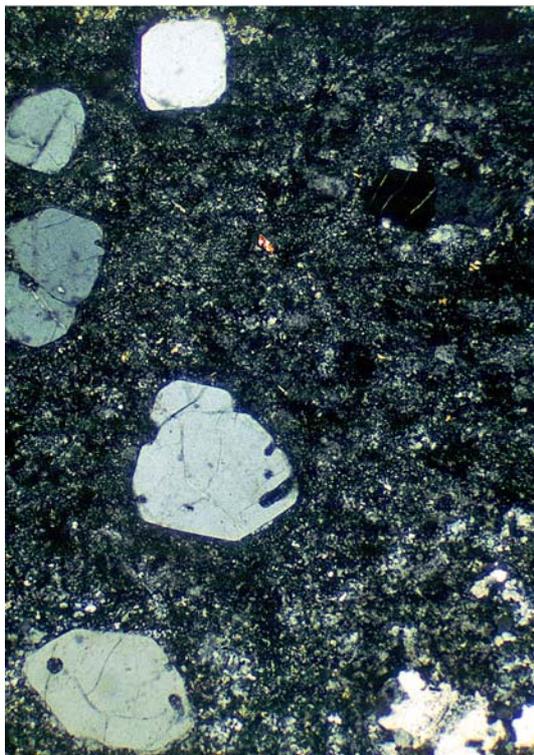
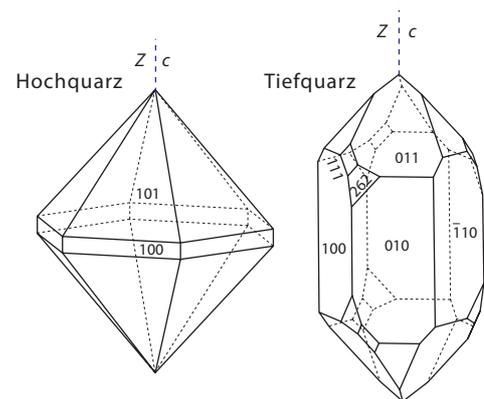
Quarz:

Brechungsindex: n_e 1.553, n_o 1.544 \Rightarrow einachsig \oplus mit $\Delta = 0.009$

Hauptzone: (+), jedoch nur in Schnitten \parallel zu den Prismenflächen bestimmbar [Chalcedon ist mikrokristalliner, faseriger Tiefquarz; er hat im Normalfall (-) Hauptzone; Ausnahme ist die Varietät Quarzin]

Farbe: farblos, stets frisch

- Spaltbarkeit:** keine
- Verzwilligung:** sehr häufig; unter dem Mikroskop allerdings nicht zu sehen
- Ausbildung:** überwiegend trigonaler Tiefquarz, meist körnig, hypidiomorph bis xenomorph;
in Vulkaniten kann die Morphologie von ursprünglichem Hochquarz nach der spontanen Umwandlung in Tiefquarz erhalten bleiben; dann ist er im Querschnitt oft sechseckig (typisch für Quarz in Rhyolithen) – siehe folgende Abbildung links; charakteristisch sind auch Korrosionsbuchten, „Löcher“ sowie andere Resorptionserscheinungen;



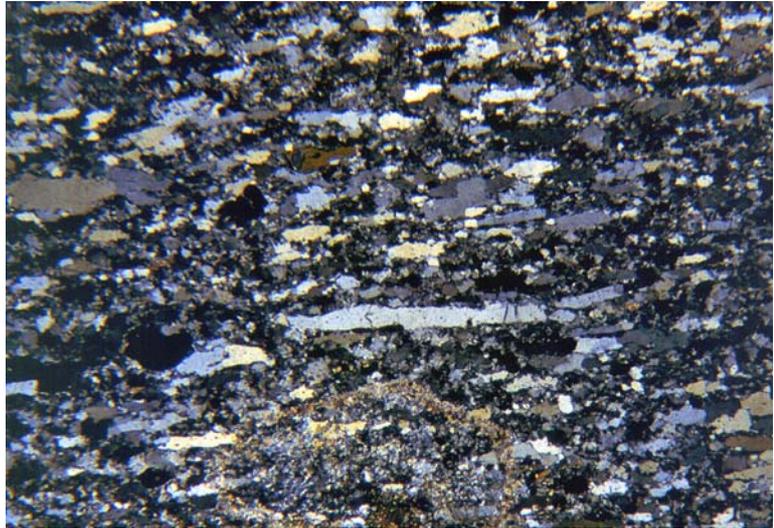
links: Einsprenglinge von Quarz mit Hochquarzmorphologie (z.B. unten links), z.T. buchtig resorbiert (z.B. Zentrum) aus einem Quarzporphyr; Bildausschnitt ca. 3.0 mm hoch;

rechts: Quarz mit undulöser Auslöschung neben Muskovit und Biotit in einem Granit aus dem Schwarzwald; Bildausschnitt ca. 3.1 mm hoch.

- Unterscheidung:** leicht am niedrigen Relief und dem völligen Fehlen von Verwitterungsprodukten zu erkennen sowie unter gekreuzten Polarisatoren den grauen bis gelblichen Interferenzfarben; keine Spaltbarkeit und keine Verzwilligungen; Nephelin und Skapolith sind einachsige \ominus ; Nephelin ist außerdem nie so frisch, und die meisten Skapolithe haben höhere Doppelbrechung; auch Cordierit und unverzwilligte Feldspäte sind in der Regel nicht so frisch wie Quarz;
- Besonderheiten:** viele Quarzkörner in Magmatiten, Metamorphiten und Sedimenten bestehen aus zahlreichen Domänen mit geringfügig verschiedenen Auslöschungspositionen, hervorgerufen durch eine Zerlegung eines Kornes in viele *Subkörner* durch Streßbeanspruchung (siehe obige Abbildung rechts); diese *undulöse Auslöschung* ist so charakteristisch, daß sie diagnostisch für Quarz ist; als Folge der Streßbeanspruchung kann Quarz optisch zweiachsig werden ($2V$ bis 10°); bei scherenden Differentialbewegungen Umwandlung in blastomylonitischen „Fließquarz“ (Mosaikquarz); bei noch größerer Verfor-

mung unter hohen Belastungsdrücken der tieferen Erdkruste (insbesondere in Granuliten) entstehen die ausgelängten Scheiben- und Diskenquarze (siehe Abbildung);

straff eingeregelt Diskenquarze in einem Granulit aus dem Sächsischen Granulitgebirge; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 1.5 mm quer.



Myrmekit ist eine Verwachsung von schnurförmigen Quarzen mit einem albitreichen Plagioklaseinkristall, meist an der Grenze zu Kalifeldspäten, wobei benachbarte Schnüre von Quarz dieselbe Gitterorientierung aufweisen; dabei scheint es sich um eine Verdrängungsreaktion des Kalifeldspats zu handeln; Myrmekitbildung ist häufig in (deformierten) Graniten und in Gneisen zu beobachten;

schriftgranitische oder *granophyrische* Gefüge werden durch orientierte (Schriftgranit) bzw. unregelmäßige (Granophyr) Verwachsungen von Quarz und Feldspäten nahe dem ternären Temperaturminimum im System Qtz – Kfs – Pl erzeugt;

Trübungen von Quarz werden durch Ansammlungen von Fluideinschlüssen hervorgerufen (z.B. im Milchquarz);

Vorkommen: außerordentlich häufiges Mineral in Gesteinen der kontinentalen Erdkruste: detritische Sedimente und sich daraus ableitende Metamorphite; in allen SiO₂-übersättigten Magmatiten; Chalcedon ist typische Kluft- und Hohlraumfüllung;

Paragenese: *nie* zusammen mit Foiden;

Tridymit

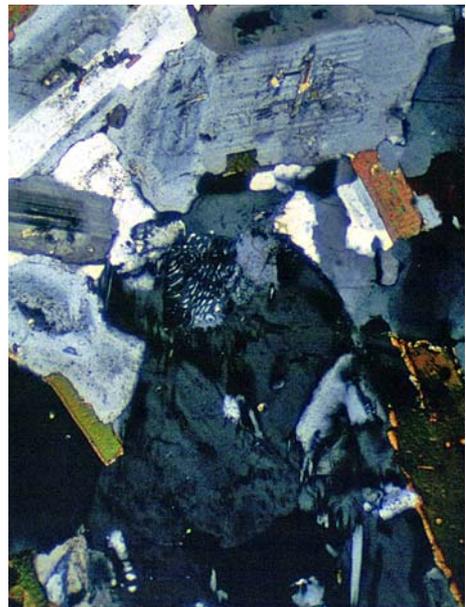
Brechungsindex: n_{α} 1.469 – 1.479, n_{β} 1.470 – 1.479, n_{γ} 1.473 – 1.483
 \Rightarrow zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.004$

Hauptzone: (-)

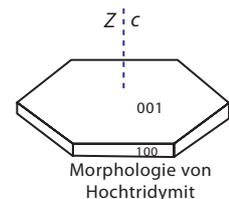
Achsenwinkel: $2V_{\gamma} = 40 - 90^{\circ}$

Farbe: farblos

Spaltbarkeit: schlechte prismatische Spaltbarkeit



Myrmekit (Zentrum) am Rand eines Alkalifeldspats in einem Zweiglimmergranit; Bildausschnitt ca. 1.75 mm quer



Verzwilligung:	häufig nach {110}
Ausbildung:	dünntafelig bis blättrig; in Hohlräumen meist als Aggregate sechseckiger Blättchen; auch xenomorph;
Unterscheidung:	sehr niedriges (negatives) Relief; Analcim und Leucit haben meist anomale Felderteilung; Sodalith ist isotrop; Zeolithe sind höher licht- und doppelbrechend; Nephelin ist höher lichtbrechend und ist einachsig \ominus ; Cristobalit ist ebenfalls einachsig \ominus ; Fluorit zeigt gute Spaltbarkeit
Vorkommen:	selten und leicht übersehbar; fast ausschließlich auf Klüften und in Poren saurer bis intermediärer Vulkanite
Paragenese:	Glas, Cristobalit

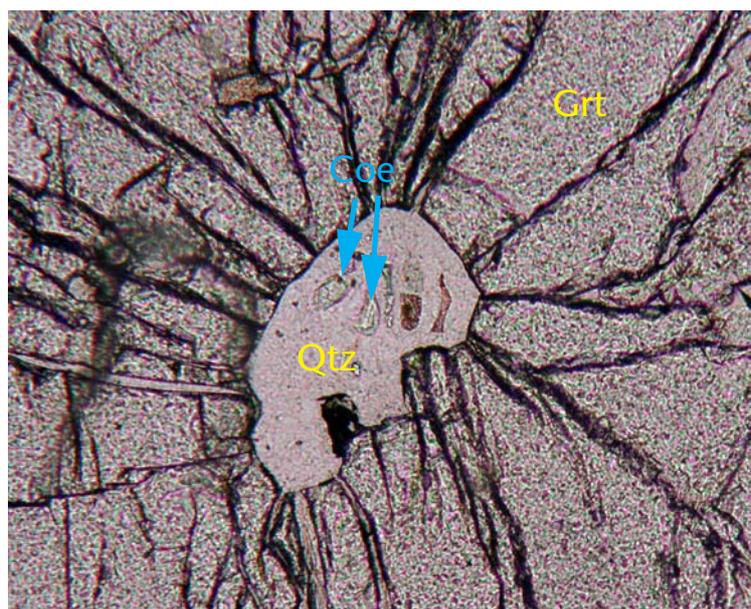
Cristobalit

Brechungsindex:	$n_e 1.484, n_o 1.487 \Rightarrow$ einachsig \ominus mit $\Delta = 0.003$
Farbe:	farblos
Spaltbarkeit:	keine
Verzwilligung:	nach {111}
Ausbildung:	tafelig bis würfelig; in Hohlräumen von Vulkaniten häufig in rundlichen Aggregaten; faserig oder nadelig als Bestandteil von Entglasungssphärolithen
Unterscheidung:	Tridymit ist zweiachsig \oplus ; Chalcedon hat höhere Lichtbrechung, Quarz ist einachsig \oplus und höher lichtbrechend
Vorkommen:	selten, fast ausschließlich auf Klüften und in Poren von sauren bis intermediären Vulkaniten sowie als Entglasungsprodukt; kontaktmetamorph in der Sanidinitfazies;
Paragenese:	Glas, Tridymit, Alkalifeldspäte

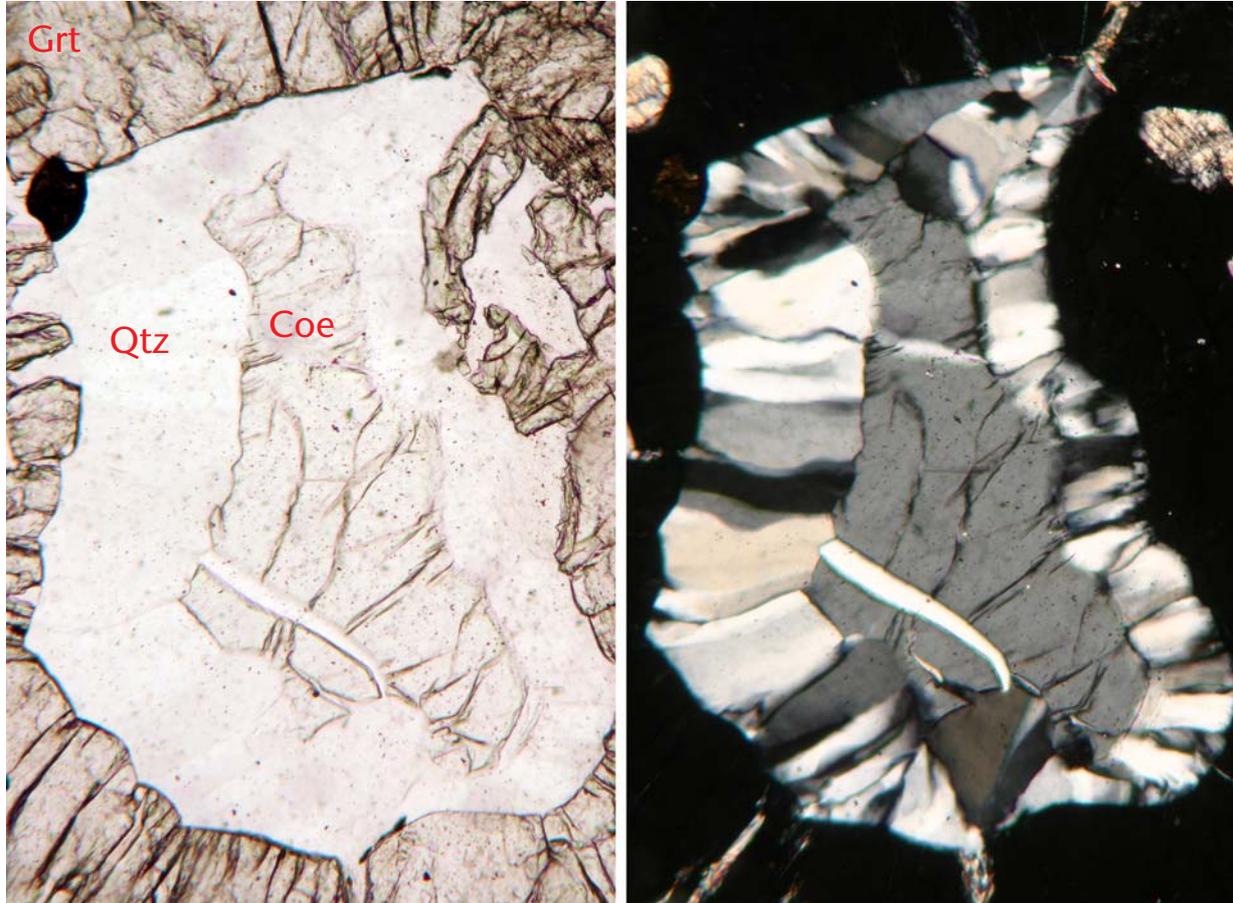
Coesit

Brechungsindex:	$n_\alpha 1.590 - 1.594, n_\gamma 1.597 - 1.604 \Rightarrow$ zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.009$
Farbe:	farblos
Unterscheidung:	hohes Relief bei niedriger Doppelbrechung; als Einschlüsse in Granat, Omphacit oder Zirkon meist nur reliktsch vorhanden und großenteils in Quarz umgewandelt, der in den Granaten Sprenggrisse erzeugt hat (Dichte von Coesit ist 2.92 gegenüber 2.65 von Quarz!)

Von Sprenggrissen umgebener Einschluss in Pyrop. Der Einschluss besteht aus Quarz mit Resten von Coesit. Pyropquarzit aus der Dora Maira nahe Martiniana Po (italienische Alpen); Querschnitt des Einschlusses ca. 0.4 mm in der größten Ausdehnung.



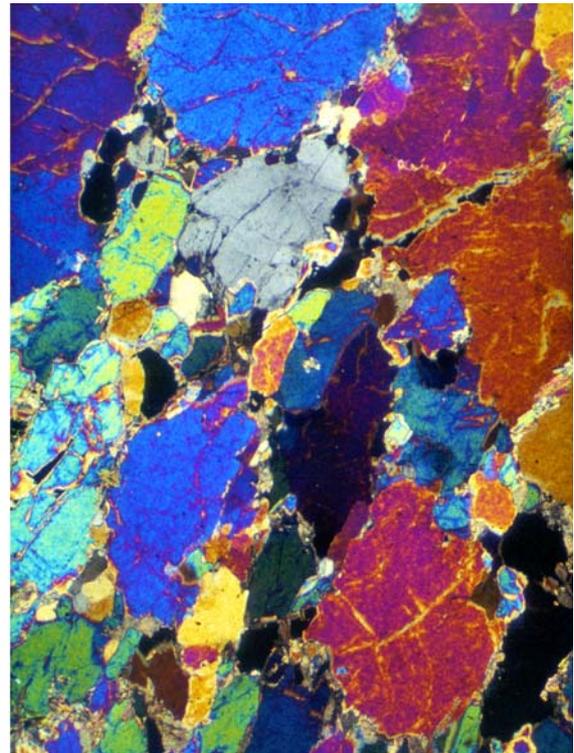
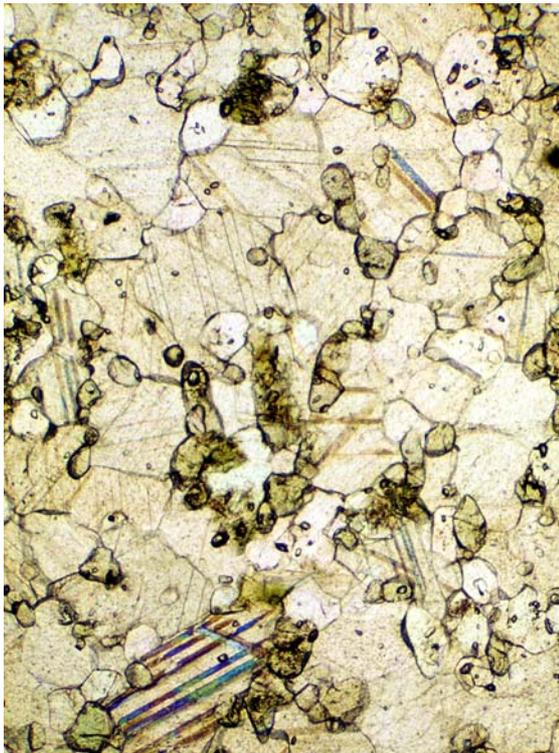
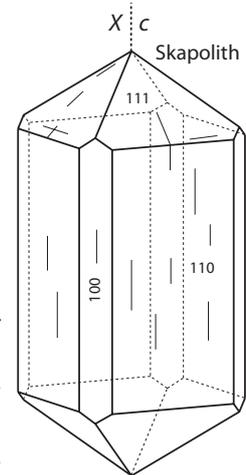
Vorkommen: sehr selten; als winzige Körner in SiO_2 -übersättigten Gesteinen, die Schockmetamorphose erlitten haben (nur röntgenographisch identifizierbar); als Einschlüsse in Granaten, in Omphacit und in Sanidin in Xenolithen aus Kimberliten und in einigen anderen Ultrahochdruckgesteinen (Eklogit, metasedimentäre Blauschiefer, „Weißschiefer“, z.B. in des Westalpen, in Norwegen, in Kasachstan, in China)



Einschluß von Coesit in Pyrop aus einem Pyropquarzit der Dora Maira nahe Martiniana Po (italienische Alpen), links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren. Der Coesit ist von Quarz umgeben („Palisadenquarz“), der ein deutlich niedrigeres Relief hat. Durch die teilweise Umwandlung von Coesit in Quarz infolge Druckentlastung sind wohl die zahlreichen Risse im Granat entstanden (vergleiche auch mit der vorigen Abbildung); Größe des Coesits ca. 0.8 mm in der größten Erstreckung.

Skapolith $(\text{Na,Ca,K})_4[\text{Al}_3(\text{Al,Si})_3\text{Si}_6\text{O}_{24}](\text{Cl,CO}_3,\text{SO}_4)$

- Endglieder:** Marialith $\text{Na}_4(\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24})\text{Cl}$, Mejonit $\text{Ca}_4(\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24})\text{CO}_3$
- Zusammensetzung:** man kann sich die Skapolithe zusammengesetzt denken aus 3 Formeleinheiten Feldspat und 1 Formeleinheit Chlorid, Sulfat, Karbonat oder Hydroxid von Na, Ca, K
- Kristallsystem:** tetragonal, Kristallklasse 4/m
- Brechungsindex:** Marialith n_e 1.531 – 1.541, n_o 1.539 – 1.550; Mejonit n_e 1.556 – 1.564, n_o 1.590 – 1.600 \Rightarrow einachsig \ominus mit $\Delta = 0.004 - 0.005$ [Marialith] bzw. $0.034 - 0.038$ [Mejonit]
- Hauptzone:** (–)
- Farbe:** farblos, häufig durch Einschlüsse getrübt: weiß, blaugrau
- Spaltbarkeit:** gut nach {100}, deutlich nach {110}
- Verzwillingung:** keine
- Ausbildung:** körnig, säulig bis stengelig
- Unterscheidung:** Quarz ist optisch \oplus ; meist höhere Doppelbrechung als Quarz oder Feldspat, denen die Skapolithe unter nicht gekreuzten Polarisatoren ähneln; Feldspäte sind meist verzwillingt und löschen schief aus; Cordierit, Andalusit und Wollastonit sind optisch zweiachsig;
- Besonderheiten:** gelegentlich reich an Einschlüssen von Quarz, Calcit, Feldspat (poikiloblastischer Skapolith)

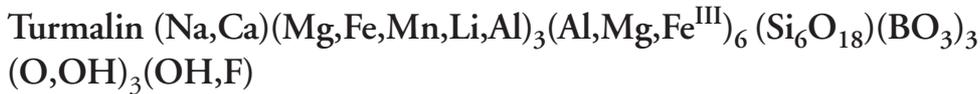


links: Skapolith (farblose rundliche Körner) neben Diopsid (rundliche Körner, hohes Relief, grünlich) und Calcit (große beige Körner mit typischer Spaltbarkeit) in einem Marmor aus Österreich; Hellfeld; Bildausschnitt ca. 2.5 mm hoch;

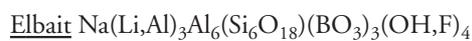
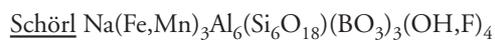
rechts: Skapolith (praktisch der gesamte Schliff) aus einem Skapolithfels unter gekreuzten Polarisatoren; die etwas unregelmäßige Farbverteilung ist recht typisch; Bildausschnitt ca. 3.3 mm hoch

Vorkommen: wird durch Umwandlung von Feldspäten (oder anstatt von Feldspäten) durch fluide Phasen in Metamorphiten gebildet; kommt in Marmoren und Amphiboliten sowie Granuliten vor und besonders häufig in Skarnen; bekannt aus kontaktmetamorphen Auswürflingen des Laacher See-Gebietes; selten in Graniten und Nephelinsyeniten;

Paragenese: Vesuvian, Diopsid, Granat, Calcit, Wollastonit; neben Pyroxenen, Amphibolen, Phlogopit; in den Laacher See-Auswürflingen neben Anorthit, Nephelin, Wollastonit

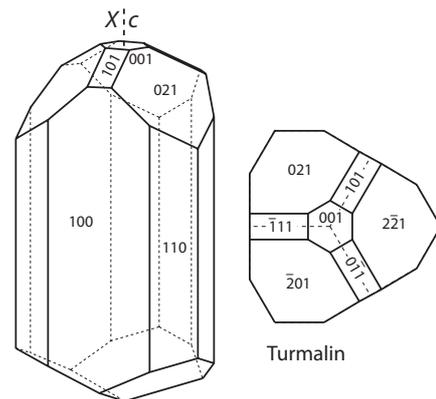


Zusammensetzung: Mischkristallreihe mit den wichtigsten Gliedern



Kristallsystem: trigonal, Kristallklasse 3m

Brechungsindex: Dravit: n_c 1.612 – 1.632, n_o 1.634 – 1.661
 \Rightarrow einachsig \ominus mit $\Delta = 0.021 - 0.029$;
 Schörl: n_c 1.635 – 1.650, n_o 1.660 – 1.671
 \Rightarrow einachsig \ominus mit $\Delta = 0.025 - 0.035$;
 Elbait: n_c 1.615 – 1.630, n_o 1.633 – 1.611
 \Rightarrow einachsig \ominus mit $\Delta = 0.017 - 0.021$



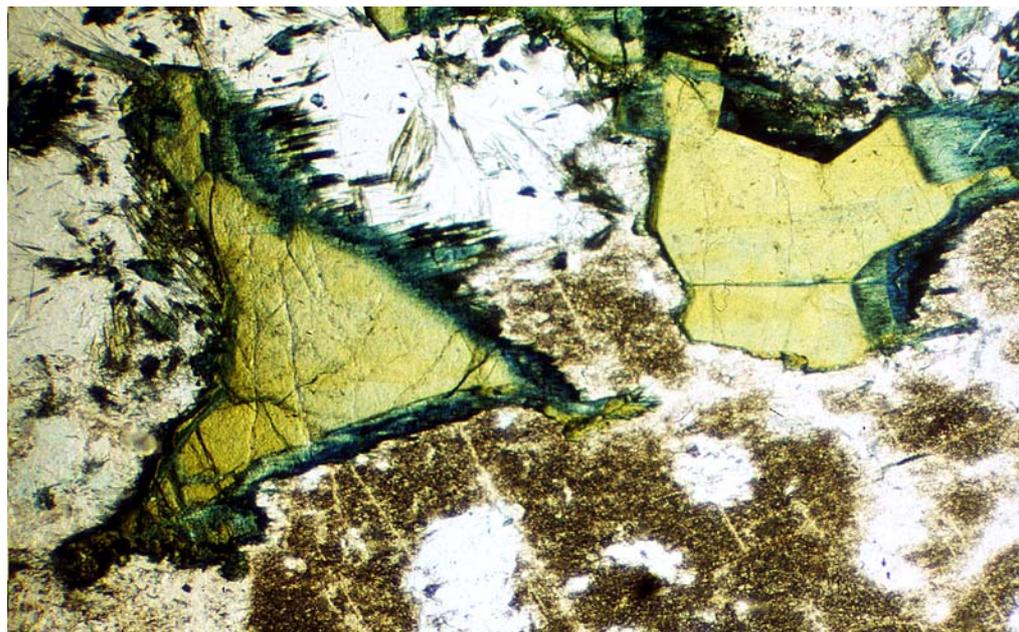
Hauptzone: (-)

Achsenwinkel: als Folge von Streßbeanspruchung gelegentlich anomal zweiachsig mit $2V_\alpha \approx 5^\circ$

Farbe: olivgrün (Schörl), blau (Schörl, Dravit), gelb (Dravit), fast farblos (Elbait);

Turmaline zeigen ausgeprägten Pleochroismus, wobei die Absorption für den ordentlichen Strahl stets stärker ist als für den außerordentlichen, d.h. kräftige Farben $\perp c$ und schwache Farben $\parallel c$;

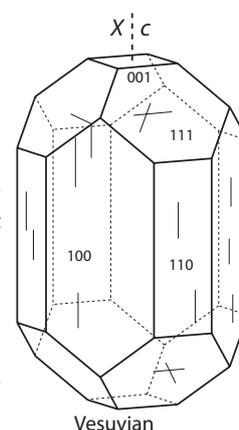
zwei große Kristalle von gelblichem Dravit, an die randlich blaugrüner Schörl anwächst; Granit aus England; Breite des Bildes ca. 3.3 mm

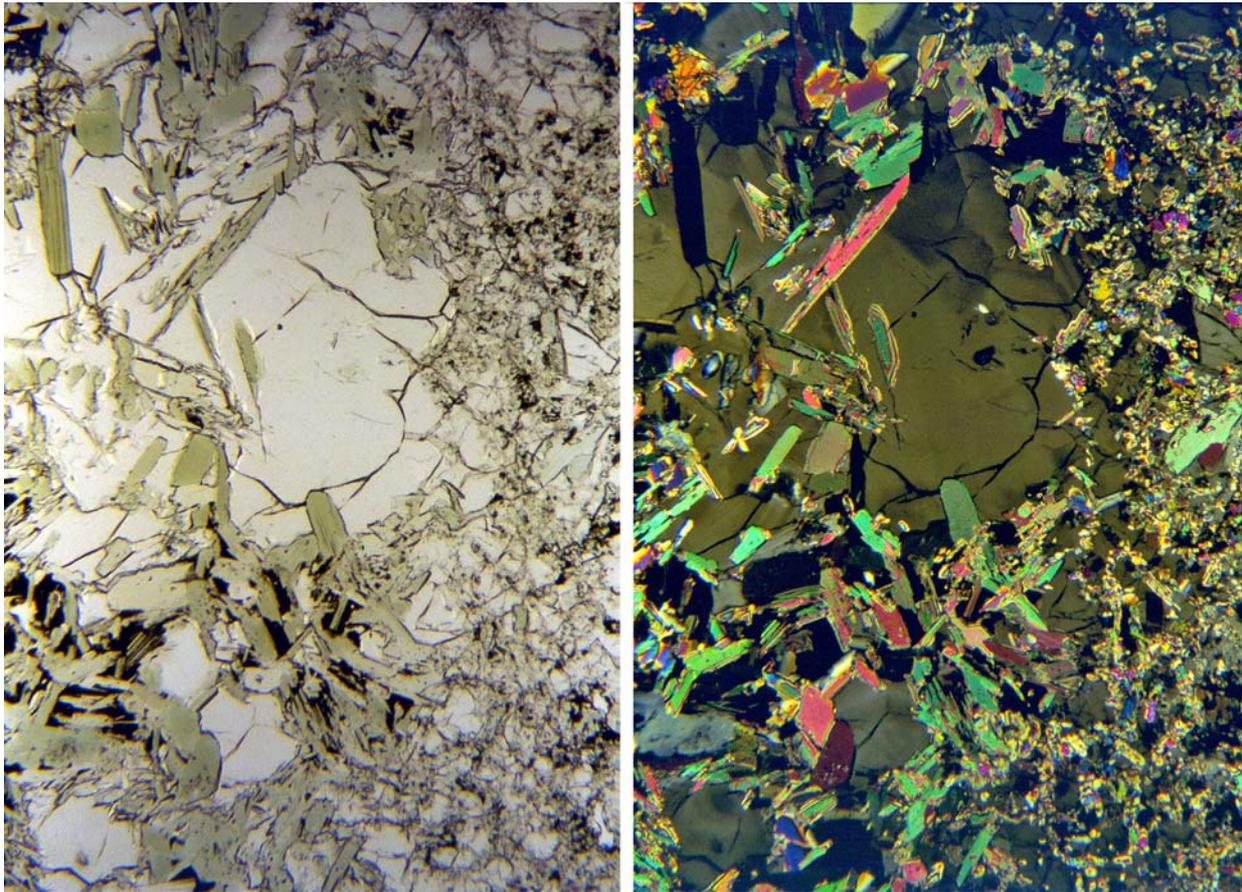


Spaltbarkeit:	keine
Verzwilligung:	selten nach {101}
Ausbildung:	prismatische Kristalle (kurzsäulig, stengelig, nadelig) mit dreieckigem Querschnitt und oft gebogenen Oberflächen; meist idiomorph; oft zoniert (besonders gut im Querschnitt zu erkennen); auch in büschelförmigen radialstrahligen Aggregaten („Turmalinsonnen“)
Unterscheidung:	starker Pleochroismus, der im Gegensatz zu dem anderer gesteinsbildender pleochroitischer Minerale (Biotit, Hornblende) sein Absorptionsmaximum \perp zur Längserstreckung des Kristalls zeigt; keine Spaltbarkeit; Korund ist höher lichtbrechend; Andalusit und Staurolith sind optisch zweiachsig und haben geringere Doppelbrechung; Alkalihornblenden und Epidot löschen schief aus;
Besonderheiten:	Basisschnitte zeigen keinen Pleochroismus; Zirkoneinschlüsse weisen Höfe mit starkem Pleochroismus auf;
Vorkommen:	häufigstes B-haltiges Mineral; oft akzessorisch in Graniten und Metasedimenten; detritisch in Sedimenten (verwitterungsresistent); besonders häufig in Pegmatiten;
Paragenese:	Topas, Beryll, Lepidolith, Zinnstein, Spodumen, Fluorit, Apatit

Vesuvian [Idokras] $\text{Ca}_{10}(\text{Mg,Fe})_2(\text{Al,Fe})_4(\text{SiO}_4)_5(\text{Si}_2\text{O}_7)_2(\text{O,OH,F})_4$

Zusammensetzung:	beträchtliche Variationen: Na, K, Mn können Ca und Al substituieren; Ti, Zn, Mn ersetzen Mg und Fe;
Kristallsystem:	tetragonal, Kristallklasse 4/mmm
Brechungsindex:	n_e 1.700 – 1.746, n_o 1.703 – 1.752 \Rightarrow einachsig \ominus mit $\Delta = 0.001 - 0.009$
Hauptzone:	meist (-)
Achsenwinkel:	anomal zweiachsig \ominus mit $2V_\alpha = 17 - 33^\circ$
Auslöschung:	meist gerade
Farbe:	farblos bis blaßgelb; oft zonare oder fleckige Farbverteilung
Spaltbarkeit:	schlecht nach {110}
Verzwilligung:	keine
Ausbildung:	säulige Aggregate und xenomorphe Körner
Unterscheidung:	Vesuvian zeigt häufig anomale Interferenzfarben (blau, lederbraun, grau-grün, purpur); Zoisit und Klinozoisit sind zweiachsig \oplus ; verwechselbar mit anomal zweiachsigem Grossular;
Besonderheiten:	eine seltene Varietät (Wiluit) ist optisch \oplus und anomal zweiachsig;
Umwandlungen:	selten (z.B. in Prehnit)
Vorkommen:	in kontaktmetamorphen Kalken und Skarnen; auch in regionalmetamorphen Kalken und Serpentiniten
Paragenese:	Fassait, Grossular, Wollastonit, Calcit, Epidot, Titanit

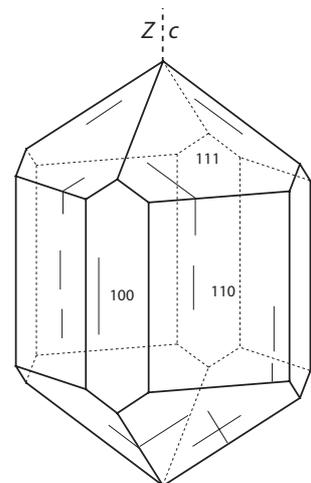




große poikiloblastische Vesuviankristalle in einem kontaktmetamorphen Gestein des Somma-Vulkans bei Neapel, links im Hellfeld und rechts unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 2.5 mm hoch; die im Hellfeld fast farblosen Vesuviane zeigen unter gekreuzten Polarisatoren unternormale braungüne Interferenzfarben. Neben Vesuvian kommen zahlreiche Glimmer im Gestein vor.

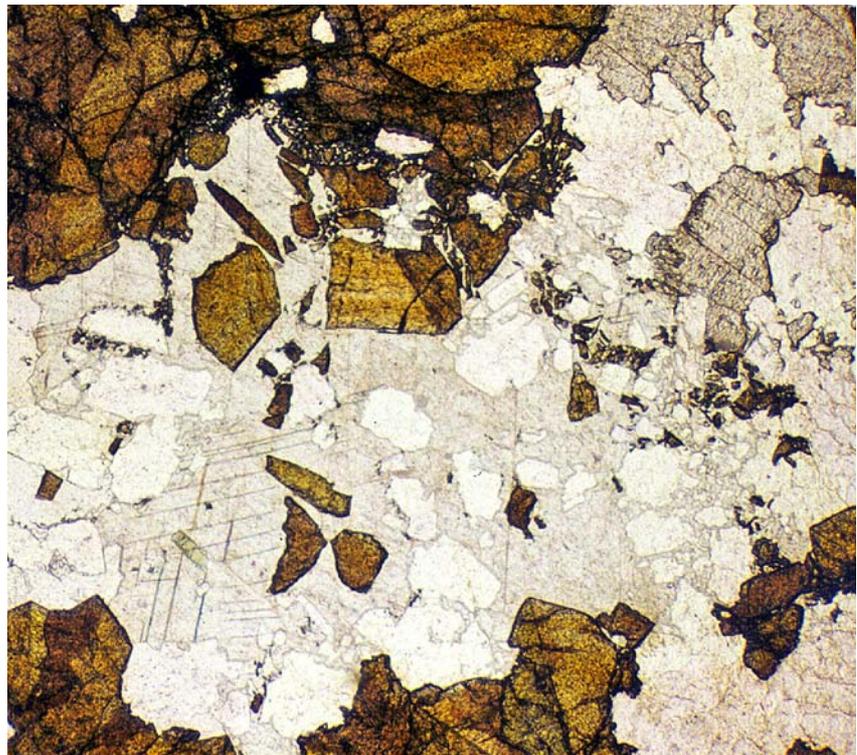
Zinnstein [Cassiterit] SnO_2

- Zusammensetzung:** Zinnstein enthält oft nennenswerte Mengen an Nb, Ta und vor allem Fe;
- Kristallsystem:** tetragonal, Kristallklasse $4/m\bar{m}2$ (isotyp mit Rutil)
- Brechungsindex:** n_c 2.093 – 2.100, n_o 1.990 – 2.010 \Rightarrow einachsig \oplus mit $\Delta = 0.096 - 0.098$
- Hauptzone:** (+)
- Auslöschung:** meist gerade
- Farbe:** viele Schattierungen von braun, gelb, rot; gelegentlich auch grün oder fast farblos; des öfteren fleckige, zonare oder streifige Farbverteilung; Pleochroismus schwach bis stark;
- Spaltbarkeit:** schlecht
- Verzwilligung:** öfters einfache Zwillinge auf $\{101\}$, seltener polysynthetische Zwillinge;
- Ausbildung:** meist in Form von kurzen dipyramidalen Prismen, auch nadelig;



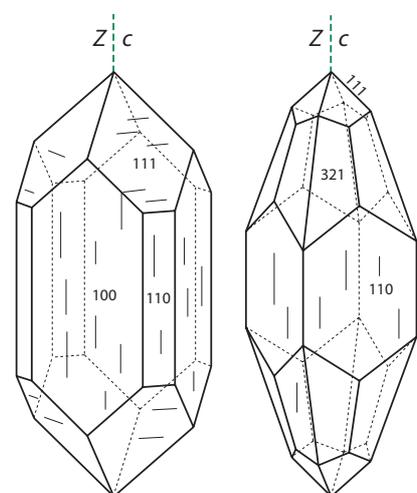
Unterscheidung:	ähnlich Rutil, der jedoch noch erheblich höhere Licht- und Doppelbrechung aufweist und außerdem meist dunkler gefärbt ist; Anatas ist einachsiger \ominus und hat negative Hauptzone;
Besonderheiten:	fleckige Farbverteilung
Umwandlungen:	keine; sehr widerstandsfähig gegenüber Verwitterung;
Vorkommen:	akzessorisch in granitischen Plutoniten und hochhydrothermalen Bildungen zusammen mit W- und Mo-Mineralen; in Granitpegmatiten; in der Schwermineralfraktion einiger klastischer Sedimente;
Paragenese:	Kalifeldspat, Lithiumglimmer, Quarz, Turmalin, Topas, Fluorit

Zinnstein (dunkel, hohes Relief) neben Calcit (z.T. mit Rhomboederspaltbarkeit) und Quarz (farblos) in Granitpegmatit; Bildausschnitt ca. 2.4 mm quer



Zirkon $Zr(SiO_4)$

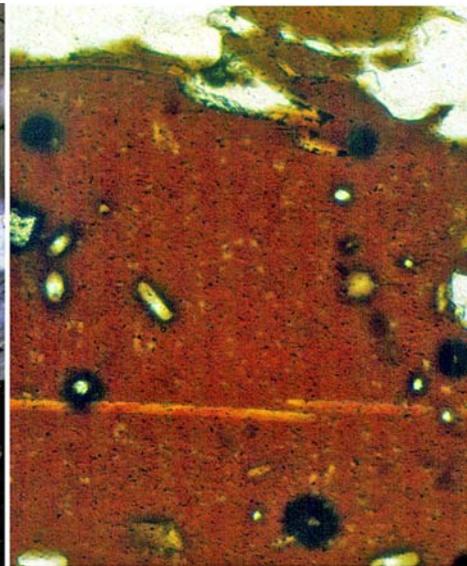
Zusammensetzung:	fast alle Zirkone enthalten Hf (typischerweise 0.5 – 1%)
Kristallsystem:	ditetragonal, Kristallklasse $4/mmm$
Brechungsindex:	n_e 1.961 – 2.015, n_o 1.922 – 1.960 \Rightarrow einachsiger \oplus mit $\Delta = 0.042 - 0.065$
Hauptzone:	(+)
Farbe:	farblos, leicht braun
Spaltbarkeit:	keine (undeutlich nach $\{110\}$)
Verzwilligung:	selten nach $\{110\}$
Ausbildung:	kurz- bis langsäulig nach $\{110\}$ oder $\{100\}$ mit quadratischen Querschnitten; auch gerundet bis körnig (v.a. in Metamorphiten)



- Unterscheidung:** von Titanit durch die lebhaften und leuchtenden Interferenzfarben zu unterscheiden, von Rutil und Zinnstein durch die Farblosigkeit; Monazit zeigt gute Spaltbarkeit und ist optisch zweiachsig und niedriger lichtbrechend; Orthit (= Allanit) hat niedrigere Licht- und Doppelbrechung;
- Besonderheiten:** oft mit deutlich sichtbarem Zonarbau; das fast immer vorhandene U (bis einige 1000 ppm) und Th erzeugt beim Zerfall Gitterstörungen, die den Zirkon trüben und im Extremfall amorph machen (*metamikte Zirkone*); wenn U,Th-reiche Zirkone als Einschlüsse in Glimmern, Amphibolen oder Turmalin vorkommen, können in diesen Mineralen im Laufe geologischer Zeiten *pleochroitische Höfe* erzeugt werden;
- Vorkommen:** akzessorisch in Granitoiden und sauren bis intermediären Vulkaniten, in Nephelinsyeniten bis Monzosyeniten; auf Grund seiner Unzerstörbarkeit bei der Verwitterung detritisch in klastischen Sedimenten (v.a. Sandsteinen); bleibt auch bei der Metamorphose in der Regel erhalten (rundliche Körner sind dann oft ererbt);
- Paragenese:** Quarz, Feldspäte, Biotit, Hornblenden



mehrere große Zirkone (bunte Interferenzfarben) in einem Gneis aus Sri Lanka; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt 1.05 mm quer



Biotit aus Granit mit Einschlüssen von Zirkon und Apatit; Strahlungshöfe sind gut erkennbar; Hellfeldaufnahme; Bildausschnitt ca. 0.65 mm quer

OPTISCH ZWEIACHSIGE MINERALE

Al₂SiO₅-Gruppe

Allgemeines: Die Minerale der Al₂SiO₅-Gruppe Andalusit, Disthen und Sillimanit sind wichtig für die Abschätzung der Bildungsbedingungen von metamorphen Gesteinen bezüglich Druck und Temperatur (siehe Abbildung 14); einschränkend ist zu sagen, daß die genaue Lage des Tripelpunktes in diesem System, an dem alle drei Polymorphe nebeneinander stabil existieren können, nicht bekannt ist; das liegt vor allen Dingen daran, daß die Phasentransformation Sillimanit \rightleftharpoons Andalusit davon abhängt, ob Sillimanit in einer faserigen Varietät (Fibrolith) oder in grobkörniger Ausbildung vorliegt;

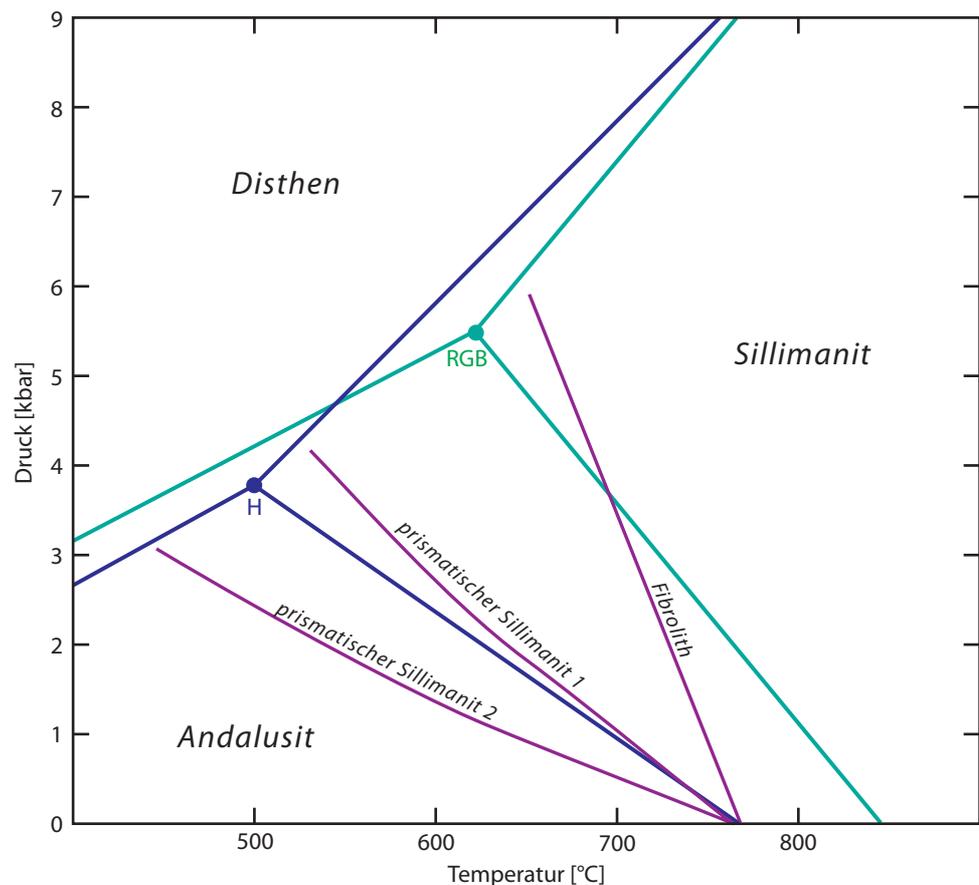


ABBILDUNG 14

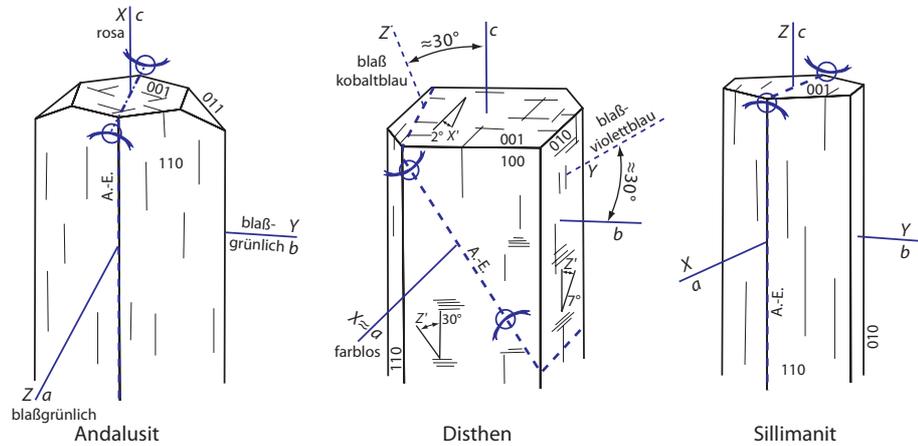
Univariante Reaktionskurven und Lage des Tripelpunktes im Al₂SiO₅-System nach verschiedenen Experimentatoren (H = Holdaway, 1971 und RGB = Richardson, Gilbert & Bell, 1969). In den Experimenten von RGB wurde fibrolithischer Sillimanit eingesetzt, im H-Experiment prismatischer Sillimanit. Drei weitere Kurven stehen für thermodynamisch berechnete Lagen der univarianten Reaktionskurve Andalusit \rightleftharpoons Sillimanit, bei denen Daten entweder für fibrolithischen Sillimanit oder für verschiedene prismatische Sillimanite benutzt wurden. Diese berechneten Kurven wurden durch den 0 kbar-Punkt von Holdaway gezwungen.

Andalusit Al^[6]Al^[5]O{SiO₄}

Zusammensetzung: meist nur wenig Abweichung von der Formel; einige Varietäten können jedoch beträchtliche Mengen an Fe³⁺ bzw. Mn³⁺ einbauen; solche Andalusite werden mit dem Namen *Viridin* bezeichnet;

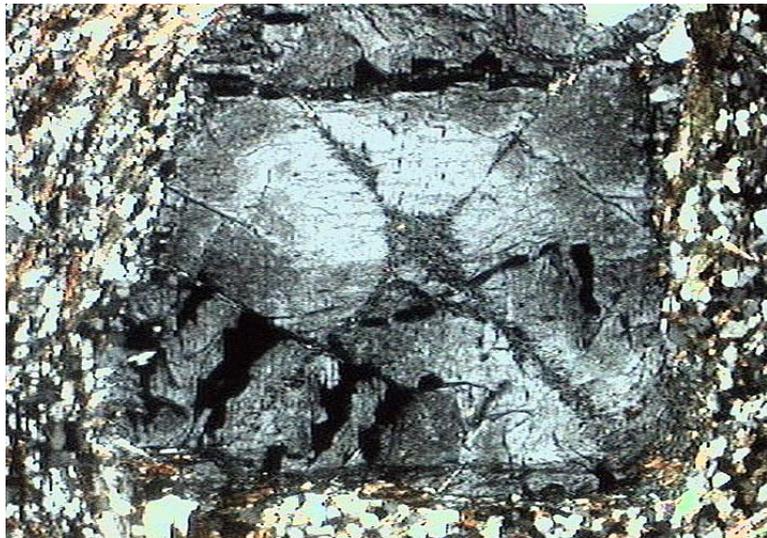
Optisch zweiachsig Minerale

- Kristallsystem:** orthorhombisch, Kristallklasse mmm; 1 Al fünffach durch O koordiniert, das andere sechsfach;
Brechungsindex: n_α 1.633 – 1.642, n_β 1.639 – 1.644, n_γ 1.644 – 1.650 (Viridin hat höhere Werte);
 zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.009 – 0.012$
Hauptzone: (–) [in Längsschnitten]
Achsenwinkel: $2V_\alpha = 73 – 86^\circ$



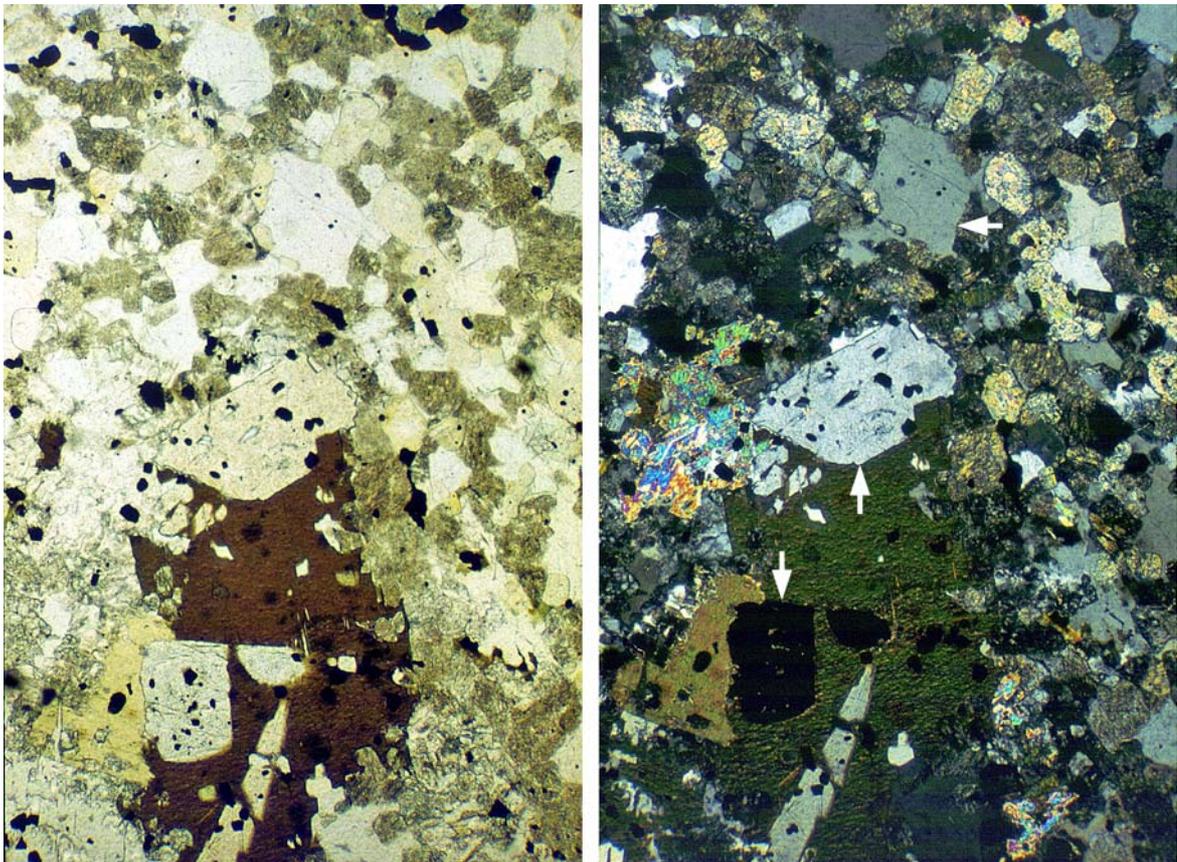
- Auslöschung:** gerade \parallel der Prismenkanten und \parallel der {110} Spaltbarkeit; Basisschnitte haben symmetrische Auslöschung;
Farbe: meist farblos; aber auch fleckig mit rosafarbener (Fe) bzw. grünlicher (Mn) Farbverteilung – dann auch schwach pleochroitisch;
Spaltbarkeit: gut nach {110}
Verzwilligung: selten nach {101}
Ausbildung: meist gestreckte Prismen \parallel c mit fast quadratischen Querschnitten; stengelrig, büschelig, parallel-faserig; auch xenomorphe Körner oder unregelmäßige Massen; oft porphyroblastisch mit Einschlüssen von Quarz oder opaken Mineralen (Siebstruktur);

Chiastolith aus einem Andalusitglimmerschiefer aus Kreta unter gekreuzten Polarisatoren; die dunklen Zonen kreuzen sich im Zentrum des Kristalls. Verantwortlich für die Färbung sind kohlige Substanzen, insbesondere Graphit; Bildausschnitt ca. 2.5 mm in der Längsrichtung.



- Unterscheidung:** mäßig hohes Relief, geringe Doppelbrechung und großer Achsenwinkel unterscheiden Andalusit von Sillimanit; Disthen hat schiefe Auslöschung und höheres Relief; Staurolith hat meist honiggelbe Eigenfarbe und höhere Lichtbrechung; pleochroitische Andalusite ähneln Orthopyroxenen, die jedoch positive Hauptzone haben; unter gekreuzten Polarisatoren ähnelt einschlußreicher porphyro-

- blastischer Andalusit dem Cordierit, während Cordierit im Hellfeld wesentlich niedrigere Lichtbrechung zeigt;
- Besonderheiten:** die Varietät *Chiastolith* enthält zahlreiche dunkle Einschlüsse, die entlang der beiden Diagonalen des Prismas ein Kreuz bilden; zuweilen pleochroitische Höfe um radioaktive Minerale;
- Umwandlungen:** bei Zutritt von Wasser Umwandlung in filzigen Sericit und andere Phyllosilikate; bei Druck- oder Temperaturerhöhung Reaktionsbeziehungen zu Mineralen wie Cordierit, Staurolith, Granat, Sillimanit, Disthen;
- Vorkommen:** häufiges Mineral in Al-reichen kontakt- und regionalmetamorphen Gesteinen, die bei niedrigen Drücken und mäßigen Temperaturen gebildet wurden (Knoten- und Fruchtschiefer, Hornfelse, Glimmerschiefer);
- Paragenese:** in Knoten- und Fruchtschiefern mit Sericit und Quarz; in Hornfelsen mit Biotit, Cordierit, Quarz; regionalmetamorph mit Muskovit, Biotit, Granat, seltener mit Staurolith und Cordierit;



(hyp)idiomorphe Andalusite mit Opaqueinschlüssen [rechts mit Pfeilen gekennzeichnet] in einem Andalusithornfels, links mit nicht gekreuzten Polarisatoren, rechts derselbe Ausschnitt unter gekreuzten Polarisatoren; zwischen den Andalusiten ein Biotit; die im Hellfeld hellen Kristalle sind durchweg Quarze, die im oberen Teil des Bildes und am rechten Rand konzentrierten braunen oder grauen Minerale sind abgebaute Cordierite; die längere Kante des Bildes entspricht ca. 2.7 mm.

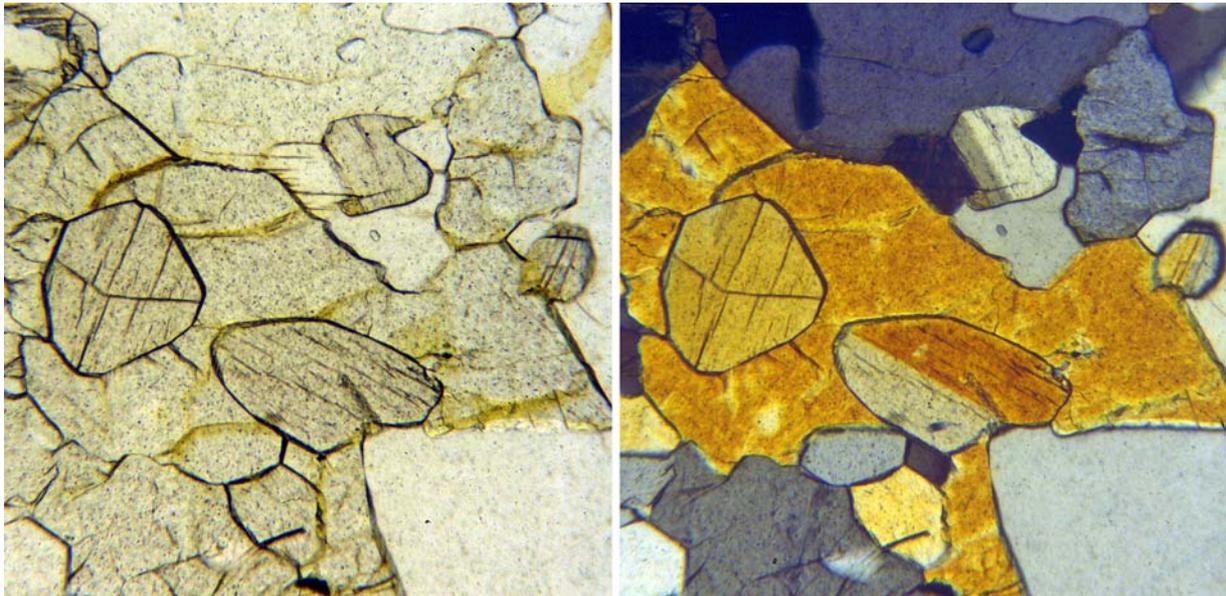
Disthen Al^[6]Al^[6]O{SiO₄}

Zusammensetzung: wenig Abweichung von der Idealformel; mäßige Mengen (O.X%) an Cr³⁺ und Fe³⁺ können in die Struktur eintreten (bei hohen Drücken auch mehr);

Kristallsystem: triklin, Kristallklasse $\bar{1}$; beide Al sechsfach durch Sauerstoff koordiniert;

Optisch zweiachsig Minerale

Brechungsindex:	$n_\alpha 1.710 - 1.718$, $n_\beta 1.719 - 1.724$, $n_\gamma 1.724 - 1.734$; zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.012 - 0.016$
Hauptzone:	(+)
Achsenwinkel:	$2V_\alpha = 78 - 83^\circ$
Auslöschung:	schief mit $\angle(\gamma',c)$ auf (100) $27 - 32^\circ$, $\angle(\gamma',c)$ auf (100) $5 - 8^\circ$, $\angle(\alpha',a)$ auf (001) $0 - 3^\circ$;
Farbe:	farblos bis blaßblau (bei höheren Cr-Gehalten); öfters mit fleckiger Farbverteilung und schwachem Pleochroismus (α farblos, β blaßviolettblau, γ blaßkobaltblau);



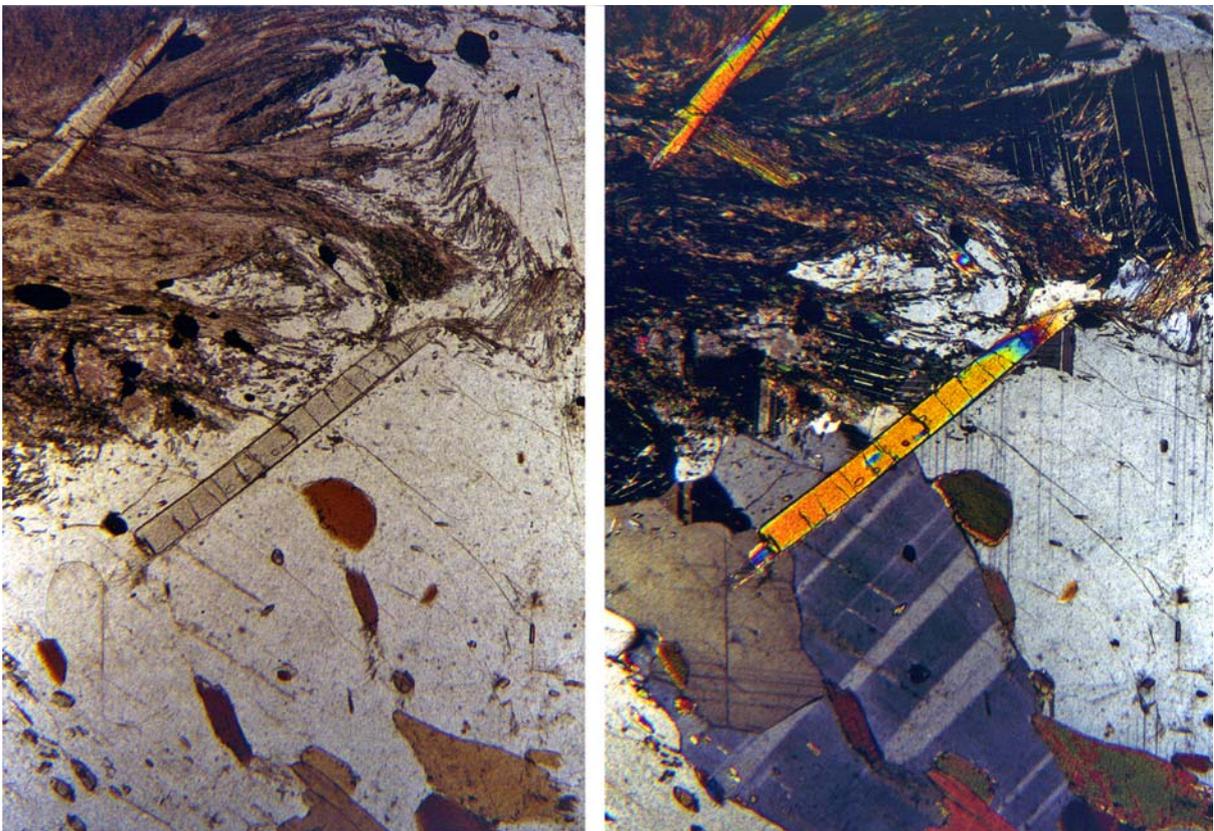
Disthene, z.T. charakteristisch einfach verzwillingt, in einem Eklogit aus dem Münchberger Gneisgebiet, links im Hellfeld (Disthene durch Pfeile markiert), rechts unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt jeweils ca. 0.60 mm quer; die übrigen Minerale mit hohem Relief sind Omphacite; vergleiche auch mit Abbildung auf Seite Seite 118!

Spaltbarkeit:	perfekt nach (100), gut nach (010), teilbar nach (001)
Verzwilligung:	einfach nach (100) oder lamellar mit [100] als Zwillingsachse;
Ausbildung:	meist als gestreckte (in Richtung der c-Achse), breit leistenförmige Kristalle, häufig durch Streß verbogen; selten faserig; gelegentlich porphyroblastisch mit Siebstruktur
Unterscheidung:	hohes Relief, schiefe Auslöschung, optischer Charakter, gestreckte Kristallform und sehr gute Spaltbarkeit unterscheiden Disthene von Andalusit und Sillimanit; Orthopyroxene löschen in Längsschnitten stets gerade aus; Klinozoisit hat anomale Interferenzfarben und keine fleckige Farbverteilung;
Besonderheiten:	öfters mit fleckiger blauer pleochroitischer Farbverteilung;
Umwandlungen:	bei Wasserzutritt Abbau zu Sericit oder andere Phyllosilikate; bei P-T-Änderung zahlreiche Reaktionsbeziehungen, z.B. zu Staurolith, Cordierit, Granat, Sillimanit, Andalusit;
Vorkommen:	typisches Mineral in Al-reichen Metamorphiten, die bei mittleren bis hohen Drücken gebildet wurden (Glimmerschiefer, Gneise, Eklogite, Granulite);
Paragenese:	Staurolith, Chloritoid, Granat, Hornblende, Biotit, Muskovit, Rutil, Quarz;

Sillimanit $\text{Al}^{[6]}\text{Al}^{[4]}\text{O}\{\text{SiO}_4\}$

Zusammensetzung:	wenig Abweichung von der Idealformel; geringe Mengen an Fe^{3+} und Cr^{3+} können vorhanden sein;
Kristallsystem:	orthorhombisch, Kristallklasse mmm; 1 Al nur vierfach durch O koordiniert;

- Brechungsindex:** n_{α} 1.653 – 1.661, n_{β} 1.657 – 1.662, n_{γ} 1.672 – 1.683;
zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.018 - 0.022$
- Hauptzone:** (+)
- Achsenwinkel:** $2V_{\gamma} = 21 - 30^{\circ}$
- Auslöschung:** gerade \parallel der Spur der Spaltrisse; Basisschnitte haben symmetrische Auslöschung;
- Farbe:** farblos; in dickeren Schlifffen manchmal blaßbraun; Aggregate von Fibrolith auch hell- bis gelbbraun;
- Spaltbarkeit:** gut nach (010) (parallel der Länge der Kristalle; diagonal durch die pseudotetragonalen Querschnitte verlaufend);
- Verzwillingung:** keine
- Ausbildung:** nadelig, faserig \parallel c, büschelig, schlank prismatisch (dann mit quadratischen Querschnitten); die Büschel oder Rasen von langen Sillimanitkristallen werden als *Fibrolith* bezeichnet;

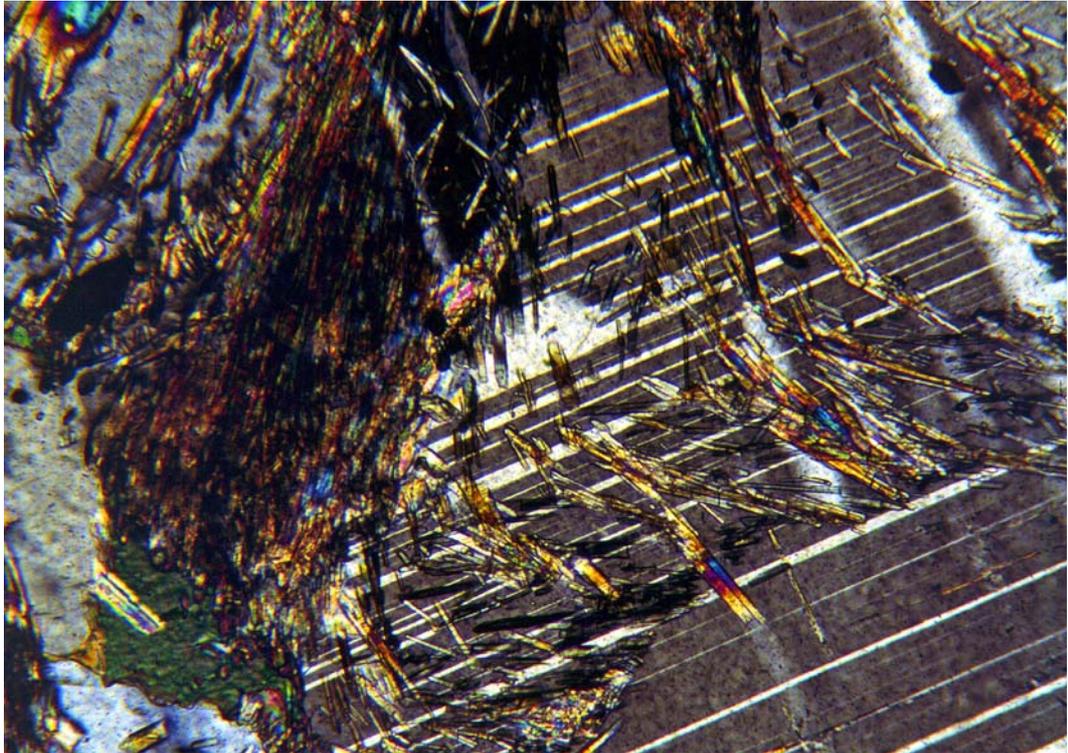


Zwei prismatische Sillimanitkristalle in einem Gneis aus dem Bayerischen Wald, links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; der obere Kristall ist von feinfaserigem Sillimanit (Fibrolith) umgeben; die hellen Minerale mit dem niedrigen Relief auf der unteren Seite des Photos sind Plagioklase; der Bildausschnitt beträgt jeweils ca. 1.7 mm hoch.

- Unterscheidung:** Sillimanit zeichnet sich durch hohes Relief, mäßige Doppelbrechung und gerade Auslöschung aus; Disthen löscht schief aus, hat bessere Spaltbarkeit, ist optisch negativ und hat großen Achsenwinkel; Apatit und Andalusit haben negative Hauptzone; Tremolit hat schiefe Auslöschung;
- Besonderheiten:** keine
- Umwandlungen:** bei Wasserzutritt Abbau zu Sericit; bei P–T-Änderung zahlreiche Reaktionsbeziehungen zu anderen Mineralen;

Vorkommen: in Al-reichen metamorphen Gesteinen, die bei hohen Temperaturen gebildet wurden (Glimmerschiefer, Gneise; kontaktmetamorph nur in der Sanidinitfazies);

Paragenese: Cordierit, Staurolith, Muskovit, Biotit, Kalifeldspat, Granat, Disthen, Andalusit, Spinell; wenn in einem Schliff zwei (oder gar drei) Al_2SiO_5 -Mineral auftreten, ist wahrscheinlich nur eines davon thermodynamisch stabil (nur entlang einer der Reaktionskurven in Abbildung 14 stehen zwei Minerale im Gleichgewicht und im Tripelpunkt alle drei; während einer orogenen Metamorphose gerät ein Gestein typischerweise vom Stabilitätsfeld des Disthens in dasjenige des Sillimanits; da die Umwandlung recht träge verläuft, kann Disthen metastabil erhalten bleiben);



feine Aggregate von Sillimanit in Plagioklas aus einem Gneis aus dem Bayerischen Wald; gekreuzte Polarisatoren; der Bildausschnitt liegt bei rund 0.60 mm quer.

Amphibole $A_{0-1}B_2C_5T_8O_{22}(OH,F,Cl)_2$

Zusammensetzung: Mischkristalle mit extensiver Substitution; dabei können sein:

A = Na, K

B = Na, Li, Ca, Mn, Fe^{II} , Mg

C = Mg, Fe^{II} , Mn, Al, Fe^{III} , Ti

T = Si, Al

die weitere Unterteilung erfolgt in vier Gruppen nach der Besetzung der B-Positionen:

1. *Fe-Mg-Mn-Amphibole* mit $(Ca + Na)_B < 1.34$; sie lassen sich in rhombische und monokline Amphibole weiter unterteilen mit den Endgliedern

Anthophyllite:

Magnesioanthophyllit $Mg_2Mg_5(Si_8O_{22})(OH)_2$ [orthorhombisch]

Ferroanthophyllit $Fe_2^{II}Fe_5^{II}(Si_8O_{22})(OH)_2$ [orthorhombisch]

Natriumanthophyllit $Na(Mg,Fe^{II})_7(AlSi_7O_{22})(OH)_2$ [orthorhombisch]

Gedrite:

Magnesiogedrit $Mg_2Mg_3Al_2(Al_2Si_6O_{22})(OH)_2$ [orthorhombisch]

Ferrogedrit $Fe_2^{II}(Fe_3^{II}Al_2)(Al_2Si_6O_{22})(OH)_2$ [orthorhombisch]

Natriumgedrit $Na(Mg,Fe^{II})_6Al(Al_2Si_6O_{22})(OH)_2$ [orthorhombisch]

Holmquistite:

Magnesiholmquistit $Li_2(Mg_3Al_2)(Si_8O_{22})(OH)_2$ [orthorhombisch]

Ferrolholmquistit $Li_2(Fe_3^{II}Al_2)(Si_8O_{22})(OH)_2$ [orthorhombisch]

sowie den monoklinen Vertretern:

Magnesiocummingtonit $Mg_2Mg_5(Si_8O_{22})(OH)_2$ [monoklin]

Grunerit $Fe_2^{II}Fe_5^{II}(Si_8O_{22})(OH)_2$ [monoklin]

Tirodit $Mn_2Mg_5(Si_8O_{22})(OH)_2$ [monoklin]

Dannemorit $Mn_2Fe_5^{II}(Si_8O_{22})(OH)_2$ [monoklin]

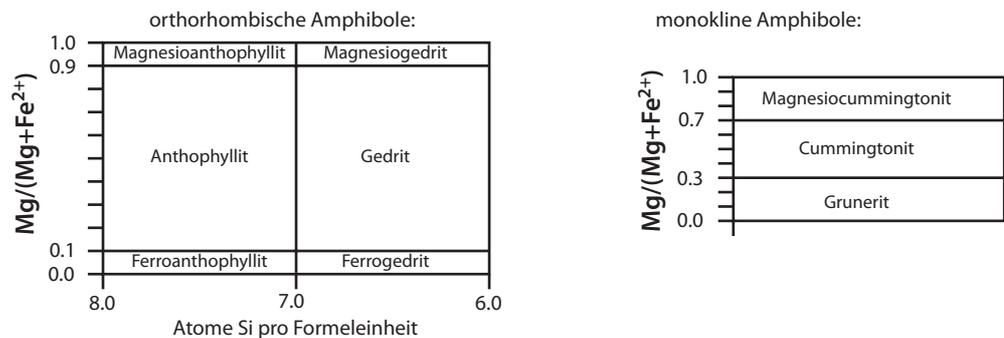


ABBILDUNG 15

Unterteilung der Mg-Fe-Amphibole; zu dieser Gruppe gehören die einzigen orthorhombischen Amphibole

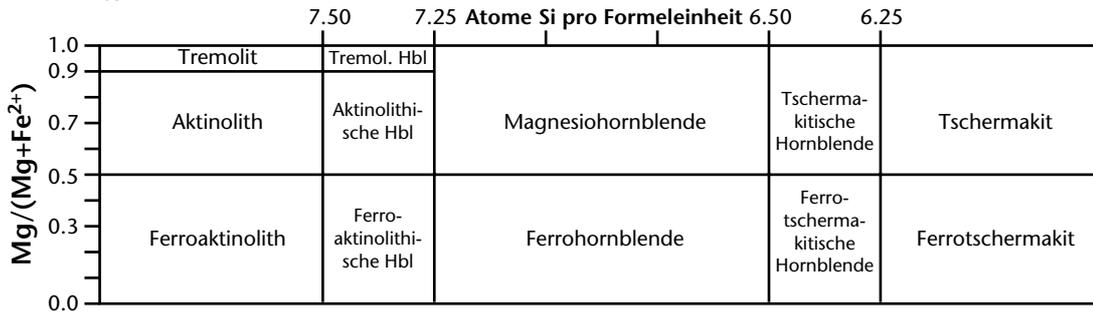
2. *Ca-Amphibole* mit $(Ca + Na)_B \geq 1.34$ und $Na_B < 0.67$, zu denen die wichtigsten Vertreter dieser Mineralgruppe gehören. Englieder sind (siehe auch Abbildung 16):

Tremolite, Aktinolithe:

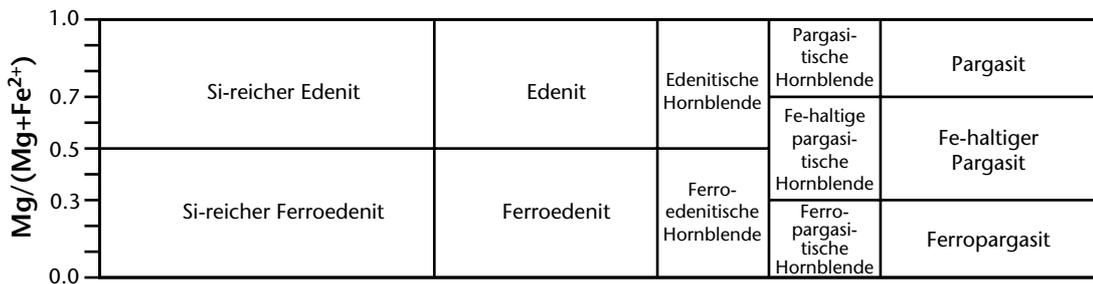
Tremolit $Ca_2Mg_5(Si_8O_{22})(OH)_2$

Ferroaktinolith $Ca_2Fe_5^{II}(Si_8O_{22})(OH)_2$

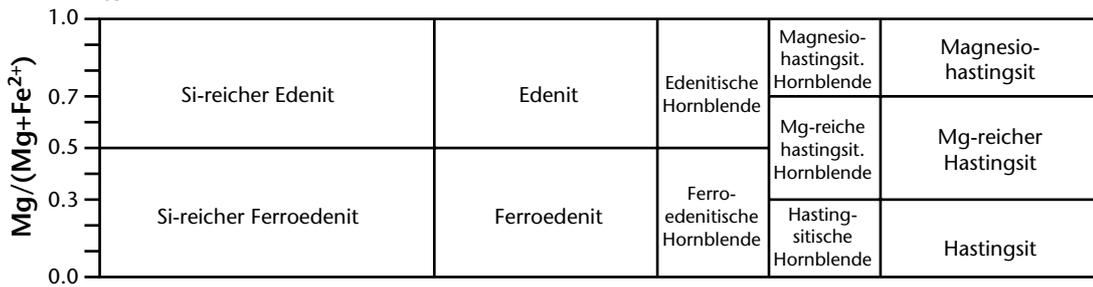
$(Na+K)_A < 0.50$; $Ti < 0.50$:



$(Na+K)_A \geq 0.50$; $Ti < 0.50$; $Fe^{3+} \leq Al$:



$(Na+K)_A \geq 0.50$; $Ti < 0.50$; $Fe^{3+} > Al$:



$Ti \geq 0.50$:

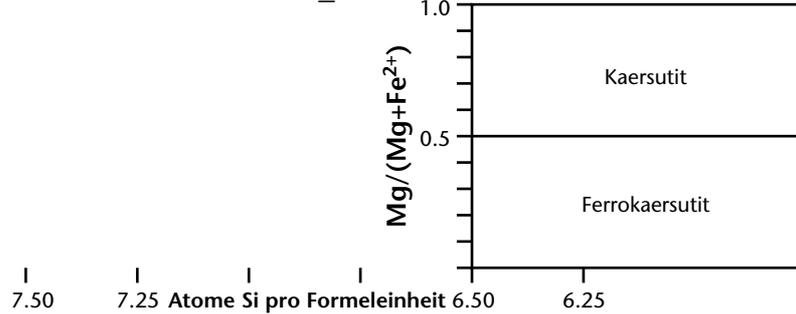
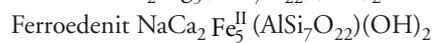
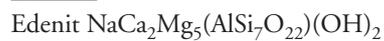


ABBILDUNG 16

Nomenklatur der Ca-Amphibole

Edenite:



Pargasite + Hastingsite:



Ferropargasit $NaCa_2Fe_4^{II}Al(Al_2Si_6O_{22})(OH)_2$
 Hastingsit $NaCa_2Fe_4^{II}Fe^{III}(Al_2Si_6O_{22})(OH)_2$
 Magnesiohastingsit $NaCa_2Mg_4Fe^{III}(Al_2Si_6O_{22})(OH)_2$

Tschermakite:

Al-Tschermakit $Ca_2Mg_3Al_2(Al_2Si_6O_{22})(OH)_2$
 Ferroaluminiumtschermakit $Ca_2Fe_3^{II}Al_2(Al_2Si_6O_{22})(OH)_2$
 Ferritschermakit $Ca_2Mg_3Fe_2^{III}(Al_2Si_6O_{22})(OH)_2$
 Ferroferritschermakit $Ca_2Fe_3^{II}Fe_2^{III}(Al_2Si_6O_{22})(OH)_2$

Hornblenden:

Al-Mg-Hornblende $Ca_2Mg_4Al(AlSi_7O_{22})(OH)_2$
 Aluminiumferrohornblende $Ca_2Fe_4^{II}Al(AlSi_7O_{22})(OH)_2$

Kaersutite:

Kaersutit $(Na,K)Ca_2Mg_4Ti(Al_2Si_6O_{22})(O,OH,F)_2$
 Ferrokaersutit $(Na,K)Ca_2Fe_4^{II}Ti(Al_2Si_6O_{22})(O,OH,F)_2$

3. *Na-Ca-Amphibole* mit $(Ca + Na)_B \geq 1.34$ und $0.67 \leq Na_B < 1.34$ und den Endgliedern (vgl. auch Abbildung 17):

Richterite:

Richterit $Na(CaNa)Mg_5(Si_8O_{22})(OH)_2$
 Ferrichterit $Na(CaNa)Fe_5^{II}(Si_8O_{22})(OH)_2$

Winchite:

Ferriwinchit $(CaNa)(Mg_4Fe^{III})(Si_8O_{22})(OH)_2$
 Al-Winchit $(CaNa)(Mg_4Al)(Si_8O_{22})(OH)_2$
 Ferroaluminiumwinchit $(CaNa)(Fe_4^{II}Al)(Si_8O_{22})(OH)_2$
 Ferroferriwinchit $(CaNa)(Fe_4^{II}Fe^{III})(Si_8O_{22})(OH)_2$

Barroisite:

Al-Barroisit $(CaNa)(Mg_3Al_2)(AlSi_7O_{22})(OH)_2$
 Ferroaluminiumbarroisit $(CaNa)(Fe_3^{II}Al_2)(AlSi_7O_{22})(OH)_2$
 Ferribarroisit $(CaNa)(Mg_3Fe_2^{III})(AlSi_7O_{22})(OH)_2$
 Ferroferribarroisit $(CaNa)(Fe_3^{II}Fe_2^{III})(AlSi_7O_{22})(OH)_2$

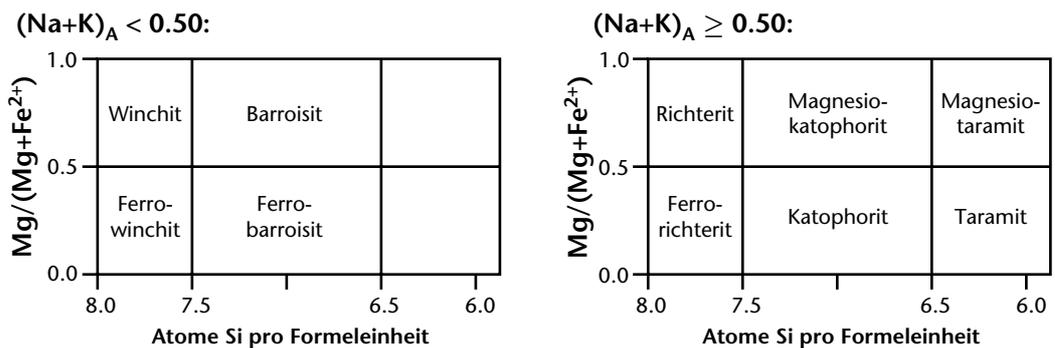


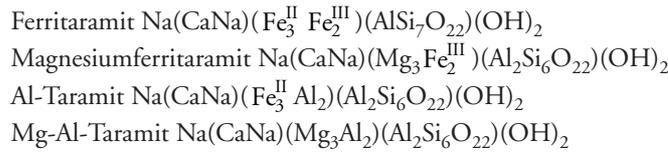
ABBILDUNG 17

Nomenklatur der Na-Ca-Amphibole

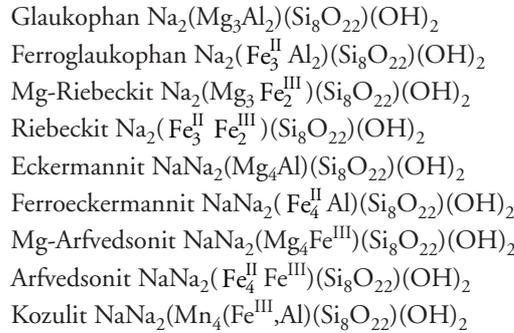
Katophorite:

Magnesiumferrikatophorit $Na(CaNa)(Mg_4Fe^{III})(AlSi_7O_{22})(OH)_2$
 Mg-Al-Katophorit $Na(CaNa)(Mg_4Al)(AlSi_7O_{22})(OH)_2$
 Ferrikatophorit $Na(CaNa)(Fe_4^{II}Fe^{III})(AlSi_7O_{22})(OH)_2$
 Al-Katophorit $Na(CaNa)(Fe_4^{II}Al)(Al_2Si_6O_{22})(OH)_2$

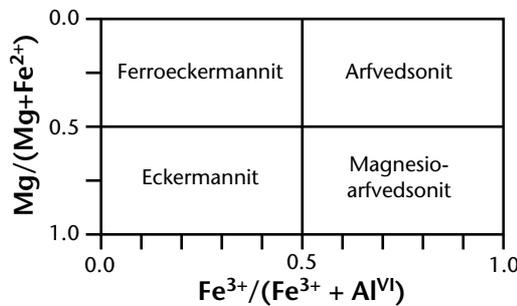
Taramite:



4. *Alkali amphibole* mit $\text{Na}_B \geq 1.34$ und folgenden Endgliedern (vgl. auch Abbildung 18):



$(\text{Na}+\text{K})_A \geq 0.50$:



$(\text{Na}+\text{K})_A < 0.50$:

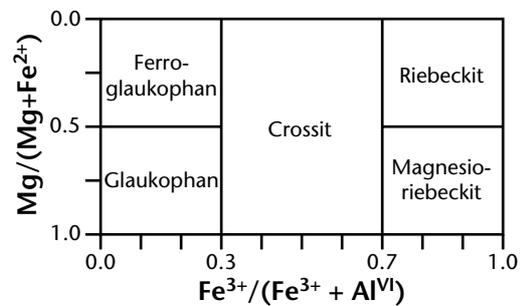


ABBILDUNG 18

Nomenklatur der Alkali amphibole

Anthophyllit – Gedrit

Zusammensetzung: Anthophyllit ist Al-arm, während Gedrit Al als Hauptelement enthält; außerdem ist Gedrit Fe-reicher als der mit ihm assoziierte Anthophyllit

Kristallsystem: orthorhombisch, Kristallklasse mmm

Brechungsindex: $n_\alpha 1.587 - 1.694$, $n_\beta 1.602 - 1.710$, $n_\gamma 1.613 - 1.722$ (höhere Werte jeweils für Gedrit);
 zweiachsig \ominus (Mg-reich) und \oplus (Fe-reich) mit $\Delta = 0.013 - 0.028$

Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: $2V_\gamma = 111 - 59^\circ$ (Anthophyllit) bzw. $71 - 98^\circ$ (Gedrit)

Auslöschung: meist gerade

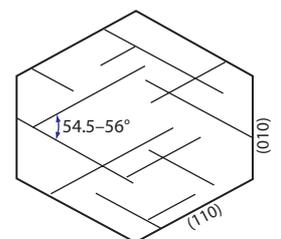
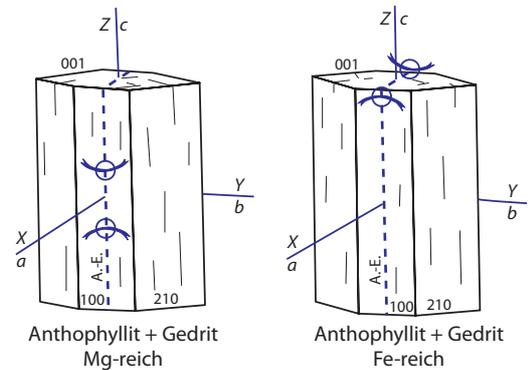
Farbe: farblos, hellgrün, hellgelb

Spaltbarkeit: vollkommen nach {210}

Verzwilligung: keine

Ausbildung: charakteristische langgestreckte Prismen; auch nadelig

Unterscheidung: von Pyroxenen durch die für alle Amphibole typischen 124° -Spaltwinkel in Schnitten \perp zur c-Achse zu unterscheiden, von anderen Amphibolen

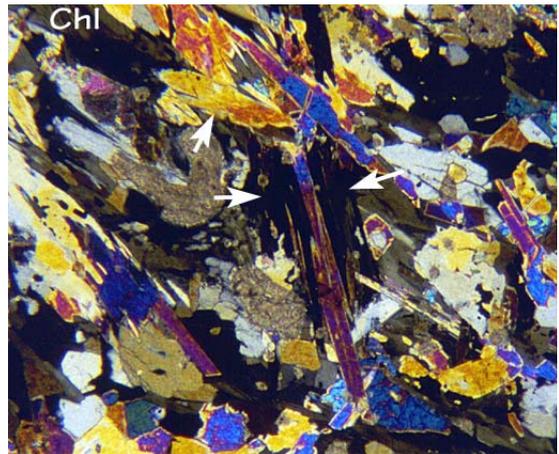


Spaltbarkeit der Amphibole in Schnitten \perp c

durch gerade Auslöschung; Tremolit, Cummingtonit und Grunerit haben höhere Doppelbrechung und sind oft verzwillingt; Anthophyllit kann von Sillimanit durch viel größeren Achsenwinkel unterschieden werden; Anthophyllit und Gedrit sind optisch nicht sicher unterscheidbar; optisch negativer Gedrit ist allerdings selten, und Gedrit hat außerdem höhere Brechungsindizes;

- Besonderheiten:** bei hohen Temperaturen vollständige Mischkristallbildung zwischen Anthophyllit und Gedrit; bei niedrigen Temperaturen existiert ein Solvus, d.h. bei langsamer Abkühlung entmischen die Kristalle;
- Umwandlungen:** verwittert zu feinkörnigen Gemengen aus Serpentinmineralen, Talk und Phyllosilikaten
- Vorkommen:** beschränkt auf mittel- bis hochgradige mafische Metamorphite (Anthophyllit-Cordierit-Gneise, Amphibolite, Talkschiefer, Hornfelse, Granitgneise;
- Paragenese:** Granat, Cordierit, Plagioklas, Hornblende, Sillimanit, Talk

prismatische bis strahlige Anthophyllitkristalle (z.T. mit Pfeilen markiert und z.T. um die Auslöschungsstellung orientiert) in einem Ultramafit aus den italienischen Alpen. Daneben sind Mg-reicher Chlorit und gedrungene Olivin- und Orthopyroxenkristalle zu sehen; Bildausschnitt ca. 1.25 mm quer.



Cummingtonit – Grunerit

Zusammensetzung: Mn (Mischkristallbildung mit Tirodit) und Ca können in geringeren Mengen vorhanden sein; Glieder mit > 70 Mol% Mg-Komponente scheinen in der Natur nicht vorzukommen;

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m

Brechungsindex: n_α 1.630 – 1.696, n_β 1.644 – 1.709, n_γ 1.652 – 1.730; \oplus (Cummingtonit) und \ominus (Grunerit) mit $\Delta = 0.020 – 0.045$

Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: $2V_\gamma = 65 – 98^\circ$

Auslöschung: meist schief; $\sphericalangle(\gamma, c)$ [= Winkel zwischen γ [= Z] und c] $10–20^\circ$ (siehe auch Abbildung 19);

Farbe: farblos bis fahlgrün

Spaltbarkeit: gut nach {110} (mit typischen Spaltwinkeln des Amphibols)

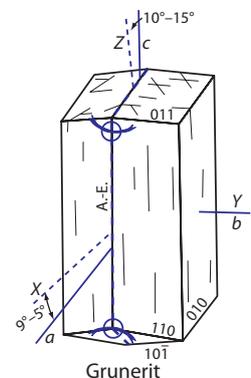
Verzwillingung: nach {100} sehr häufig (einfach und polysynthetisch)

Ausbildung: gestreckte Prismen und Nadeln; *Amosit* heißt eine faserige Varietät die als Asbestmineral gilt;

Unterscheidung: von Anthophyllit/Gedrit durch schiefe Auslöschung, höhere Doppelbrechung und polysynthetische Verzwillingung unterscheidbar; Tremolit ist seltener verzwillingt und hat meist einfache Zwillinge; Cummingtonit ist positiv, Tremolit negativ;

Besonderheiten: Cummingtonit ist oft mit grüner Hornblende verwachsen; beide Amphibole können Entmischungslamellen des jeweils anderen enthalten;

Umwandlungen: Überwachsungen durch Hornblende sind häufig; gelegentlich Verwitterung zu Chlorit und Talk;



Vorkommen: Cummingtonit in basischen bis intermediären Metamorphiten (z.B. in Amphiboliten, Cummingtonit-Anthophyllit-Cordierit-Gneisen, Hornfelsen), nur gelegentlich in chemisch vergleichbaren Vulkaniten; Grunerit kommt in (präkambrischen) metamorphen gebänderten Eisensteinen vor;

Paragenese: Cummingtonit: Anthophyllit, Granat, Cordierit, Plagioklas, Hornblende, Biotit;
Grunerit: Magnetit, Quarz, andere Fe-Oxide und Fe-Silikate

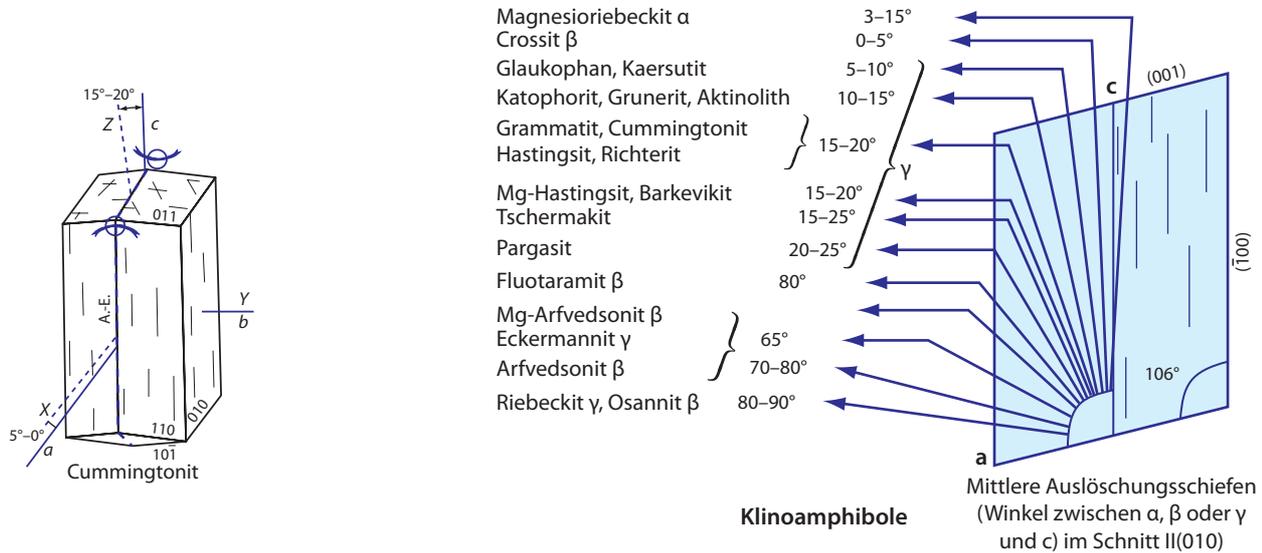


ABBILDUNG 19 Auslöschungsschiefen der monoklinen Amphibole; die Bestimmung der Richtung von n_α und n_γ erfolgt mit dem Rot-I-Plättchen.

Tremolit – Ferroaktinolith

Zusammensetzung: weite Mischbarkeit mit anderen Amphibolen; OH kann durch O, Cl, F ersetzt werden;

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m

Brechungsindex: n_α 1.599 – 1.688, n_β 1.610 – 1.697, n_γ 1.620 – 1.705 (niedrige Werte jeweils für Tremolit, hohe für Ferroaktinolith); zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.027 - 0.017$

Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: $2V_\alpha = 86-62^\circ$

Auslöschung: meist schief: $\angle(\gamma, c) \approx 10 - 15^\circ$

Farbe: farblos, fahlgrün bis tiefgrün (hoher Fe-Gehalt ist mit dunkler Farbe und schwachem Pleochroismus verbunden);

Spaltbarkeit: gut nach {110}

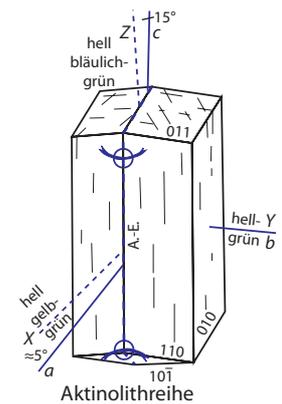
Verzwillingung: einfache und polysynthetische Zwillinge nach {100} sind häufig;

Ausbildung: hypidiomorph langsäulig, stengelig bis faserig (eine asbestartige faserige Varietät heißt *Amiant*, eine wirrfaserige dichte Art *Nephrit*), nadelförmig

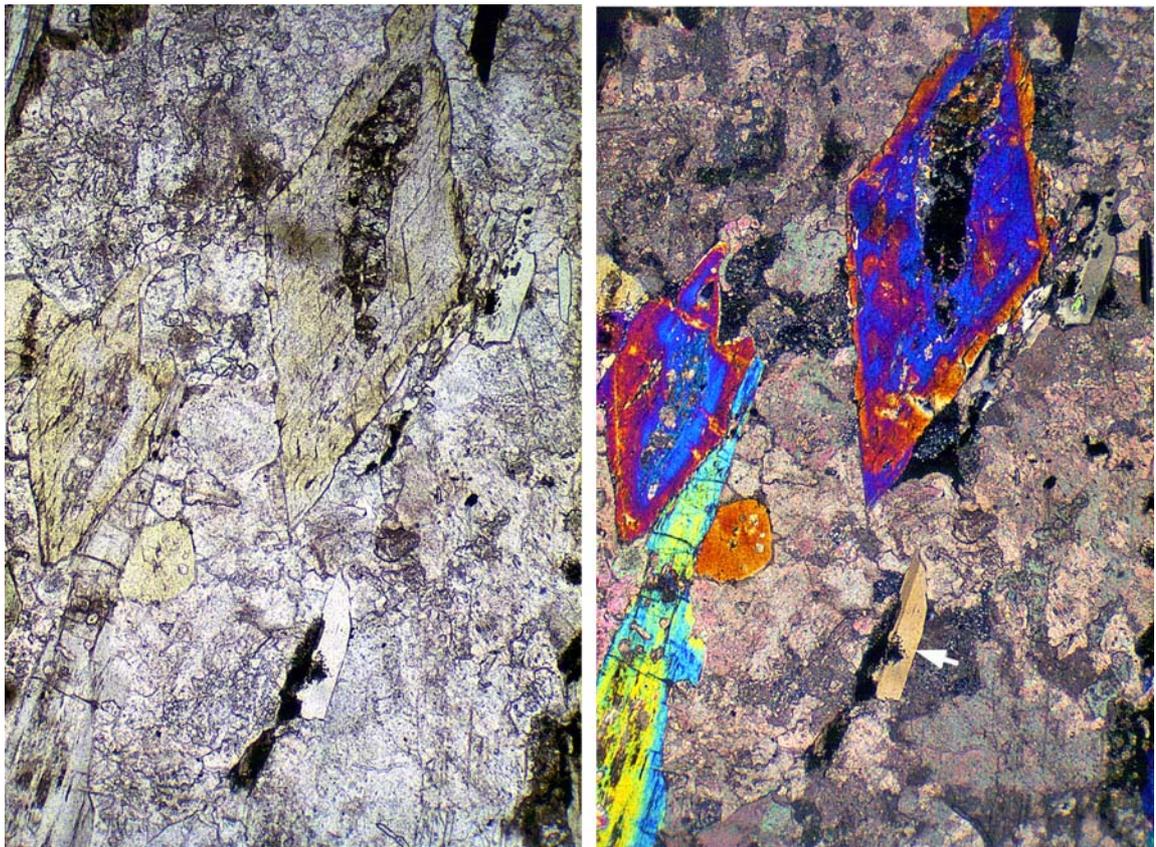
Unterscheidung: Tremolit ist von Anthophyllit durch schiefe Auslöschung zu unterscheiden; Cummingtonit ist optisch positiv; Aktinolith und Ferroaktinolith sind den Hornblenden sehr ähnlich; grüne Hornblenden sind deutlicher gefärbt als Aktinolith, Ägrinaugit zeigt größere Auslöschungsschiefe; Wollastonit ist leicht mit Tremolit verwechselbar, hat jedoch fast gerade Auslöschung und kleineren Achsenwinkel;

Besonderheiten: *Uralit*, ein feinkörniges Verwitterungsprodukt von Pyroxenen, besteht überwiegend aus Tremolit oder Aktinolith;

Umwandlungen: in Chlorit, Talk, Karbonate



- Vorkommen:** Tremolit in niedrig- bis hochgradig metamorphen Marmoren und Kalksilikatfelsen; Aktinolith ist auf niedriggradige Metamorphite beschränkt und tritt vor allem in Grünschiefern, Talkschiefern, Serpentiniten und in Aktinolith- oder Garbenschiefern auf; auch retrograd in Blauschiefern; *Smaragdit* ist ein Cr-haltiger Aktinolith, der in retrograd überprägten Eklogiten als Pseudomorphose nach Omphacit auftritt;
- Paragenese:** Tremolit kommt in der Grünschieferfazies mit Quarz, Chlorit, Epidot, Calcit, Antigorit und Talk vor, in der Amphibolitfazies mit Diopsid und Cummingtonit; in Kontaktmetamorphiten mit Forsterit, Granat, Diopsid, Wollastonit, Calcit, Dolomit;
- Aktinolith in der Grünschieferfazies neben Quarz, Albit, Muskovit, Chlorit, Calcit; auch neben Quarz, Albit, Epidot, Biotit, Pumpellyit, Titanit; bei steigender Metamorphose erfolgt Umwandlung in Hornblende (erkennbar an blaugrüner Absorptionsfarbe in Richtung der Längsachse)

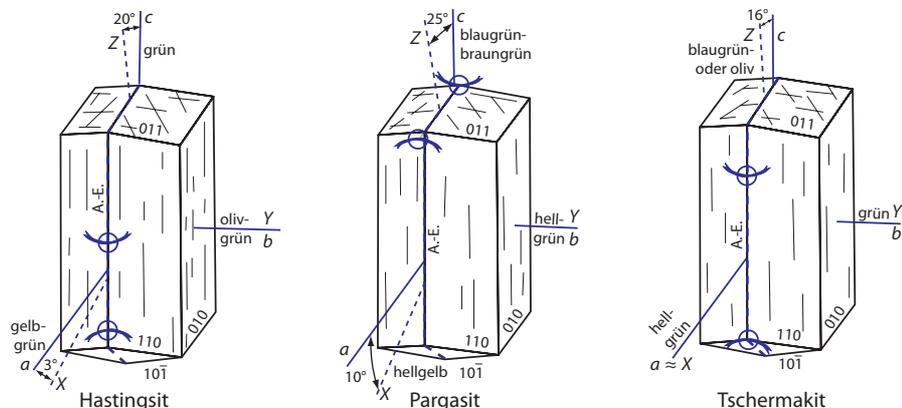


Basisschnitte einiger großer Aktinolith- oder Tremolitkristalle aus einem Marmor aus Xanthi/Nordgriechenland, links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; der Bildausschnitt beträgt rund 3.3 mm hoch. Neben den Amphibolen kommen noch fast farblose (Fe-arme) Chloritleisten vor, von denen einer im rechten Bild mit einem Pfeil markiert ist. Die Matrix besteht aus Calcit und Dolomit.

Hornblenden

Zusammensetzung: umfassen Hornblenden im engeren Sinne, Tschermakite, Edenite, Hastingsite, Pargasite

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse $2/m$



Brechungsindex: n_α 1.610 – 1.728, n_β 1.612 – 1.731, n_γ 1.62 – 1.76

zweiachsig \ominus und \oplus mit $\Delta = 0.014 - 0.034$

Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: $2V_\alpha = 35 - 130^\circ$

Auslöschung: meist schief mit $\angle(\gamma, c) \approx 12 - 34^\circ$

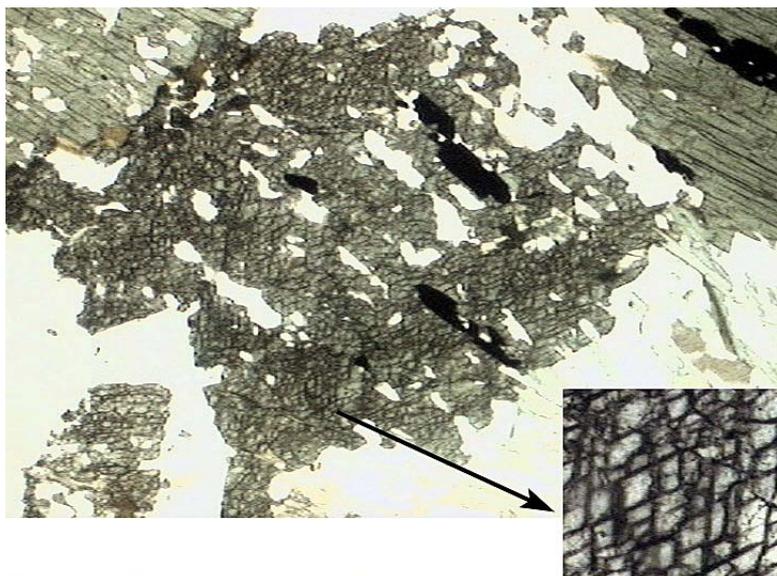
Farbe: markante Eigenfarbe und Pleochroismus in vielen Schattierungen von grün, grüngelb, blaugrün und braun; die grünen Varietäten haben meist X = hellgelb, hellgelbgrün, hellblaugrün; Y = gelbbraun, braun, rotbraun; Z = graubraun, dunkelbraun, rotbraun; konzentrische oder fleckige Farbzonierungen sind verbreitet;

Spaltbarkeit: gut nach {110}

Verzwilligung: einfache und polysynthetische Zwillinge nach {100} sind recht häufig;

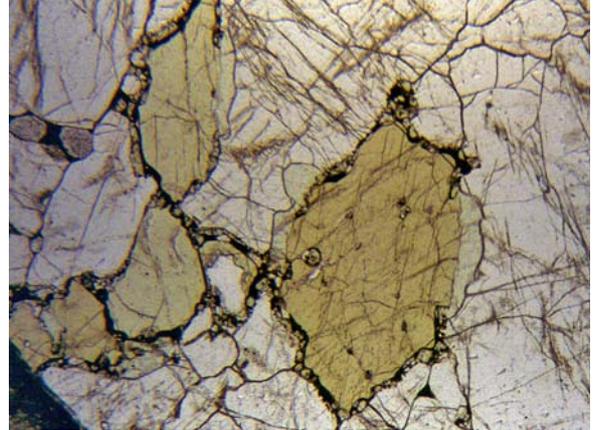
Ausbildung: schlanke Prismen, rautenförmige Querschnitte mit typischer Amphibolsplattbarkeit von 124° ; auch hypidiomorph bis xenomorph und poikilitisch (viele Fremdmineraleinschlüsse verleihen ein siebartiges Aussehen); feinkörnige Massen als Umwandlungsprodukte von Pyroxenen;

grüne Hornblende mit charakteristischer Spaltbarkeit (siehe Ausschnitt unten rechts) aus einem Hornblendegarbenschiefer; Bildausschnitt des Hauptbildes ca. 2.2 mm quer.



Unterscheidung: durch Spaltbarkeit und Habitus von Pyroxenen meist zu unterscheiden; Tremolit ist hell und hat niedrige Brechwerte; Aktinolith hat niedrige Brechwerte und geringere Auslöschungsschiefe; Oxyhornblenden sind dunkelbraun, stark pleochroitisch und haben höhere Doppelbrechung; Biotit weist nur eine Spaltbarkeit auf, löscht gerade aus und hat kleineren Achsenwinkel; Unterscheidung von Aktinolith ist oft nicht sicher möglich;

Pargasitkristalle (neben farblosem Olivin) in einem Peridotitenololith aus der Eifel; die Pargasite sind von einem opaken Saum umgeben, der bei der beginnenden thermischen Zersetzung der Pargasite während des Transports in einem Basanitmagma aus dem Erdmantel an die Oberfläche entstand. Der Bildausschnitt beträgt 2.1 mm längs; die Aufnahme wurde im Hellfeld gemacht.



Besonderheiten: gelegentlich pleochroitische Höfe um radioaktive Einschlüsse;

Umwandlungen: kann umgewandelt werden in Chlorit oder Biotit; durch Oxidation des Fe^{II} entstehen in Vulkaniten Oxyhornblenden;

Vorkommen: kann in fast allen Magmatiten vorkommen; besonders typisch für intermediäre Vulkanite und Plutonite (Diorite, Granodiorite, Andesite); in mittel- bis hochgradigen regionalmetamorphen Gesteinen (Amphibolite, Hornblendegneise); auch in Marmoren, Skarnen (in denen Tremolit und Aktinolith häufiger sind)

Paragenese: in intermediären Plutoniten mit Feldspäten, Quarz, Biotit, Titanit, Pyroxen; in regionalmetamorphen Gesteinen der oberen Grünschieferfazies neben Albit, Epidot, Almandin; in mittelgradigen Metamorphiten neben intermediären bis Ca-reichen Feldspäten, Granat, Rutil; in hochgradigen Metamorphiten mit Diopsid, Phlogopit

Oxyhornblenden

Zusammensetzung: Oxyhornblende ist kein eigener Amphibol, sondern einer, in dem ein beträchtlicher Teil des Eisens oxidiert vorliegt;

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse $2/m$

Brechungsindex: $n_\alpha 1.65 - 1.70$, $n_\beta 1.67 - 1.78$, $n_\gamma 1.68 - 1.80$
zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.018 - 0.083$

Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: $2V_\alpha = 56 - 88^\circ$

Auslöschung: meist schief mit $\chi(\gamma,c) \approx 0 - 18^\circ$

Farbe: braun bis rotbraun; stark pleochroitisch mit X = fahlgelb, gelb, hellbraun, grüngelb; Y = braun, rotbraun, grüngelb; Z = dunkelbraun, dunkelrotbraun, dunkelgrünbraun;

Spaltbarkeit: typische Amphibolspaltbarkeit nach $\{110\}$

Verzwilligung: einfache und polysynthetische Zwillinge nach $\{100\}$ sind verbreitet;

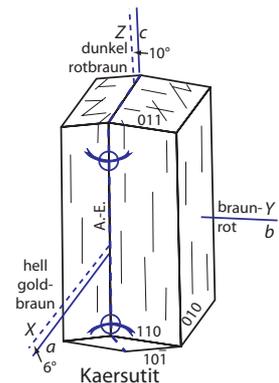
Ausbildung: idiomorph bis hypidiomorph

Unterscheidung: durch die dunkelbraune Farbe, die geringere Auslöschungsschiefe und höhere Doppelbrechung von anderen Hornblenden unterscheidbar; Biotit kann farblich ähnlich sein, hat aber anderen Habitus, nur eine Spaltbarkeit und gerade Auslöschung; Kaersutit sieht ähnlich aus, hat aber eine etwas andere Paragenese;

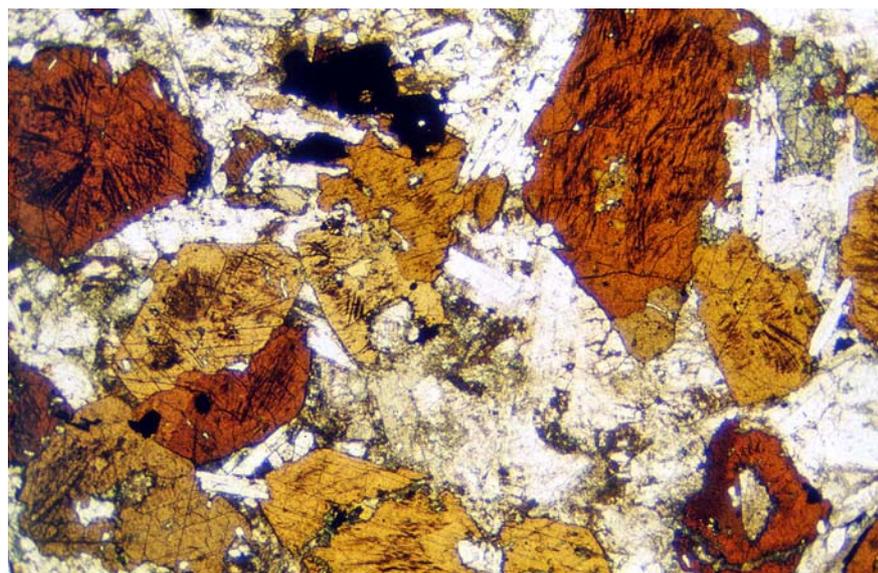
- Besonderheiten:** pleochroitische Höfe sind recht häufig;
Umwandlungen: kann randlich bis vollständig ersetzt werden durch feinkörnige Aggregate von Pyroxenen, Biotit, Magnetit und Hämatit;
Vorkommen: beschränkt auf Vulkanite und flache Intrusionen (Trachyte, Basalte, Andesite, Latite)
Paragenese: Plagioklas, Biotit, Pyroxene, Magnetit, Glas

Kaersutit

- Zusammensetzung:** beträchtliche Mischbarkeit mit den Hornblenden; charakteristisch ist der hohe Ti-Gehalt (entspricht darin dem Titanaugit unter den Pyroxenen);
Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m
Brechungsindex: n_α 1.670 – 1.707, n_β 1.690 – 1.741, n_γ 1.700 – 1.772
 zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.015 - 0.029$
Hauptzone: (+)
Achsenwinkel: $2V_\alpha = 66 - 84^\circ$ (meist um 80°)
Auslöschung: meist schief mit $\angle(\gamma, c) 0 - 19^\circ$
Farbe: gelbbraun, braun, rotbraun, grünbraun; Pleochroismus mit X = gelb bis gelbbraun, Y = rotbraun und Z = dunkelrotbraun oder grünbraun
Spaltbarkeit: gut nach {110}
Verzwilligung: einfache oder polysynthetische Zwillingen nach {100} sind häufig;
Ausbildung: idiomorph bis hypidiomorph mit typischem Amphibolhabitus
Unterscheidung: schwer von Oxyhornblenden unterscheidbar; Katophorit hat niedrigere Brechwerte und kleineren Achsenwinkel;
Besonderheiten: Zonarbau ist recht häufig;
Umwandlungen: gelegentlich in Fe-Ti-Oxide, dunklen Amphibol, Titanaugit und Chlorit
Vorkommen: in alkalireichen Vulkaniten (Trachybasalt, Trachyandesit, Trachyt) und Plutoniten (Monzonite, Syenite)
Paragenese: Titanaugit, Titanbiotit, Fe-Ti-Oxide, Titanit



braune Kaersutite neben farblosen Feldspäten und kleinen Apatiten sowie einem blaßgrünen Augit (rechts oben) aus einem Monzodiorit aus Indien; der Bildausschnitt beträgt rund 8 mm quer.

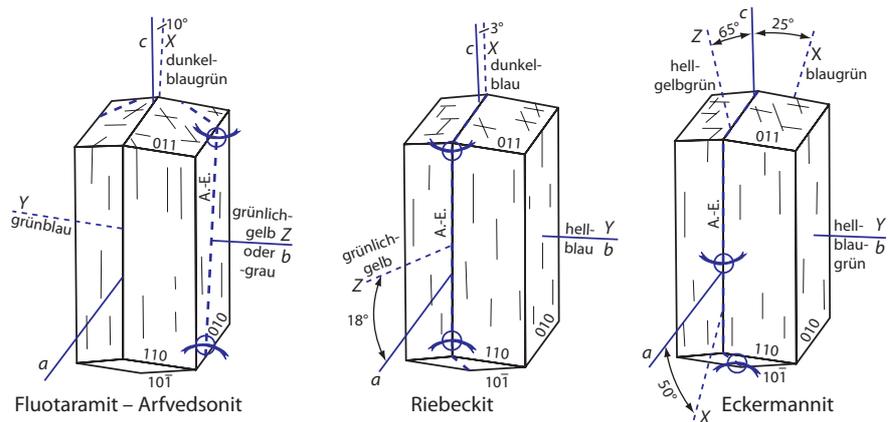


Richterit

- Zusammensetzung:** es besteht beträchtliche Mischkristallbildung mit Ca-Amphibolen;
- Kristallsystem:** monoklin, Kristallklasse $2/m$
- Brechungsindex:** n_α 1.605 – 1.685, n_β 1.615 – 1.700, n_γ 1.622 – 1.712
zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.015 - 0.029$
- Hauptzone:** (+)
- Achsenwinkel:** $2V_\alpha = 64 - 87^\circ$
- Auslöschung:** meist schief mit $\angle(\gamma, c) = 15 - 40^\circ$
- Farbe:** farblos, gelb, violett; Pleochroismus variabel (fahlgelb oder grün mit orangenen bis roten Tönungen, gelegentlich violett oder blau);
- Spaltbarkeit:** vollkommen nach $\{110\}$
- Verzwilligung:** einfache oder polysynthetische Zwillingen nach $\{100\}$
- Ausbildung:** breitstengelig, typische Amphibolquerschnitte
- Unterscheidung:** farblose Vertreter ähneln Tremolit, von dem sie kaum zu unterscheiden sein können; charakteristisch ist die pleochroitische Farbvariation von Richterit, durch die er von anderen Amphibolen in der Regel unterscheidbar ist;
- Besonderheiten:** keine
- Umwandlungen:** keine
- Vorkommen:** in metamorphen Kalken und Skarnen; gelegentlich auch in Karbonatiten; in hydrothermalen Ablagerungen;
- Paragenese:** Diopsid, Forsterit, Granat

Arfvedsonit, Riebeckit, Eckermannit

- Zusammensetzung:** Alkaliamphibole mit weitgehender Mischkristallbildung
- Kristallsystem:** monoklin, Kristallklasse $2/m$
- Brechungsindex:** n_α 1.623 (Arfvedsonit) – 1.701 (Riebeckit/Eckermannit), n_β 1.631 – 1.709, n_γ 1.635 – 1.710; die Lichtbrechung der Alkaliamphibole steigt mit zunehmendem $Fe^{II}/(Mg+Fe^{II})$ - und $Fe^{III}/(Al+Fe^{III})$ -Verhältnis an (siehe Abbildung 20);



zweiachsig $\oplus \ominus$ mit $\Delta = 0.005 - 0.016$

- Hauptzone:** (-)
- Achsenwinkel:** $2V_\alpha = 40 - 100^\circ$ [Arfvedsonit $0 - 100^\circ$]
- Auslöschung:** meist schief mit $\angle(\alpha, c) = -10$ bis -25° und $\angle(\beta, c) = 65 - 80^\circ$

Farbe: blaue bis bräunlichgrüne, graublaue oder fast schwarze Absorptionsfarben mit markantem Pleochroismus:

Arfvedsonit: α blaugrün, dunkelblaugrün, β hellblaugrün, graublau, γ hellgelblichgrün, grünlichblaugrau; Riebeckit: α tiefblau bis grünlichblau, β gelbbraun bis blaßgelbgrün, γ tiefblau; Eckermannit: α blaugrün, β fahlblaugrün, γ fahlgelbgrün;

Spaltbarkeit: vollkommen nach {110}

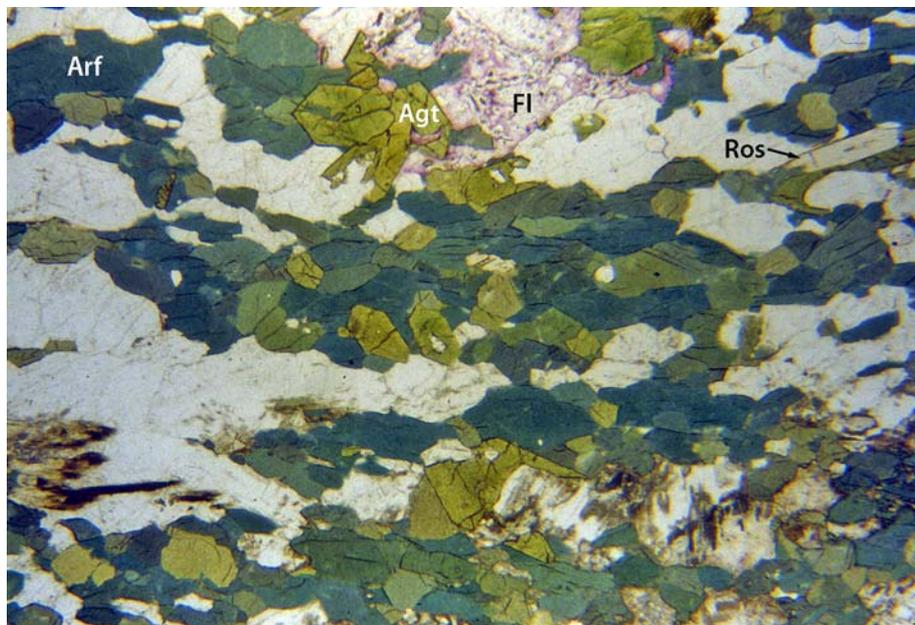
Verzwilligung: gelegentlich einfach nach {100}

Ausbildung: dicksäulig || c; stengelig, körnig, blättrig || (010); gelegentlich poikiloblastisch; auch faserige Aggregate; *Krokydolith* ist die faserige Form von Riebeckit und zählt zu den Asbestmineralen (Blauasbest); er gilt bei längerer Exposition (Einatmen) als gefährlicher als Chrysotilasbest;

Unterscheidung: Eckermannit ähnelt Aktinolith und Hornblende, hat jedoch meist größere Auslöschungsschiefe; Glaukophan hat andere Paragenese und mehr violette bis lilarote Absorptionsfarben; Turmalin hat gerade Auslöschung und weist entgegengesetzte Orientierung der stärksten Absorption auf (Arfvedsonit || c Maximum, Turmalin || Minimum der Absorption); Crossit und Katophorit haben höhere Doppelbrechung und andere Farben;

Besonderheiten: starke anomale Interferenzfarben, die oft von den kräftigen Eigenfarben überdeckt sind;

blaugrüner Arfvedsonit (Arf) neben gelbgrünem Ägirinaugit (Agt), Fluorit (Fl), Quarz und dem seltenen Rosenbuschit (Ros) [(Ca,Na)₆ZrTi[(F,O)₂Si₂O₇]₂ - Pfeil] in einem metamorphen Syenit aus Schweden; Bildausschnitt ca. 7.0 mm quer



Umwandlungen: Uralitisierung

Vorkommen: Arfvedsonit und Eckermannit in Nephelinsyeniten und ihren Pegmatiten, in Syeniten, Shonkiniten, Trachyten, Phonolithen; Riebeckit vor allem in sauren Plutoniten und Alkalirhyolithen; Krokydolith in metamorphen BIFs (banded iron formation);

Paragenese: Ägirin, Ägirinaugit, Hastingsit, Katophorit, Biotit, Kalifeldspat, Plagioklas, Nephelin, Riebeckit auch mit Quarz

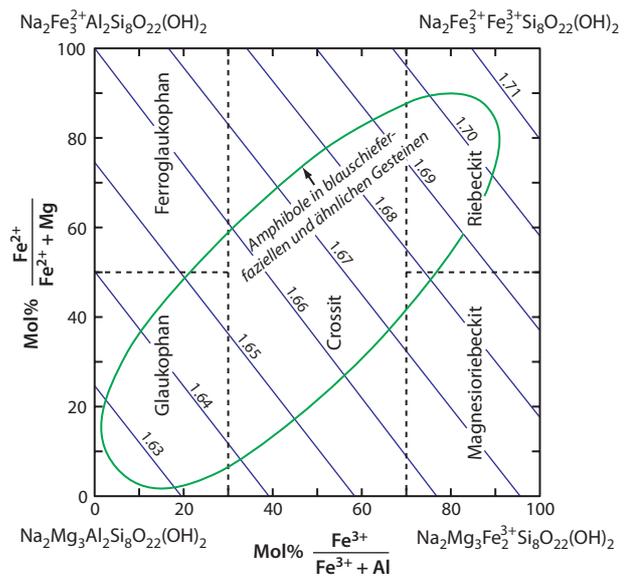


ABBILDUNG 20 ungefähre Variation von n_γ mit der Zusammensetzung der Na-Amphibole

Glaukophan, Crossit

Zusammensetzung: Alkaliambihole mit weitgehender Mischkristallbildung mit Riebeckit

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m

Brechungsindex: n_α 1.595 (Glaukophan) – 1.630 (Crossit), n_β 1.614 – 1.650, n_γ 1.620 – 1.652

zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.025 - 0.022$ (Glaukophan) bzw. $\Delta = 0.020 - 0.008$ (Crossit)

Hauptzone: (+) [Crossit auch -]

Achsenwinkel: $2V_\alpha = 0 - 50^\circ$ (Crossit bis 90°)

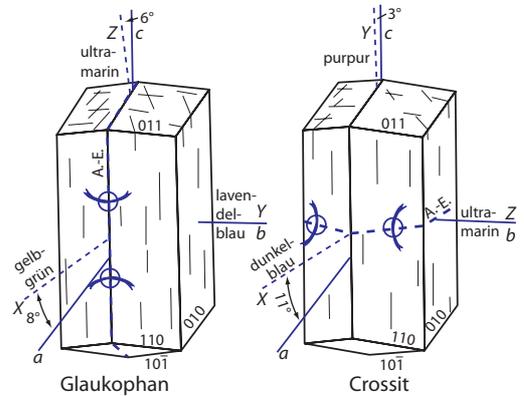
Auslöschung: meist schief mit $\angle(\gamma, c) = 5 - 7^\circ$ (Glaukophan) bzw. $5 - 9^\circ$ (Crossit)

Farbe: blaue bis violette Absorptionsfarben mit ausgeprägtem Pleochroismus:

Glaukophan: α farblos bis blaßgelbgrün, β lila bis bläulichviolett, γ ultramarin bis himmelblau; Crossit: α farblos bis blaßgrün, β tiefblau, γ lila bis grauviolett;

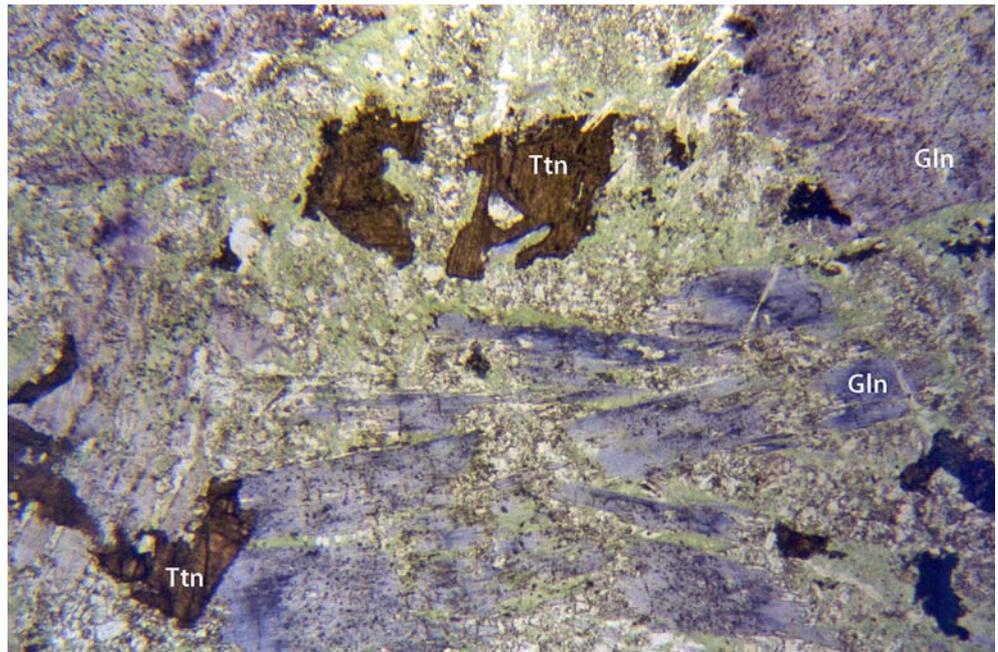
Spaltbarkeit: vollkommen nach {110}

Verzwilligung: selten nach {100}



Glaukophan (Hauptmasse des Schliffs) neben Titanit (hohes Relief) und blaßgrünem Chlorit (nur wenige Kristalle sind jeweils markiert) in einem Blauschiefer aus Westkreta; Bildausschnitt ca. 3.3 mm quer.

Siehe auch Abbildung auf Seite 74.



Ausbildung: meist langsäulig nach [001]; stengelig bis stengelig-blättrig; selten nadelig bis faserig;

Unterscheidung: durch die auffallende Absorptionsfarbe leicht zu identifizieren; Riebeckit ist meist dunkler blau gefärbt; Arfvedsonit hat andere Paragenese und zeigt mehr bläulichgrüne bis graugrüne oder graublau Farbtöne; Turmalin löscht in Längsschnitten gerade aus und ist einachsig oder anomal zweiachsig mit geringem Achsenwinkel;

Besonderheiten: keine

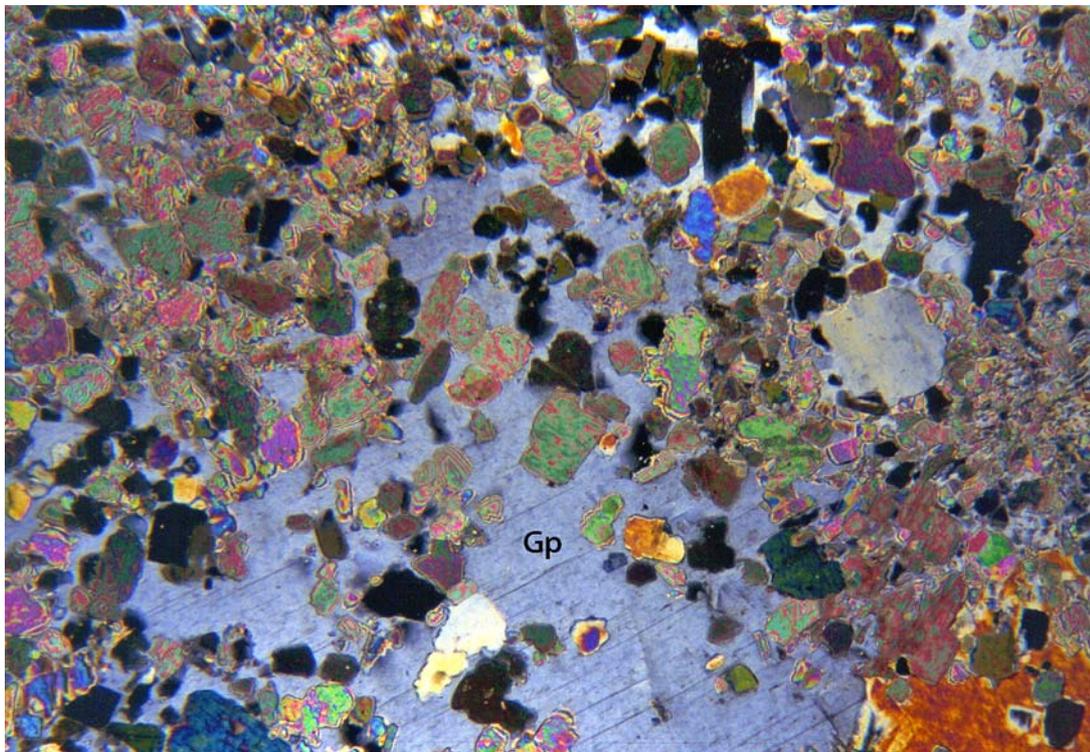
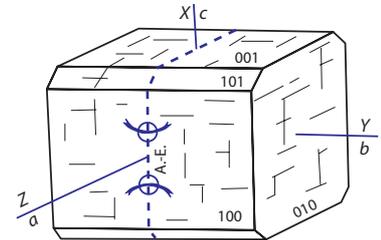
Umwandlungen: bei retrograder Metamorphose Umwandlung in Barroisit, Aktinolith oder Chlorit;

Vorkommen: in Glaukophanschiefern

Paragenese: Klinozoisit, Zoisit, Lawsonit, jadeitischer Pyroxen, Muskovit, Almandin, Pumpellyit, Rutil, Karbonate, Epidot; in Eklogiten mit Granat, Omphacit, Hornblende

Anhydrit CaSO_4

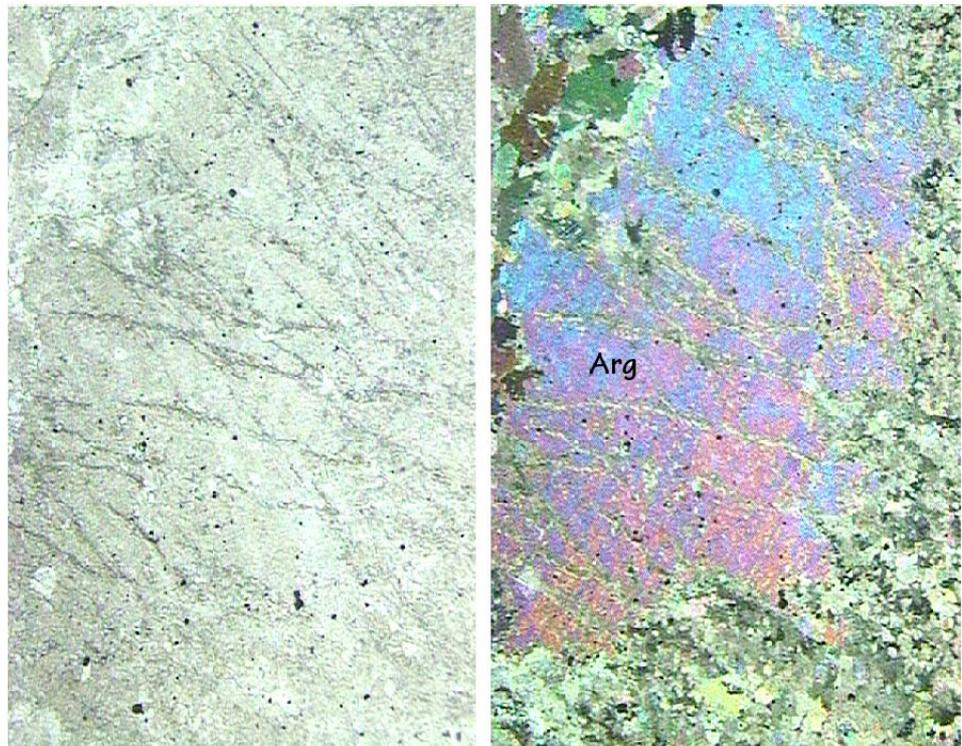
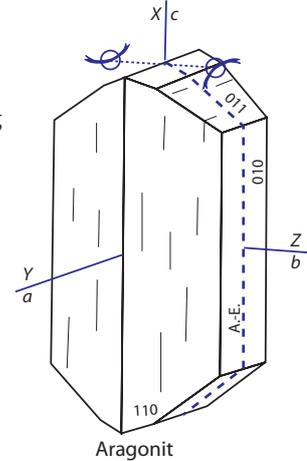
- Zusammensetzung:** mit Ausnahme kleiner Mengen an Sr und Ba keine nennenswerte Abweichung von der Formel;
- Kristallsystem:** orthorhombisch, Kristallklasse mmm
- Brechungsindex:** n_α 1.570, n_β 1.575, n_γ 1.613; zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.044$
- Hauptzone:** untypisch
- Achsenwinkel:** $2V_\gamma = 42^\circ$
- Auslöschung:** meist gerade (parallel der Spaltrisse);
- Farbe:** farblos
- Spaltbarkeit:** perfekt nach (010), sehr gut nach (100), gut nach (001);
- Verzwilligung:** relativ oft polysynthetisch nach (011);
- Ausbildung:** in Form massiger Aggregate, in Form faseriger Aggregate oder radialstrahlig; stengelig, dicktafelig, körnig;
- Unterscheidung:** Gips hat geringere Licht- und Doppelbrechung sowie schlechtere Spaltbarkeit und schiefe Auslöschung; Baryt hat niedrigere Doppelbrechung und höhere Lichtbrechung;
- Besonderheiten:** oft verbogene Spaltflächen infolge mechanischer Beanspruchung;
- Umwandlungen:** durch Hydratisierung unter starker Volumenzunahme in Gips;
- Vorkommen:** in Evaporiten; in Oxidationszonen von Sulfdlagerstätten; selten neben Zeolithen in Hohlräumen basaltischer Vulkanite;
- Paragenese:** Gips, Halit, Sylvin, Illit, Calcit, Dolomit.



Anhydrit (kleine Körner mit bunten Interferenzfarben) neben Gips (großes Korn mit grauer Interferenzfarbe im unteren Teil des Bildes aus dem norddeutschen Zechstein; Bildausschnitt ca. 2.5 mm quer; die Abbildung auf Seite 90 zeigt denselben Schliff im Hellfeld

Aragonit CaCO_3

- Zusammensetzung:** meist relativ rein; einige Prozent Sr können allerdings in das Gitter eintreten;
- Kristallsystem:** orthorhombisch, Kristallklasse mmm
- Brechungsindex:** n_α 1.530 – 1.531, n_β 1.680 – 1.681, n_γ 1.685 – 1.686 \Rightarrow zweiachsig
 \ominus mit $\Delta = 0.155 - 0.156$
- Hauptzone:** (-)
- Achsenwinkel:** $2V_\alpha = 18^\circ$
- Auslöschung:** gerade in Längsschnitten, symmetrisch in Basisschnitten
- Farbe:** farblos
- Spaltbarkeit:** schlecht nach {010}
- Verzwillingung:** häufig lamellar nach {110}
- Ausbildung:** meist radialstrahlige oder stengelige bis parallelfaserige Aggregate
- Unterscheidung:** Calcit ist meist optisch einachsig, besitzt aber eine sehr gute Rhomboederspaltbarkeit
- Besonderheiten:** Relief wechselt in Abhängigkeit von der Schnittlage – wie auch bei Calcit; Aragonit ist bei normalen Temperaturen metastabil und invertiert relativ rasch in Calcit;
- Vorkommen:** als Bestandteile von Schalen tierischer Organismen [darunter des Perlmutter (Anteil $\approx 90 - 95\%$; Rest sind organische Komponenten und etwas Wasser) und damit auch von Perlen], auch sedimentbildend in nicht allzu tiefen Ozeanbecken; als Absatz von Thermen; auf Klüften und in Mandeln mafischer Vulkanite; als Hochdruckmineral in Aragonitmarmoren;
- Paragenese:** Zeolithe, Calcit, andere Karbonate



großer Aragonitkristall aus einem hochdruckmetamorphen Marmor aus Westkreta, links (kaum erkennbar) im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren. Die kleinen Kristalle (rechts unten und links oben) sind bereits Calcit; Kantenlänge ca. 2.5mm quer.

Chlorite $(\text{Mg,Al,Fe})_6[(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$

Zusammensetzung: der Name *Chlorit* steht für eine Gruppe von Mineralen mit weiter Variation der chemischen Zusammensetzung, entsprechend der angegebenen Formel (siehe Abbildung 21); außerdem können Cr, Mn, Ni und Zn in beträchtlichen Mengen eintreten;

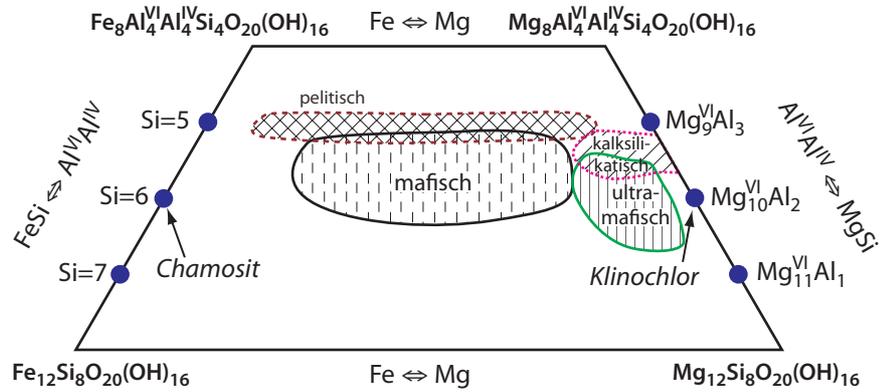


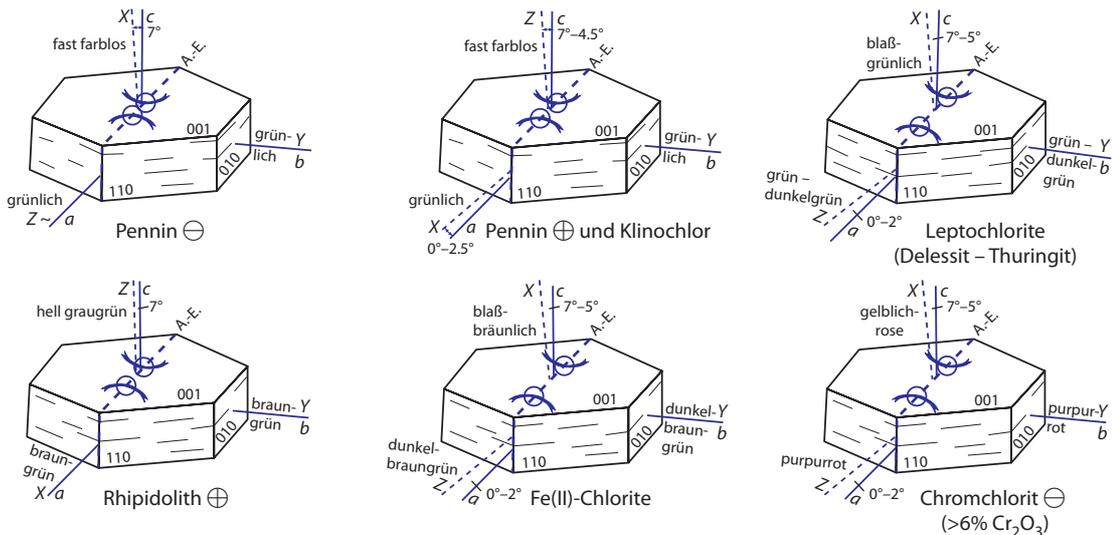
ABBILDUNG 21 Die Abbildung zeigt die beiden wichtigsten Substitutionen bei den Chloriten, $\text{Mg} \rightleftharpoons \text{Fe}$ und die Tschermaks-Substitution $\text{Mg,FeSi} \rightleftharpoons \text{Al}^{\text{VI}}\text{Al}^{\text{IV}}$; Felder der Chloritzusammensetzung für Gesteine verschiedener Pauschalchemismen sind außerdem angegeben. Chlorite aus Ultramafiten und aus Kalksilikatgesteinen sind besonders Mg-reich.

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m

Brechungsindex: Mg-Chlorite: n_α 1.562 – 1.594, n_β 1.565 – 1.594, n_γ 1.565 – 1.606; zweiachsig $\oplus \ominus$ mit $\Delta = 0.003 - 0.012$;

intermediäre Chlorite: n_α 1.589 – 1.605, n_β 1.595 – 1.608, n_γ 1.595 – 1.615; zweiachsig $\oplus \ominus$ mit $\Delta = 0.002 - 0.012$;

Fe(II)-Chlorite: n_α 1.632 – 1.665, n_β 1.638 – 1.676, n_γ 1.638 – 1.675; zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.004 - 0.010$; – siehe auch Abbildung 22;



Hauptzone: (+) oder (-), dem optischen Vorzeichen entgegengesetzt;

Achsenwinkel: Mg-Chlorite: $2V_\alpha = 0 - 5^\circ$ (Pennin); $2V_\gamma = 0 - 30^\circ$ (Klinochlor);

intermediäre Chlorite: $2V_\alpha = 0 - 10^\circ$; $2V_\gamma = 0 - 40^\circ$;

Fe(II)-Chlorite: $2V_\alpha = 0 - 30^\circ$;

Auslöschung: nahezu gerade χ (γ bzw. α, a) $\approx 0^\circ$; Auslöschungsschiefe gegen die Spur der Spaltrisse in Schnitten \perp (001) liegt fast stets bei 0° (bis zu 7° bei Klinochlor);

Farbe: normalerweise hell- bis mittelgrün, wobei die Farbtintensität mit steigendem Fe-Gehalt zunimmt; Mg-Chlorite sind fast farblos, Fe-Chlorite olivgrün, braungrün;

Pleochroismus ist schwächer als bei Biotit oder Hornblende, wobei α (=X) $\equiv \beta$ (Y) [grün, hellgrün, braungrün] $> \gamma$ (Z) [farblos, hellgrün, hellgelbgrün];

Spaltbarkeit: perfekt nach {001}

Verzwilligung: lamellar nach {001} (Pennin-Gesetz) und [310] (Glimmer-Gesetz) – nur gelegentlich erkennbar (bei Pennin und Klinochlor);

Ausbildung: dünntafelig nach {001}, aggregatartig blättrig, schuppig bis faserig, dicht bis verfilzt; in Sedimenten auch sphärolithisch (wie Glaukonit);

Unterscheidung: von Muskovit und Biotit durch grünliche Farbe, schwachen Pleochroismus und niedrige Doppelbrechung zu unterscheiden; Serpentin ist meist niedriger lichtbrechend und weniger pleochroitisch; in Sedimenten kaum von Tonmineralen zu unterscheiden;

Besonderheiten: Mg-Chlorite: anomale Interferenzfarben bei optisch \ominus Vertretern (Pennin, Diabantit, Al-armer Pyknochlorit), normale Interferenzfarben bei optisch \oplus Gliedern (Grochaut);

intermediäre Chlorite: anomal lederbraune Interferenzfarben bei optisch \oplus Gliedern (Klinochlor, Al-reicher Pyknochlorit und Fe-armer Rhipidolith); anomal entenblaue Interferenzfarben bei optisch \ominus Vertretern (Fe-reicher Rhipidolith und Fe-reicher Aphrosiderit);

Fe-Chlorite: meist normale Interferenzfarben; selten anomale blaugraue Interferenzfarben (Fe-reicher Bavalit);

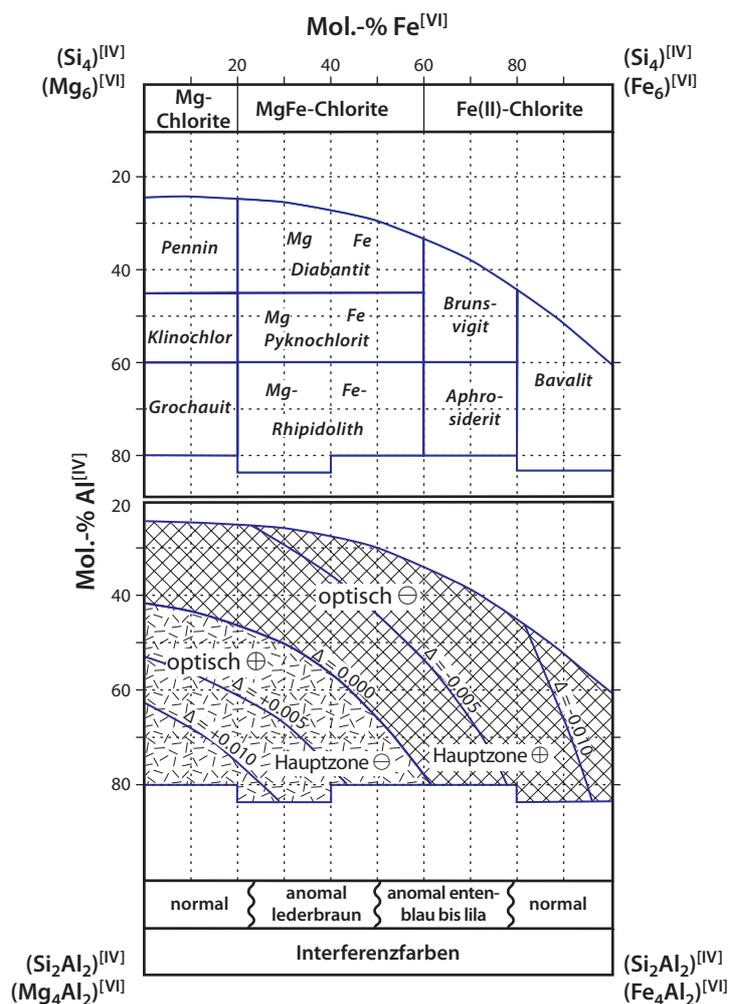
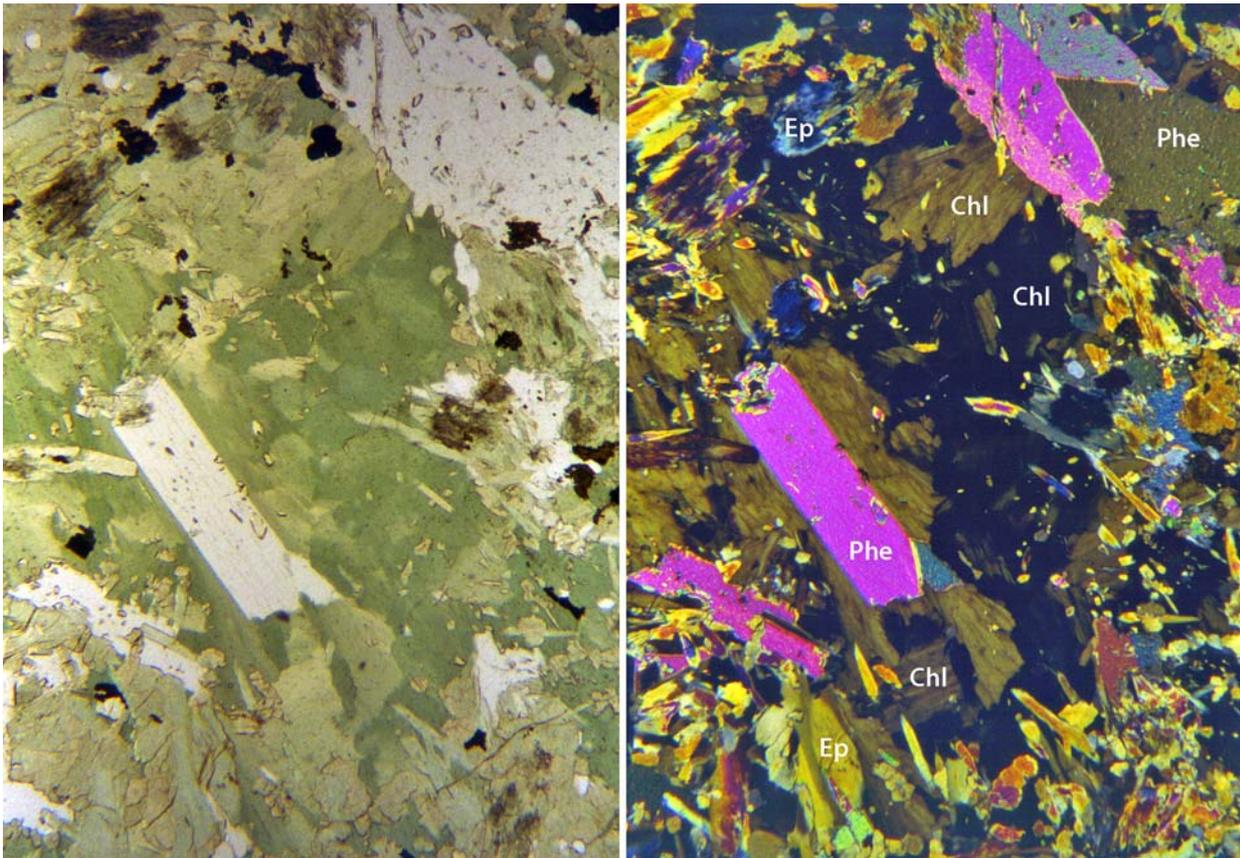


ABBILDUNG 22 Einteilung und optische Eigenschaften der Chlorite; römische Zahlen in eckigen Klammern stehen für Koordinationszahlen.

- Umwandlungen:** relativ verwitterungsbeständig; evtl. Umwandlung in Tonminerale, Mg-Fe-Karbonate, Fe-Oxide; bei progressiver Metamorphose bei Verfügbarkeit von K Abbau zu Biotit/Amphibol;
- Vorkommen:** weitverbreitete Minerale in Metamorphiten der Grünschieferfazies (namengebend!) wie Chloritschiefer, Phyllite, Quarzite sowie der niedrigen Kontaktmetamorphose (Albit-Epidot-Hornfelsfazies); als autohydrothermale Neubildung in Mandeln, Drusen und auf Klüften von Magmatiten; als Umwandlungsprodukt von Mg,Fe-reichen Mineralen in basischen Magmatiten (Gabbros, Diabase, Spilite), aber auch in sauren Magmatiten;
- Paragenese:** in Metapeliten mit Biotit, Granat, Staurolith, Andalusit, Muskovit, Chloritoid, Cordierit; in mafischen Metamorphiten mit Talk, Serpentin, Aktinolith, Hornblende, Epidot, Granat; als hydrothermale Verwitterungsminerale in basischen Vulkaniten mit Biotit, Pyroxenen, Amphibolen

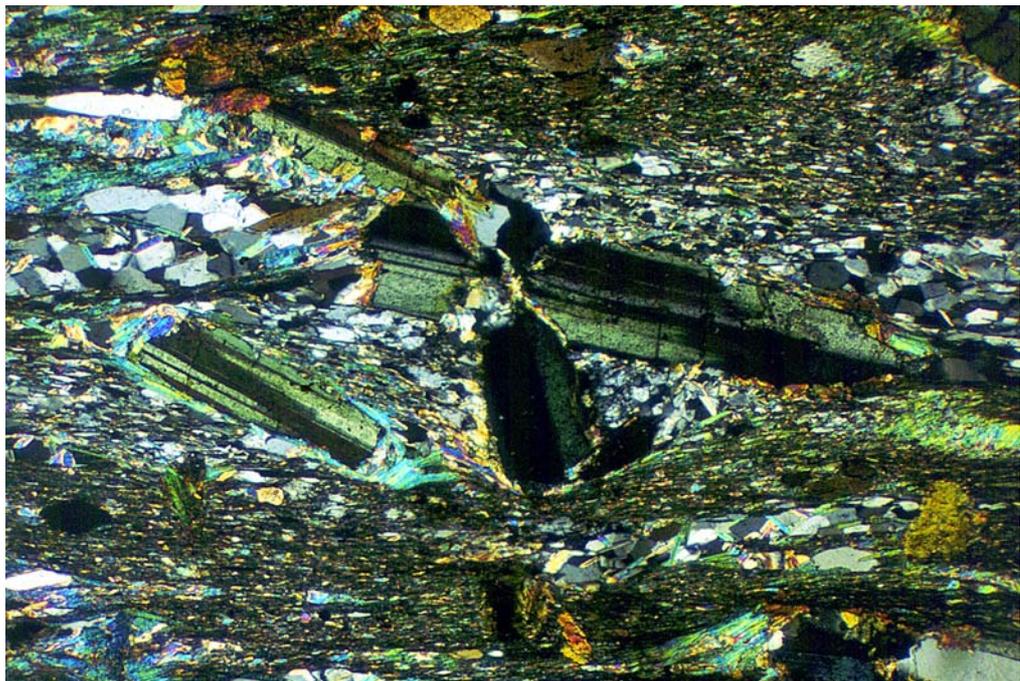
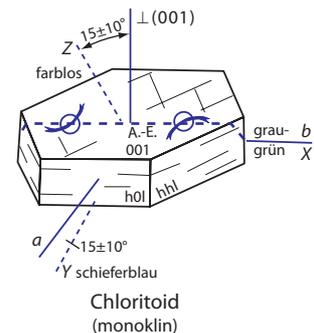
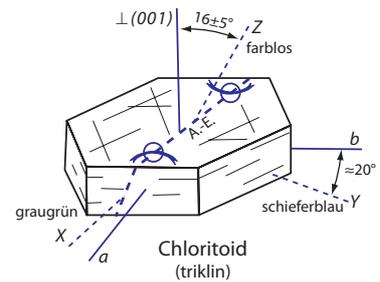


Chlorit neben Epidot (Ep) und Hellglimmer (Phe) in einem blauschieferfaziellen Metabasit aus Syros/ Kykladen, links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 2.5 mm hoch; die Chlorite sind im Hellfeld intensiv grün, die Epidote blaßgelbgrün und die Hellglimmer farblos; im Dunkelfeld zeigen die Chlorite die typischen unternormalen braunen Interferenzfarben intermediärer Mg-Fe-Chlorite.

Chloritoid $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})\text{Al}_3\text{O}_2(\text{SiO}_4)_2(\text{OH})_4$

- Zusammensetzung:** wesentliche Variation in der Substitution $\text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons \text{Mg}, \text{Mn}$ und $\text{Al} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}$
- Kristallsystem:** triklin, Kristallklasse $\bar{1}$; durch Gitterverzwillingung monoklin, Kristallklasse $2/m$;
- Brechungsindex:** n_α 1.705 – 1.730, n_β 1.708 – 1.734, n_γ 1.712 – 1.740
zweiachsig $\oplus \ominus$ mit $\Delta = 0.005 - 0.022$
- Hauptzone:** (–)
- Achsenwinkel:** $2V_\gamma = 36 - 70^\circ$ (monoklin), $2V_\alpha = 55 - 88^\circ$ (triklin)

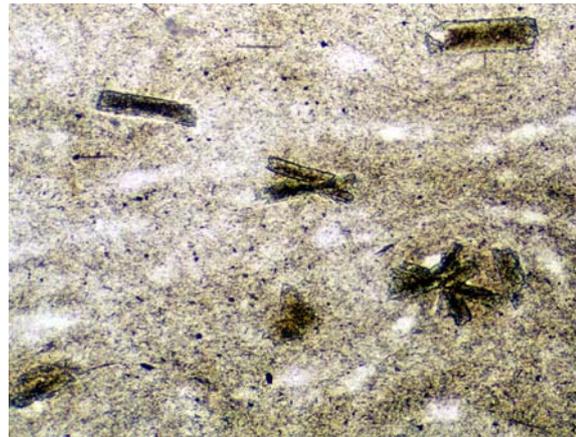
- Auslöschung:** meist schief: $\angle(\beta, b) \approx 20^\circ$ (triklin), gerade in Richtung der b-Achse $\angle(\alpha, b) + 0^\circ$ (monoklin)
- Farbe:** grün bis graugrün mit starkem Pleochroismus, selten farblos;
Pleochroismus: α grünlichgrau, olivgrün, farblos, grünlichblau;
 β schieferblau, indigoblau, blaugrün; γ farblos, gelbgrün, gelb;
- Spaltbarkeit:** perfekt $\parallel \{001\}$, mäßig nach $\{110\}$;
- Verzwilligung:** häufig einfache und polysynthetische Zwillinge sowie Drillinge nach $\{001\}$;
- Ausbildung:** tafelige Kristalle $\parallel \{001\}$; auch länglich, blättrig, glimmerähnlich;
- Unterscheidung:** markanter Pleochroismus; verwechselbar mit Chlorit, Stilpnomelan und grünem Biotit; Biotit und Stilpnomelan haben jedoch kleinere Achsenwinkel, höhere Doppelbrechung und nur eine gute Spaltbarkeit sowie (fast) gerade Auslöschung; Chlorite haben deutlich niedrigere Lichtbrechung, andere Absorptionsfarben und oft anomale Interferenzfarben;
- Besonderheiten:** oft einschlußreich; oft mit Sanduhrstruktur;
- Umwandlungen:** bei aufsteigender Metamorphose Abbau zu Staurolith, Almandin, Spinell; bei retrograder Metamorphose Abbau zu Chlorit oder Verwitterung zu Sericit und Tonmineralen;
- Vorkommen:** in regionalmetamorphen Fe,Al-reichen Gesteinen (Metapelite) der Grünschieferfazies; auch in Glaukophanschiefern; in Smirgel neben Korund;



ungewöhnlich große verzwilligte Kristalle von Chloritoid in einer Matrix aus Glimmern, Quarz und Glaukophan in einem Blauschiefer aus der Ägäis; Bildgröße ca. 2.9 mm quer; gekreuzte Polarisatoren

Paragenese: Quarz, Albit, Sericit, Chlorit, Biotit, Staurolith, Glaukophan, Granat; *nie* neben Stilpnomelan.

Kleine grünliche Chloritoid-Idioblasten in einem Metasediment der tieferen Grünschieferfazies; Bildausschnitt beträgt 1.9 mm quer.



Cordierit $(Mg,Fe)_2Al_3(Si_5AlO_{18})$

Zusammensetzung: Cordierit ist stets Mg-reich, d.h. der Mg-Fe-Austausch ist beschränkt (Cordierite mit mehr als 1 Fe pro Formeleinheit sind sehr selten); die Cordieritstruktur enthält große kanalförmige Hohlräume, in die beträchtliche Mengen (einige Gewichtsprozent) an H_2O und CO_2 eintreten können;

Kristallsystem: orthorhombisch, Kristallklasse mmm (pseudohexagonal)

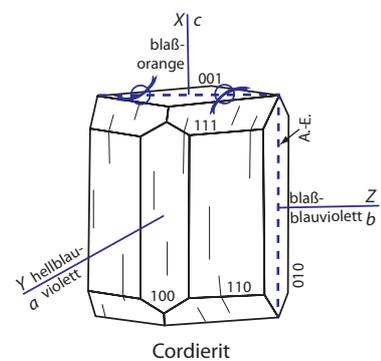
Brechungsindex: n_α 1.527 – 1.560, n_β 1.532 – 1.574, n_γ 1.537 – 1.578
zweiachsig $\ominus \oplus$ mit $\Delta = 0.008 - 0.0018$

Hauptzone: (-), meist nicht bestimmbar

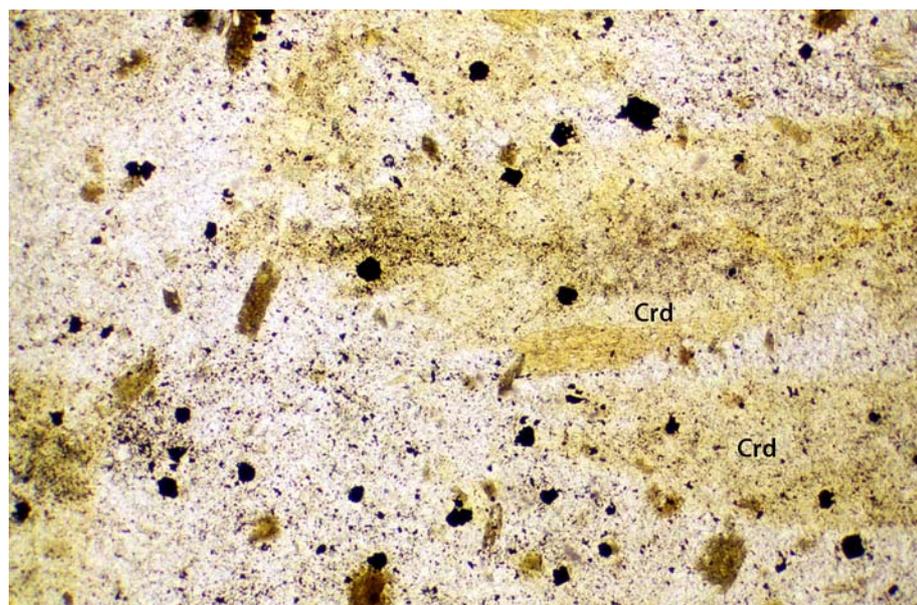
Achsenwinkel: $2V_\alpha = 35 - 106^\circ$

Auslöschung: meist gerade

Farbe: farblos; in dickeren Schlifften auch schwach pleochroitisch von gelblich nach blaßbläulich bis blaßviolett;



Flecken von Cordierit in Fruchtschiefer; Aufnahme im Hellfeld, Bildausschnitt ca. 3.3 mm quer: Der Cordierit ist hier nur an seiner schmutziggelben Farbe zu erahnen.

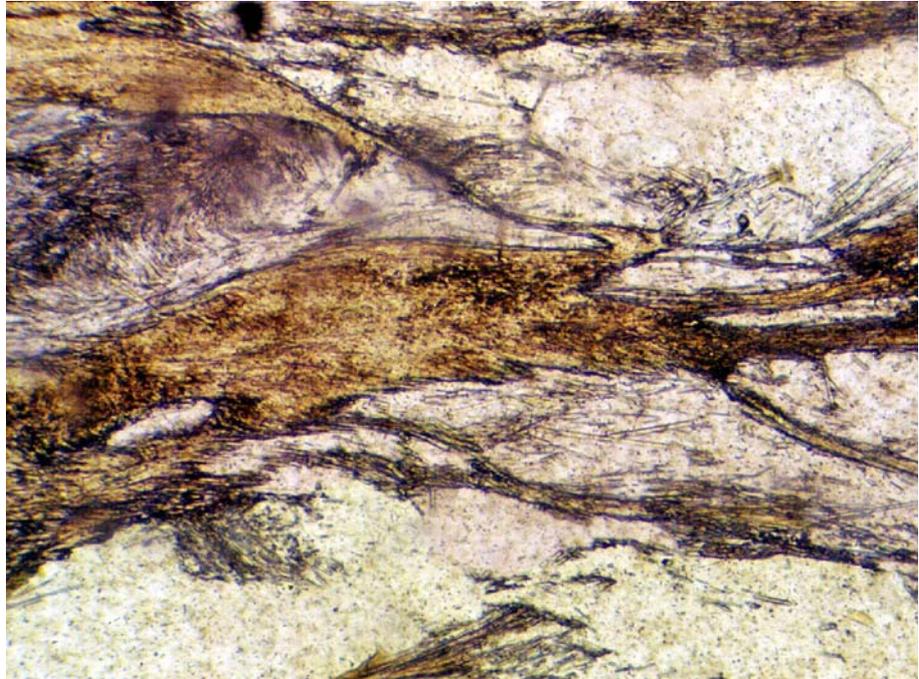


Spaltbarkeit: mäßig bis schlecht nach (010);

Verzwilligung: nach {110} und {310}; polysynthetische Zwillinge und pseudo-hexagonale Berührungs- und Durchkreuzungsdrillinge sind verbreitet, erkennbar durch Sektorenteilung unter gekreuzten Polarisatoren (die beiden gegenüberliegenden Sektoren löschen jeweils zugleich aus);

Ausbildung: meist xenomorph; in Knotenschiefern oft porphyroblastisch mit zahlreichen Einschlüssen von Quarz oder opaken Mineralen;

Cordierit (schmutzige Farben) aus einem Gneis des Bayerischen Waldes; Bildausschnitt ist ca. 0.95 mm quer; Aufnahme im Hellfeld. In den Cordieriten haben sich Büschel von Fibrolith (dunkle Farben) in einer Verdrängungsreaktion entwickelt.



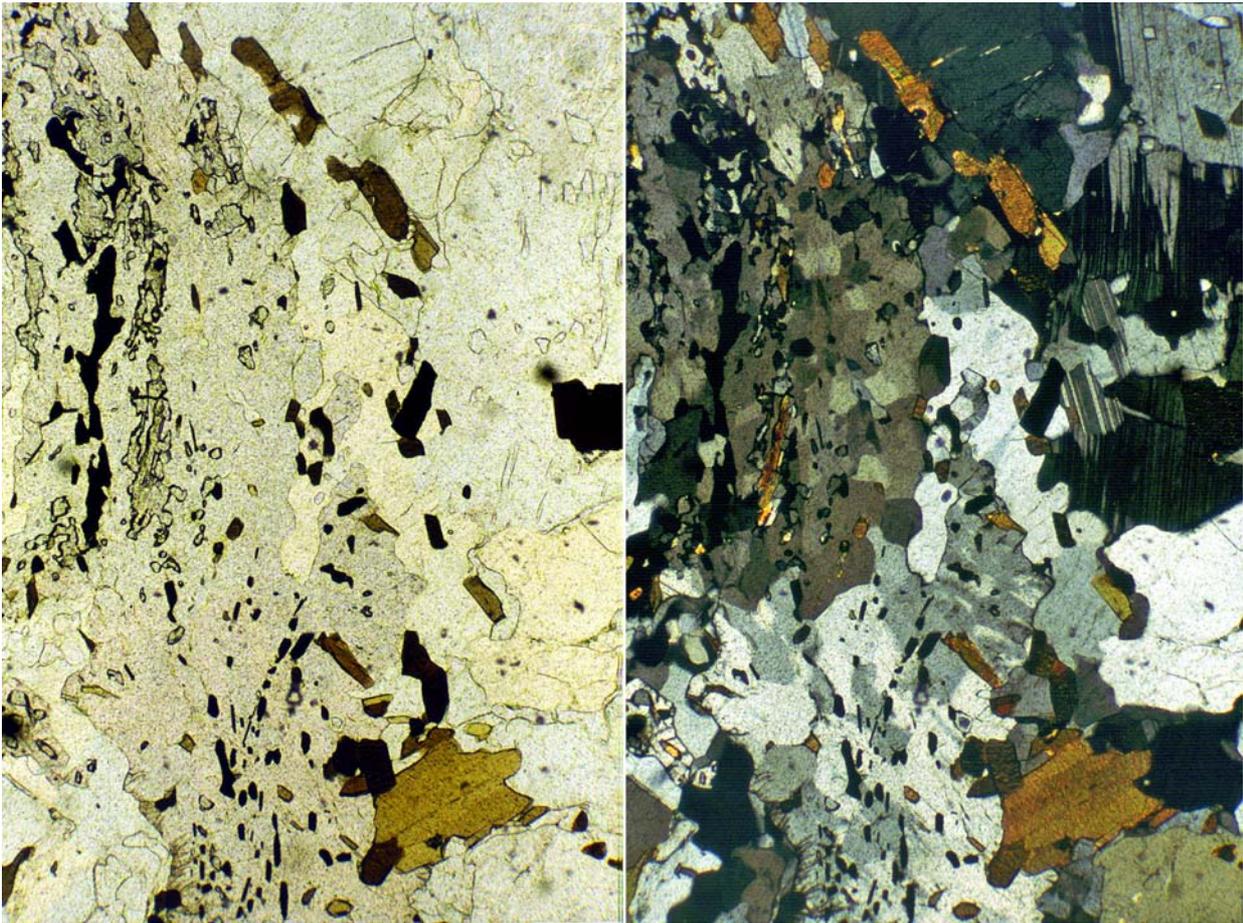
Unterscheidung: unverzwilligter Cordierit ähnelt Quarz und Orthoklas; Quarz zeigt in Metamorphiten meist undulose Auslöschung, ist einachsig und stets frisch; Orthoklas hat bessere Spaltbarkeit; verzwilligter Cordierit kann mit Plagioklas verwechselt werden; Basisschnitte von Cordierit zeigen dann jedoch häufig radiale Zwillingmuster; Plagioklas hat außerdem bessere Spaltbarkeit;

Besonderheiten: Cordierit kann viele staubförmige opake Einschlüsse (Graphit?) haben oder runde Einschlüsse von Quarz (poikiloblastischer Cordierit); um Zirkon können sich pleochroitische Höfe entwickeln;

Umwandlungen: hydrothermale Umwandlung in Pinit (feinkörniges gelbliches bis grünliches Gemenge aus Chlorit, Sericit und Biotit), ausgehend vom Rand und von Spaltrissen, ist sehr häufig; Pseudomorphosen aus verfilztem Sericit und anderen Phyllosilikaten werden als *Pinit* bezeichnet;

Vorkommen: häufiges Mineral in mittel- bis hochgradigen regional- und kontaktmetamorphen pelitischen Gesteinen (Al-reiche Edukte); dabei in der äußeren Zone von Kontakthöfen porphyroblastische Bildung (Knotenschiefer, Fruchtschiefer); in regionalemetamorphen Gesteinen z.B. in Gneisen oder in Granuliten; selten in Plutoniten von Granit bis Gabbro oder in Vulkaniten von Rhyolith bis Andesit (in Magmatiten gilt Cordierit als Indiz für anatektische Bildung der Schmelzen bzw. für Kontamination durch pelitische Nebengesteine);

Paragenese: in Knoten- und Fruchtschiefern als blastische Neubildung in einer Grundmasse aus Quarz, Biotit, Sericit, Chlorit; in Hornfelsen mit Biotit, Muskovit, Quarz, Plagioklas, Andalusit, Hypersthen; in SiO_2 -untersättigten Gesteinen mit Spinell oder Korund; in Regionalmetamorphiten mit Sillimanit (oft als nadelförmige Einschlüsse in Cordierit), Staurolith, Biotit, Ilmenit, Spinell; in Magmatiten mit Quarz, Feldspäten, Andalusit, Sillimanit, Biotit, Granat; Orthopyroxen



Frischer Cordierit aus einem Gneis, links unter einfach polarisiertem Licht, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; der Cordierit ist das Hauptmineral in einer Zone, die ungefähr in der linken Mitte von oben nach unten läuft; er wirkt gegenüber den benachbarten Feldspäten und Quarz etwas dunkler und ist von zahlreichen Erzkörnern durchsetzt und gesäumt; daneben finden sich Sillimanit (hohes Relief und höhere Doppelbrechung) sowie Biotit (z.B. großes dunkles Korn unten rechts); der Bildausschnitt entspricht jeweils 3.3 mm hoch.

Epidot-Zoisit-Gruppe $X_2Y_3O(Si_2O_7)(SiO_4)(OH)$

Allgemeines: Die Minerale der Epidotgruppe ersetzen in vielen metamorphen Gesteinen (vor allem den niedriggradigen) die Anorthitkomponente der Plagioklase, bedingt durch die bei niedrigen Temperaturen existierenden Mischungslücken zwischen Albit und Anorthit.

Zoisit $Ca_2Al_3O(Si_2O_7)(SiO_4)(OH)$

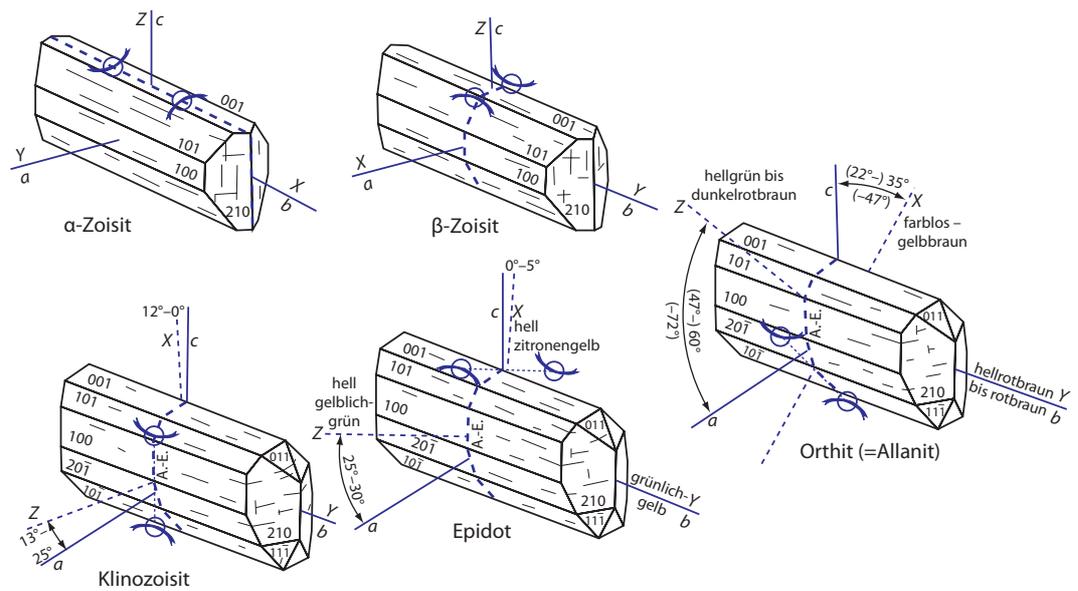
Zusammensetzung: teilweiser Ersatz von Al durch Fe^{3+} (bis zu $\approx 10\%$ der normalerweise durch Al besetzten Oktaederpositionen) und Mn^{3+} (bis zu 2% der Oktaederpositionen – Varietät Thulit) möglich;

Kristallsystem: orthorhombisch, Kristallklasse mmm

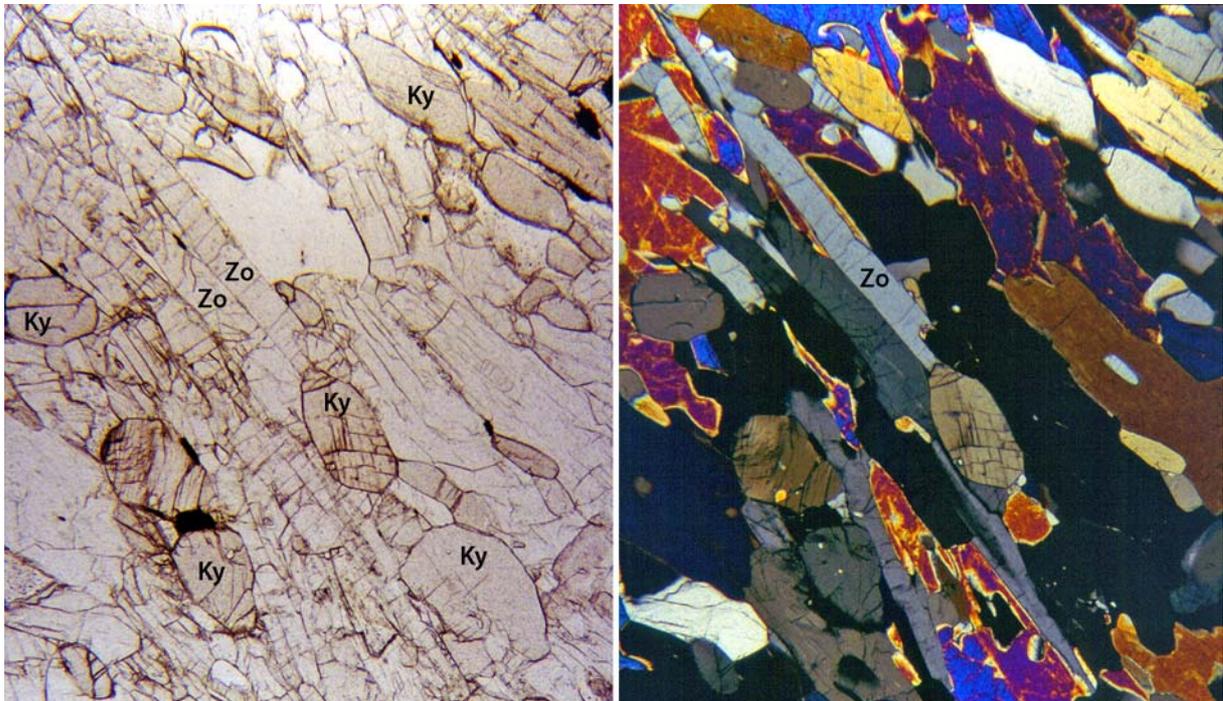
Brechungsindex: $n_\alpha 1.685 - 1.705$, $n_\beta 1.688 - 1.710$, $n_\gamma 1.697 - 1.725$

zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.003 - 0.008$; α -Zoisit ist Fe-frei, β -Zoisit ist Fe-haltig;

in Schnitten ungefähr \perp zu einer optischen Achse zeigt Zoisit anomale Interferenzfarben (tief blau-grau oder braun), in anderen Schnittlagen normale Interferenzfarben;



- Hauptzone:** in Längsschnitten (-)
Achsenwinkel: $2V_\gamma = 0 - 69^\circ$
Auslöschung: meist gerade
Farbe: farblos; bei hohem Mn-Gehalt auch rosa bis lila und pleochroitisch (Varietät Thulit)
Spaltbarkeit: vollkommen nach (100)
Verzwilligung: keine



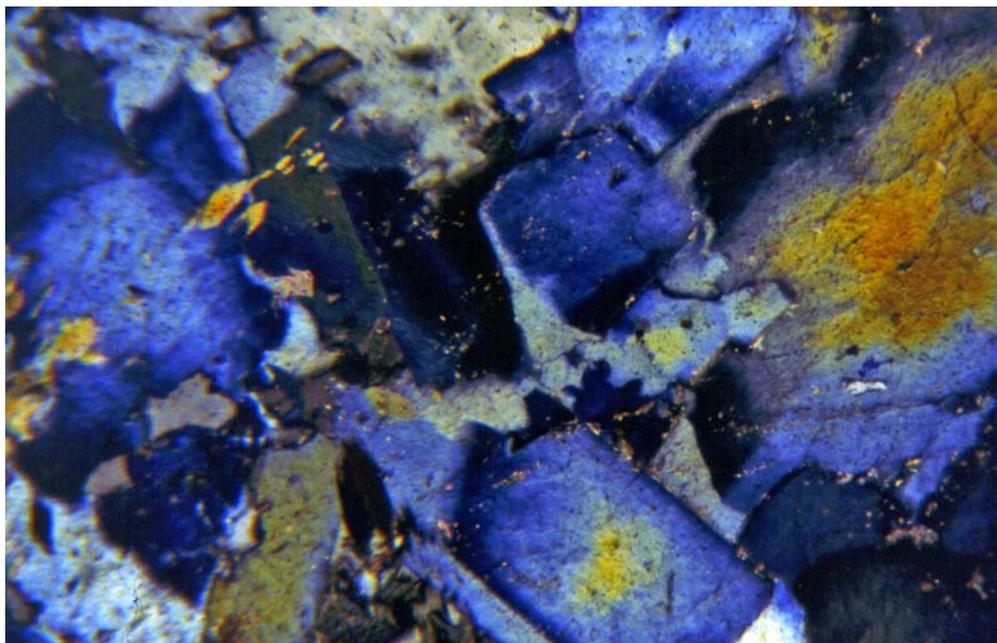
langstengelige Zoisitkristalle neben gedrunenen Disthenen sowie neben Omphacit in einem Eklogit aus dem Münchberger Gneisgebiet, links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt jeweils ca. 0.35 mm quer.

- Ausbildung:** kurzstengelig, leistenförmig oder rhombenförmig mit sechsseitigen Querschnitten; auch in Form xenomorph-körniger Aggregate;
- Unterscheidung:** Zoisit hat ein markantes hohes Relief, niedrige Doppelbrechung und gerade Auslöschung und oft anomale Interferenzfarben; der optisch sehr ähnliche Klinozoisit unterscheidet sich durch extrem anomale Interferenzfarben (leuchtendes Preußischblau) und löscht außerdem meist schief aus; Epidot und Allanit löschen ebenfalls schief aus und haben höhere Doppelbrechung; Vesuvian ist einachsig negativ (aber auch anomal zweiachsig und hat anomale Interferenzfarben) und hat zwei gute Spaltbarkeiten; Apatit ist einachsig;
- Besonderheiten:** häufig anomale blaue Interferenzfarben; oft mit Epidot oder Klinozoisit verwachsen; Lage der optischen Achsenebene ist abhängig vom Fe-Gehalt (α -Zoisit ist Fe-arm, β -Zoisit Fe-reich – siehe auch die obigen Skizzen)
- Umwandlungen:** nicht beschrieben
- Vorkommen:** in mittel- und niedriggradigen metamorphen Gesteinen (Gneise, Schiefer, Marmore, Kalksilikatfelse); in Hochdruckmetamorphiten (Blauschiefer, Eklogite); auch in Granuliten; unter niedriggradigen Bedingungen bildet sich Zoisit durch Saussuritisierung der Plagioklase, wobei ein feinkörniges Gemenge aus Zoisit, Epidot/Klinozoisit, Sericit und Calcit entsteht; Thulit in Pegmatiten und in hydrothermalen Gängen;
- Paragenese:** mittelgradig mit Chlorit, Sericit, Aktinolith, Epidot, Klinozoisit, Albit, Hornblende; in Amphiboliten auch neben Plagioklas; in Kalksilikatfelsen neben Diopsid;

Klinozoisit $\text{Ca}_2\text{Al}_3\text{O}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)(\text{OH})$

- Zusammensetzung:** teilweiser Ersatz von Al durch Fe^{3+} möglich; Grenze zwischen Klinozoisit und Epidot ist nicht scharf definiert;
- Kristallsystem:** monoklin, Kristallklasse 2/m
- Brechungsindex:** n_α 1.670 – 1.718, n_β 1.672 – 1.725, n_γ 1.690 – 1.734
zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.004 – 0.015$;
Klinozoisit zeigt anomale leuchtend preußischblaue Interferenzfarben;
- Hauptzone:** wechselnd (+) oder (–)
- Achsenwinkel:** $2V_\gamma = 40 – 90^\circ$

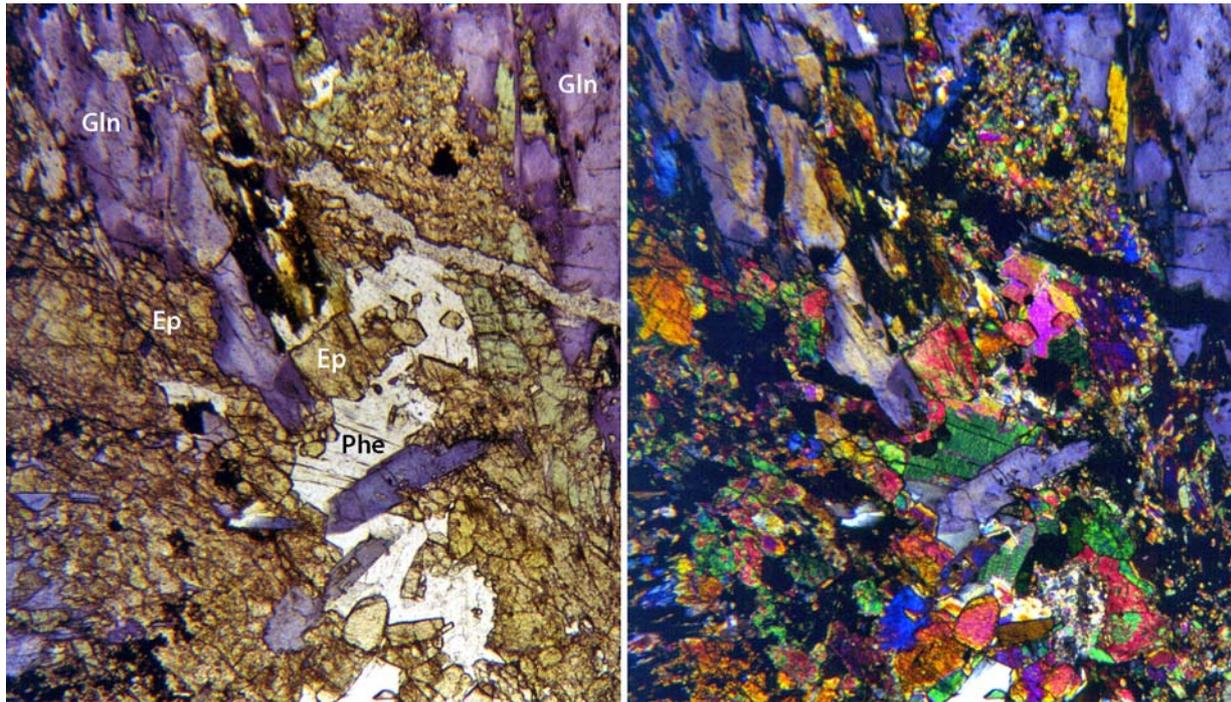
Klinozoisit in einem Amphibolit aus Südtirol; Aufnahme unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 4.7 mm quer. Der Klinozoisit weist die charakteristischen unternormalen blauen Interferenzfarben auf. Das Korn am rechten Rand zeigt im Kern gelbe und am Rand blaue Interferenzfarben; es handelt sich dabei wohl um einen zonierten Epidot – Klinozoisit.



Auslöschung:	in Längsschnitten \parallel b (d.h. \parallel und \perp zu den Spaltrissen) gerade, sonst schief (oft um 30°);
Farbe:	farblos
Spaltbarkeit:	perfekt nach (001)
Verzwillingung:	gelegentlich lamellar nach (100)
Ausbildung:	stengelig \parallel der b-Achse; auch in Form körniger Aggregate;
Unterscheidung:	Zoisit löscht meist gerade aus; Epidot ist meist höher lichtbrechend und pleochroitisch; Vesuvian ist einachsig; Disthen hat normale Interferenzfarben und ist zweiachsig negativ; anomal zweiachsiger Grossular besitzt niedrigere Doppelbrechung; nicht von Pumpellyit unterscheidbar, falls dieser nicht bläulichgrün gefärbt ist;
Besonderheiten:	anomal blaue Interferenzfarben
Umwandlungen:	keine
Vorkommen:	wie Epidot (siehe unten)
Paragenese:	wie Epidot (siehe unten)

Epidot $Ca_2Fe^{3+}Al_2O(Si_2O_7)(SiO_4)(OH)$

Zusammensetzung:	vollständiger Fe^{3+} -Al-Austausch in Richtung Klinozoisit; das Endglied, dessen Formel hier aufgeführt ist, wird auch als <i>Pistazitmolekül</i> bezeichnet; eine Mn^{3+} -reiche Varietät ist der <i>Piemontit</i> ;
Kristallsystem:	monoklin, Kristallklasse 2/m
Brechungsindex:	Epidot: n_α 1.715 – 1.751, n_β 1.725 – 1.784, n_γ 1.734 – 1.797; zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.015 – 0.051$; Piemontit: n_α 1.730 – 1.794, n_β 1.740 – 1.807, n_γ 1.762 – 1.829; zweiachsig $\oplus \ominus$ mit $\Delta = 0.025 – 0.073$;
Hauptzone:	wechselnd (+) oder (–)
Achsenwinkel:	Epidot: $2V_\alpha = 64 – 90^\circ$; Piemontit: $2V_\gamma = 64–106^\circ$
Auslöschung:	in Längsschnitten \parallel b (d.h. \parallel und \perp zu den Spaltrissen) gerade, sonst schief (oft um 30°);
Farbe:	Epidot: blaßgrünlichgelb mit Pleochroismus – α farblos bis hellzitronengelb, β grünlichgelb bis grünlichbraun, γ blaßgrün bis gelbgrün; Piemontit: rosa und pleochroitisch – α zitronengelb bis orange, β amethyst- bis rosafarben, γ karminrot bis purpurrot;
Spaltbarkeit:	perfekt nach (001)
Verzwillingung:	zuweilen lamellar nach (100) mit herzförmigem Querschnitt (Herzzwillinge);
Ausbildung:	säulig-stengelig \parallel b; häufig auch xenomorph-körnig; in Längsschnitten leistenförmig; Querschnitte sechseitig oder rhombenförmig; gelegentlich faserig; in klastischen Sedimenten auch gerundet;
Unterscheidung:	durch seine leuchtenden übernormalen Interferenzfarben ist Epidot meist zu erkennen; Klinozoisit ist optisch positiv und hat niedrigere Doppelbrechung; Allanit ist meist braun und Piemontit rosa; Zoisit hat meist gerade Auslöschung und niedrigere Interferenzfarben; Vesuvian ist einachsig negativ; Pumpellyit hat niedrigere Lichtbrechung; Olivin ist farblos und hat keine Spaltbarkeit;
Besonderheiten:	übernormale Interferenzfarben; oftmals zonar gebaut;
Umwandlungen:	keine
Vorkommen:	Epidot/Klinozoisit in vielen regional- und kontaktmetamorphen Gesteinen (Quarzite, Phyllite, Schiefer, Gneise, Marmore, Kalksilikatgesteine, Skarne, Hornfelse), wobei Epidot in Fe-reicheren Gesteinen und Klinozoisit in Al-reicheren Gesteinen vorherrschend vorkommt; Epidot als hydrothermale Kluffüllung; in hydrothermal verwitterten Magmatiten entsteht Epidot auf Kosten von Pyroxenen, Amphibolen und Plagioklasen; Piemontit in Mn-haltigen niedrigmetamorphen Schieferen; Epidot in der Schwermineralfraktion klastischer Sedimente; Epidot/Klinozoisit und Zoisit treten allerdings auch in intermediären Plutoniten (Tonalite, Granodiorite) als magmatische Minerale bei Drücken oberhalb von ca. 3 – 5 kbar auf;



Epidot neben Glaukophan, Jadeit und Hellglimmer (Phe) in einem Blauschiefer von Syros/Kykladen, links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren. Im Hellfeld erscheint der Epidot gelbbraun und ist vom grünlichen Jadeit gut zu unterscheiden. In ihren anomalen Interferenzfarben können sich beide Minerale aber sehr ähneln, so auch hier. Der Bildausschnitt beträgt jeweils ca. 1.5 mm quer.

Paragenese: Epidot/Klinozoisit niedriggradig metamorph mit Aktinolith, Mikroklin, Albit, Calcit, Quarz, Chlorit; bei steigender Metamorphose mit Biotit, Granat, Oligoklas, Amphibol; in Blauschiefern neben Glaukophan, Lawsonit, Pumpellyit, Chlorit, Muskovit, Titanit; kontaktmetamorph neben Vesuvian, Pyroxenen, Granat, Amphibol, Albit;

**Orthit [Allanit] $(\text{Ca}, \text{Mn}, \text{Seltene Erden}, \text{Y}, \text{Th})_2(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})$
 $(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{SiO}_4)(\text{OH})$**

Zusammensetzung: extrem variabel; charakteristisch sind die hohen Gehalte an leichten Seltenen Erden (La – Nd) und Th);

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m

Brechungsindex: n_α 1.690 – 1.813, n_β 1.700 – 1.857, n_γ 1.706 – 1.891;
 zweiachsig $\ominus \oplus$ mit $\Delta = 0.013 – 0.036$;

Hauptzone: wegen der Eigenfarbe nicht bestimmbar

Achsenwinkel: $2V_\alpha = 40 – 123^\circ$

Auslöschung: in Längsschnitten $\parallel b$ gerade, sonst schief;

Farbe: in frischem Zustand blaßgelb bis orangebraun; zersetzt mit rotbraunem Pleochroismus: α graugelb bis farblos, β gelbbraun bis braun, γ dunkelbraun bis grünlich;

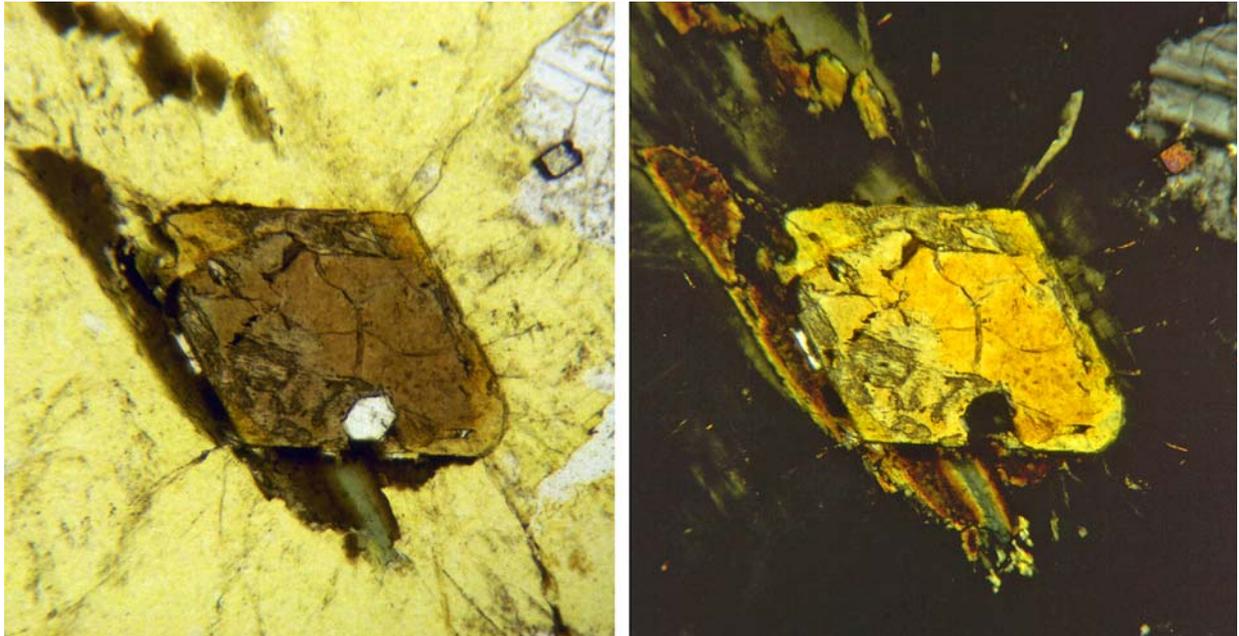
Spaltbarkeit: mäßig nach (001)

Verzwillingung: nicht sehr häufig nach (100)

Ausbildung: subidiomorphe bis xenomorphe Körner oder körnige Aggregate; seltener stengelig bis nadelig $\parallel b$;

Unterscheidung: hohes Relief, Eigenfarbe und Pleochroismus sind markant; braune Hornblende hat typische 124° -Spaltbarkeit; metamikte Allanite können isotrop sein;

- Besonderheiten:** infolge der radioaktiven Strahlung des Th kann Allanit metamikt werden, d.h. das Kristallgitter wird weitgehend zerstört, wodurch die Kristalle isotrop werden; als Einschlüsse in Biotit, Chlorit, Hornblende bilden sich um Allanit pleochroitische Höfe aus; Kristalle sind fast immer zoniert;
- Umwandlungen:** leichter verwitterbar als die übrigen Mitglieder der Epidotgruppe;
- Vorkommen:** akzessorisches Mineral in Graniten, Granodioriten, Dioriten, Syeniten, Pegmatiten und äquivalenten Vulkaniten; auch akzessorisch in Gneisen, Schiefen, Amphiboliten und verschiedenen Kontaktgesteinen;
- Paragenese:** in Magmatiten mit Epidot, Titanit, Turmalin, Biotit, Hornblende, Fluorit, Monazit;



Orthitkristall neben Kalifeldspat in einem Granit im Hellfeld (links) bzw. unter gekreuzten Polarisatoren (rechts); der Ausschnitt beträgt jeweils rund 0.35 mm quer. Im Vergleich zu Epidot hat der Orthit eine erheblich stärkere Eigenfarbe. Der Kalifeldspat wurde angefärbt und erscheint daher im linken Bild gelblich.

Feldspäte $(K,Na)_xCa_{1-x}(Al_{2-x}Si_{2+x}O_8)$ $(0 \leq x \leq 1)$

Allgemeines:

Die Feldspäte sind die häufigsten gesteinsbildenden Minerale in den Gesteinen der kontinentalen Erdkruste. Ihre große Mehrzahl hat Zusammensetzungen innerhalb der drei Endkomponenten

Anorthit [An] $Ca(Al_2Si_2O_8)$,

Albit [Ab] $Na(AlSi_3O_8)$,

Kalifeldspat [Kfs] $K(AlSi_3O_8)$

Bei hohen (magmatischen) Temperaturen besteht vollständige Mischkristallbildung zwischen Anorthit und Albit einerseits (Plagioklase [Pl]) und Albit und Kalifeldspat andererseits (Alkalifeldspäte [Akfs]) bei statistischer Verteilung von Si und Al auf die Tetraederplätze im Kristallgitter, während es zwischen Anorthit und Kalifeldspat nur eine sehr beschränkte Mischbarkeit gibt. Im Subsolidusbereich existieren dagegen auch innerhalb der Alkalifeldspatreihe und der Plagioklasreihe mehr oder weniger ausgeprägte Mischungslücken.

Feldspäte in langsam abgekühlten Magmatiten und in Metamorphiten zeigen, in Abhängigkeit von ihrer Zusammensetzung, oft Entmischungserscheinungen, die allerdings nur zum Teil mit optischen Mitteln einfach zu erkennen sind, sondern bei den Plagioklasen den Einsatz von Elektronenmikroskopen erfordern. In drei Diagrammen auf dieser und der folgenden Seite sind das ternäre System An – Ab – Kfs mit den Mischbarkeiten bei hohen Temperaturen sowie in je einem Ab–Kfs- und einem Ab–An-Diagramm die Mischungslücken im Subsolidusbereich gezeigt. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, daß die Lage der Solvi bei den Plagioklasen nicht unumstritten ist, z.T. sicherlich bedingt durch die Schwierigkeit der Beobachtung.

Außerdem kommt es bei der langsamen Abkühlung sowohl bei den Alkalifeldspäten als auch bei den Plagioklasen zu einer Reihe von Änderungen der Struktur und des Si–Al-Ordnungsgrades, der mit abnehmender Temperatur zunimmt und mit einer Umwandlung von monokliner in trikline Symmetrie einhergeht.

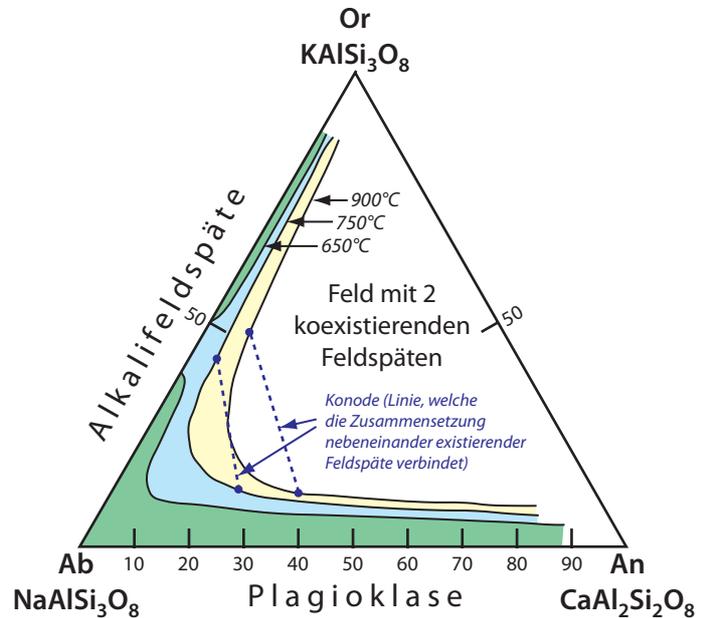


ABBILDUNG 23 Die Mischungslücke bei den Feldspäten wird mit zunehmender Temperatur kleiner. Aber selbst bei hohen Temperaturen ist die Mischbarkeit zwischen Anorthit und Kalifeldspat sehr gering.

Alkalifeldspäte $(Na,K)(AlSi_3O_8)$

Zusammensetzung:

Geringe Mengen an Ca können eingebaut werden (siehe ternäres Diagramm Abbildung 23); in K-reiche Alkalifeldspäte können auch größere Mengen an Ba eintreten; das Ba-Endglied ist der selten in der Natur auftretende *Celsian* $Ba(Al_2Si_2O_8)$.

Nomenklatur:

Obwohl (oder vielleicht weil) Alkalifeldspäte seit 200 Jahren untersucht wurden, liegt bei der Begriffsbestimmung noch einiges im Argen, so daß die Nomenklatur des öfteren revidiert wird. Ursprünglich wurden die Alkalifeldspäte nach optischen Gesichtspunkten unterschieden in Sanidin, Orthoklas, Mikroklin und Adular. Es hat sich jedoch erwiesen, daß diese Einteilung nach strukturellen und chemischen Gesichtspunkten nicht unbedingt richtig sein muß; so kann z.B. ein „monokliner Orthoklas“ tatsächlich ein submikroskopisch verzwilligter trikliner Mikroklin sein. Im Rahmen

eines Optikkurses kann die Unterscheidung natürlich nur nach optischen Gesichtspunkten erfolgen, so daß im folgenden die Unterscheidung vorgenommen wird in Sanidin, Orthoklas (einschließlich Adular), Anorthoklas und Mikroklin.

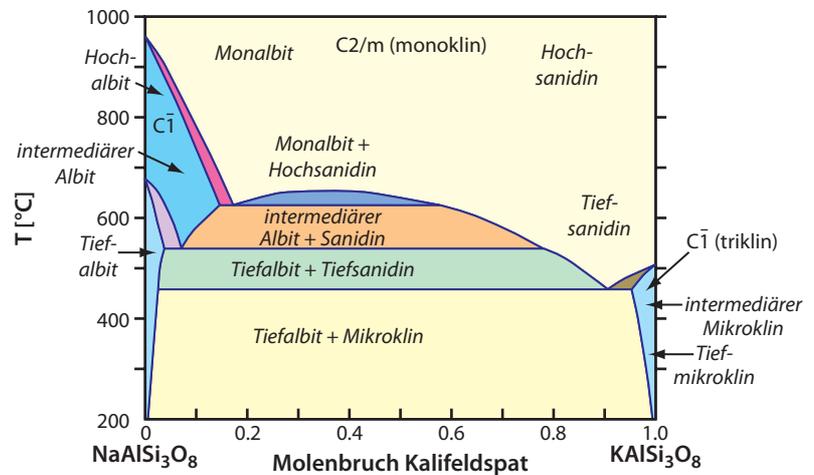


ABBILDUNG 24

Das System der Alkalifeldspäte ist durch vollständige Mischbarkeit bei hohen und geringe Mischbarkeit bei niedrigen Temperaturen ausgewiesen.

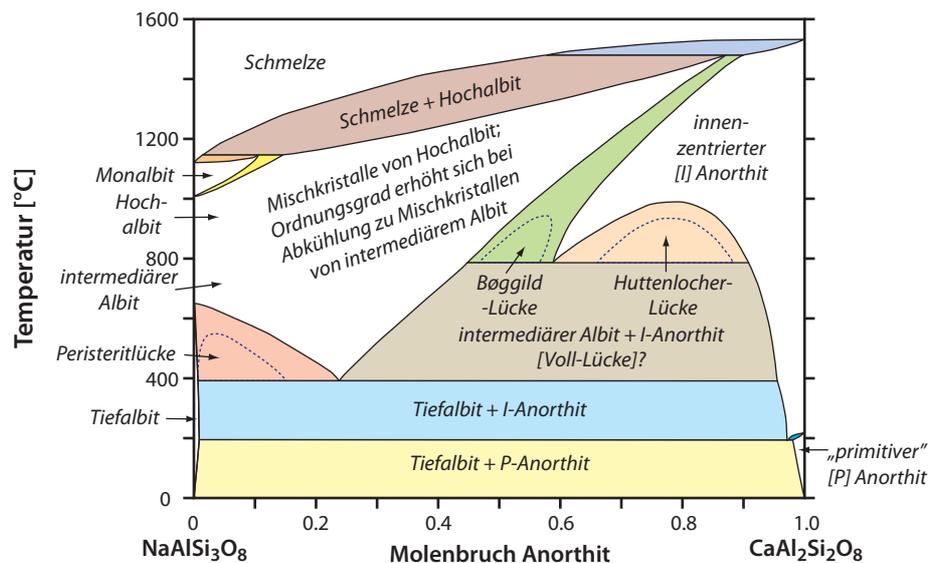


ABBILDUNG 25

Das System der Plagioklase ist sehr komplex: Vollständige Mischkristallbildung herrscht bei sehr hohen Temperaturen vor, geringe Mischbarkeit bei niedrigen. Viele der Entmischungen sind in natürlichen Plagioklasen jedoch nur elektronenmikroskopisch zu erkennen. Submikroskopisch ($<0.1 \mu\text{m}$) feine Entmischungen im Bereich der Bøggildlücke sind für den Schiller des Labradorits verantwortlich.

Brechungsindex:

Sanidin: n_α 1.518 – 1.525, n_β 1.522 – 1.530, n_γ 1.523 – 1.532;

zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.005 - 0.007$;

Orthoklas: n_α 1.518 – 1.523, n_β 1.522 – 1.528, n_γ 1.523 – 1.530;

zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.05 - 0.007$;

Anorthoklas: n_α 1.527 – 1.522, n_β 1.533 – 1.528, n_γ 1.535 – 1.529;

zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.08 - 0.007$;

Mikroklin: $n_\alpha 1.518 - 1.520$, $n_\beta 1.522 - 1.524$, $n_\gamma 1.524 - 1.526$;

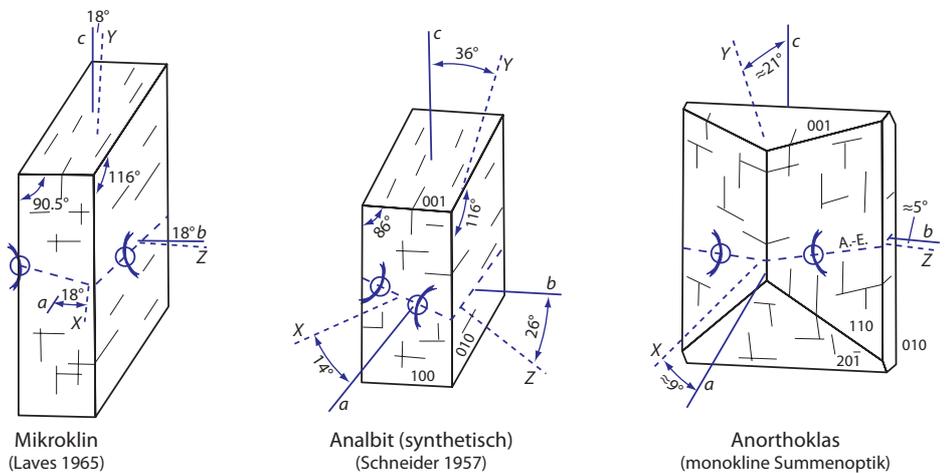
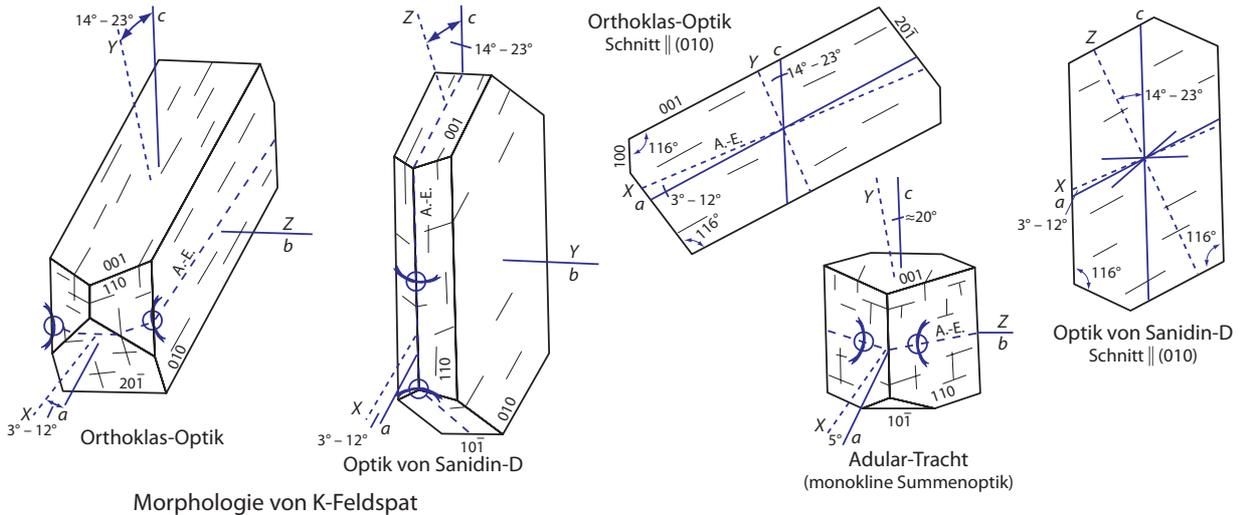
zweiachsig \ominus mit $\Delta \approx 0.06$;

Achsenwinkel:

stark schwankend — Hochsanidin: $2V_\alpha = 60 - 65^\circ$ mit Lage der optischen Achsenebene $\parallel (010)$. Mit abnehmender Bildungstemperatur kann $2V_\alpha \approx 0^\circ$ werden (Tiefsanidin: $2V_\alpha = 0 - 54^\circ$), und bei weiter sinkender Temperatur geht der Kalifeldspat in die „Orthoklasoptik“ über mit $2V_\alpha = 60 - 80^\circ$ und Lage der optischen Achsenebene $\perp (010)$; Mikroklin $2V_\alpha = 65 - 88^\circ$; Anorthoklas $2V_\alpha = 20 - 110^\circ$ (nach anderen Angaben $0 - 55^\circ$);

Auslöschung:

meist schief (siehe die folgenden Skizzen)



Farbe:

farblos; falls nicht frisch: trüb

Spaltbarkeit:

sehr gut nach $\{001\}$ und $\{010\}$ mit Spalt \sphericalangle von fast 90°

Verzwillingung:

ist bei allen Feldspäten häufig und charakteristisch; einfache, polysynthetische und komplexe Verzwillingungen kommen vor (vergleiche folgende Abbildung); einfache Zwillingspaare nach dem Karlsbader Gesetz sind sehr häufig; polysynthetische Verzwillingungen treten nur bei den triklinen Feldspäten auf; nach Lage der Zwillingssachse unterscheidet man die folgenden Wachstumswillinge:

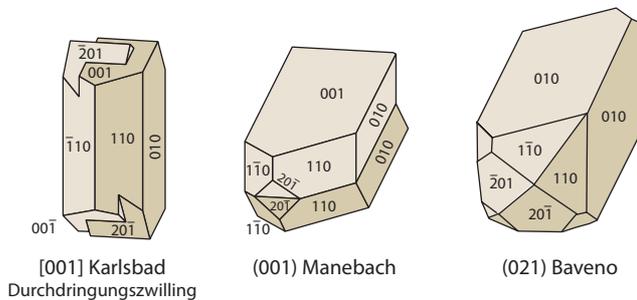
i) bei monokliner *und* trikliner Symmetrie:

	Zwillingsgesetz	Zwillingsachse	Verwachsungsebene
Kantengesetz	Karlsbader Gesetz	$\parallel [001]$	meist (010)
Normalengesetze	Manebacher Gesetz	$\perp (001)$	(001)
	Bavenoer Gesetz	$\perp (021)$	(021)

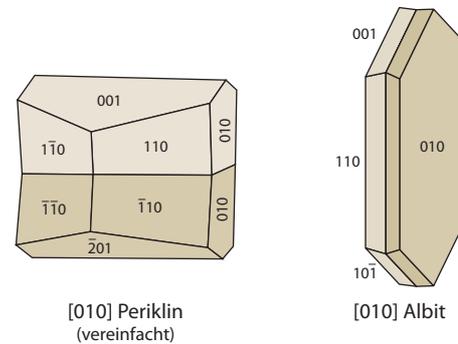
ii) nur bei trikliner Symmetrie (d.h. *nicht* bei Sanidin, Orthoklas und Monalbit):

	Zwillingsgesetz	Zwillingsachse	Verwachsungsebene
Kantengesetz	Periklingesetz	$\parallel [010]$	(h01)
Normalengesetz	Albitgesetz	$\perp (010)$	(010)

Zwillinge von monoklinem K-Feldspat



Zwillinge bei Plagioklasen



bei den triklinen Tieftemperatur-Kalifeldspäten (Mikroklin) tritt meist das komplexe Mikroklingsesetz auf (Mikroklingitterung), das durch Kombination von Albitgesetz (feinste Zwillingslamellen) und Periklingesetz entsteht;

Unterscheidung:

falls sie verzwillingt sind, sind die Feldspäte daran leicht von anderen Mineralen zu unterscheiden; monokline Alkalifeldspäte haben stets einfache Zwillinge; für trikline Alkalifeldspäte ist eine Zwillinggitterung mit oder ohne Einfachverzwillingung charakteristisch; die für Plagioklase typische lamellare Verzwillingung wird unter den Alkalifeldspäten nur bei Mikroklin und Anorthoklas beobachtet; Ca-reichere Plagioklase haben höhere Lichtbrechung als Alkalifeldspäte; fehlt die Verzwillingung, dann helfen die oft vorkommende Trübung, die gute Spaltbarkeit und der optische Charakter bei der Unterscheidung vor allem gegenüber Quarz; Nephelin ist optisch einachsiger und unverzwillingt;

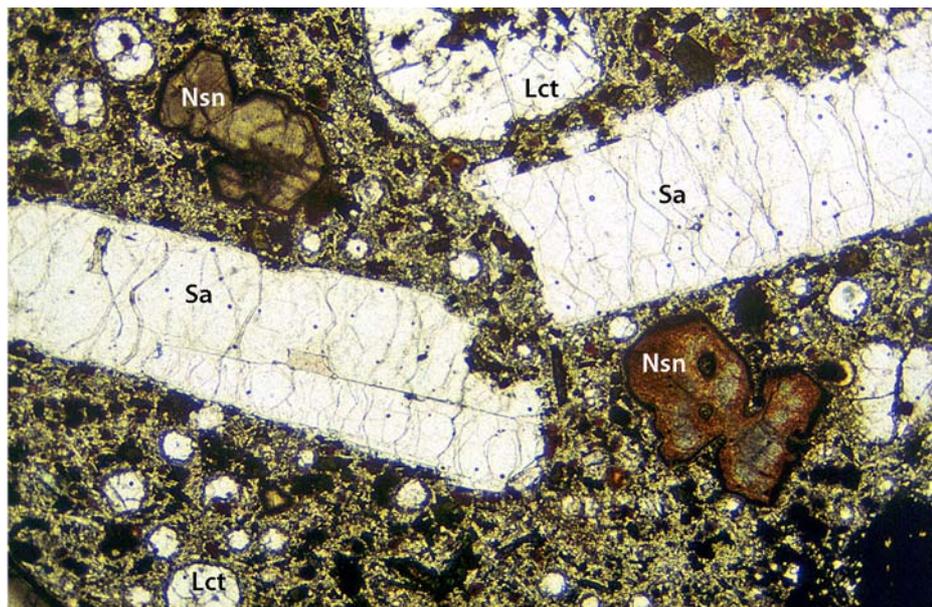
Besonderheiten:

kleinste Einlagerungen von Sericit, Chlorit, opaken Anteilen, die oft parallel den beiden Spaltrichtungen angeordnet sind, verursachen Trübungen mit grauen bis leicht bräunlichen Farbtönen; orientierte Verwachsungen chemisch homogener Kristallbereiche sind bei Alkalifeldspäten aus Plutoniten und Metamorphiten häufig; bei den Entmischungen werden Perthite von Antiperthiten unterschieden; als *Perthit* bezeichnet man einen Alkalifeldspat, in welchem der Kalifeldspat das Wirtsmaterial darstellt, das von „Spindeln“ aus Na-Feldspat orientiert durchsetzt wird; *Antiperthit* ist demgegenüber ein Alkalifeldspat, bei dem Na-Feldspat den Wirt bildet, der von K-Feldspat orientiert durchwachsen wird; da Na-Feldspat eine etwas höhere Lichtbrechung aufweist als K-Feldspat, ist eine Unterscheidung zwischen Perthit und Antiperthit mit der Beckeschen Linie möglich; nach der Größe der Gastkomponente unterteilt man die (Anti-)Perthite weiter in Makro- [mit bloßem Auge sichtbar], Mikro- [nur mikroskopisch sichtbar] und Krypto(anti)perthite [nur röntgenographisch nachzuweisen];

Sanidin (K,Na)(AlSi₃O₈)

- Zusammensetzung:** umfaßt Hochtemperatur-Kalifeldspäte mit der Zusammensetzung Or₁₀₀₋₆₅Ab₀₋₃₅An₀₋₁₀ (Or = Orthoklas); Alkalifeldspäte mit Or_{<65} heißen *Na-Sanidine*; als Hochtemperaturkristallit findet man in Sanidin höhere Gehalte von Fremdelementen als in Tieftemperaturfeldspäten; Fe kann (wie auch in anderen Feldspäten) Gehalte von wenigen 1000 ppm erreichen (als Fe³⁺), Ti von einigen 100 ppm;
- Kristallsystem:** monoklin, Kristallklasse 2/m
- Auslöschung:** Hochsanidin: $\angle(\alpha,a) \approx 5^\circ$, $\angle(\gamma,c) = 21^\circ$; Tiefsanidin $\angle(\alpha,a) \approx 5 - 9^\circ$, $\angle(\beta,c) \approx 21 - 17^\circ$;
- Ausbildung:** häufig als Einsprengling in Form klarer, farbloser, tafeliger bis gestreckter Leisten; meist nach dem Karlsbader Gesetz verzwillingt; in Querschnitten quadratisch, rechteckig, sechsseitig; Zonierung kommt häufig vor und äußert sich optisch in Variationen von Doppelbrechung und Auslöschung;
- Unterscheidung:** Tiefsanidin kann von Orthoklas durch den kleineren Achsenwinkel unterschieden werden; Hochsanidin ist von Tiefsanidin und von Orthoklas durch die andere Orientierung der optischen Achsen-ebene unterscheidbar; Quarz ist einachsig und hat eine etwas höhere Lichtbrechung; Hochalbit ist normalerweise verzwillingt und hat $2V_\alpha > 45^\circ$;
- Besonderheiten:** bei sehr jungen Sanidinen oft deutlich schlechtere Spaltbarkeit als üblich;
- Umwandlungen:** Sericitisierung und Kaolinitisierung bewirken eine mehr oder weniger starke Trübung; im Lauf geologischer Zeit tritt Entmischung und Übergang zu Orthoklas ein; K-Feldspäte älterer Vulkanite liegen daher generell als Orthoklas vor;

Langstengelige Sanidine neben rundlichen Leuciten und Nosean in einem syenitischen Subvulkanit aus der Eifel; Hellfeld; Bildausschnitt rund 8 mm quer.

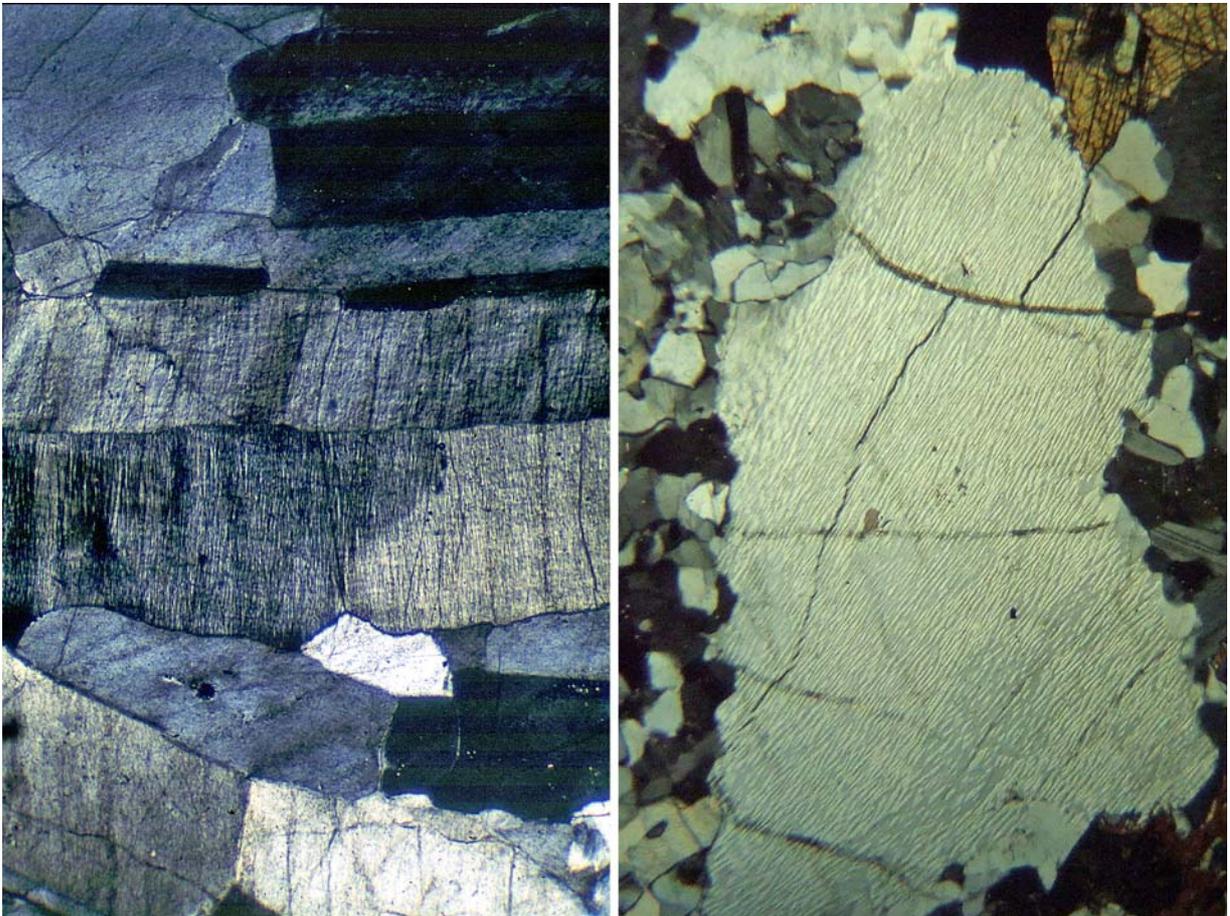


- Vorkommen:** Sanidin ist der normale K-Feldspat saurer Vulkanite (Rhyolithe, Rhyodazite, Phonolithe, Trachyte; auch in Gängen und flach intrudierten Plutoniten; magmatischer Sanidin ist relativ oft Na-reich (Ab₂₀ – Ab₆₀) und kryptoperthitisch; auch in hoch temperierten kontaktmetamorphen Gesteinen;
- Paragenese:** in Vulkaniten mit SiO₂-Überschuß neben Quarz, Plagioklas, Biotit, Hornblende, Ortho- und Klinopyroxen, Glas; in Trachyten neben Plagioklas, Biotit, Ägirinaugit; in Phonolithen neben Nephelin, Ägirinaugit und Mineralen der Sodalithgruppe;

Orthoklas K(AlSi₃O₈)

- Zusammensetzung:** Fe³⁺ kann als Fremdelement bis zu einigen 1000 ppm betragen;
- Kristallsystem:** monoklin, Kristallklasse 2/m
- Auslöschung:** schief mit $\angle(\alpha,a) \approx 5 - 13^\circ$, $\angle(\beta,c) \approx 21 - 13^\circ$

- Ausbildung:** in Magmatiten xenomorph bis idiomorph; gewöhnlich gestreckt \parallel c oder a und annähernd tafelig in Schnitten \parallel (010);
- Unterscheidung:** Sanidin hat in der Regel größeren Achsenwinkel; Orthoklas ist von Mikroklin durch die fehlende Mikroklingitterung zu unterscheiden (manche authigen und hydrothermal gebildete triklone Tief-temperatur-Kalifeldspäte zeigen allerdings ebenfalls keine solche Gitterung); Schnitte, die beide Spaltbarkeiten zeigen, die sich unter rechten Winkeln schneiden, sollten gerade Auslöschung zeigen; Orthoklas wird leicht mit Quarz verwechselt, hat allerdings etwas niedrigere Brechwerte;
- Besonderheiten:** zeigt meist Anzeichen beginnender Verwitterung in Form von Trübungen; weist häufig perthitische Entmischungen auf und hat nur einfache Wachstumszwillinge;
- Umwandlungen:** verwittert zu Ton und Sericit;
- Vorkommen:** als (Entmischungs-)Übergangsform zwischen Sanidin und Mikroklin weit verbreitet in Graniten, Granodioriten, Syeniten und anderen sauren bis intermediären Plutoniten; dabei besonders häufig in flach intrudierten Plutoniten phanerozoischen Alters;
- Paragenese:** Albit bis Andesin, Biotit, Hornblende, Pyroxene; in Plutoniten zusammen mit Mikroklin, Quarz, Ab-reichem Plagioklas, Biotit, Muskovit;



links: Kalifeldspäte mit feiner perthitischer Entmischung aus einem Syenit; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt rund 3.3 mm hoch;

rechts: Alkalifeldspäte mit groben Entmischungslamellen neben Biotit und Quarz aus einem Syenit; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 3.3 mm hoch.

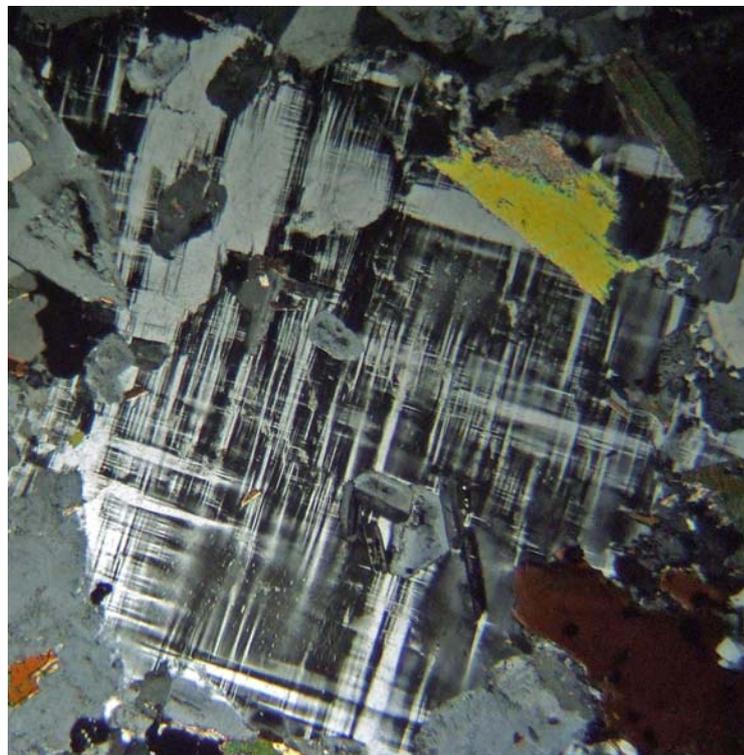
Anorthoklas (Na,K)(AlSi₃O₈)

- Zusammensetzung:** Anorthoklas ist ein Zerfallsprodukt des K-reichen Monalbits (siehe Abbildung 24) als Folge von Entmischung und Transformation; seine Zusammensetzung liegt bei $Ab_{77-62}Or_{12-35}An_{2-20}$;
- Kristallsystem:** monoklin-prismatische (2/m) Tracht; Anorthoklas ist allerdings eine Paramorphose von triklinem Analbit nach monoklinem Alkalifeldspat;
- Auslöschung:** schief mit $\angle(\alpha,a) \approx 10^\circ$, $\angle(\beta,c) \approx 20^\circ$ und $\angle(\gamma,b) \approx 5^\circ$;
- Ausbildung:** prismatische Kristalle, gestreckt in Richtung der c-Achse; xenomorphe Kristalle und Mikrolithe sind ebenfalls häufig;
- Unterscheidung:** gelegentlich tritt Zwillingsgitterung wie beim Mikroklin auf (allerdings mit feineren Zwillingslamellen); $2V_\alpha$ von Anorthoklas ist meist kleiner als bei Mikroklin; Anorthoklas und Mikroklin haben außerdem andere Paragenese;
- Besonderheiten:** verbreitet mit antiperthitischer Entmischung und mit Zonarbau; vielfach charakteristische rhombenförmige Schnitte;
- Umwandlungen:** in Sericit oder Tonminerale
- Vorkommen:** als Einsprenglinge in Na-betonten sauren Vulkaniten und Subvulkaniten (Alkalirhyolithe, Trachyte, Phonolithe, Latite und deren subvulkanische Äquivalente);
- Paragenese:** Quarz, Ägirinaugit, Arfvedsonit, Glas, Nephelin;

Mikroklin K(AlSi₃O₈)

- Zusammensetzung:** Fe³⁺ und Ba werden in Gehalten bis zu einigen 1000 ppm gefunden;
- Kristallsystem:** triklin, Kristallklasse $\bar{1}$
- Auslöschung:** schief mit $\angle(\alpha,a)$, $\angle(\beta,c)$ und $\angle(\gamma,b) \approx 18^\circ$
- Ausbildung:** hypidiomorph bis idiomorph; Kristalle sind oft tafelig parallel (010) und gestreckt in Richtung der c- oder a-Achse;

Mikroklin mit charakteristischer Zwillingsgitterung neben Biotit und Muskovit aus einem Zweiglimmergranit des Schwarzwaldes, gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt rund 3 mm quer.



- Unterscheidung:** charakteristische Mikroklingitterung (außer bei authigen gebildetem Mikroklin oder bei niedriger Temperatur als Gangfüllung gebildetem Mikroklin – fehlende Verzwilligung tritt bei $T < 300$ °C auf); Kombination aus Albit- und Periklinverzwilligung führt auch beim Plagioklas zu einer Gitterung, die jedoch – anders als beim Mikroklin – nicht spindelförmig ist, sondern scharf begrenzte Platten bildet, die abrupt an einer kreuzenden Lamelle aufhören; Verzwilligung bei Anorthoklas ist feiner; Anorthoklas hat kleineren Achsenwinkel und andere Paragenese;
- Besonderheiten:** generell mit typischer Gitterverzwilligung nach dem Mikroklingesetz (sich kreuzende Scharen von Albit und Periklinzwillingen);
in langsam erstarrenden Plutoniten kommt es zur Ausscheidung von Albitschnüren und ader- bis spindelförmigen Albitflecken (Mikroklinperthit);
als Adular wird ein Kalifeldspat bezeichnet, dessen dominante Tracht {110}-Prismen sind; er bildet sich typischerweise authigen in Sedimenten und in hydrothermalen Gängen; er kann sowohl triklin als auch monoklin sein; im ersteren Fall wird er dem Mikroklin zugerechnet, während er im letzteren Fall als Orthoklas oder Sanidin klassifiziert werden sollte; individuelle Kristalle können Domänen sowohl trikliner als auch monokliner Symmetrie haben;
- Umwandlungen:** unter hydrothermalen Bedingungen tritt Sericitisierung oder Kaolinitisierung ein; bei Verdrängung von K-Feldspat durch Albit entsteht Schachbrettalbit; bei Verdrängung von K-Feldspat durch Plagioklas entsteht Myrmekit, das sind warzenförmige Gebilde aus Albit mit wurmförmigem Quarz an der Grenze zwischen K-Feldspat und Plagioklas und in den Kalifeldspat eingreifend;
- Vorkommen:** in Graniten, Granodioriten, Pegmatiten, Syeniten und ähnlichen Plutoniten; *nicht* in Vulkaniten; häufig auch in Metamorphiten (insbesondere amphibolitfaziell); auf Grund relativ hoher Verwitterungsresistenz auch Bestandteil von unreifen klastischen Sedimenten;
- Paragenese:** in Magmatiten: Quarz, Plagioklas, Biotit, Hornblende, Pyroxene; in mittelgradigen Metamorphiten mit Hornblende und Pyroxenen;

Myrmekit an der Grenze zwischen Kalifeldspäten in einem Larvikit aus Norwegen; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt rund 0.35 mm quer.



Plagioklasse $\text{Na}_x\text{Ca}_{1-x}(\text{Al}_{2-x}\text{Si}_{2+x}\text{O}_8)$ ($0 \leq x \leq 1$)

Zusammensetzung: bei hohen Temperaturen vollständige Mischkristallbildung zwischen Albit $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ [Ab] und Anorthit $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ [An]; bei tiefen Temperaturen existieren mehrere Mischungslücken, vor allem die Peristeritlücke, die Bøggildlücke und die Huttenlocherlücke (siehe Abbildung 25, Seite 77); Plagioklasse mit einer Zusammensetzung innerhalb dieser Bereiche werden bei langsamer Abkühlung von höheren Temperaturen entmischen (in Plutoniten), bzw. es werden nebeneinander zwei Feldspäte unterschiedlicher Zusammensetzung bei den entsprechenden Temperaturen wachsen (in Metamorphiten);

in albitreichen Plagioklassen kann bei hohen Temperaturen eine beträchtliche Menge an K gelöst werden (Abbildung 23, Seite 76);

die weitere Unterteilung der Plagioklasse erfolgt nach dem Anorthitgehalt:

in Albit ($< 10\%$ An), Oligoklas ($10 \leq \text{An} < 30$), Andesin ($30 \leq \text{An} < 50$), Labradorit ($50 \leq \text{An} < 70$), Bytownit ($70 \leq \text{An} < 90$), Anorthit ($\text{An} \geq 90$);

Kristallsystem: triklin-pinakoidal ($\bar{1}$) (mit Ausnahme von Monalbit: monoklin)

Brechungsindex: Hochalbit: n_α 1.528, n_β 1.532, n_γ 1.534; zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.007$;
Tiefalbit: n_α 1.528, n_β 1.533, n_γ 1.539; zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.007$;
Anorthit: n_α 1.575, n_β 1.583, n_γ 1.588; zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.013$;

Die Lichtbrechung steigt systematisch von Albit nach Anorthit an (Abbildung 26);

Achsenwinkel: stark abhängig von An-Gehalt und von Bildungsbedingungen (Si-Al-Ordnungszustand): $2V_\alpha$ variiert zwischen 50 und 105° und durchläuft dabei für Plagioklasse aus Plutoniten dreimal den Wert 90° (optisch neutral), bei Plagioklassen aus Vulkaniten zweimal (siehe Abbildung 27);

Auslöschung: schief, abhängig von der Zusammensetzung (siehe folgende Kristallzeichnungen)

Farbe: farblos; des öfteren trüb infolge von Sericitisierung; häufiger schwach anomale (blaugraue oder braungraue) Interferenzfarben;

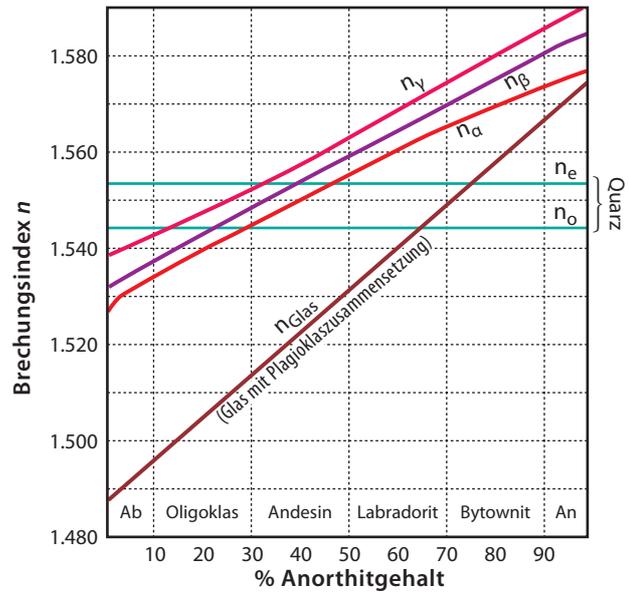


ABBILDUNG 26 Brechungsindizes strukturell gut geordneter Plagioklasse; stark ungeordnete Plagioklasse zeigen geringe Unterschiede nahe der Endglieder Albit/Anorthit.

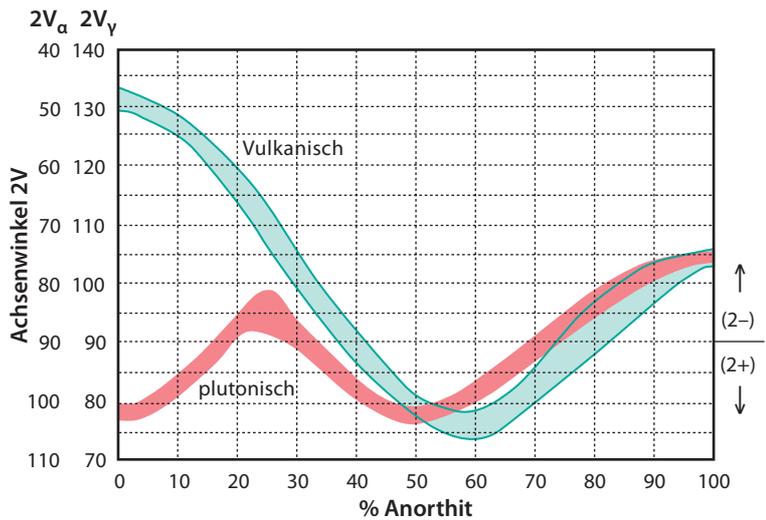
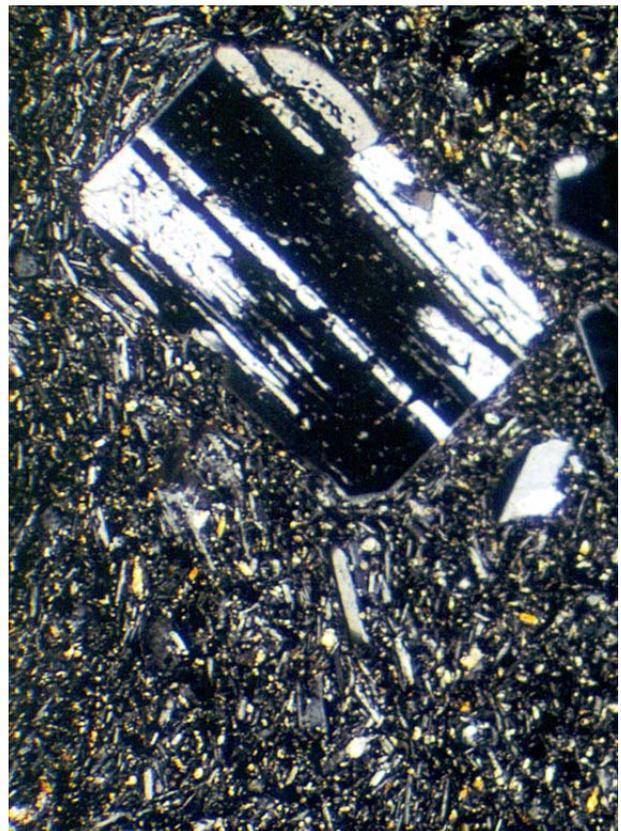
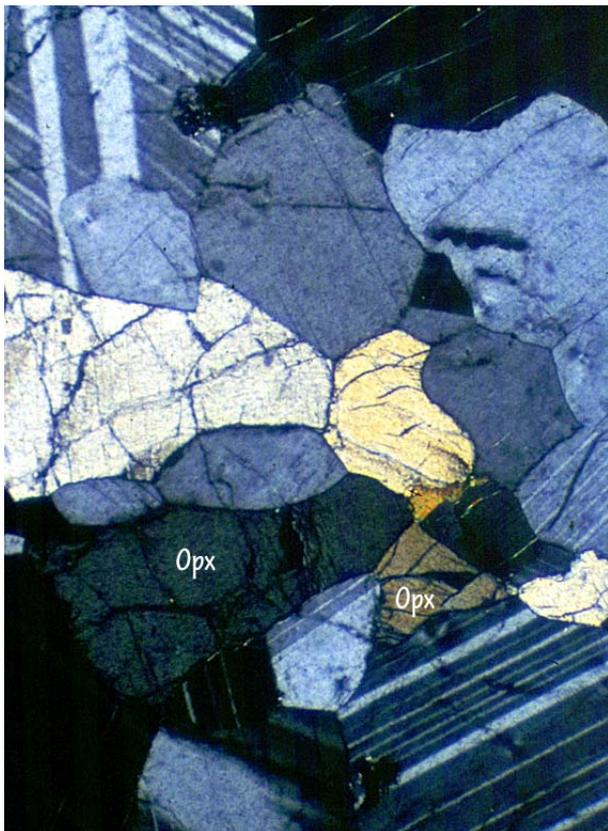
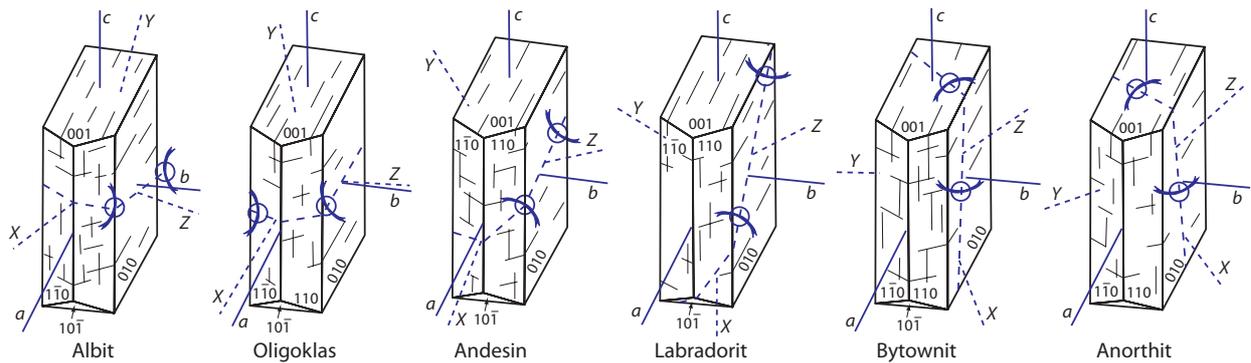


ABBILDUNG 27 Optische Achsenwinkel der Plagioklasse als Funktion ihres Anorthitgehaltes



links: polysynthetisch verzwilligte Plagioklasse neben Pyroxenen aus einem südnorwegischen Anorthosit; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt rund 1.6 mm quer;

rechts: großer polysynthetisch verzwilligter Plagioklasseinsprengling neben kleinen Grundmasseplagioklassen in einem Dazit; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 1.6 mm quer.

Spaltbarkeit: sehr gut nach $\{001\}$ und $\{010\}$ mit Spalt \angle von knapp 90°

Verzwilligung: (siehe auch Seite 79); häufig polysynthetische Verzwilligung nach dem Albitgesetz (fehlt jedoch Albit aus niedrig- und vielen mittelgradigen Metamorphiten!); dabei werden die Zwillingslamellen mit zunehmendem Ca-Gehalt oft breiter – d.h. Oligoklas hat häufiger sehr feine, Anorthit breite Lamellen (reiner Albit und reiner Anorthit sind jedoch meist nur einfach nach dem Albitgesetz verzwilligt); einfache Verzwilligung nach dem Karlsbader Gesetz oder polysynthetische Verzwilligung nach dem Periklingesetz sind seltener und kommen vor allem in intermediären und Ca-reichen Plagioklassen vor; Kombinationen von mehreren Zwillingsgesetzen treten in denselben Individuen ebenfalls auf, Albit- mit Karlsbader Gesetz, Albit- mit Periklingesetz; dabei können die Lamellen des einen Systems an einer senkrecht dazu verlaufenden Lamelle eines anderen Systems enden;

Albitzwillinge sind als scharfe, geradlinige Streifen \parallel (010) zu erkennen; dabei können schmale und enggescharte Lamellen mit breiten auseinanderliegenden wechseln; manche Schnitte zeigen gleichmäßige, den ganzen Kristall durchsetzende Lamellen, während in anderen nur partienweise Zwillingsstöcke auftreten; da bei der Verzwillingung nach dem Periklingesetz die Lamellen ungefähr \perp (010) liegen, durchkreuzen sich bei gleichzeitigem Auftreten von Albit- und Periklinzwillingen im selben Kristall diese beiden Systeme unter nahezu rechten Winkeln; dadurch entsteht mikroklinartiges Aussehen, allerdings mit größerem Gefüge, geringerer Anzahl und gerader Begrenzung der Lamellen;

bei Deformation können Deformationsverzwillingungen entstehen mit gebogenen oder „auskeilenden“ Lamellen;

Ausbildung: idiomorph bis xenomorph; im ersteren Fall dünn- bis dicktafelig, isometrisch bis ausgelängt nach {010} oder leistenförmig gestreckt nach [100] oder [001] (Grundmasseplagioklase von Vulkaniten); optische Zonierung ist vor allem in Plagioklasen aus Vulkaniten häufig (erkennbar an von Zone zu Zone verschiedenen Auslöschungswinkeln); in Vulkaniten oft sowohl als Einsprenglinge als auch in der Grundmasse;

Unterscheidung: das niedrige Relief, Farblosigkeit, Zweiachsigkeit und polysynthetische Verzwillingung unterscheiden Plagioklas von den meisten anderen Mineralen; Cordierit kann ähnliche Verzwillingung aufweisen, dann ist evtl. die Pinitisierung von Cordierit ein Unterscheidungskriterium oder pleochroitische Höfe um radioaktive Einschlüsse, die sich in Plagioklas nicht ausbilden; unverzwilligter Plagioklas (aus Metamorphiten) hat große Ähnlichkeit mit Quarz; der letztere ist aber optisch einachsig, weist keine Spaltbarkeit auf und zeigt keine Abbaureaktionen wie Sericitisierung; vergitterter Mikroklin unterscheidet sich von nach dem Albit- + dem Periklingesetz verzwillingten Plagioklas dadurch, daß die Mikroklinlamellen spindelförmig ausgebildet sind und generell nicht durchhalten;

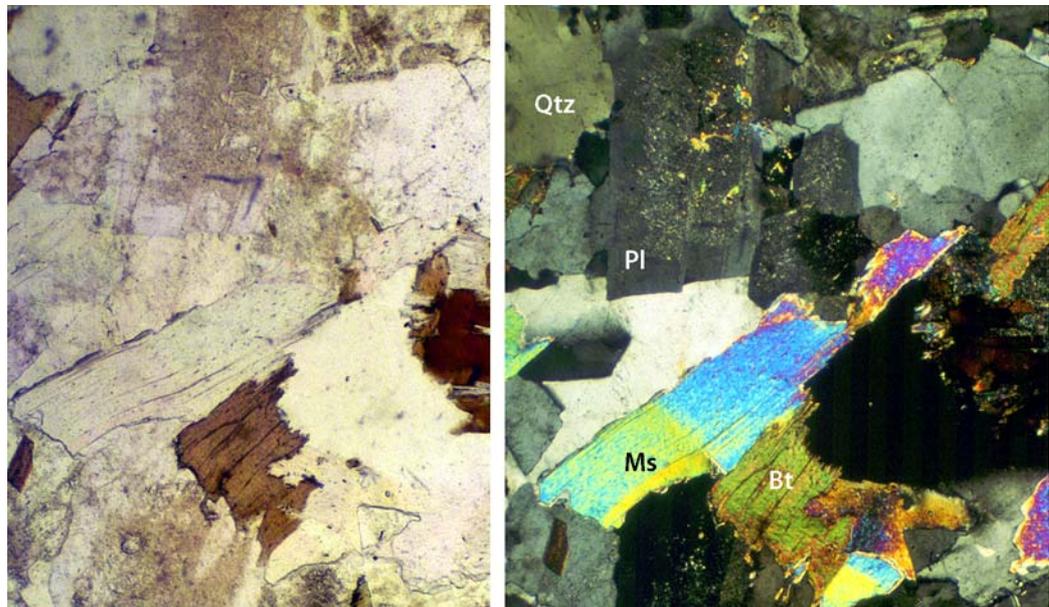


stark (oszillierend) zonierte Plagioklase aus einem Tonalit des Adamello-Komplexes in den italienischen Alpen; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 3.3 mm quer

Besonderheiten: häufiger Zonarbau vor allem in Plagioklasen aus Vulkaniten und Metamorphiten; *normaler Zonarbau* liegt vor, wenn der An-Gehalt vom Kern zum Rand hin abnimmt (entsprechend magmatischer oder metamorpher Abkühlung); bei *inverser Zonierung* nimmt der An-Gehalt vom Kern zum Rand

zu (prograde metamorphe Zonierung, d.h. erworben bei Aufheizung); *oszillierend* heißt der Zonarbau, wenn der An-Gehalt vom Kern zum Rand in der Tendenz sinkt, aber mit mehreren Fluktuationen im An-Gehalt verbunden ist (in Vulkaniten bei ständig sich ändernden Kristallisationsbedingungen, z.B. im H₂O-Partialdruck oder durch Magmenmischung); Zonarbau durchzieht auch die Zwillinglamellen; die einzelnen, oft enggescharten Schalen löschen unterschiedlich aus, wenn sie verschieden zusammengesetzt sind;

Umwandlungen: An-reiche Plagioklase sind anfälliger als Ab-reiche; unter hydrothermalen Bedingungen tritt häufig *Sericitisierung* (Umwandlung in Sericit) ein, zuerst an einer Trübung erkennbar; bei der retrograden Metamorphose kann Grünfärbung durch *Saussuritisierung* auftreten (feinkörniges Gemenge aus Mineralen der Epidotgruppe, Albit, Sericit); hydrothermale Prozesse können auch die Umwandlung in Zeolithe verursachen; basische Vulkanite werden bei Zutritt von Wasser *spilitisiert*; dabei wird Anreicher Plagioklas in Albit + Calcit umgewandelt (typisch für Diabase bzw., ganz allgemein, für submarin verwitterte Basalte); unter *Propylitisierung* versteht man den hydrothermalen Abbau der Plagioklase in ein grünliches Gemenge aus Albit, Calcit, Chlorit, Sericit, Quarz (kommt vor allem um flache kalkalkalische Intrusionen vor, insbes. I-Typ Granitoide);



Feldspäte mit beginnender hydrothormaler Alteration zu Schichtsilikaten (jeweils im oberen Teil der Photos) neben Muskovit und Biotit sowie Quarz aus einem Schwarzwaldgranit, links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt jeweils ca. 1.6 mm quer. Im Hellfeld ist die Alteration als bräunliche Trübung der Feldspäte erkennbar; im Dunkelfeld identifiziert man die Schichtsilikate an ihrer hohen Doppelbrechung.

Vorkommen: weit verbreitetes Mineral, das in fast allen Magmatiten auftritt, in vielen Metamorphiten und auch in einigen Sedimenten; in Magmatiten nimmt der An-Gehalt der Plagioklase von basischen nach sauren Gesteinen ab; z.B. enthalten Gabbros oder Basalte typischerweise Plagioklase mit An > 50 Mol%, Granite oder Rhyolithe Plagioklase mit An < 30; in niedriggradigen Metamorphiten ist der Plagioklas gewöhnlich Albit (An < 10) und in mittel- bis hochgradigen Metamorphiten Oligoklas bis Andesin; in Sedimenten tritt Plagioklas detritisch in Arkosen und Grauwacken auf; Albit kann sich auf Kosten detritischer Plagioklase bei der Diagenese neu bilden;

Paragenese: in Magmatiten neben Orthoklas, Mikroklin, Quarz, Biotit, Amphibolen, Pyroxenen, Olivin; in niedriggradigen Metamorphiten neben Chlorit, Sericit, Epidot, Aktinolith, Calcit und Quarz; in höhergradigen Metamorphiten neben Amphibolen und Pyroxenen;

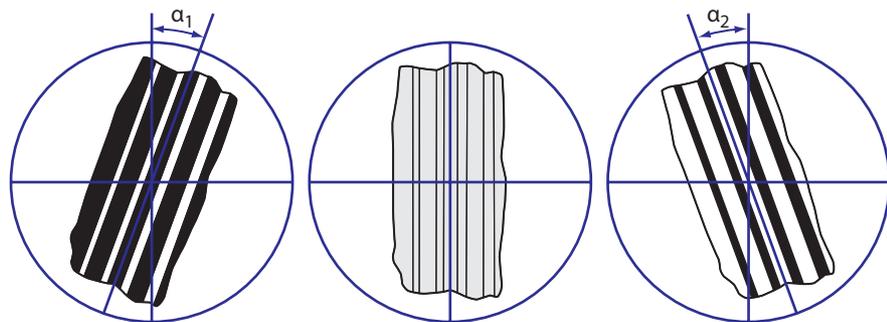
Anhang: Ermittlung des An-Gehaltes von Plagioklasen

Vorbemerkung: Bevor in den 1960er Jahren mit den Elektronenstrahlmikrosonden Geräte verfügbar wurden, die es gestatteten, die Hauptelementzusammensetzung von Mineralen in Dünnschliffen exakt zu bestimmen, waren optische Verfahren die einzigen alternativen Möglichkeiten. Ohne aufwendige Vermessungen auf dem Universaldrehtisch liefern diese optischen Methoden jedoch nur Näherungswerte der Plagioklaszusammensetzung. Im folgenden wird als geeignete Methode nur die *Zonenmethode nach Rittmann* beschrieben (auch als *Michel-Lévy-Methode* bezeichnet).

Prinzip: Die Methode beruht auf der Beobachtung, daß sich der Auslöschungswinkel, gemessen als Winkel zwischen der Spur der (010)-Verwachsungsebene von Albitzwillingen (oder auch gegen Spaltrißsysteme) und X' (der Richtung der kleineren Achse der Schnittellipse der Indikatrix in der vorliegenden Schnittlage – entsprechend also dem kleineren der beiden Lichtbrechungswerte), in systematischer Weise ändert. Da der im Dünnschliff beobachtete Auslöschungswinkel sowohl durch die Orientierung des Kornes als auch die der Indikatrix kontrolliert wird, sollte eine Anzahl von Auslöschungswinkeln bestimmt werden; der größte gefundene Wert sollte dann benutzt werden, um den An-Gehalt der Plagioklase abzuschätzen. Plagioklase sind sehr oft nach dem Albitgesetz polysynthetisch verzwilligt. Schnitte, die (annähernd) \perp zur Zwillingssebene des Albitgesetzes liegen, zeigen in beiden Lamellensystemen gleiche, also symmetrische Auslöschung.

Arbeitsgang: 1. Es ist ein geeignetes Korn auszuwählen, bei welchem die Zwillingslamellen nicht allzu schmal sind und die (010)-Fläche \perp zur Schliffebene steht. Solche Schnittlagen erkennt man daran, daß alle Zwillingslamellen unter gekreuzten Polarisatoren in N-S- und in 45° -Stellung identische Interferenzfarben aufweisen. Außerdem sind dann die Verwachsungsebenen zwischen den Zwillingen scharf und wandern beim Heben oder Senken des Objektisches nicht aus (d.h. sie wandern beim Scharf- und Unschärfstellen nicht oder kaum zur Seite aus).

2. Anschließend mißt man die Auslöschungsschiefe der beiden Zwillingsysteme gegen die N-S-Richtung der Verwachsungsebene, und zwar einmal durch Drehen des Tisches im Uhrzeigersinn und einmal entgegen dem Uhrzeigersinn (siehe folgende Zeichnung). Die Auslöschung der beiden Systeme muß unter (nahezu) gleichen Winkeln erfolgen. Weichen die beiden Winkel um mehr als ca. 5° voneinander ab, dann lag wahrscheinlich keine geeignete Schnittlage vor, und die Messung sollte nicht verwendet werden; andernfalls können die beiden Winkelwerte gemittelt werden. Insgesamt sollte mindestens ein halbes Dutzend Körner vermessen werden.



3. Bei Plagioklasen mit ≤ 35 Mol% Anorthitgehalt ist im Prinzip noch der optische Charakter zu bestimmen, weil die Auslöschungsschiefe bei ca. 20 Mol% (Plagioklase aus Plutoniten) bzw. knapp 10 Mol% (Plagioklase aus Vulkaniten) 0° erreicht, so daß sich das Vorzeichen umkehrt. Leider haben Plagioklase dieser Zusammensetzung aus Plutoniten und Metamorphiten Achsenwinkel um 90° (siehe auch Abbildung 27, Seite 84), so daß das Vorzeichen des optischen Charakters kaum zu ermitteln ist. Sehr Ab-reiche Plagioklase sind allerdings oft unverzwilligt, so daß die Möglichkeit der Bestimmung der Zusammensetzung nach der Michel-Lévy-Methode ohnehin entfällt. Wenn der optische Charakter nicht zu ermitteln ist, hilft möglicherweise die Bestimmung der Lichtbrechung relativ zum Einbettungsmittel oder relativ zu Quarz weiter (siehe Abbildung 26, Seite 84) oder bei bestimmbarer kristallographischer Orientierung die Bestimmung des Vorzeichens, wie in der Kristallzeichnung in Abbildung 28 gezeigt.

In den meisten Fällen liegt die Auslöschungsschiefe unter 45° ; bei sehr Ca-reichen Plagioklasen, wie sie in basischen Gesteinen vorkommen können, kann der Auslöschungswinkel jedoch auch noch etwas darüber liegen. Wenn z.B. der Auslöschungswinkel einer Zwillingsschar bei 55° liegt, dann herrscht Auslöschung für diese Schar auch bei 35° von N-S aus im Gegenuhrzeigersinn gedreht. Aus Symmetriegründen zeigt die zweite Zwillingsschar Auslöschung bei 55° im Gegenuhrzeigersinn und bei 35° im Uhrzeigersinn gedreht. Um zu prüfen, welcher Auslöschungswinkel der richtige ist, drehe man den Mikroskopisch von der Auslöschungsstellung der Lamellen um 45° im Uhrzeigersinn und schiebe das Rot I-Plättchen in den Strahlengang. Wenn die Farbe der fraglichen Schar von Lamellen Interferenzfarben von Gelb bis Rot der 1. Ordnung zeigen, liegt Subtraktionsstellung vor, so daß tatsächlich der Winkel zwischen der Verwachsungsebene und X' (dem kleineren der beiden Brechwerte) gemessen wurde. Nimmt die Farbe der Lamellen dagegen ein Blau der zweiten Ordnung an, dann lag Additionsstellung vor (entsprechend dem Winkel zwischen dem größeren Brechwert und der Verwachsungsebene), und der Mikroskopisch muß bis zur nächsten Auslöschungsstellung weiter rotiert werden, um den Winkel zwischen der Spur von (010) und X' zu ermitteln.

4. Der An-Gehalt wird aus Abbildung 28 abgelesen. Dabei ist zwischen einer Kurve für Plagioklase aus Vulkaniten (schlechte Si-Al-Ordnung) und einer für Plutonite und Metamorphite (gute Si-Al-Ordnung) zu unterscheiden.

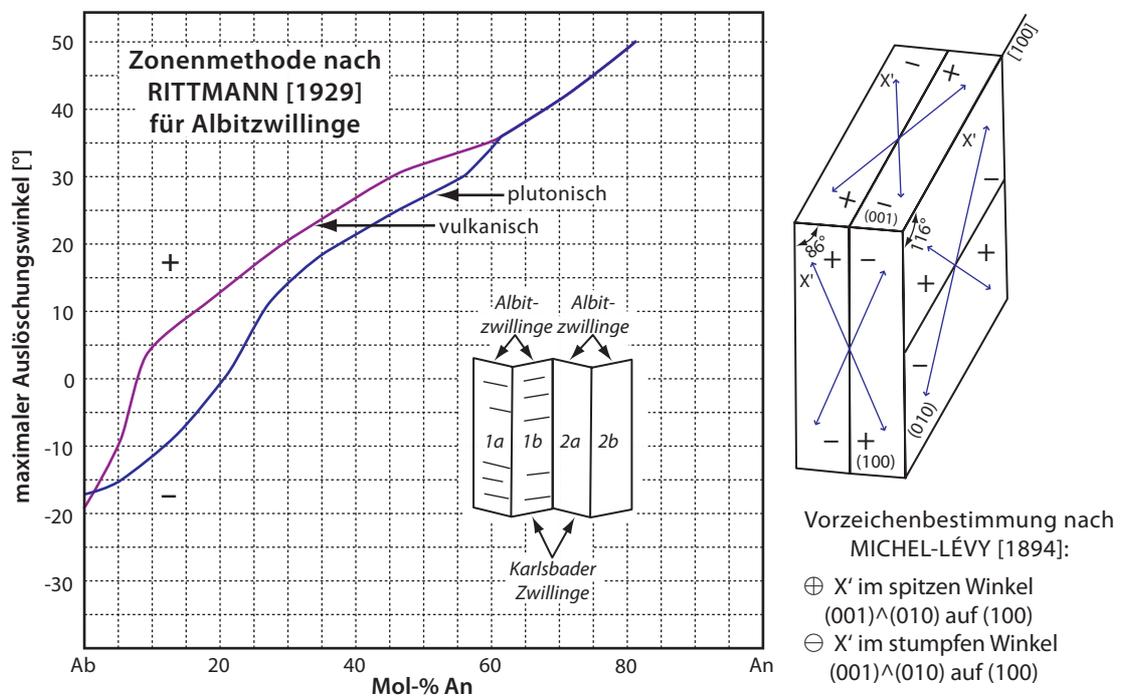
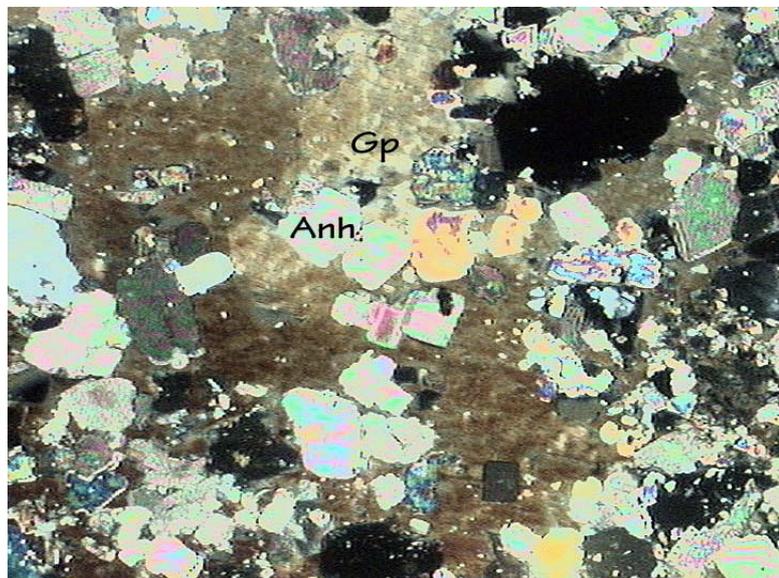
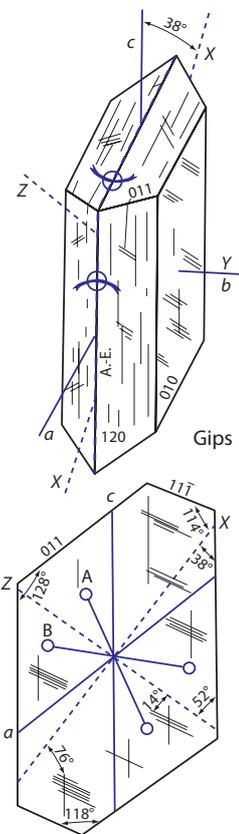


ABBILDUNG 28 Abschätzung des Anorthitgehaltes der Plagioklase nach der Zonenmethode

Nachbemerkung: Um den An-Gehalt von kleinen Plagioklasen (Mikrolithe) abzuschätzen, messe man die Auslöschungsschiefe einer größeren Anzahl von gestreckten Kristallen und schätze den An-Gehalt mit Hilfe des maximal gefundenen Auslöschungswinkels aus Abbildung 28 ab.

Gips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

- Zusammensetzung:** keine nennenswerte Abweichung von der Idealformel;
- Kristallsystem:** monoklin, Kristallklasse 2/m
- Brechungsindex:** n_α 1.519 – 1.521, n_β 1.523 – 1.526, n_γ 1.529 – 1.531; zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.010$
- Hauptzone:** untypisch
- Achsenwinkel:** $2V_\gamma = 58^\circ$ bei Raumtemperatur; mit T stark fallend (0° bei ca. 90°C)
- Auslöschung:** meist schief mit $\angle(\alpha, a) = 15^\circ$; in Schnitten $\parallel b$ gerade;
- Farbe:** farblos
- Spaltbarkeit:** sehr gut nach (010), gut nach (100), ausgeprägt nach (011);
- Verzwilligung:** nach (100) [„Schwalbenschwanzzwillinge“] häufig, nach (001) selten [„Montmartre-Zwillinge“];
- Ausbildung:** tafelig $\parallel(010)$; nadelig, feinfaserig; auch in Form feinkörniger Aggregate;
- Unterscheidung:** Anhydrit hat höhere Licht- und Doppelbrechung; Baryt hat gerade Auslöschung; in feinfaseriger Form leicht mit Chalcedon zu verwechseln;
- Besonderheiten:** polysynthetische Verzwilligung kann bereits beim Erhitzen zur Herstellung der Schliffe entstehen;
- Umwandlungen:** Dehydratisierung bei der Diagenese;
- Vorkommen:** in Evaporiten; in der Oxidationszone von Sulfidlagerstätten; in vulkanischen Exhalationen;
- Paragenese:** Halit, Anhydrit, Sylvin, Calcit, Dolomit;



großer Gipskristall (gelbe Interferenzfarben) neben vielen kleinen Anhydritkristallen in einem Anhydrit des norddeutschen Zechsteins; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 2.5 mm quer; siehe auch Abbildung Seite 62.

Glaukonit, Seladonit $(K,Ca,Na)_{0.8}(Fe^{3+},Al,Mg,Fe^{2+})_2(Si_{3.7}Al_{0.3}O_{10})(OH)_2$

Zusammensetzung: Variation in Si/Al auf Tetraederplätzen mit gekoppeltem Ladungsausgleich auf allen anderen Gitterpositionen;

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m

Brechungsindex: n_α 1.56 – 1.61, n_β 1.61 – 1.64, n_γ 1.61 – 1.64 \Rightarrow zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.022 - 0.032$

Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: $2V_\alpha = 0 - 30^\circ$

Auslöschung: meist schief mit $\chi(\gamma,a) +2 - 3^\circ$;

deutlicher Pleochroismus: α (X in der Skizze) dunkelblaugrün, hellgelbgrün, grünlichgelb; $\beta \approx \gamma$ bräunlichgelb, dunkelolivgrün, blaugrün;

Farbe: grün, gelbgrün, olivgrün, bläulichgrün; Fe-arme Varietäten auch fast farblos;

Spaltbarkeit: deutlich nach {001}

Verzwillingung: keine

Ausbildung: rundliche bis elliptische Aggregate, feinkörnig bis feinschuppig, seltener radialstrahlig;

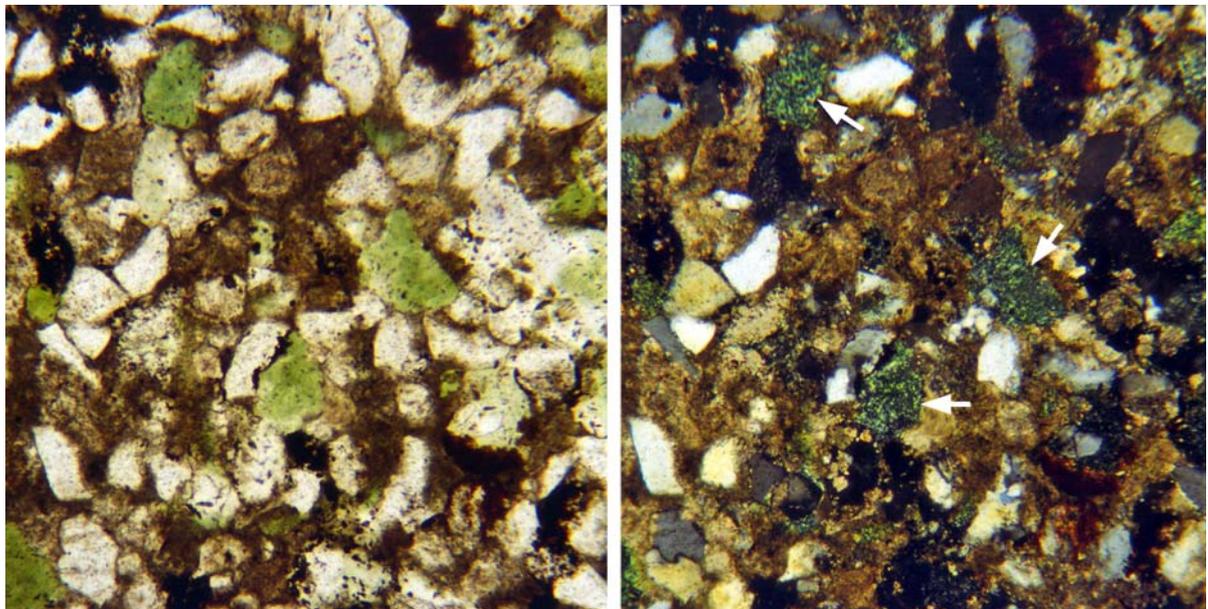
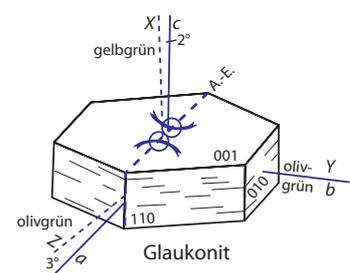
Unterscheidung: charakteristische grüne Farbe; Chlorite haben niedrigere, grüner Biotit hat höhere Doppelbrechung;

Besonderheiten: hat nahezu dieselbe Gitterstruktur wie Muskovit und kann damit zu den Glimmern gezählt werden; die Endkomponente Seladonit $KMgAl^{VI}[Si_4O_{10}](OH)_2$ kommt in der Natur nicht vor;

Umwandlungen: sehr anfällig (Oxidation zu limonithaltigen Neubildungen);

Vorkommen: Glaukonit nur im marinen Milieu: Grünsande, Grünsandsteine, gelegentlich auch in Kalken und Mergeln; Seladonit als Mandel- und Kluffüllung in basischen Vulkaniten;

Paragenese: Glaukonit: Quarz, Calcit, Pyrit; Seladonit: Chlorit, Chrysotil, Saponit, Karbonate, Zeolithe, Tonminerale;



Grüne Glaukonitkörner im Hellfeld (links) sowie unter gekreuzten Polarisatoren (rechts; einige Körner mit Pfeilen markiert) neben Quarz sowie dunklen Fe-Hydroxiden und feinkörnigen Schichtsilikaten (Tonminerale) in einem Glaukonitsandstein aus Westfalen; Bildausschnitt rund 0.28 mm hoch.

Glimmer $A_2M_{4-6}(T_8O_{20})(OH,F)_4$

Zusammensetzung: A ist hauptsächlich K, Na oder Ca, seltener Ba, Rb, Cs;

M ist vor allen Dingen Al, Mg, Fe, aber auch Mn, Cr, Ti, Li;

T sind Si und Al (möglicherweise in geringen Mengen auch Fe^{III} und Ti)

Die weitere Unterteilung erfolgt in *dioktaedrische* und *trioctaedrische* Glimmer. Bei den dioktaedrischen Vertretern ist die Oktaederschicht im Kristallgitter (die M-Position) zu $\frac{2}{3}$ besetzt, und zwar durch das dreiwertige Al; das restliche Drittel ist unbesetzt. Bei den trioctaedrischen Glimmern ist die Oktaederschicht vollständig besetzt (durch zweiwertige Ionen wie Mg und Fe^{2+}).

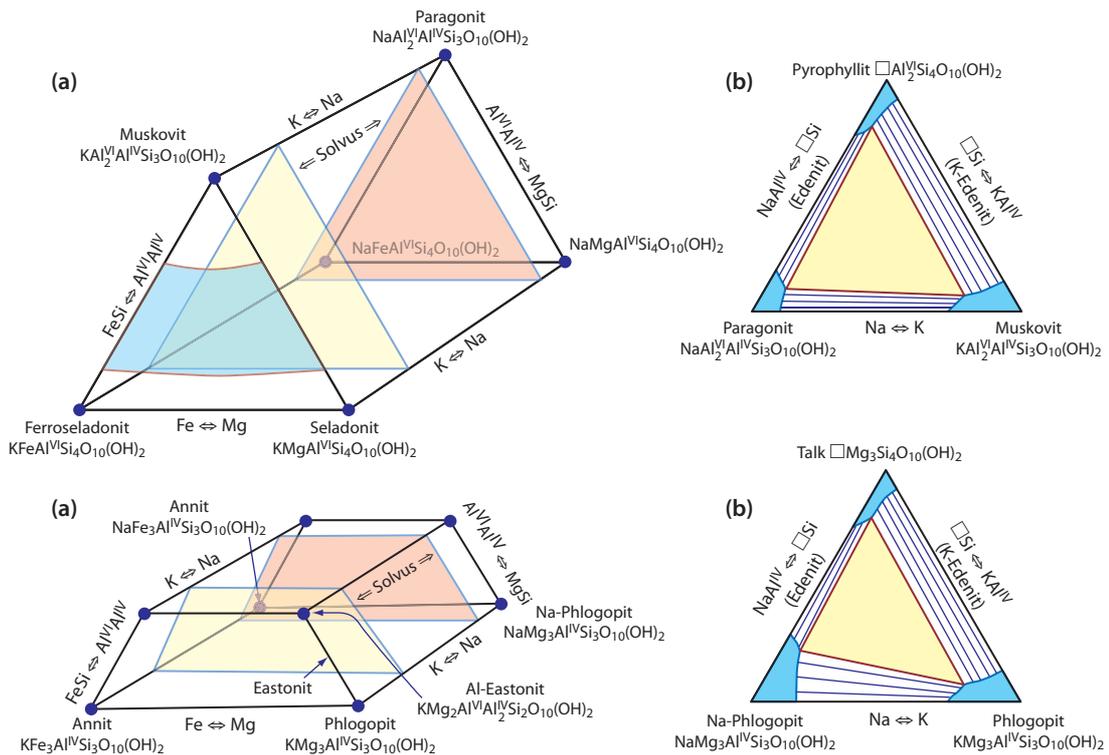
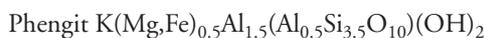


ABBILDUNG 29

Variation der Zusammensetzung von dioktaedrischen und trioctaedrischen Glimmern; **obere Abbildungen:** Einteilung der dioktaedrischen Glimmer; die beiden dunklen Flächen oben links legen die Grenzen der Mischungslücke fest, die zwischen Muskovit und Paragonit besteht. Das Dreiecksdiagramm oben links zeigt die Substitutionen auf dem A-Gitterplatz (Pyrophyllit ist kein echter Glimmer!); **untere Abbildungen:** Einteilung der trioctaedrischen Glimmer; die beiden Flächen im linken Diagramm markieren die Solvus zwischen Biotit und Na-Biotit. Das rechte Diagramm zeigt wieder Substitutionen auf den A-Plätzen (Talk ist kein Glimmer im eigentlichen Sinn!). □ markiert einen nicht besetzten Gitterplatz.

In den Glimmern findet man alle Substitutionen wieder, die auch die Amphibole auszeichnen, nämlich $K \leftrightarrow Na$, $Al^{[VI]}Al^{[IV]} \leftrightarrow MgSi$ (die Tschermaks-Substitution, bei den Glimmern auch Phengit-Substitution genannt), $Fe \leftrightarrow Mg$ und $Na \leftrightarrow Al^{[IV]}_oSi$ (Edenit-Substitution) [hochgestellte [VI] und [IV] für Al bedeuten Al auf Oktaeder- bzw. Tetraederplätzen; das tiefgestellte „o“ steht für eine Gitterleerstelle]. Diesen Substitutionen gemäß lassen sich die Glimmer weiter unterteilen, wie in Abbildung 29 dargestellt. Die wichtigsten dioktaedrischen Glimmer sind:



Paragonit $NaAl_2(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$

Seladonit $KMgAl(Si_4O_{10})(OH)_2$

Die beiden wichtigsten trioktaedrischen Glimmer sind:

Biotit $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$ [mit $Mg/(Mg+Fe) < 0.8$]

Phlogopit $KMg_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$ [mit $Mg/(Mg+Fe) \geq 0.8$]

Muskovit

Zusammensetzung: beschränkte Substitution von K durch Na oder Ba

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m

Brechungsindex: n_α 1.552 – 1.576, n_β 1.582 – 1.615, n_γ 1.587 – 1.618
zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.036 – 0.054$

Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: $2V_\alpha = 28 – 47^\circ$

Auslöschung: Schnitte \perp zur Spaltbarkeit haben (fast) gerade Auslöschung mit $\angle(\alpha, c) = 0 – 5^\circ$ und $\angle(\beta, a) = 1 – 3^\circ$ ($\alpha = X$, $\beta = Y$ in der Skizze);

Farbe: farblos; sehr selten helle Schattierungen von grün bis gelb;

Spaltbarkeit: perfekt nach {001}

Verzwilligung: nach dem Glimmergesetz mit [310] als Zwillingsenebene (mikroskopisch nicht sichtbar);

Ausbildung: tafelig bis blättrig nach {001}; Sericit ist eine schuppig bis feinstschuppige Ausbildung, die Verwachsungen mit anderen Hellglimmern aufweisen kann (Paragonit, Phengit – nur röntgenographisch nachweisbar!);

Dünnschliffphotos für Muskovit siehe Seite 87!

Unterscheidung: infolge hoher Doppelbrechung in Schnitten \parallel {001} und fast gerader Auslöschung leicht als Glimmer identifizierbar (gilt sinngemäß für alle anderen Glimmer);

von Lepidolith, Talk, Pyrophyllit und Paragonit jedoch optisch kaum unterscheidbar; Phengit hat kleineren Achsenwinkel; Sericit ist nicht von anderen farblosen Phyllosilikaten zu unterscheiden; in Schnittlagen \parallel {001} ist die Doppelbrechung sehr gering, und Spaltbarkeit ist nicht vorhanden, was die Identifizierung sehr erschwert;

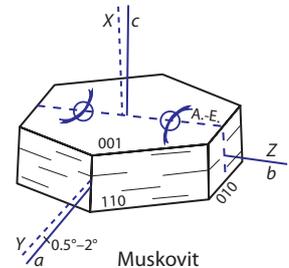
Besonderheiten: Muskovit zeigt – wie alle Glimmer – ein „Szintillieren“ in Auslöschungsstellung; infolge der perfekten Spaltbarkeit \parallel {001} brechen beim Schleifen winzige Schuppen aus, sofern die Orientierung der Glimmer in irgendeiner Weise schräg zu {001} ist; dadurch sieht man in der Auslöschungsstellung meist zahlreiche kleine Flecken, die gerade nicht in Auslöschungsstellung sind (Ausnahme: wenn {001} des Glimmers zufällig exakt \parallel der Schleifebene orientiert ist); im englischen ist diese Erscheinung als *birds eye structure* bekannt, benannt nach der Maserung des Holzes einer Ahornart (birds-eye maple);

eine Cr-haltige grünliche Varietät ist als *Fuchsit* bekannt;

Umwandlungen: bei Verwitterung Abbau zu Hydromuskovit und Illit; bei Metamorphose in der höheren Amphibolitfazies Abbau zu kalifeldspathaltigen Paragenesen;

Vorkommen: in pelitischen Schiefen bei niedrigen bis mittleren Metamorphosegraden; in Pegmatiten und Al-reichen Graniten bis Granodioriten; Sericit in niedriggradigen Metamorphiten und in hydrothermal überprägten sauren Vulkaniten;

Paragenese: in Plutoniten mit Quarz, Feldspäten, Biotit; in Pegmatiten mit Turmalin, Lepidolith, Phlogopit; Sericit neben Quarz, Chlorit, Albit in niedriggradigen Metamorphiten; bei steigender Metamorphose neben Biotit, Chloritoid und Kalifeldspat;



Phengit

Zusammensetzung: weite Variation im Verhältnis (Mg+Si)/Al infolge der Phengitsubstitution $Al^{[VI]}Al^{[IV]} \leftrightarrow MgSi$ (siehe auch Abbildung 29);

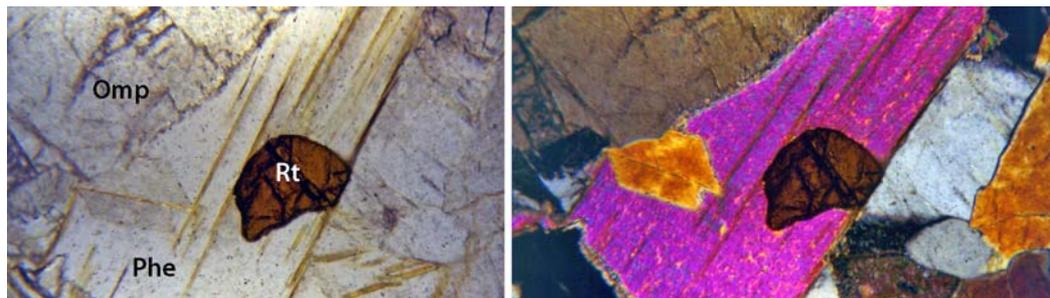
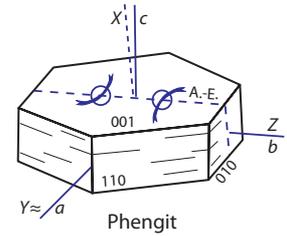
Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m

Brechungsindex: $n_\alpha 1.547 - 1.571$, $n_\beta 1.584 - 1.610$, $n_\gamma 1.587 - 1.612$
zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.040 - 0.041$

Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: $2V_\alpha = 24 - 36^\circ$

Auslöschung: wie Muskovit



Phengite mit einem Rutileinschluß aus einem Eklogit des Münchberger Gneisgebietes; links im Hellfeld rechts unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt jeweils ca. 0.40 mm quer; siehe auch Dünnschliffphoto auf Seite 66!

Farbe: farblos

Spaltbarkeit: perfekt nach {001}

Verzwilligung: wie Muskovit

Ausbildung: tafelig bis blättrig nach {001}

Unterscheidung: optisch nicht von Muskovit zu unterscheiden;

Besonderheiten: Szintillieren in Auslöschungsstellung

Umwandlungen: bei retrograder Metamorphose Abbau zu Muskovit, Pumpellyit

Vorkommen: nur in metamorphen Gesteinen: Eklogite, Blauschiefer, Gneise, Phyllite (hier: potentieller Bestandteil von Sericit);

Paragenese: Glaukophan, Klinozoisit, Lawsonit, Paragonit, Omphacit

Paragonit

Zusammensetzung: bei hohen Temperaturen Aufnahme von bis zu 20% Muskovitkomponente;

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m

Brechungsindex: $n_\alpha 1.564 - 1.680$, $n_\beta 1.594 - 1.609$, $n_\gamma 1.600 - 1.609$
zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.028 - 0.038$

Hauptzone: (+)

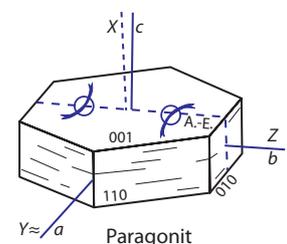
Achsenwinkel: $2V_\alpha = 0 - 40^\circ$

Auslöschung: wie Muskovit

Farbe: farblos

Spaltbarkeit: perfekt nach {001}

Verzwilligung: wie Muskovit



- Ausbildung:** feinschuppig bis blättrig, auch tafelig nach {001}
- Unterscheidung:** optisch nicht von Muskovit unterscheidbar;
- Besonderheiten:** Szintillieren in Auslöschungsstellung
- Umwandlungen:** weniger stabil als Muskovit: bei niedrigen Drücken und bei Temperaturen oberhalb von 500 – 600°C Abbau zu Albit + Korund + Wasser;
- Vorkommen:** mit Muskovit in grünschieferfazialen Gesteinen (als Bestandteil von Sericit) und in der Amphibolitfazies bis in die Sillimanitzone; in Blauschiefern; in pelitischen Sedimenten; bei höheren Temperaturen erhöht sich die gegenseitige Löslichkeit von Muskovit in Paragonit und umgekehrt; da Muskovit der häufigere Hellglimmer ist, verschwindet Paragonit früher durch vollständige Lösung in Muskovit;
- Paragenese:** Muskovit/Sericit, Chloritoid, Chlorite, Glaukophan

Biotit

Zusammensetzung: weite Variation im Mg/Fe-Verhältnis (Grenze zwischen Biotit und Phlogopit wird bei 80 Mol% Phlogopitkomponente gezogen) und im Al^{IV}/Si -Verhältnis; im letzteren Fall ist gekoppelter Ersatz mit Al^{VI} , Fe^{3+} oder Ti erforderlich (Ti-Gehalte bis über 7 Gew.% sind bekannt); Ba bis in Prozentbereich;

das Mg-freie Fe-Endglied heißt *Annit* ($KFe_3(AlSi_3O_{10})(OH,F)_2$), Glieder mit $Mg/(Mg+Fe)$ bis 0.2 heißen *Siderophyllit*, mit $0.2 \leq Mg/(Mg+Fe) < 0.5$ sind *Lepidomelane* und solche mit $0.5 \leq Mg/(Mg+Fe) < 0.8$ sind *Meroxene*;

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m

Brechungsindex: n_α 1.571 (Meroxen) – 1.598 (Lepidomelan) – 1.616 (Siderophyllit) – 1.655 (Titanbiotit), n_β 1.609 – 1.651 – 1.696 – 1.692, n_γ 1.610 – 1.652 – 1.697 – 1.695;

zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.039$ (Meroxen) – 0.054 (Lepidomelan) – 0.081 (Siderophyllit) – 0.044 (Titanbiotit)

Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: $2V_\alpha = 0 - 35^\circ$ (erscheint häufig einachsig)

Auslöschung: wie bei Muskovit

Farbe: abhängig vom Ti- und Fe-Gehalt (siehe Abbildung 30): kräftig braun, gelblichbraun, rötlichbraun, rot, olivgrün oder grün (v.a. in niedriggradigen Metamorphiten);

deutlich bis stark pleochroitisch: α (=X in den Skizzen) gelb, lederfarben, hellbraun, blaßgrün; β (Y) rötlichbraun, grünlichbraun, bläulichgrün, dunkelbraun, schwarz; γ (Z) rötlichbraun, gelbbraun, dunkelbraun, grün, schwarz;

Spaltbarkeit: perfekt nach {001}

Verzwilligung: wie bei Muskovit

Ausbildung: gut ausgebildete tafelige Kristalle (v.a. in Metapeliten und Graniten); oft xenomorph in gabbroiden Plutoniten (Spätkristallinat);

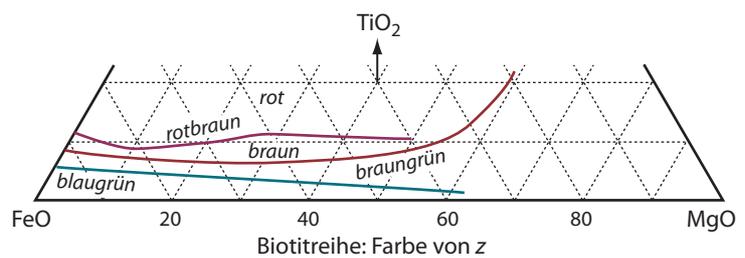
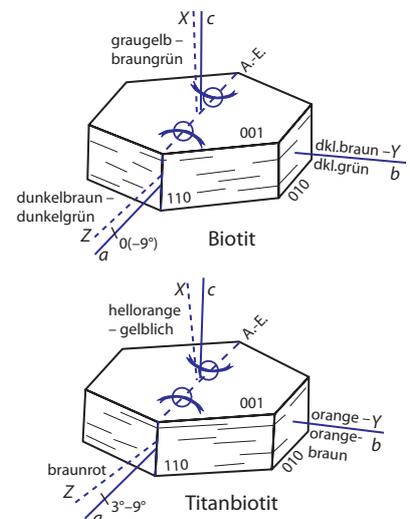
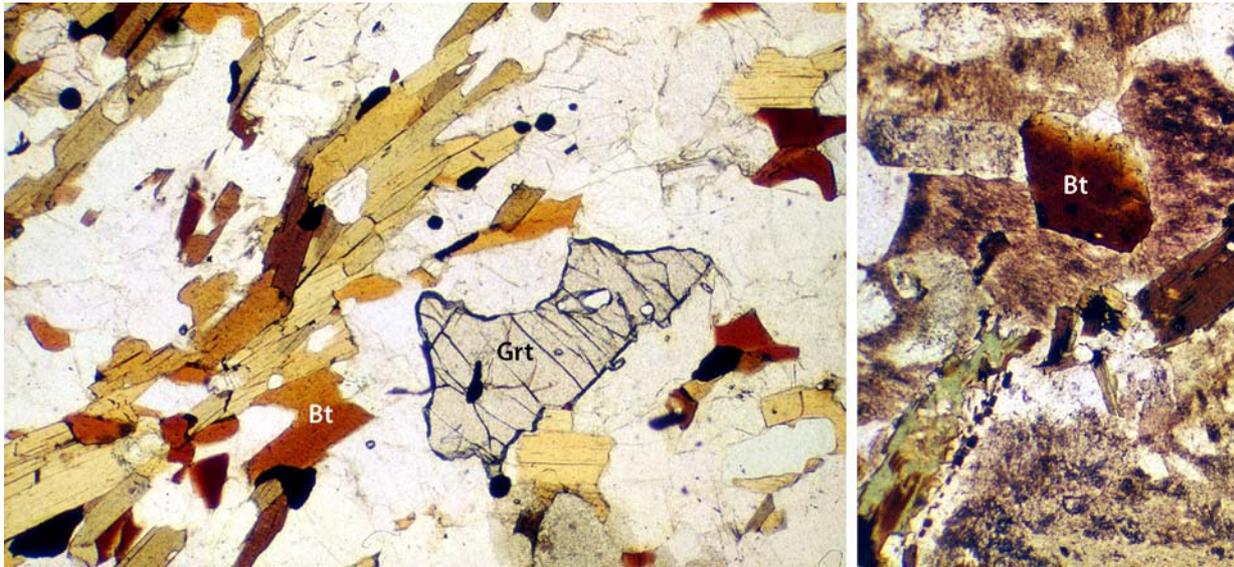


ABBILDUNG 30 Abhängigkeit der Farbe der Biotite von der Zusammensetzung

deutlich bis stark pleochroitisch: α (=X in den Skizzen) gelb, lederfarben, hellbraun, blaßgrün; β (Y) rötlichbraun, grünlichbraun, bläulichgrün, dunkelbraun, schwarz; γ (Z) rötlichbraun, gelbbraun, dunkelbraun, grün, schwarz;

Unterscheidung: beste Erkennungsmerkmale sind Farbe und Pleochroismus sowie perfekte Spaltbarkeit; braune Hornblenden löschen in Längsschnitten meist schief aus (aber: Oxyhornblenden $\approx 0^\circ$); in Schnitten \perp [001] ist Biotit kaum bis nicht pleochroitisch; auch das Szintillieren in Auslöschungsstellung ist nicht entwickelt; infolge des meist kleinen Achsenwinkels erscheint Biotit in solchen Schnittlagen oft fast einachsig (Unterscheidung von braunem Amphibol!); brauner Turmalin hat kräftigste Absorptionsfarbe quer zur Längsrichtung, Biotit parallel; Phlogopit ist weniger stark gefärbt; grüner Biotit ist höher doppelbrechend als Chlorit; der letztere zeigt außerdem oft anomale Interferenzfarbe; Verwechslungsmöglichkeit mit Stilpnomelan, der jedoch goldgelben Pleochroismus zeigt und außerdem schlechtere Basisspaltbarkeit hat;



links: Biotite in verschiedenen Schnittlagen, daher unterschiedlichen braunen Farbtönen, neben Granat, Quarz und Feldspäten (hell) in einem Gneis aus dem Bayerischen Wald; Hellfeld; Bildausschnitt ca. 3.3 mm quer;

rechts: teilweise chloritisierter Biotit (unten links mit Pfeil markiert) neben unverändertem Biotit in einem Granit aus dem Schwarzwald; Hellfeld; Bildausschnitt rund 1.45 mm; neben den Biotiten sind schmutzigbraune hydrothermal alterierte Feldspäte zu sehen.

Besonderheiten: in Vulkaniten randlich oft resorbiert oder *opacitisiert* (mit opakem Rand); oft einschlußreich (bei Zirkon, Monazit, Titanit sind dann oft pleochroitische Höfe entwickelt);

durch Oxidation des Fe^{2+} und Ersatz von OH durch O entsteht in intermediären Vulkaniten *Oxybiotit* (analog der Oxyhornblende), der intensivere Eigenfarbe, höhere Licht- und Doppelbrechung und auch größeren Achsenwinkel ($20 - 30^\circ$) aufweist als Biotit und randlich oder vollständig opacitisiert ist;

Umwandlungen: in Vulkaniten durch Wasserabgabe Bildung von Oxybiotit oder Opacitisierung; in Titanbiotiten durch Abscheidung orientierter Rutilnadeln Entwicklung eines *Sagenitgitters* (siehe auch bei Rutil, Seite 31!); Umwandlung in Chlorit ist häufig (zunächst als Ummantelung des Biotits und entlang von Spaltrissen); Zersetzung in Fe-Ti-Oxide, Epidot, Calcit, Sulfide;

Vorkommen: eines der häufigsten gesteinsbildenden Minerale; in Metapeliten (mit Ausnahme der niedrigst und der höchst metamorphen Bedingungen) und in kontaktmetamorphen Gesteinen; in Magmatiten vor allem in sauren und alkalibetonten Gesteinen, aber auch als Spätkristallit in mafischen Vulkaniten und Plutoniten;

Paragenese: metamorph zusammen mit Quarz, Albit, Epidot, Chlorit, Muskovit, Almandin, Staurolith, Disthen, Plagioklas; magmatisch mit braunen und grünen Hornblenden, Feldspäten, Quarz, Muskovit, Augit, Hypersthen, Titanit;

Phlogopit

Zusammensetzung: Mg-Endglied der trioktaedrischen Glimmer (Grenze zu Biotit ist bei $Mg/(Mg+Fe) = 0.8$ gezogen); Ba-Gehalte bis in den Prozentbereich möglich;

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse $2/m$

Brechungsindex: $n_\alpha 1.522 - 1.568$, $n_\beta 1.548 - 1.609$, $n_\gamma 1.549 - 1.613$
zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.027 - 0.045$;

Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: $2V_\alpha = 2 - 8^\circ$

Auslöschung: wie bei Muskovit

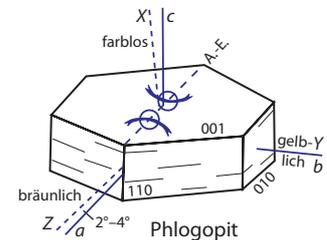
Farbe: farblos bis gelblich oder hellbraun;

in Schnittlagen $\parallel \{001\}$ fast kein Pleochroismus, in Schnittlagen schräg oder $\perp \{001\}$ deutlich pleochroitisch mit α (X in der Skizze) farblos bis blaßgelb, β und γ bräunlichgelb, lederfarben, rötlich-orange, rötlichbraun;

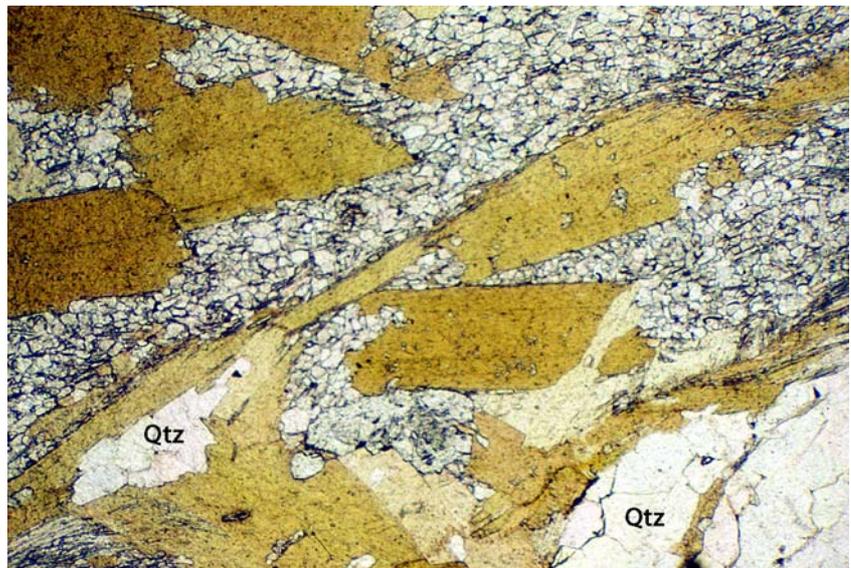
Spaltbarkeit: perfekt nach $\{001\}$

Verzwilligung: wie bei Muskovit

Ausbildung: tafelig (in Marmoren auch dicktafelig)



große Phlogopite neben Quarz (unten rechts und unten links) in einer Matrix aus Calcit; Bildausschnitt 3.3 mm quer



Unterscheidung: von Biotit durch blässere Eigenfarbe unterscheidbar, von Muskovit durch kleineren Achsenwinkel;

Besonderheiten: seltener Zonarbau

Umwandlungen: keine

Vorkommen: in mafischen bis ultramafischen Magmatiten und Metamorphiten (Peridotite, Kimberlite, Karbonatite, Foidite); in kontaktmetamorphen Marmoren;

Paragenese: Olivin, Diopsid, Enstatit, Calcit, Pyrop, Melilith, Leucit, Nephelin

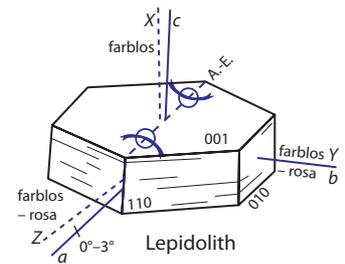
Lepidolith $K(Li,Al)_3[(Si,Al)_4]O_{10}(OH,F)_2$

Zusammensetzung: typischerweise $Li_{1.5}$

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse $2/m$

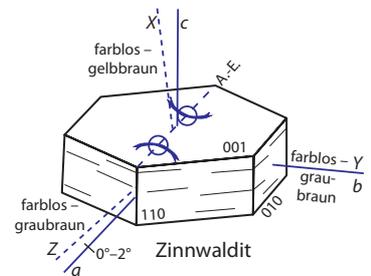
Brechungsindex: $n_\alpha 1.524 - 1.548$, $n_\beta 1.543 - 1.587$, $n_\gamma 1.545 - 1.588$
zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.018 - 0.038$;

Hauptzone:	(+)
Achsenwinkel:	$2V_{\alpha} = 23 - 58^{\circ}$
Auslöschung:	wie bei Muskovit
Farbe:	farblos
Spaltbarkeit:	perfekt nach {001}
Verzwilligung:	wie bei Muskovit
Ausbildung:	tafelig {001}, in flockigen Aggregaten oder filzigen Massen
Unterscheidung:	Muskovit ist höher licht- und doppelbrechend;
Besonderheiten:	oft mit Muskovit verwachsen;
Umwandlungen:	Abbau zu Muskovit möglich;
Vorkommen:	in Li-haltigen Granitpegmatiten
Paragenese:	Quarz, Topas, Beryll, Turmalin, Spodumen



Zinnwaldit $\text{KLiFeAl}(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH},\text{F})_2$

Kristallsystem:	monoklin, Kristallklasse 2/m
Brechungsindex:	$n_{\alpha} 1.535 - 1.558, n_{\beta} 1.570 - 1.589, n_{\gamma} 1.572 - 1.590$ zweiachsig \ominus mit $\Delta \approx 0.035$
Hauptzone:	(+)
Achsenwinkel:	$2V_{\alpha} = 0 - 40^{\circ}$
Auslöschung:	wie bei Muskovit
Farbe:	farblos
Spaltbarkeit:	perfekt nach {001}
Verzwilligung:	wie bei Muskovit
Ausbildung:	tafelige Kristalle
Unterscheidung:	Lepidolith hat niedrigere, Muskovit hat höhere Licht- und Doppelbrechung;
Besonderheiten:	öfters orientierte Verwachsungen mit Muskovit und Lepidolith
Umwandlungen:	nicht bekannt
Vorkommen:	in Greisen und Granitpegmatiten
Paragenese:	Lepidolith, Spodumen, Muskovit, Quarz, Topas, Zinnstein, Wolframit



Humitgruppe $n\text{Mg}_2(\text{SiO}_4) \cdot \text{Mg}(\text{OH},\text{F})_2$

Zusammensetzung: Die Gruppe umfaßt vier Minerale, deren Kristallstruktur, chemische Zusammensetzung, optische Eigenschaften und Paragenese ähnlich sind:

Norbergit $\text{Mg}_2(\text{SiO}_4) \times \text{Mg}(\text{OH},\text{F})_2$

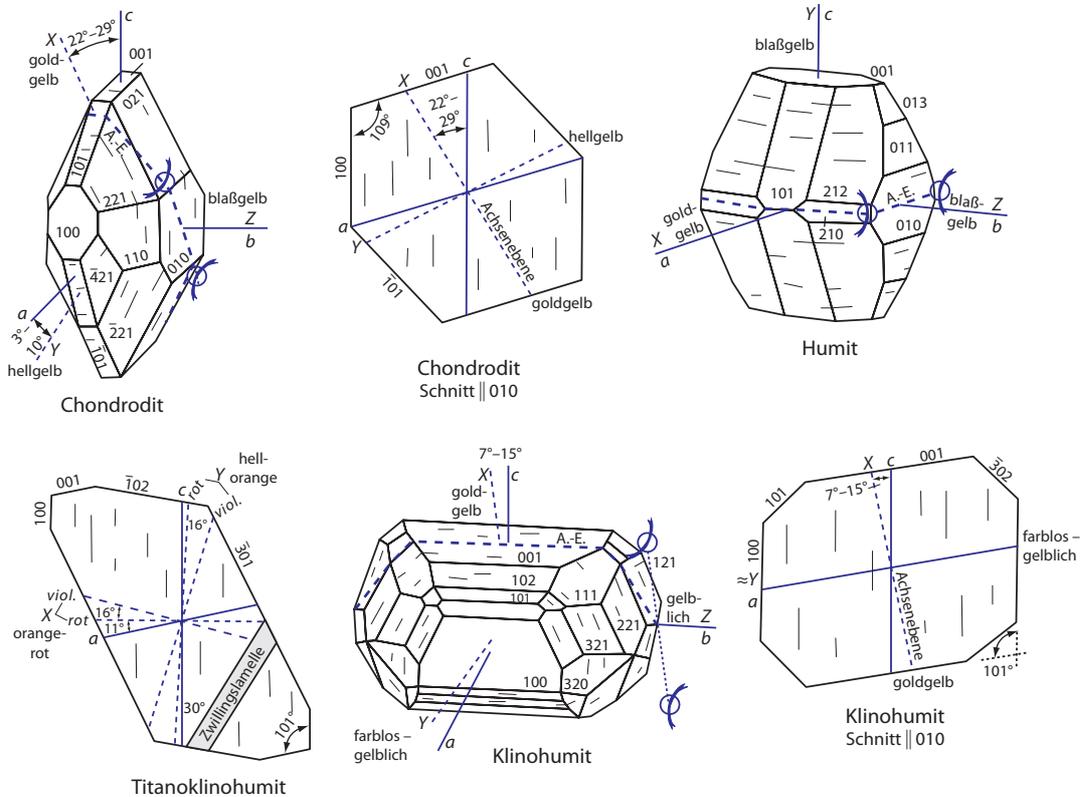
Chondrodit $2\text{Mg}_2(\text{SiO}_4) \times \text{Mg}(\text{OH},\text{F})_2$

Humit $3\text{Mg}_2(\text{SiO}_4) \times \text{Mg}(\text{OH},\text{F})_2$

Klinohumit $4\text{Mg}_2(\text{SiO}_4) \times \text{Mg}(\text{OH},\text{F})_2$

Im Gegensatz zum Olivin, mit dem sie strukturell verwandt sind, zeigen die Minerale der Humitgruppe nur einen mäßigen Fe–Mg-Austausch; insbesondere Chondrodit und Klinohumit können aber beträchtliche Mengen an Ti aufnehmen („Titanochondrodit“, „Titanoklinohumit“);

Kristallsystem: orthorhombisch, Kristallklasse mmm [Norbergit und Humit] bzw. monoklin, Kristallklasse $2/m$ [Chondrodit und Klinohumit]



Brechungsindex: Norbergit: n_α 1.563 – 1.567, n_β 1.567 – 1.579, n_γ 1.590 – 1.593; zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.026 - 0.027$;

Chondrodit: n_α 1.592 – 1.617, n_β 1.602 – 1.635, n_γ 1.621 – 1.646; zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.028 - 0.034$;

Humit: n_α 1.607 – 1.643, n_β 1.619 – 1.655, n_γ 1.639 – 1.675; zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.029 - 0.031$;

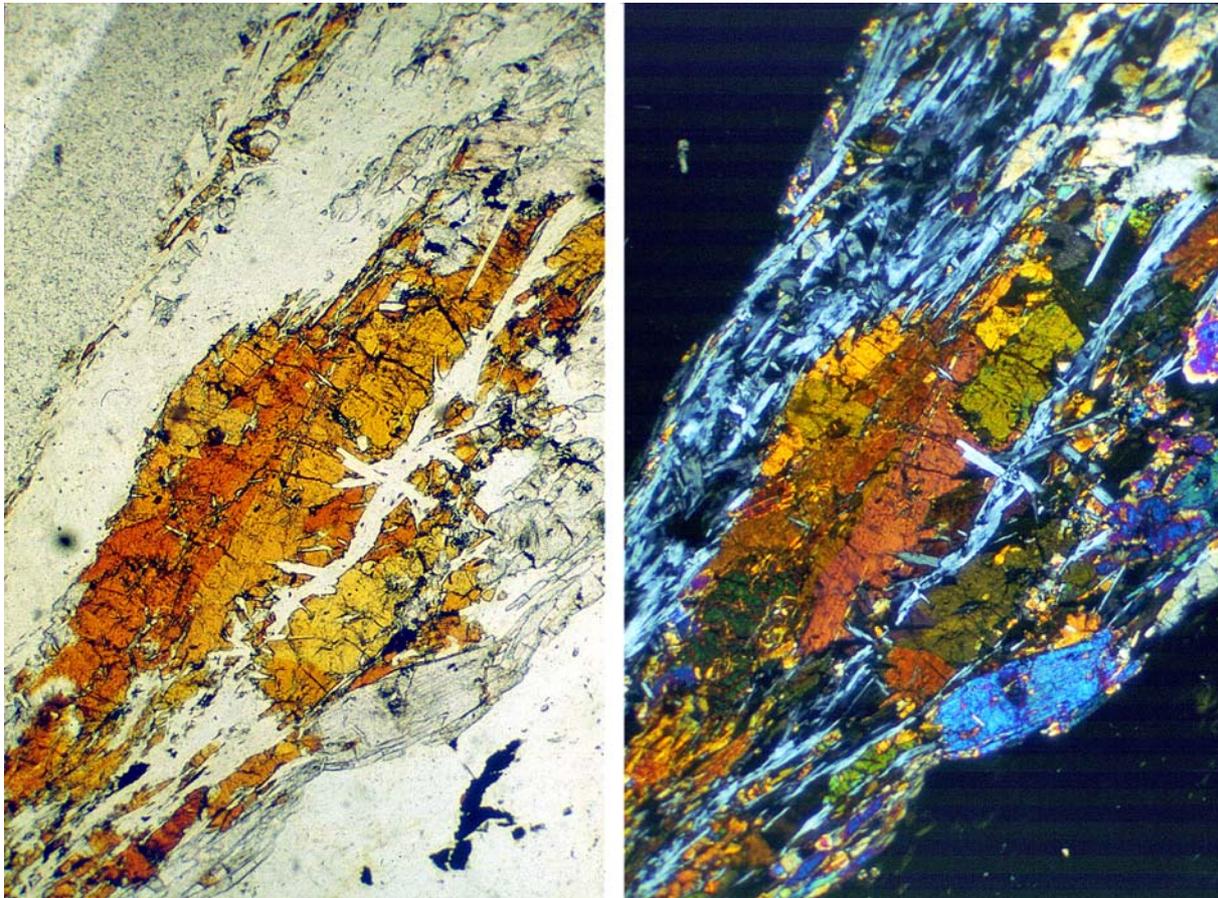
Klinohumit: n_α 1.628 – 1.638, n_β 1.641 – 1.654, n_γ 1.662 – 1.674; zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.028 - 0.041$;

Hauptzone: (–) oder (+), selten erkennbar;

Achsenwinkel: Norbergit $2V_\gamma = 44 - 50^\circ$; Chondrodit $2V_\gamma = 50 - 85^\circ$; Humit $2V_\gamma = 65 - 84^\circ$; Klinohumit $2V_\gamma = 73 - 76^\circ$;

Optisch zweiachsige Minerale

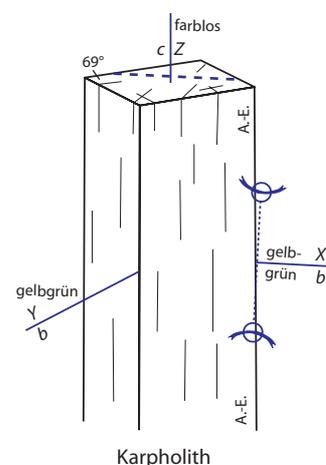
Auslöschung:	Norbergit und Humit gerade; Chondroit $\angle(\alpha,c)$ 22 – 31°; Klinohumit $\angle(\alpha,c)$ 9 – 15°;
Farbe:	farblos, blaßgelb, gelb, gelborange; Farbintensität mit Fe- und Ti-Gehalt zunehmend;
Spaltbarkeit:	keine (Norbergit), schlecht nach {100} (Chondroit, Humit, Klinohumit);
Verzwilligung:	einfache oder lamellare Verzwilligung bei Chondroit und Klinohumit, gelegentlich auch bei Humit;
Ausbildung:	rundliche Körner, hypidiomorph bis xenomorph; häufig plattig nach {100}, {010} und {001};
Unterscheidung:	farblose Varietäten sind praktisch nicht von Olivin zu unterscheiden; Olivin hat jedoch häufig Achsenwinkel um 90° oder ist optisch negativ; Fe-reichere Olivine haben auch höhere Licht- und Doppelbrechung; Staurolith hat höhere Licht- und niedrige Doppelbrechung sowie andere Paragenese;
Besonderheiten:	lamellare Verwachsungen untereinander oder mit Olivin und Monticellit sind häufig;
Umwandlungen:	in Serpentinminerale oder Chlorite
Vorkommen:	in kontaktmetamorphen oder metasomatisch überprägten Kalken und Dolomiten oder in Skarnen; ebenso in überprägten ultramafischen Gesteinen (Peridotite, Serpentinite, Karbonatite, Kimberlite, Talkschiefer);
Paragenese:	Ca-Mg-Silikate wie Tremolit, Wollastonit, Grossular, Monticellit, Forsterit; außerdem mit Calcit und Dolomit.



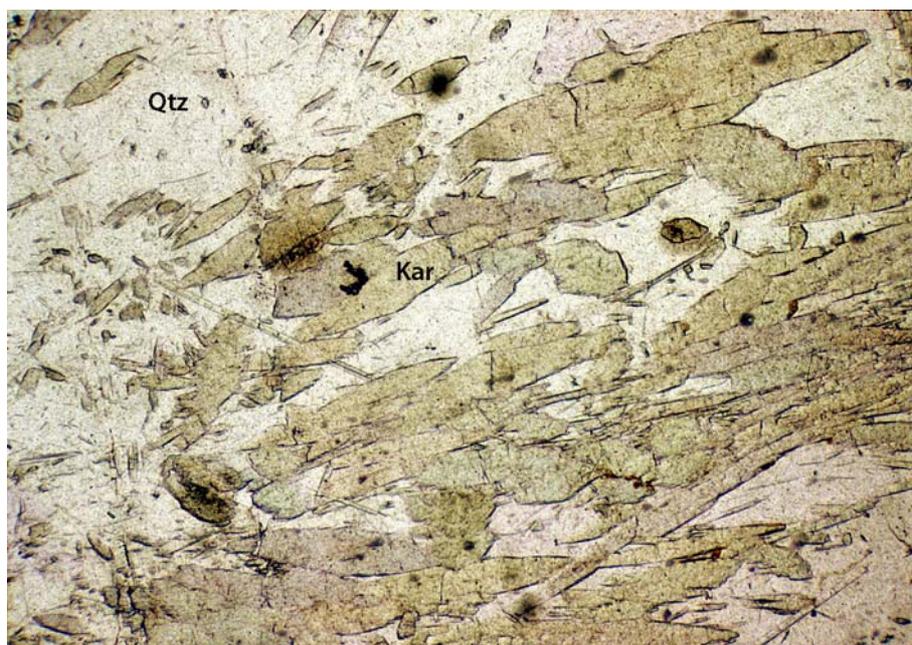
links: Klinohumite in einem serpentinierten Ultramafit in einer Matrix aus Serpentin und Mg-reichem Chlorit; der Klinohumit ist infolge hoher Ti-Gehalte kräftig gefärbt (braun); **rechts:** derselbe Ausschnitt unter gekreuzten Polarisatoren; die Serpentinminerale sind durch ihre typischen niedrigen Interferenzfarben gut zu erkennen; längere Kante des Bildes entspricht in beiden Fällen ca. 3.3 mm.

Karpholith ($\text{Mn,Fe}^{2+},\text{Mg}\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)(\text{OH})_4$)

- Zusammensetzung:** Kettensilikat mit weiter Substitution von Mn, Fe und Mg;
- Kristallsystem:** orthorhombisch, Kristallklasse mmm
- Brechungsindex:** n_α 1.611 – 1.617, n_β 1.628 – 1.632, n_γ 1.630 – 1.639; zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.019 - 0.022$;
- Hauptzone:** (+)
- Achsenwinkel:** $2V_\alpha = 50 - 70^\circ$;
- Auslöschung:** gerade; häufig aber auch geringe schiefe Auslöschung mit $\sphericalangle(\gamma,c)$ bis 4° ;
- Farbe:** farblos; Mn-reiche Varietäten sind gelblich oder gelbgrün und weisen Pleochroismus auf;
- Spaltbarkeit:** sehr gut nach (010), gut nach (110)
- Verzwilligung:** selten;
- Ausbildung:** nadelig bis faserig, selten idiomorph;
- Unterscheidung:** Sillimanit ist optisch positiv und hat etwas höhere Lichtbrechung; Lawsonit ist meist kurzprismatisch und hat größeren Achsenwinkel; Aktinolith hat größere Auslöschungsschiefe; Mg-reiche Chlorite haben niedrigere Lichtbrechung und kleinere Achsenwinkel als Mg-reiche Karpholithe; intermediäre Mg-Fe-Chlorite haben anomale Interferenzfarben;
- Besonderheiten:** keine
- Umwandlungen:** keine
- Vorkommen:** in Al-reichen Gesteinen niedriger Metamorphosegrade (Metasedimente); dabei sind die Mn-reichen Varietäten charakteristisch für niedrigstgradige Regionalmetamorphose, während die Mg-reichen Karpholithe typisch für die niedriggradige Hochdruckmetamorphose sind; außerdem als Segregationen in Quarzgängen und -klüften;
- Paragenese:** Quarz, Pyrophyllit und andere Schichtsilikate; Chloritoid; Chlorit

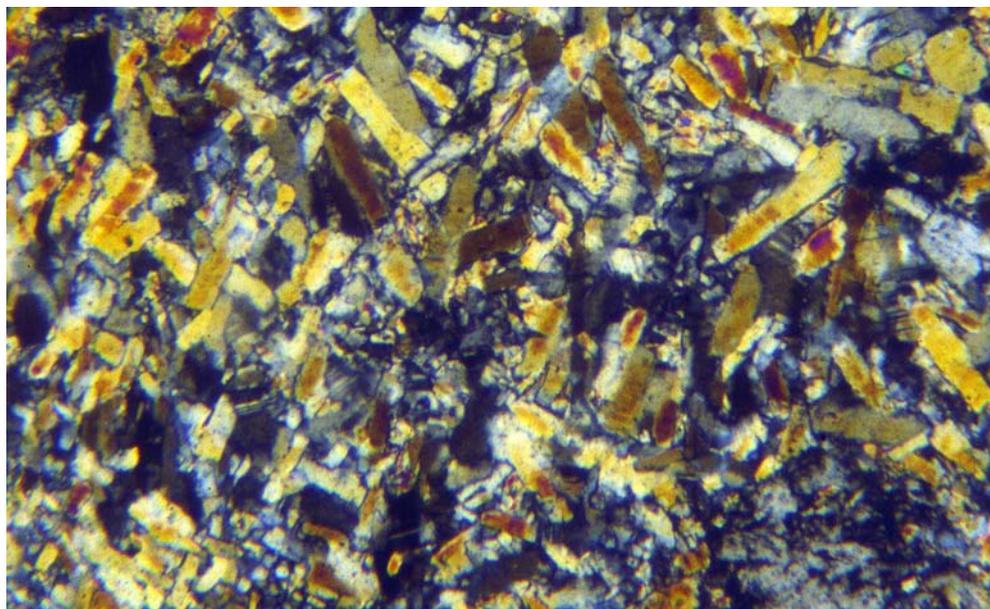
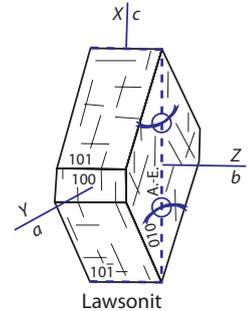


Karpholith (alle Körner mit hohem Relief neben Quarz in einem Quarzgang aus Mittelkreta; Hellfeldaufnahme; Bildausschnitt ca. 2.9 mm quer.



Lawsonit $\text{CaAl}_2(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

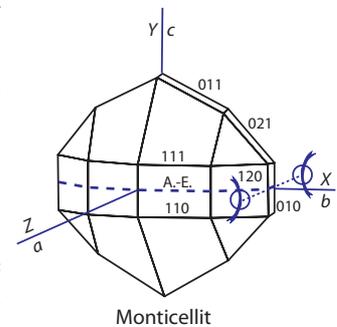
- Zusammensetzung:** keine merkliche Abweichung von der Idealformel; Lawsonit entspricht formal einem hydratisierten Anorthit;
- Kristallsystem:** orthorhombisch, Kristallklasse mmm
- Brechungsindex:** n_α 1.663 – 1.665, n_β 1.672 – 1.675, n_γ 1.682 – 1.686;
zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.019 - 0.021$
- Hauptzone:** (-)
- Achsenwinkel:** $2V_\gamma = 76^\circ - 87^\circ$ (meist um 84°)
- Auslöschung:** in Längsschnitten gerade, in Basisschnitten symmetrisch
- Farbe:** farblos; in dickeren Schlifften bläulich-grün und pleochroitisch (α blau, β gelb, γ farblos)
- Spaltbarkeit:** perfekt nach $\{100\}$, $\{010\}$ mit Spaltwinkeln von 67°
- Verzwilligung:** häufig einfache Zwillinge nach $\{101\}$;
- Ausbildung:** meist kleine idiomorphe Tafeln oder Leisten
- Unterscheidung:** ähnelt Klinozoisit, zeigt aber keine anomalen Interferenzfarben; Lawsonit zeigt außerdem bessere Spaltbarkeit; Epidot ist gelbgrün; Pumpellyit löscht meist schief aus; Prehnit ist höher doppelbrechend; Tremolit hat anderen Spaltwinkel (56°);
- Besonderheiten:** in stark beanspruchten Gesteinen parkettähnliche Felder bildend mit undulöser Auslöschung; häufig mit Pumpellyit verwachsen;
- Umwandlungen:** bei Übergang in Grünschieferfazies Umwandlung in Epidot oder Pumpellyit;
- Vorkommen:** Niedrigtemperatur-/Hochdruckmineral; häufig in Glaukophanschiefern
- Paragenese:** Glaukophan, Albit, Jadeit, Pumpellyit



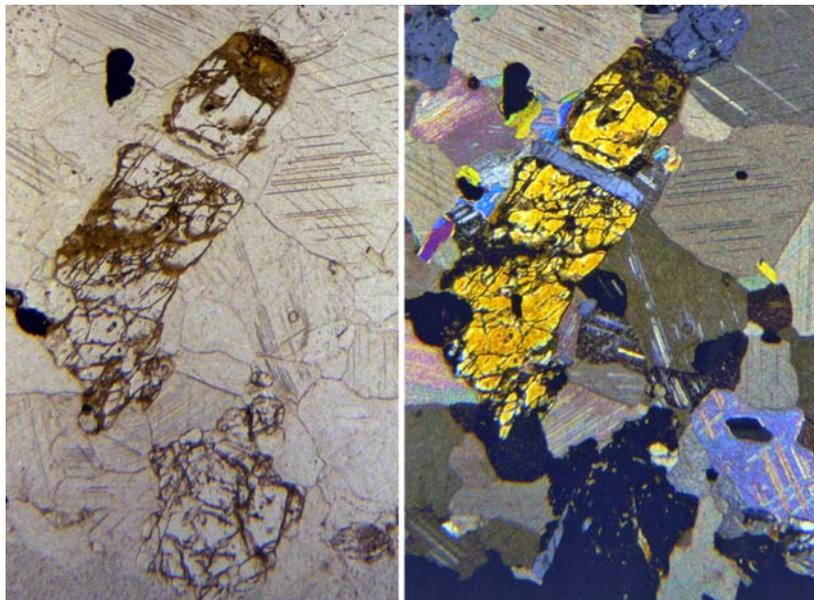
prismatische Lawsonite (alle kleinen stengeligen Kristalle mit Ausnahme einiger Plagioklase) in einem hochdruckmetamorphen Gabbro aus der Bretagne; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 0.75 mm quer.

Monticellit $\text{CaMg}(\text{SiO}_4)$

- Zusammensetzung:** in natürlichen Monticelliten wird nur ein geringer Teil des Mg durch Fe ersetzt; das Fe-Endglied *Kirschsteinit* ist nur synthetisch bekannt;
- Kristallsystem:** orthorhombisch, Kristallklasse mmm [isotyp mit Olivin]
- Brechungsindex:** n_α 1.638 – 1.654, n_β 1.646 – 1.664, n_γ 1.650 – 1.674;
zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.012 - 0.020$
- Hauptzone:** je nach Schnittlage (+) oder (-)
- Achsenwinkel:** $2V_\alpha = 69 - 88^\circ$
- Auslöschung:** meist gerade
- Farbe:** farblos
- Spaltbarkeit:** keine
- Verzwilligung:** gelegentlich nach {031}
- Ausbildung:** idiomorphe Einsprenglinge in Vulkaniten (wie Olivin), häufiger hypidiomorph; in metamorphen Dolomiten körnig;
- Unterscheidung:** Verwechslung mit Olivin möglich; Monticellit hat jedoch erheblich geringere Doppelbrechung; die optischen Achsenfiguren von Monticellit zeigen nicht die vielen isochromatischen Ringe, die den Olivin auszeichnen;
- Umwandlungen:** leicht hydrothermal verwitterbar
- Vorkommen:** in Magmatiten beschränkt auf stark SiO_2 -untersättigte Gesteine (z.B. in Kimberliten, Alnöiten); häufig in Karbonatiten und hoch metamorphen dolomitischen Kalken;
- Paragenese:** mit Melilith, *nie* mit Feldspäten; in Metamorphiten mit Vesuvian, Andradit, Melilith, Spurrut $[2\text{Ca}_2(\text{SiO}_4) \times \text{CaCO}_3]$



Monticellitkristalle (im rechten Bild mit Pfeilen markiert) neben Karbonaten in einem Karbonatit, links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 1.25 mm hoch.



Olivin $(\text{Mg,Fe})_2(\text{SiO}_4)$

Zusammensetzung: vollständige Mischkristallreihe zwischen den Endgliedern Forsterit $\text{Mg}_2(\text{SiO}_4)$ [Fo] und Fayalit $\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)$ [Fa]. Ni ist oft im 0.X% Bereich vorhanden;

Mischkristalle mit Fo 90 – 70 heißen auch *Chrysolith*, solche mit Fo 70 – 50 *Hyalosiderit*, mit Fo 50 – 30 *Hortonolith* und Mischkristalle mit Fo 30 – 10 *Ferrohortonolith*;

Kristallsystem: orthorhombisch, Kristallklasse mmm

Brechungsindex: n_α 1.635 [Fo] – 1.827 [Fa], n_β 1.651 [Fo] – 1.869 [Fa], n_γ 1.670 [Fo] – 1.879 [Fa] – siehe auch Abbildung 31;

zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.035$ [Fo] – zweiachsig \ominus mit 0.052 [Fa]

Hauptzone: je nach Schnittlage (+) oder (–)

Achsenwinkel: $2V_\gamma = 82^\circ$ [Fo] bzw. 134° [Fa], kontinuierlicher Anstieg mit steigendem Fe-Gehalt [siehe Abbildung 31]

Auslöschung: meist gerade

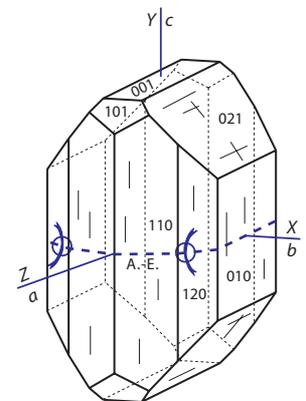
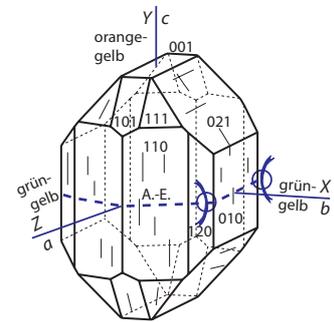
Farbe: farblos; selten hellgelb bis hellgrün [Fa], dann auch leicht pleochroitisch;

Spaltbarkeit: schlecht nach {100} und {010}

Verzwillingung: gelegentlich nach {011}, {012}, {031}

Ausbildung: als Einsprenglinge in Vulkaniten oft idiomorph mit sechs- bis achteckigen Querschnitten, jedoch auch oft korrodiert und mit Resorptionsbuchten; in glasreichen Vulkaniten und den archaischen *Komatiiten* auch als Skelettkristalle (Spinifex-Textur der Komatiite); in Plutoniten und Metamorphiten oft hypidiomorph-körnig;

Unterscheidung: hohe Doppelbrechung, großer Achsenwinkel; im Vergleich zu Pyroxenen keine Spaltbarkeit; unregelmäßige Risse sind oft mit dunklen Verwitterungsprodukten gefüllt; Epidot zeigt ebenfalls gute Spaltbarkeit;



Forsterit

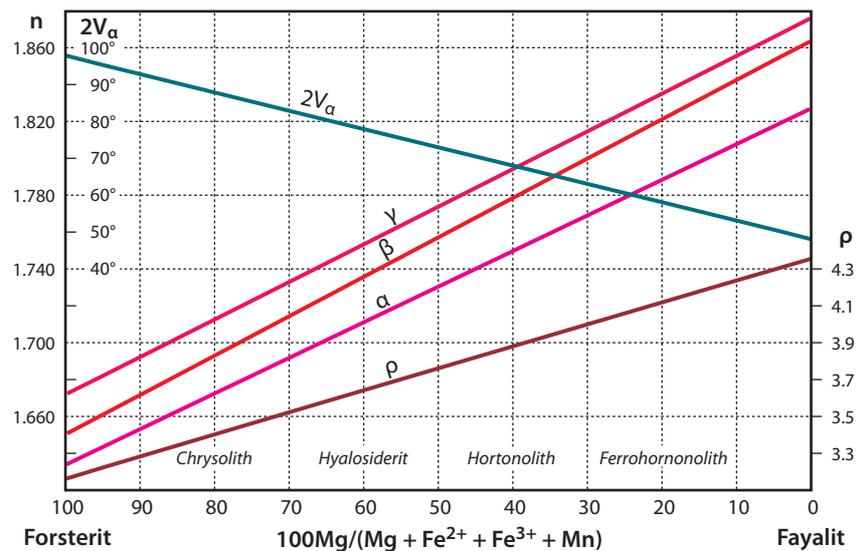
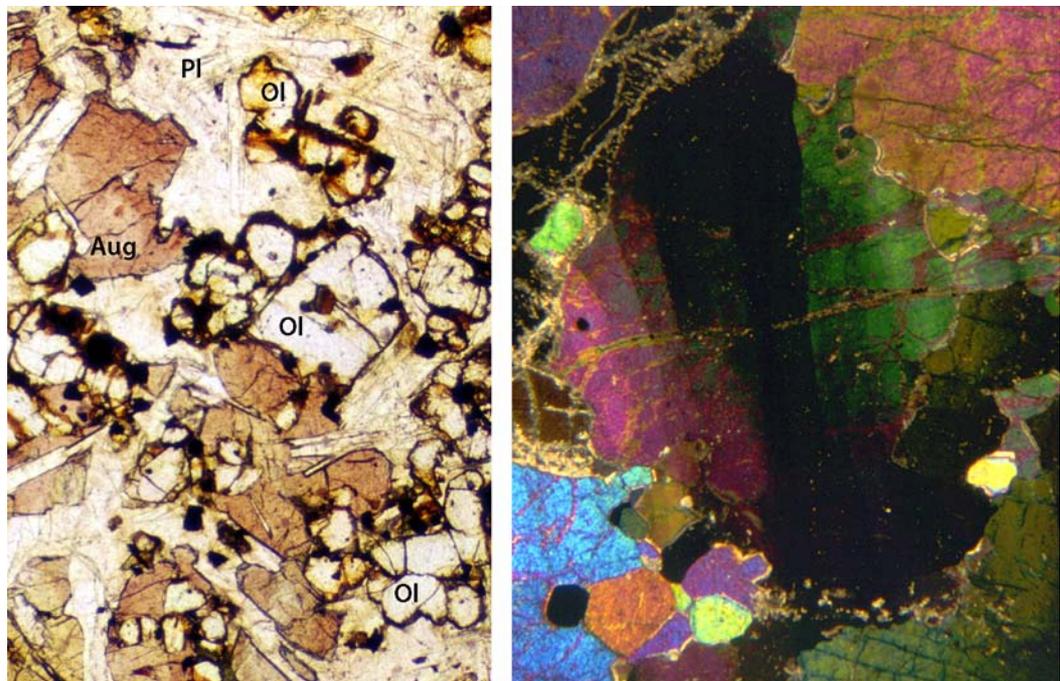


ABBILDUNG 31

Abhängigkeit der Brechungsindizes (n) und der Dichte (ρ) der Olivine von ihrer chemischen Zusammensetzung

- Besonderheiten:** in Metamorphiten (z.B. Peridotite) oft undulöse Auslöschung infolge von Subkornbildung oder *Kink Bands* (streifenförmige Auslöschung);
- Umwandlungen:** Olivin ist sehr anfällig gegenüber hydrothormaler Verwitterung; Serpentinisierung, vom Rand und von Rissen fortschreitend (Umwandlung von Fo-reichem Olivin in die polymorphen Serpentinminerale Lizardit, Chrysotil und Antigorit);
unter hochhydrothermalen Bedingungen ($\geq 600^\circ\text{C}$) und bei Oxidation des Fe^{II} zu Fe^{III} entsteht in Vulkaniten aus Olivin ein submikroskopisches rotbraunes Gemenge aus Smektiten (Tonminerale), Chlorit, Goethit, Hämatit: *Iddingsit*; grünliche Verwitterungsprodukte (entstanden ohne Oxidation von Fe) heißen *Bowlingit* (Smektit, Chlorit, Serpentin, Talk, Glimmer);
an Korngrenzen zwischen Olivin und Anorthit beobachtet man in Gabbros manchmal Reaktions-säume aus grüner Hornblende, Pyroxen und Granat/Spinell;
- Vorkommen:** eines der am meisten verbreiteten Minerale in mafischen und ultramafischen Gesteinen aller Art: Peridotite (die den oberen Erdmantel aufbauen), Pikrite, Gabbros, Alkaliolivinbasalte, Basanite – frühmagmatische Bildungen sind stets Fo-reich; in metamorphen dolomitischen Gesteinen;
- Paragenese:** in Ultramafiten mit Ortho-/Klinopyroxen, Al,Cr-Spinell/Granat; in Mafiten mit Pyroxenen und Plagioklas/Leucit; nicht mit Quarz



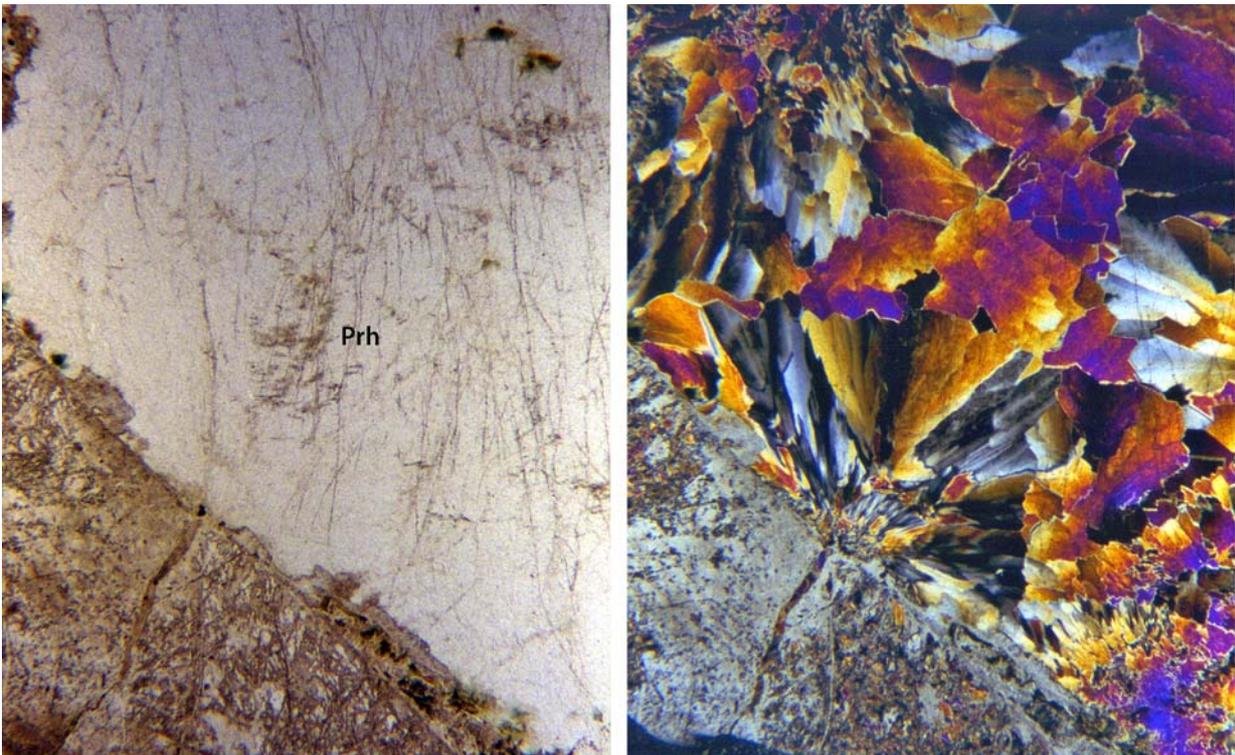
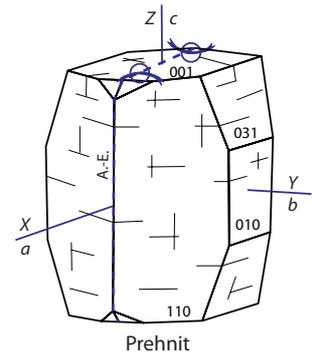
links: Olivin neben Ti-reichem Augit und Plagioklas in einem Basalt aus Saudi-Arabien, Hellfeld; Bildausschnitt ca. 1.55 mm hoch; die Olivine sind durch ihr hohes Relief und ihre dunklen Oxidationsränder zu erkennen und von den lilafarbenen Augiten zu unterscheiden; **rechts:** Olivin mit *Kink Bands* in einem Peridotit aus den Alpen; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 2.4 mm hoch; vergleiche auch die Abbildung auf Seite 28.

Prehnit $\text{Ca}_2(\text{Al,Fe}^{3+})(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$

- Zusammensetzung:** außer dem Austausch $\text{Al} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}$ wenig Abweichung von der angegebenen Formel
- Kristallsystem:** orthorhombisches Phyllosilikat, Kristallklasse $mm2$
- Brechungsindex:** n_α 1.612 – 1.64, n_β 1.621 – 1.65, n_γ 1.639 – 1.67; zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.021 - 0.039$; Licht- und Doppelbrechung steigen mit dem Fe-Gehalt an;

Optisch zweiachsige Minerale

Hauptzone:	untypisch
Achsenwinkel:	$2V_\gamma = 64 - 71^\circ$, auch innerhalb eines einzigen Kornes wechselnd; anomal kleine Achsenwinkel können in Körnern mit anomalen Interferenzfarben oder unvollständiger Auslöschung auftreten;
Auslöschung:	gerade, meist aber nur unvollständig auslöschend infolge Dispersion (rot < violett, in anomal auslöschenden Sektoren auch rot < violett);
Farbe:	farblos
Spaltbarkeit:	gut nach (001)
Verzwilligung:	gelegentlich feinlamellar auf (110)
Ausbildung:	meist in Form von strahligen, fächerförmigen oder rosettenartigen Aggregaten, garbenartigen Bündeln oder mosaikartig durcheinandergewachsen; gelegentlich tafelig nach (001);

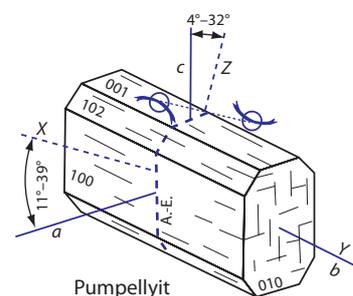


fächerförmige Aggregate von Prehnit in einem Diabas, links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; neben Prehnit ist im unteren linken Teil der beiden Photos nur noch Plagioklas zu sehen, der infolge von beginnender Umwandlung in Phyllosilikate braungrau gefärbt ist; Bildausschnitt ca. 1.55 mm hoch.

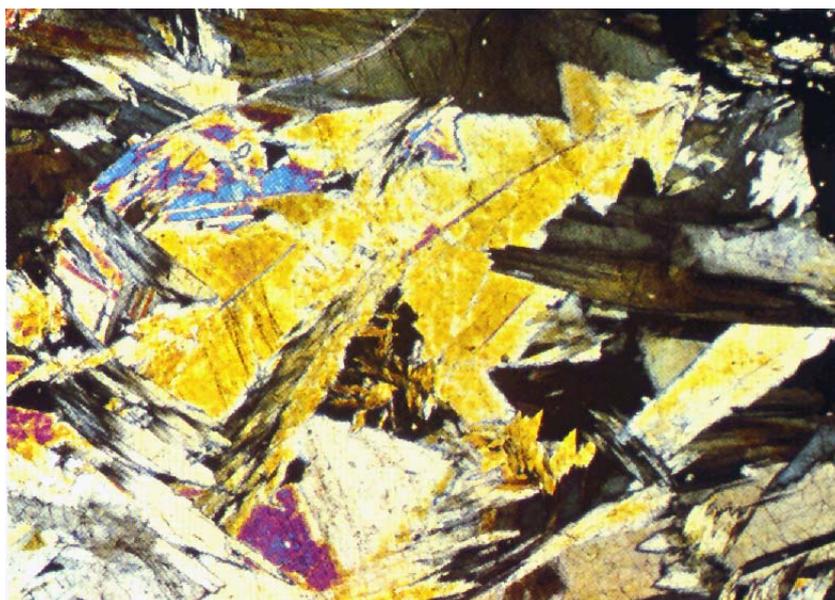
Unterscheidung:	Lawsonit, Pumpellyit und Epidot haben höhere Lichtbrechung; Lawsonit, Epidot und Zeolithe haben niedrigere Doppelbrechung;
Besonderheiten:	auffällige Parkettierung; verwaschene mikroklinähnlich vergitterte Streifung mit anomalen Interferenzfarben und unvollständiger Auslöschung;
Umwandlungen:	gelegentlich in Chlorit oder in Zeolithe
Vorkommen:	typische Kluft- und Hohlraumfüllung in mafischen und intermediären Vulkaniten (seltener in äquivalenten Plutoniten) neben Zeolithen, Calcit, Chloriten oder Epidot; in kontaktmetamorphen Mergeln; vor allem aber in niedriggradigen regionalmetamorphen Grauwacken, Basalten;
Paragenese:	in regionalmetamorphen Gesteinen neben Epidot/Zoisit, Aktinolith, Albit; in kontaktmetamorphen Gesteinen neben Grossular, Epidot/Zoisit, Albit; in Magmatiten neben Epidot, Albit, Calcit.

Pumpellyit $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{\text{II}}, \text{Fe}^{\text{III}})(\text{Al}, \text{Fe}^{\text{III}})_2(\text{SiO}_4)(\text{Si}_2\text{O}_7)(\text{O}, \text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

- Zusammensetzung:** Al-Fe^{III}-Variation kann beträchtlich sein; außerdem können Cr^{III} und Mn^{II} in die Struktur eintreten;
- Kristallsystem:** monoklin, Kristallklasse 2/m
- Brechungsindex:** n_α 1.665 – 1.710, n_β 1.670 – 1.720, n_γ 1.683 – 1.726;
zweiachsig $\oplus \ominus$ mit $\Delta = 0.010 - 0.020$
- Hauptzone:** untypisch
- Achsenwinkel:** $2V_\gamma = 7^\circ - 110^\circ$ (um 10° bei Fe-armen Gliedern, um 85° bei Fe-reichen Gliedern, bis 150° in Cr-reichen Gliedern)
- Auslöschung:** schief; Auslöschungswinkel abhängig vom Fe-Gehalt: Winkel zwischen γ und c bei Fe-armen Gliedern um 4° , bei Fe-reichen Gliedern um 22° ;
- Farbe:** farblos, grün, braun; gelb; pleochroitisch (Intensität mit Fe-Gehalt wachsend): α und γ farblos bis blaßgelb, β lichtgrün bis blaugrün;
- Spaltbarkeit:** mäßig nach {001} und {100}
- Verzwilligung:** häufig nach {001} und {100}
- Ausbildung:** leistenförmig || gestreckt, stengelig, faserig, nadelig, häufige radialstrahlige Aggregate
- Unterscheidung:** schwach gefärbter Pumpellyit ist schwer von Klinozoisit unterscheidbar, ist jedoch niedriger licht- und höher doppelbrechend als Klinozoisit; stärker gefärbte Varietäten sind im Unterschied zu Epidot optisch positiv; im Gegensatz zu Zoisit und Lawsonit zeigt Pumpellyit generell schiefe Auslöschung; Pumpellyit hat deutlich höheres Relief als Chlorit;
- Besonderheiten:** meist anomale blaue und lederbraune Interferenzfarben; Zonarbau
- Vorkommen:** in Metamorphiten, sowohl magmatischen als auch sedimentären Ursprungs, von der Zeolith- bis zur Blauschieferfazies;
- Paragenese:** Pumpellyit-Prehnit-Zone: Prehnit, Chlorit, Sericit, Albit, Quarz, Calcit, Titanit;
Pumpellyit-Chlorit-Zone: Albit, Chlorit, Stilpnomelan, Calcit, Titanit, Aktinolith;
Blauschieferfazies: Lawsonit, Glaukophan, Crossit, Epidot



Pumpellyit in einem Glaukophan-schiefer aus Kalifornien; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt rund 2.5 mm quer; Pumpellyit nimmt praktisch den ganzen Schliff ein; die ausgefranzten Korngrenzen, die an ein Eichenblatt erinnern, sind für Kluffüllungen recht typisch.



Pyrophyllit $\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$

Zusammensetzung: kaum Abweichung von der Idealformel, nur geringfügiger Ersatz von OH durch F, Si durch Al^{IV} , Al^{VI} durch Fe^{3+}

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m oder m

Brechungsindex: n_α 1.534 – 1.556, n_β 1.586 – 1.589, n_γ 1.596 – 1.601
zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.046 - 0.062$

Achsenwinkel: $2V_\alpha = 53 - 62^\circ$

Auslöschung: nahezu gerade: $\angle(\alpha, c) \approx 10^\circ$, $\angle(\beta, a) \approx 0^\circ$

Farbe: farblos

Spaltbarkeit: parallel {001} perfekt

Verzwilligung: keine

Ausbildung: tafelige, radialstrahlige bis massive Aggregate glimmerartiger Schuppen oder Fasern; größere Einzelkristalle stark verbogen;

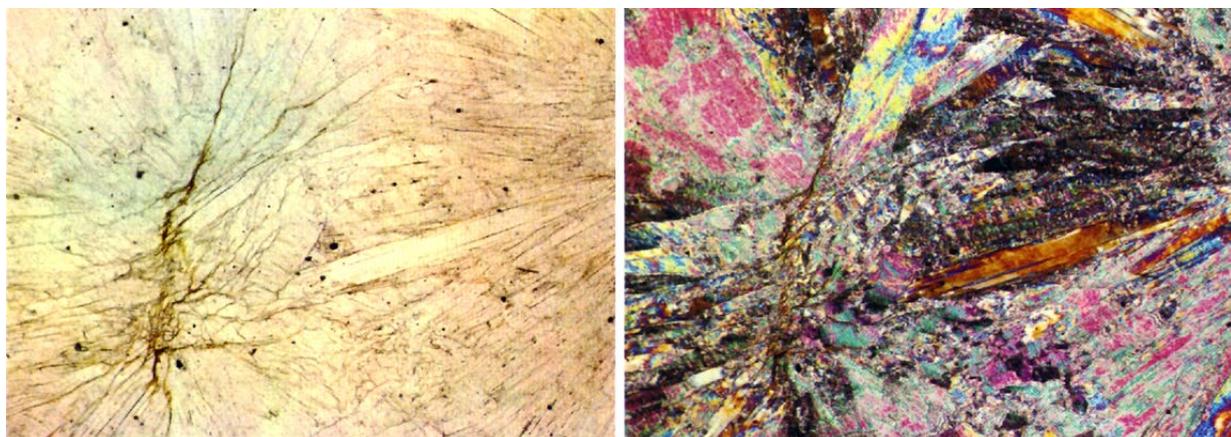
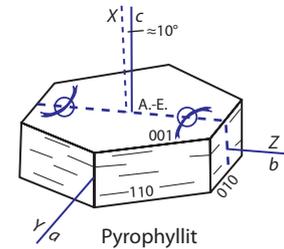
Unterscheidung: sehr ähnlich Talk und Muskovit, hat jedoch etwas größeren Achsenwinkel; Gibbsit und Brucit haben geringere Doppelbrechung;

Besonderheiten: dioktaedrisches Phyllosilikat wie Muskovit, aber ohne Besetzung der A-Positionen

Umwandlungen: keine

Vorkommen: in niedriggradigen metamorphen Peliten; Produkt hydrothermalen Verwitterung von Feldspäten in Vulkaniten;

Paragenese: Quarz, Tonminerale, Sericit, Zoisit, Feldspäte, Korund; bei der niedriggradigen Hochdruckmetamorphose neben Mg-Karpholith



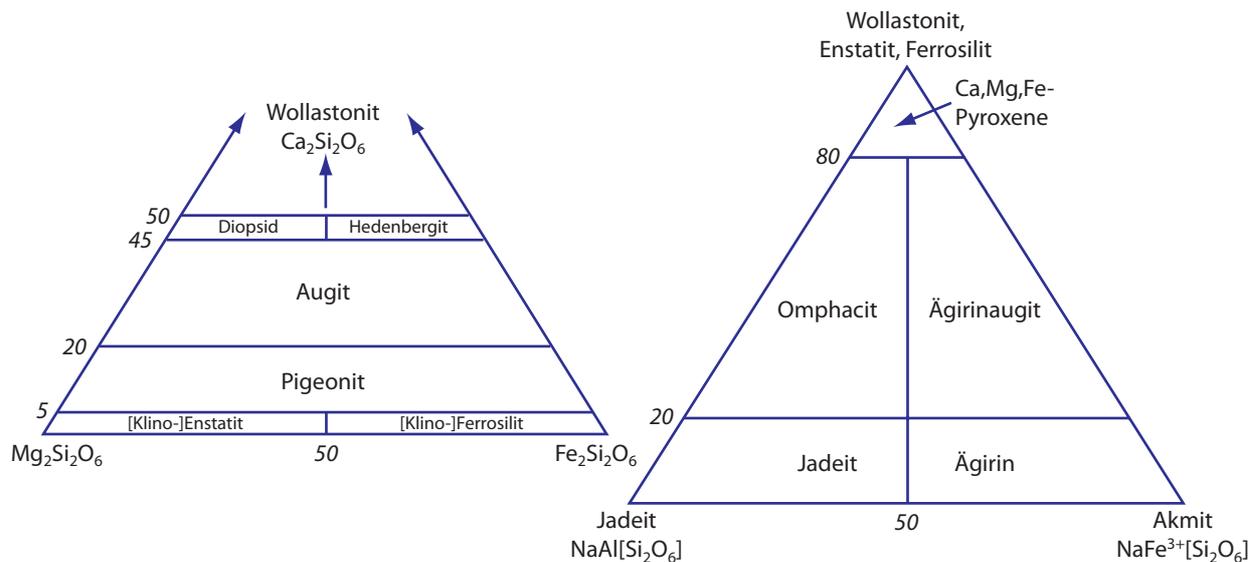
Pyrophyllit, links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt rund 1.10 mm quer

Pyroxene (M2)(M1)(T₂O₆)

Zusammensetzung: M2 = Ca, Na, Li, Mg, Fe; M1 = Mg, Fe, Al, Cr, Ti; T = Si, Al

Pyroxene lassen sich einteilen in Ca-reiche, Ca-arme und Na-reiche Vertreter. Bei hohen (magmatischen) Temperaturen besteht weitgehende Mischkristallbildung zwischen Ca-reichen und Ca-armen Gliedern, bei niedrigerer (Subsolidus-) Temperatur nicht mehr; daher kommt es bei langsamer Abkühlung oft zur Entmischung von Lamellen Ca-reichen Pyroxens aus Ca-armem Pyroxen und umgekehrt.

Die Zusammensetzung der Na-freien (bzw. -armen) Pyroxene lässt sich bequem im Pyroxentrapez darstellen; für die Klassifikation der Na-reichen Vertreter eignet sich ein Dreiecksdiagramm:



ABILDUNG 32

grobes Klassifikationsschema für die Pyroxene

Orthopyroxene

Zusammensetzung: Weite Variation zwischen den Endgliedern

Enstatit (= En) $Mg_2(Si_2O_6)$ und

Ferrosilit (= Fs) $Fe_2(Si_2O_6)$

von reinem Enstatit bis zu ca. Fs90¹. Ferrosilit-reiche Orthopyroxene sind jedoch nur unter Drücken des Erdmantels stabil;

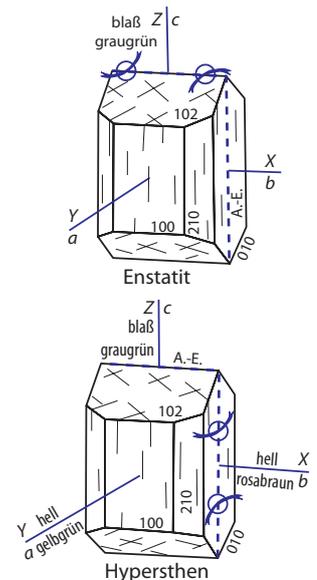
Weitere (international jedoch nicht mehr erwünschte) Unterteilungen sind:

Enstatit En100 – En90; Bronzit En90 – En70; Hypersthen En70 – En50; Ferrohypersthen En50 – En30, Eulit En30 – En10; Ferrosilit En10 – En0

Kristallsystem: orthorhombisch, Kristallklasse mmm

Brechungsindex: n_α 1.650 [En] – 1.768 [Fs], n_β 1.653 [En] – 1.770 [Fs], n_γ 1.658 [En] – 1.788 [Fs]

zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.008$ [En] bis zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.020$ [Fs] (siehe Abbildung 33)

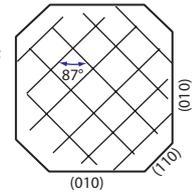


Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: Enstatit $2V_\gamma = 54^\circ$; En_{50} (= Hypersthen) $2V_\alpha = 55^\circ$; Ferrosilit $2V_\gamma = 55^\circ$ (siehe Abbildung 33)

Auslöschung: in den meisten Schnittlagen gerade

Farbe: farblos, hellbraun, blaß hellgrün bis graugrün; schwacher Pleochroismus (X pink, bräunlich, blaßgelb; Y hellbraun, gelblich grünlichgelb; Z blaßgrün, graugrün)



Spaltbarkeit: gut nach den Prismenflächen {210}; in Schnitten $\perp c$ sind zwei Spaltrichtungen deutlich, die sich unter $87 - 88^\circ$ schneiden (siehe auch Skizze oben); in Schnitten $\parallel c$ nur eine kantenparallele Spaltrichtung;

Verzwillingung: keine

Ausbildung: in Vulkaniten oft idiomorphe prismatische Kristalle $\parallel c$ gestreckt, mit achtseitigen Querschnitten; in Plutoniten und Metamorphiten meist hypidiomorph bis xenomorph;

Unterscheidung: von Klinopyroxenen durch die meist niedrigere Doppelbrechung und i.a. gerade Auslöschung zu unterscheiden; die meisten Orthopyroxene sind optisch \ominus ; diopsidische bis augitische Klinopyroxene zeigen keinen merklichen Pleochroismus; Minerale der Epidotgruppe zeigen meist anomale Interferenzfarben; Andalusit ist niedriger lichtbrechend; Disthen zeigt vollkommenere Spaltbarkeit und löscht stets schief aus; farblose Amphibole löschen in der Regel schief aus und haben Spaltwinkel von 124° ;

Besonderheiten: in Plutoniten und Metamorphiten häufig mit Entmischungslamellen von Klinopyroxenen, Ilmenit oder Spinell (Schillereffekt von Bronzit und Hypersthen wird auf Entmischung von Ilmenit zurückgeführt);

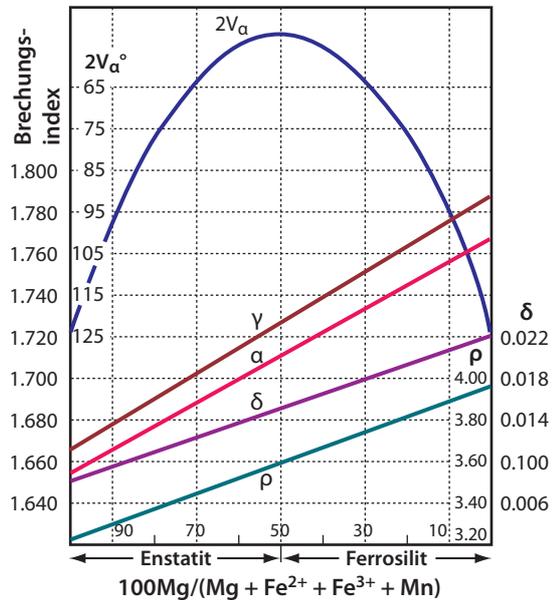
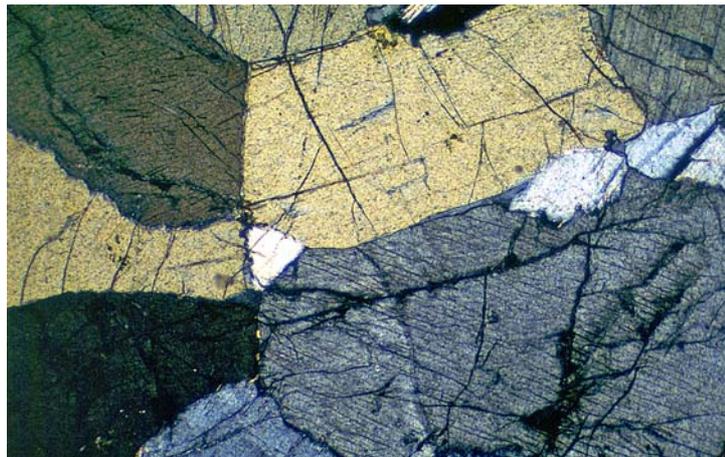


ABBILDUNG 33 Abhängigkeit der Brechungsindizes, der maximalen Doppelbrechung δ , des Achsenwinkels und der Dichte ρ [g/cm³] der Orthopyroxene von ihrer Zusammensetzung

Orthopyroxene, z.T. mit feinen Entmischungslamellen von diopsidischem Klinopyroxen in einem Norit; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 1.25 mm quer; auf den Zwickeln zwischen den Orthopyroxenen sind einige Plagioklase zu sehen.

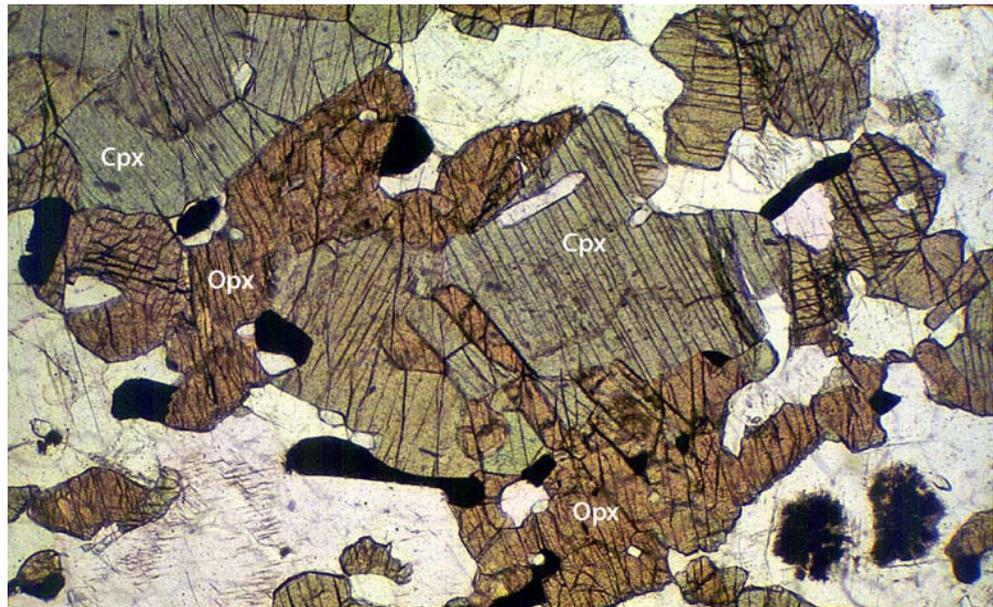
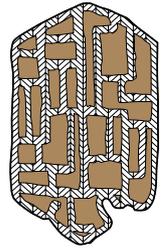


1. Zahlen stehen für Mol%!

Umwandlungen: ziemlich beständig; in serpentinisierten Ultramafiten und Vulkaniten Entstehung von Pseudomorphosen („Bastit“; siehe Skizze rechts); dabei liegt die Spaltbarkeit des Serpentinminerals $\parallel \{100\}$ des Orthopyroxens;

Vorkommen: Bronzit und Hypersthen sind häufig in tholeiitischen Gabbros, Noriten und Diabasen sowie Kalkalkaliandesiten; in hochgradigen Metamorphiten kann Orthopyroxen Zusammensetzungen über fast den gesamten möglichen Bereich zeigen (Orthopyroxen mit En ≈ 90 ist Hauptbestandteil von Peridotiten) – bei Drücken unterhalb ca. 11.5 kbar zerfällt Ferrosilit in Fayalit + Quarz;

Paragenese: in Ultramafiten mit Olivin, Klinopyroxen, Spinell, Granat; in mafischen Plutoniten und Vulkaniten mit Klinopyroxen, Olivin und Plagioklas; in Granuliten mit Granat und Quarz; in Kontaktmetamorphiten mit Quarz, Plagioklas, Cordierit, Diopsid



Ortho- und Klinopyroxene neben Plagioklasen und etwas Quarz in einem Gabbro-norit aus Norwegen; Hellfeld; Bildausschnitt rund 3.0 mm quer. Die Orthopyroxene zeichnen sich durch bräunliche Eigenfarbe und mehr (und unregelmäßigere) Spaltrisse gegenüber den grünlichen Klinopyroxenen aus; die letzteren zeigen zudem Entmischungslamellen von Orthopyroxen.

Klinopyroxene

Zusammensetzung: weite Variation in Bezug auf den Austausch Mg – Fe – Al bzw. Ca – Na, Ca-Mg-Fe-Klinopyroxene werden traditionell noch weiter unterteilt wie in Abbildung 34 gezeigt. Die Ca-reichen Klinopyroxene sind in der Natur wesentlich häufiger als die Pigeonite; bei der *International Mineralogical Association* sind die folgenden Glieder als eigenständige Pyroxenminerale registriert

Klinoenstatit $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ – Klinoferrosilit $\text{Fe}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$

Kanoit $(\text{Mn},\text{Mg})(\text{Si}_2\text{O}_6)$

Pigeonit $(\text{Mg},\text{Fe}^{\text{II}},\text{Ca})(\text{Mg},\text{Fe}^{\text{II}})(\text{Si}_2\text{O}_6)$

Diopsid $\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ – Hedenbergit $\text{CaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$

[Johannsenit $\text{CaMn}(\text{Si}_2\text{O}_6)$]

Augit $(\text{Ca},\text{MgFe}^{\text{II}},\text{Al})_2[(\text{Si},\text{Al})_2\text{O}_6]$

- [Essenenit $\text{CaFe}^{\text{III}}\text{Al}(\text{SiO}_6)$]
- Omphacit
(Ca,Na)(Mg,Fe^{II},Fe^{III},Al)(Si₂O₆)
- Ägirinaugit
(Ca,Na)(Mg,Fe^{II},Fe^{III})(Si₂O₆)
- Ägirin (=Akmit) $\text{NaFe}^{\text{III}}(\text{Si}_2\text{O}_6)$
- Jadeit $\text{NaAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$
- Kosmochlor $\text{NaCr}(\text{Si}_2\text{O}_6)$
- Spodumen $\text{LiAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m
Brechungsindex: Innerhalb der Reihe Diopsid – Hedenbergit – Klinoenstatit – Klinoferrosilit ändern sich Lichtbrechung und optischer Achsenwinkel in charakteristischer Weise (siehe Abbildung 35);

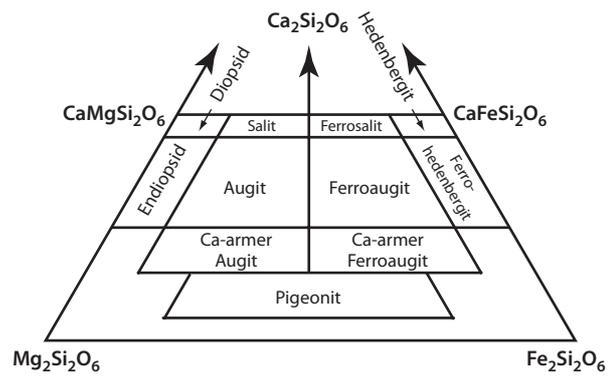


ABBILDUNG 34 Nomenklatur der Mg-Fe²⁺-Ca-Klinopyroxene

Pigeonit

Zusammensetzung: enthält ca. 10% Wollastonit-Komponente; die meisten Pigeonite haben ein $\text{Mg}/(\text{Mg} + \sum\text{Fe}) < 0.7$; bei höheren Mg-Gehalten liegen meist Orthopyroxene vor;
Brechungsindex: n_α 1.682 – 1.732, n_β 1.684 – 1.732, n_γ 1.705 – 1.757
 zweiachsig ⊕ mit $\Delta = 0.023 - 0.029$

Hauptzone: (+)
Achsenwinkel: $2V_\gamma = 0 - 32^\circ$
Auslöschung: meist schief mit $\angle(\gamma, c)$ [= Winkel zwischen γ und c] = $37 - 44^\circ$ (siehe auch Abbildung 36);

Farbe: farblos bis schwach pleochroitisch (grünlich bis bräunlich)

Spaltbarkeit: gut nach {110}
Verzwilligung: häufig lamellar || {100}

Ausbildung: als Spätkristallit selten idiomorph, sondern xenomorph-körnig; als Reaktionssaum um Orthopyroxen oder mit Reaktionssaum von Augit; in der Grundmasse

Unterscheidung: kleiner Achsenwinkel, häufig einachsig erscheinend (nur Titanaugit hat unter den Pyroxenen einen vergleichbar kleinen Achsenwinkel, ist jedoch von bräunlicher Eigenfarbe); Orthopyroxene löschen meist gerade aus; Olivin ist höher doppelbrechend und hat größeren Achsenwinkel; leicht mit Augit oder Diopsid zu verwechseln (Pigeonit ist jedoch klarer als Augit, mit dem er fast stets gemeinsam vorkommt);

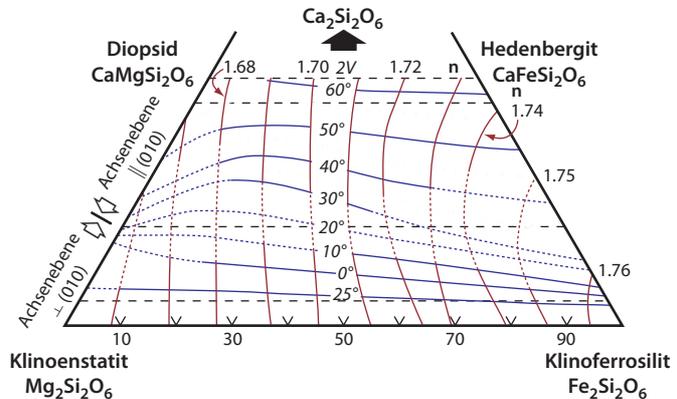
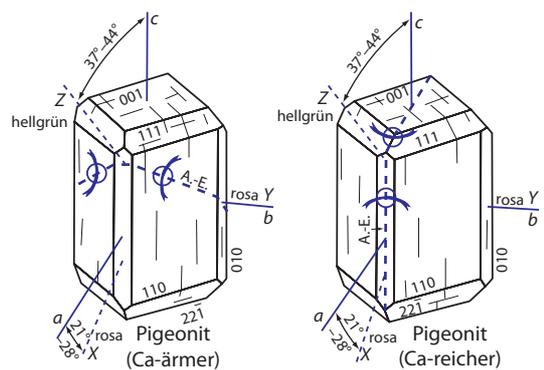
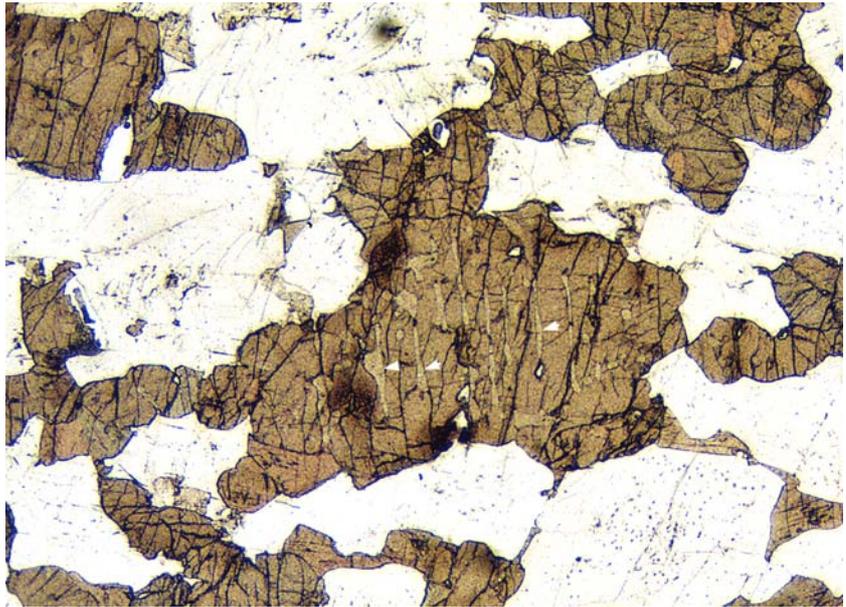


ABBILDUNG 35 Variation der Brechungsindizes (n) und der Achsenwinkel (2V) der Mg-Fe²⁺-Ca-Klinopyroxene mit ihrer chemischen Zusammensetzung



Orthopyroxen mit groben Entmischungslamellen von diopsidischem Klinopyroxen (einige mit Pfeilspitzen markiert) in einem Gabbronorit der Bushveld-Intrusion in Südafrika; Hellfeld; Bildausschnitt ca. 4.9 mm. Der Orthopyroxen kristallisierte ursprünglich als Pigeonit aus der Schmelze und invertierte bei der Abkühlung in Orthopyroxen.



Umwandlungen: kann uralitisiert (Umwandlung in feinkörnigen leicht grünen Amphibol), serpentiniert oder chloritisiert werden;

Vorkommen: in subbalkischen Gesteinen mit $Mg/(Mg+\Sigma Fe) < 0.7$ der normale Ca-arme Pyroxen; stabil nur bei höheren Temperaturen; ist daher nur in rasch abgekühlten Magmatiten erhalten, also in Vulkaniten (Alkaliolivinbasalte, Tephrite, Basanite, Nephelinite) und gering mächtigen Plutoniten; bei langsamer Abkühlung Entmischung von Augitlamellen || {001} und invertiert dann in Orthopyroxen; dabei weitere Entmischung von Augit (siehe obige Dünnschliffaufnahme);

Paragenese: Olivin, Plagioklas, Nephelin, Sodalith-Minerales, Leucit, Ägirinaugit, Augit

Diopsid – Hedenbergit

Zusammensetzung: vollständige Mischkristallbildung zwischen den beiden Endgliedern Diopsid [Di] und Hedenbergit [He]; Al ist oft im Prozentbereich vorhanden, wobei der Austausch $Al \rightleftharpoons Si$ auf den Tetraederpositionen meist auf <10 Mol% begrenzt ist; Cr kann als Kosmochlorkomponente aufgenommen werden, Na als Jadeit- oder Kosmochlorkomponente;

Brechungsindex: $n_{\alpha} 1.664$ [Di] – 1.732 [Hd], $n_{\beta} 1.672$ [Di] – 1.730 [Hd], $n_{\gamma} 1.694$ [Di] – 1.755 [Hd];

zweiachsig ⊕ mit $\Delta = 0.030 - 0.025$

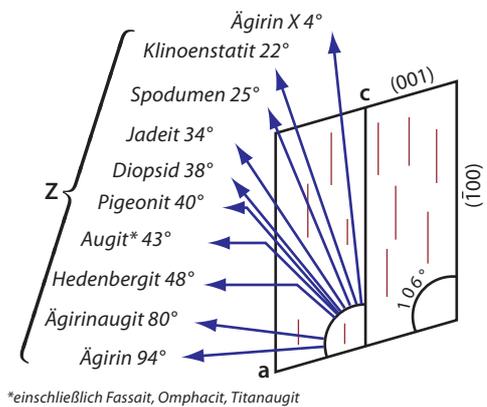
Hauptzone: nicht bestimmbar

Achsenwinkel: $2V_{\gamma} = 56 - 63^{\circ}$

Auslöschung: meist schief mit $\chi(\gamma, c) = 38 - 48^{\circ}$, mit Fe²⁺-Gehalt steigend (siehe Abbildung 36);

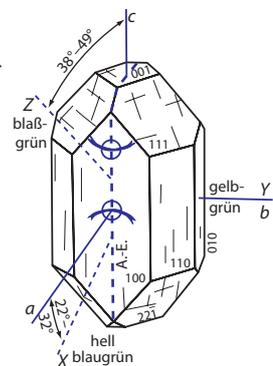
Farbe: farblos bis schwach grünlich; Hd auch bräunlich grün mit kaum bemerkbarem Pleochroismus;

Spaltbarkeit: gut nach {110}

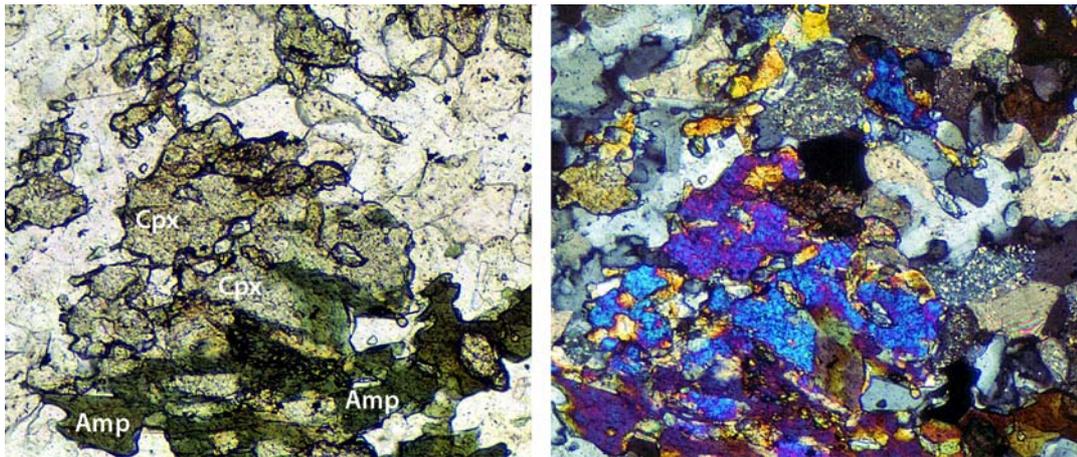


*einschließlich Fassait, Omphacit, Titanaugit

ABBILDUNG 36 mittlere Auslöschungsschiefen der Klinopyroxene als Winkel γ und der c-Achse im Schnitt ||(010)



Diopsid – Hedenbergit

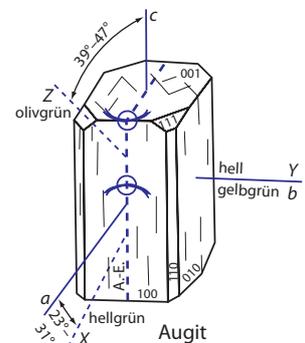


Diopsid neben Hornblende sowie Calcit und Quarz in einem Kalksilikatschiefer aus Österreich, links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 0.95 mm. Die Diopside haben eine blaßgrüne Eigenfarbe und sind dadurch leicht von den dunkelgrünen Hornblenden zu unterscheiden. Vergleiche auch die Abbildung auf Seite 37! Die leuchtenden Interferenzfarben der ersten und zweiten Ordnung wirken fast übernormal.

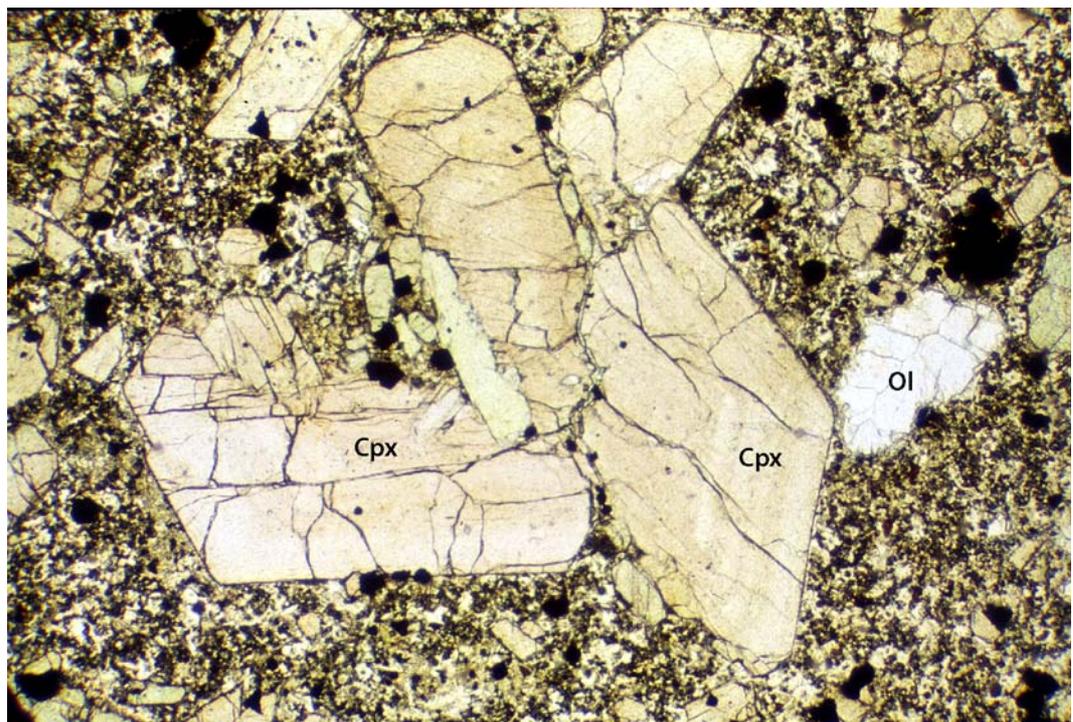
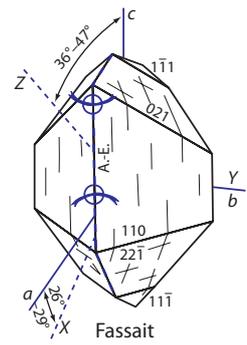
- Verzwilligung:** häufig einfache oder mehrfache Zwillinge nach {100} oder {001}; schief zur Spaltbarkeit liegend
- Ausbildung:** kurzprismatisch, schlank säulenförmig, körnig; in Basisschnitten achtseitiger Umriß;
- Unterscheidung:** zu verwechseln mit Olivin, der jedoch keine Spaltbarkeit und auch höhere Doppelbrechung zeigt sowie meist gerade auslöscht; Amphibole sind meist deutlich pleochroitisch und optisch \ominus und zeigen andere Spaltwinkel; Orthopyroxene löschen meist gerade aus und sind oft deutlich pleochroitisch; Fe-reiche Epidote zeigen anomale Interferenzfarben; Omphacit und Jadeit kommen in anderer Paragenese vor; von Augit und Pigeonit nur mittels Universaldrehtisch unterscheidbar;
- Besonderheiten:** bei langsamer Abkühlung kann sich Orthopyroxen in Lamellen entmischen;
- Umwandlungen:** unter hoch hydrothermalen Bedingungen Uralitisierung, unter niedrig hydrothermalen Bedingungen Serpentinisierung;
- Vorkommen:** Cr-reiche Diopside (Chromdiopsid) in ultramafischen Gesteinen; diopsidische Pyroxene in tholeiitischen Basalten und alkalibasaltischen Gesteinen (sofern bei den letzteren nicht Augit oder Titanaugit vorherrscht); mit zunehmender Differenzierung des Magmas werden die Pyroxene Hd-reicher; in Kontaktmetamorphiten: Diopsid in Kalksilikatfelsen, Hedenbergit in Skarnen;
- Paragenese:** in mafischen und ultramafischen Metamorphiten und Magmatiten: Olivin, Orthopyroxen, Augit, Plagioklas/Foide; in Kontaktmetamorphiten: Grossular, Vesuvian, Wollastonit, Forsterit, Klinozoisit;

Augit

- Zusammensetzung:** im Gegensatz zu der Mischkristallreihe Di – Hd besitzen die Mischkristalle der Reihe Augit – Ferroaugit <45 Mol% Wollastonit-Komponente (siehe Abbildung 32, Abbildung 34); Na und Ti können bis in den Prozentbereich hinein vorhanden sein; Augite mit höheren Gehalten an Al und Fe^{III} werden als *Fassaït* bezeichnet;
- Brechungsindex:** n_{α} 1.671 [Aug] – 1.735 [Ferroaugit], n_{β} 1.672 [Aug] – 1.741 [Ferroaugit], n_{γ} 1.703 [Aug] – 1.774 [Ferroaugit];
zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.018 - 0.033$
- Hauptzone:** nicht bestimmbar
- Achsenwinkel:** $2V_{\gamma} = 25 - 61^{\circ}$ (vom Chemismus abhängig);
- Auslöschung:** meist schief mit $\angle(\gamma, c) = 35 - 48^{\circ}$

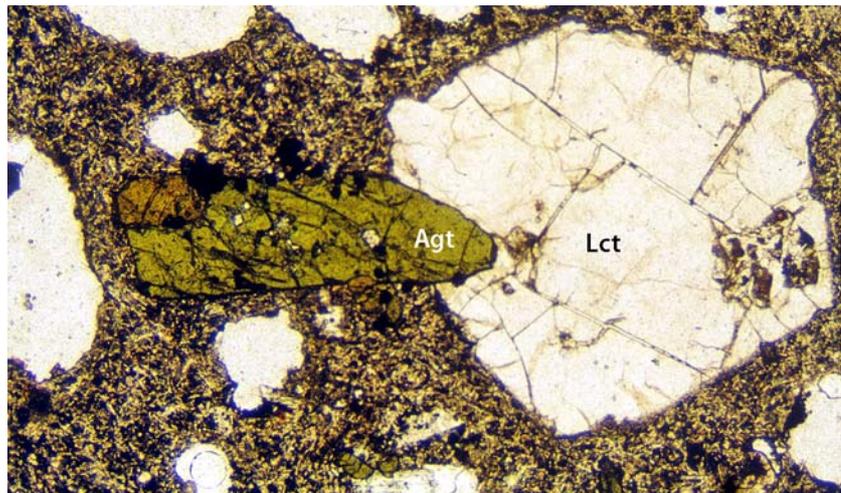


- Farbe:** blaß graugrün bis kräftiger graugrün, seltener bräunlich; Zonarbau (Mg-Gehalt zum Rand hin abnehmend) und sektoreweiser Farbwechsel sind häufig; Pleochroismus meist nur sehr schwach;
- Spaltbarkeit:** gut nach {110}
- Verzwilligung:** einfache und Mehrfachzwillinge nach {110}
- Ausbildung:** in basischen alkalibetonen Magmatiten und Andesiten oft idiomorph-kurzsäulig; in saureren Gesteinen längersäulig; in Tholeiiten und Metamorphiten meist xenomorph;
- Unterscheidung:** von Pigeonit evtl. durch den größeren Achsenwinkel unterscheidbar; kräftigere Eigenfarbe als Diopsid; Titanaugit ist dunkler und deutlich pleochroitisch und weist *Sanduhrstruktur* auf;
- Besonderheiten:** bei langsamer Abkühlung können sich Entmischungslamellen von Opx entwickeln;
- Umwandlungen:** bei Gegenwart wäßriger Fluide bei höheren Temperaturen Uralitisierung, bei niedrigeren Temperaturen Chloritisierung, Seladonitisierung (Seladonit ist ein Glaukonit), Epidotisierung, Vertalkung;
- Vorkommen:** Hauptbestandteil basischer bis intermediärer alkalischer und subalkalischer Magmatite (Gabbros bis Granodiorite, Andesite bis Rhyodazite, tholeiitische Basalte); in unreinen dolomitischen Marmoren;
- Paragenese:** in kalkalkalischen Magmatiten mit Hypersthen, Hornblende, Plagioklas, in Tholeiiten mit Plagioklas und Olivin;



leicht zonierter Augit neben Olivin in einem Basanit vom Kaiserstuhl; Hellfeld; Bildausschnitt ca. 2.9 mm quer; die farbliche Zonierung ist vermutlich auf variable Ti-Gehalte zurückzuführen.

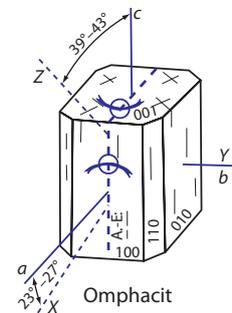
Ägirinaugit in einem Leucitphrit aus der Umgebung von Neapel/Italien; Hellfeld; Bildausschnitt rund 7.2 mm quer. Die rechte Abbildung auf Seite 19 zeigt fast den identischen Ausschnitt unter gekreuzten Polarisatoren. Ein weiterer Schliff mit Ägirinaugit ist auf Seite Seite 19 in der rechten Abbildung zu sehen.



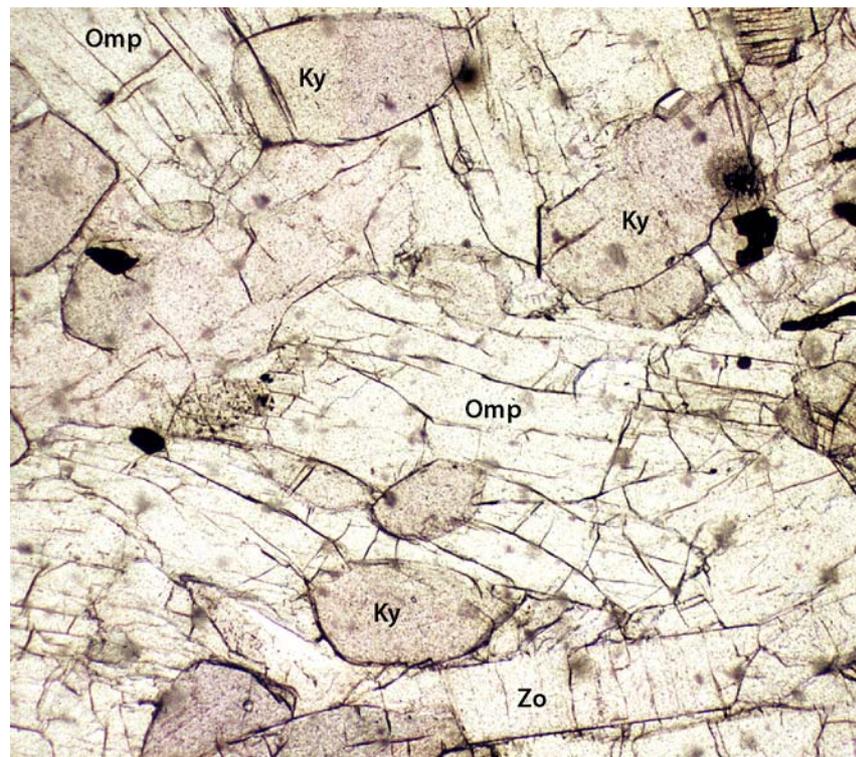
- Unterscheidung:** meist transparent, dadurch unterscheidbar von grünen Amphibolen, die in der Regel wolkige Internstruktur haben; Amphibole haben außerdem andere Spaltwinkel (124°) und geringere Doppelbrechung;
- Besonderheiten:** Zonarbau ist häufig mit zum Rand hin zunehmender Akmitkomponente; durch ungleichmäßige Verteilung der Akmitkomponente während des Wachstums in benachbarten Sektoren entsteht Sanduhrstruktur; anomale Interferenzfarben in Auslöschungsstellung ähnlich wie Titanaugit;
- Umwandlungen:** unter hydrothermalen Bedingungen Umwandlung in Na-Amphibol;
- Vorkommen:** in Na-reichen Magmatiten (Alkalitrachyte, Phonolithe, Alkalisyenite, Alkaligranite)
- Paragenese:** Nephelin, Sodalith, Na-reicher Sanidin, Leucit, Melanit, Natriumamphibole

Omphacit

- Zusammensetzung:** Mischkristall zwischen Diopsid und Jadeit mit 20 – 80% Jadeitanteil;
- Brechungsindex:** n_α 1.662 – 1.701, n_β 1.670 – 1.712, n_γ 1.685 – 1.723;
zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.012 - 0.028$
- Hauptzone:** nicht bestimmbar
- Achsenwinkel:** $2V_\gamma = 56 - 84^\circ$
- Auslöschung:** meist schief mit $\angle(\gamma, c) = 34 - 48^\circ$ (meist um 40°)
- Farbe:** farblos bis blaßgrün; schwach pleochroitisch
- Spaltbarkeit:** gut nach {110}
- Verzwilligung:** einfache Zwillinge nach {100} häufig
- Ausbildung:** hypidiomorph bis xenomorph granoblastisch; oft mit Einschlüssen von Rutil;
- Unterscheidung:** von Diopsid und Augit nur durch die Paragenese zu unterscheiden, von Jadeit durch höhere Licht- und Doppelbrechung;
- Umwandlungen:** bei retrograder Metamorphose vom Rand her fortschreitende Umwandlung in Symplektit aus Diopsid + albitreichem Plagioklas; bei Anwesenheit von H₂O in faserigen grünen Amphibol;
- Vorkommen:** auf Eklogite beschränkt
- Paragenese:** pyropreicher Granat, Rutil, Disthen, Zoisit, Quarz, Phengit



Omphacit neben Disthen und Zoisit in einem Eklogit aus dem Münchberger Gneisgebiet; Hellfeld; Bildausschnitt ca. 2.6 mm; der Disthen hebt sich durch sein höheres Relief vom Omphacit ab. Vergleiche auch mit der Abbildung auf Seite 71!



Jadeit

Zusammensetzung: Mischkristallbildung mit Diopsid; Abgrenzung bei 20 Mol% Di;

Brechungsindex: n_{α} 1.640 – 1.681, n_{β} 1.645 – 1.684, n_{γ} 1.652 – 1.692;
zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.006 – 0.021$

Hauptzone: nicht bestimmbar

Achsenwinkel: $2V_{\gamma} = 60 – 96^{\circ}$

Auslöschung: meist schief mit $\angle(\gamma, c) = 32 – 55^{\circ}$

Farbe: farblos, blaßgrün

Spaltbarkeit: gut nach $\{110\}$

Verzwilligung: einfache Zwillinge nach $\{100\}$

Ausbildung: nadelige bis faserige Aggregate, seltener körnig und kurzsäulig;

siehe Dünnschliffaufnahmen auf Seite Seite 125 und in Abbildung 39, Seite 131!

Unterscheidung: geringere Licht- und Doppelbrechung sowie Auslöschungsschiefe wie andere Pyroxene;

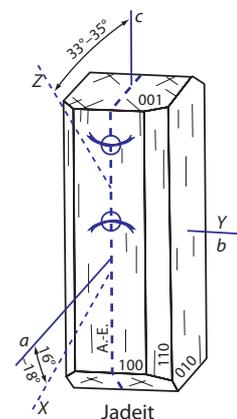
Besonderheiten: durch Streß bedingte undulöse Auslöschung und wellige Verbiegung sind häufig; anomale Interferenzfarben bei höheren Fe^{3+} -Gehalten;

Umwandlungen: in Amphibol oder Albit/Nephelin bei Wasserzutritt oder Druckabnahme;

Vorkommen: als Hochdruckmineral typischer Pyroxen von Glaukophanschiefern; auch in Quarziten und Meta-grauwacken;

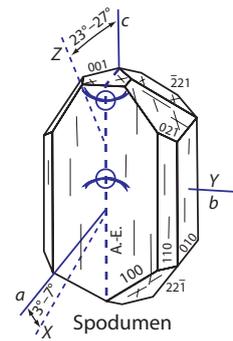
Paragenese: in Glaukophanschiefern neben Lawsonit, Pumpellyit, Epidot, Albit;

in Jadeit-Quarzit neben Albit, Quarz, Chlorit



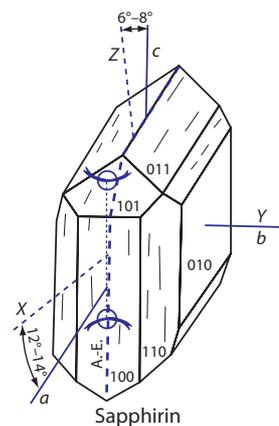
Spodumen

- Zusammensetzung:** nur geringe Variation mit Einbau von Na auf Kosten von Li und Fe^{III} auf Kosten von Al; andere Elemente nur in Spuren;
- Brechungsindex:** n_α 1.648 – 1.662, n_β 1.655 – 1.669, n_γ 1.662 – 1.679;
zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.014 – 0.027$
- Achsenwinkel:** $2V_\gamma = 58 – 68^\circ$
- Auslöschung:** meist schief mit $\sphericalangle(\gamma,c) = 20 – 26^\circ$ ($23 – 27^\circ$ laut Skizze);
- Farbe:** farblos; Edelsteinvarietät zeigt Pleochroismus in Schattierungen von grün bis lila;
- Spaltbarkeit:** gut nach $\{110\}$
- Verzwilligung:** häufig nach $\{100\}$
- Ausbildung:** prismatische Kristalle mit ungefähr achtseitigen Querschnitten und typischer Pyroxenspaltbarkeit von 87° ; in Pegmatiten auch riesenkörnig;
- Unterscheidung:** der kleine Auslöschungswinkel unterscheidet ihn von den meisten anderen Pyroxenen; Ägirin zeigt bei ähnlichem Auslöschungswinkel starke Eigenfarbe;
- Umwandlungen:** leicht abbaubar zu Li-Glimmer und Eukryptit [LiAlSiO_4]
- Vorkommen:** häufiges Mineral in Li-reichen Pegmatiten;
- Paragenese:** Beryll, Turmalin, Lepidolith, Kalifeldspat, Quarz



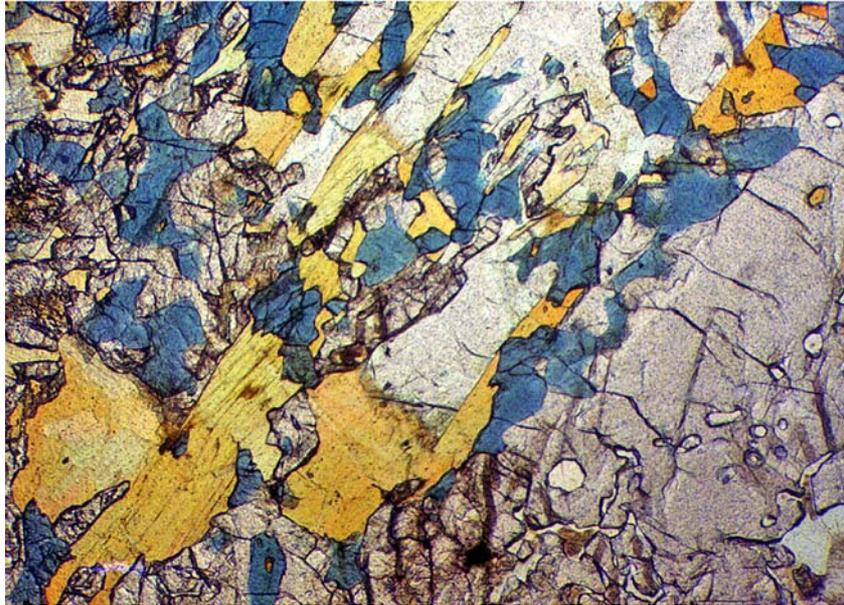
Sapphirin ($\text{Mg,Fe}^{2+},\text{Fe}^{3+},\text{Al}$) $_8\text{O}_2[(\text{Al,Si})_6\text{O}_{18}]$

- Zusammensetzung:** Kettensilikat mit weiter Substitution von $\text{Al} \rightleftharpoons \text{Si}$, $\text{Mg} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+}$ sowie $\text{Al} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}$; oft extrem Al-reich mit $\geq 60\%$ Al_2O_3 ; dabei sind bis zu $3/4$ der Tetraederplätze durch Al eingenommen, was Sapphirin zu einem extrem Si-armen Mineral macht ($< 20\%$);
- Kristallsystem:** monoklin, Kristallklasse $2/m$
- Brechungsindex:** n_α 1.701 – 1.731, n_β 1.703 – 1.741, n_γ 1.705 – 1.745; zweiachsig \ominus oder \oplus mit $\Delta = 0.005 – 0.012$
- Hauptzone:** (+)
- Achsenwinkel:** $2V_\alpha =$ sehr variabel – meist $50 – 70^\circ$ (–); falls positiv, sind die Achsenwinkel groß;
- Auslöschung:** $\sphericalangle(\alpha,a) 12 – 14^\circ$ ($\alpha = X$ in Zeichnung rechts);
- Farbe:** farblos, blau, grünlich blau, selten rosarot
- Spaltbarkeit:** schlecht;
- Verzwilligung:** selten;
- Ausbildung:** häufig in Form xenomorpher Körner oder Kornaggregate; die Kristalle sind meist tabular und in Richtung der c-Achse gestreckt;
- Unterscheidung:** markant sind das hohe Relief und gegebenenfalls die blaue Farbe; Korund ist häufig (hyp)idiomorph und einachsig; Disthen hat ausgeprägte Spaltbarkeit; blaue Amphibole haben anderen Habitus und ebenfalls gute Spaltbarkeit;
- Besonderheiten:** blaue Varietäten sind deutlich pleochroitisch;
- Umwandlungen:** in Korund + Phyllosilikate;
- Vorkommen:** in Al-reichen kontakt- und regionalmetamorphen Gesteinen bei höheren Temperaturen;



Paragenese: Korund, Disthen/Sillimanit, Cordierit, Spinell, Granate, Orthopyroxene; nur in der hohen Granulitfazies neben Quarz.

blauer Sapphirin neben Granat und Biotit, der z.T. randliche Auflösungserscheinungen zeigt, in einem Granulit des Gebietes um die Lützow-Holm-Bucht in der Ostantarktis; Bildausschnitt ca. 3.0 mm quer. Das Vorhandensein von Biotit und die Abwesenheit von Sapphirin/Quarz-Kornkontakten spricht für Bildungsbedingungen, die der tieferen Granulitfazies entsprechen.



Serpentin $Mg_6(Si_4O_{10})(OH)_8$

Zusammensetzung: die Serpentinegruppe umfaßt drei Hauptminerale von identischer Zusammensetzung – Antigorit, Chrysotil (Faserasbest) und Lizardit, von denen Antigorit und Lizardit häufig sind und Chrysotil der seltenste ist; Ersatz von Mg durch Fe^{2+} , Fe^{3+} oder Al führt zu serpentinenähnlichen Mineralen (Abbildung 37);

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse m, 2 oder 2/m

Brechungsindex: Antigorit: n_α 1.558 – 1.567, $n_\beta \approx 1.566$, n_γ 1.562 – 1.574, zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.004 - 0.007$; Chrysotil – α : n_α 1.538 – 1.560, $n_\beta = 1.546 - 1.567$, n_γ 1.546 – 1.567, zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.008 - 0.007$ (Chrysotil- γ zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.013 - 0.009$); Lizardit: n_α 1.538 – 1.554, $n_\beta = 1.546 - 1.560$, n_γ 1.546 – 1.560, zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.006 - 0.008$;

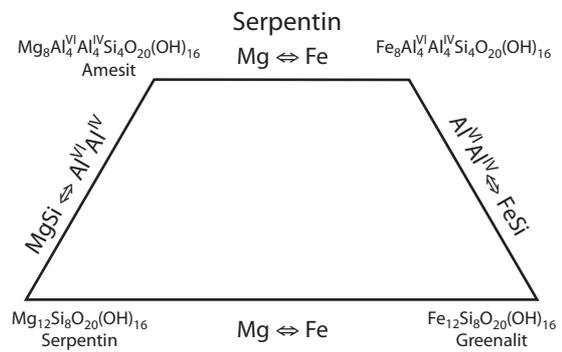
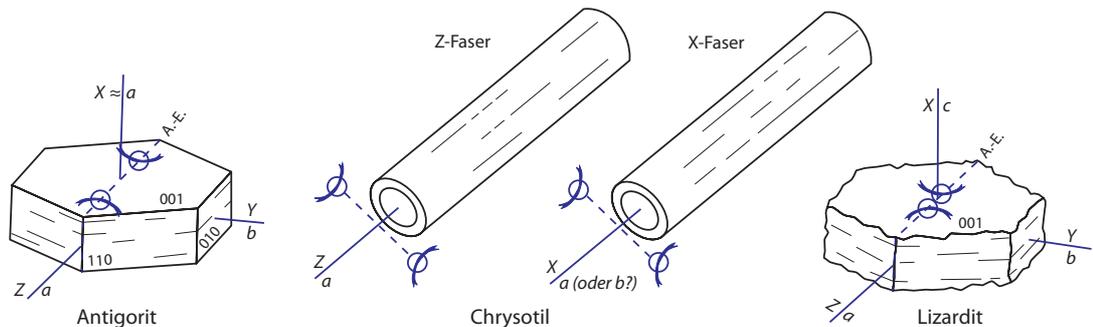


ABBILDUNG 37 Substitutionen bei den Serpentinmineralen

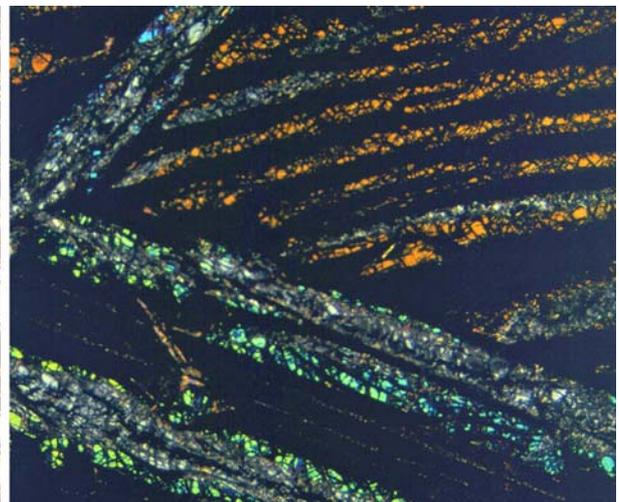
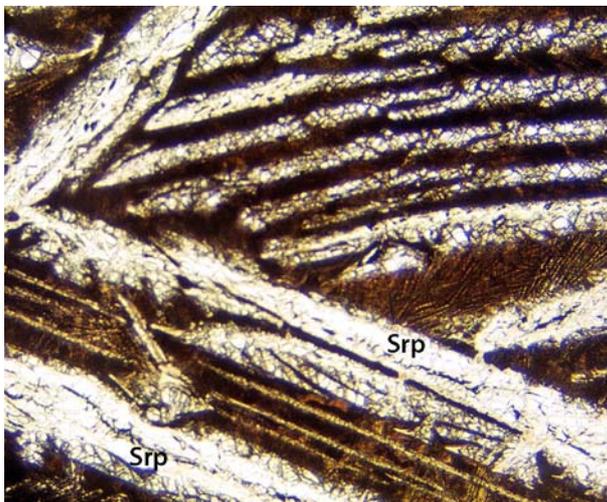


Hauptzone:	(+), Chrysotil- α (-)
Achsenwinkel:	Antigorit $2V_\alpha = 27 - 60^\circ$, Chrysotil- α $2V_\alpha = 30 - 35^\circ$ (Chrysotil- γ $2V_\gamma = 10 - 90^\circ$), Lizardit sehr klein (oft einachsig);
Auslöschung:	meist gerade

Serpentinminerale in einem Serpentin aus dem Münchberger Gneisgebiet; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt rund 0.45 mm.



Farbe:	farblos bis hellgrün; schwach pleochroitisch von farblos nach hellgelbgrün oder hellgrün;
Spaltbarkeit:	nur bei Antigorit sichtbar: vollkommen nach {001};
Verzwilligung:	sehr selten
Ausbildung:	<u>Chrysotil</u> faserig bis parallelfaserig, büschelig oder wirr; <u>Lizardit</u> sehr feinkörnig, kann unregelmäßige netzartige Aggregate aufbauen; <u>Antigorit</u> blättrig, leistenförmig, schuppig, dicht;



Serpentinisierter und oxidierter skelettartig gewachsener („Spinfex“) Olivin in einem Komatiit aus Ontario/Kanada, links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 7.0 mm. In der linken Aufnahme erscheinen Ol und Serpentin farblos; in der Aufnahme rechts sind die Serpentinminerale grau, während die intakten Olivine bunte Interferenzfarben zeigen.

Unterscheidung:	Chrysotil ist stets feinfaserig; faserige Amphibole (Grammatit, Aktinolith, Tremolit) haben höhere Licht- und Doppelbrechung; Chlorite sind stärker pleochroitisch als Serpentine; Brucit hat anomale
------------------------	---

Interferenzfarben; untereinander sind die Serpentine optisch nicht unterscheidbar (mit Ausnahme des faserigen Chrysotils);

Besonderheiten: bei Bildung von Chrysotil aus Olivin bildet sich entweder eine Maschenstruktur aus (Rahmen aus Chrysotil γ , innerer Teil aus Chrysotil α) oder eine Fensterstruktur (umgekehrt wie bei Maschenstruktur);

Einatmen von Asbestfasern (Amphibolasbeste mehr noch als Chrysotilasbest) über längere Zeit gilt als hochgradig gesundheitsgefährdend!

Umwandlungen: in Chlorit oder Talk

Vorkommen: Serpentine entstehen bei hydrothormaler Verwitterung von mafischen und ultramafischen Gesteinen wie Peridotit, Pyroxenit, Gabbro aus Olivin und Pyroxenen; Hauptbestandteil von Serpentiniten;

Paragenese: Olivin, Enstatit, Diopsid, Bronzit, Magnetit, Chromit, Talk, Magnesit, Chlorit;

Staurolith $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})_9\text{O}_6[(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4]_4(\text{O}, \text{OH})_2$

Zusammensetzung: geringe Anteile von Zn können Fe^{2+} ersetzen

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m (pseudorhombisch)

Brechungsindex: n_α 1.736 – 1.747, n_β 1.742 – 1.753, n_γ 1.748 – 1.761
zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.011 - 0.014$

Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: $2V_\gamma = 80 - 90^\circ$

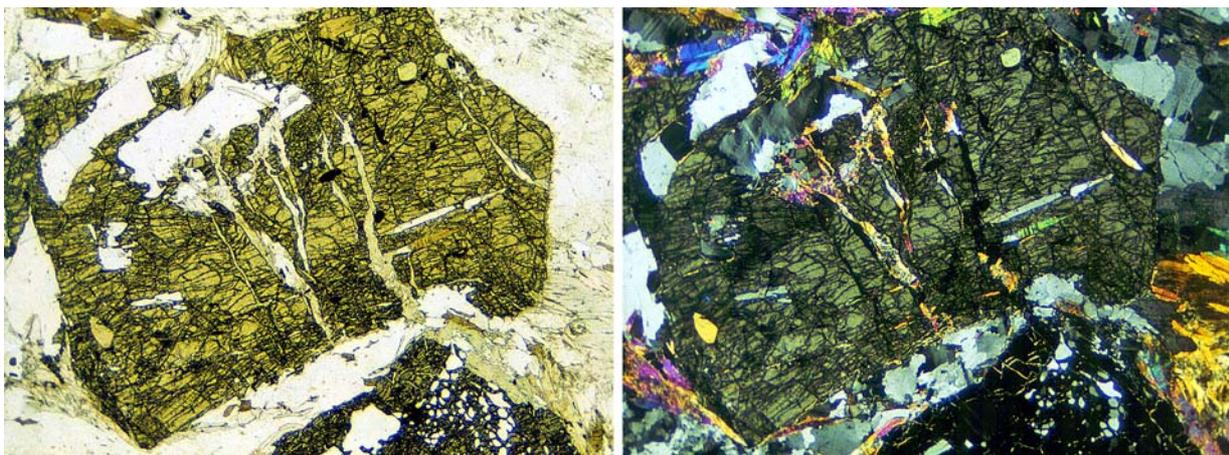
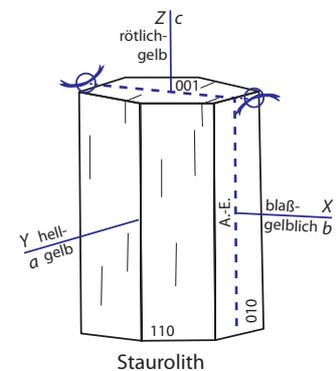
Auslöschung: meist gerade, in Basisschnitten symmetrisch

Farbe: honiggelb bis bräunlich mit deutlichem Pleochroismus, Mg-reiche Vertreter sind in Basisschnitten fast farblos; α farblos, blaßgelb; β farblos, blaßgelb, gelblichbraun; γ lichtgelb, orangegelb, rötlichbraun

Spaltbarkeit: deutlich nach (010)

Verzwillingung: Durchkreuzungszwillinge nach (023) oder (232), die jedoch im Dünnschliff selten auffallen;

Ausbildung: meist prismatische Kristalle, in Richtung der c-Achse gestreckt; Basisschnitte sind meist sechseckig mit dominanten {110} Prismenflächen; auch in Form von xenomorphen knäuelartigen Massen;

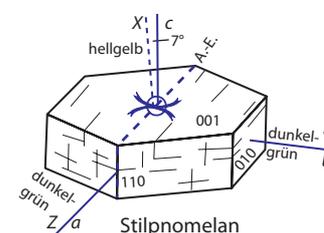


einschlußreicher Staurolith in einem Glimmerschiefer aus den Ostalpen im Hellfeld (links) bzw. unter gekreuzten Polarisatoren (rechts) neben Quarz und Glimmern; Bildausschnitt ca. 3.7 mm quer

- Unterscheidung:** durch die gelbliche Eigenfarbe, und den Pleochroismus meist relativ leicht zu identifizieren; brauner Turmalin ist optisch einachsig \ominus und hat negative Hauptzone; Epidot ist grünlichgelb und hat höhere Doppelbrechung mit anomalen Interferenzfarben;
- Besonderheiten:** häufig poikiloblastisch ausgebildet (zahlreiche Einschlüsse, meist von Quarz, die dem Staurolith eine Siebstruktur geben – dient als zusätzliches Erkennungsmerkmal); oft orientierte Verwachsungen mit Disthen;
- Umwandlungen:** bei prograden Metamorphose Reaktionsbeziehungen mit Granat, Disthen, Sillimanit; retrograd Zerfall in Sericit und Chlorit;
- Vorkommen:** nur in mittelgradigen regionalmetamorphen Al-reichen Gesteinen (Metapelite), insbes. in Glimmerschiefern, seltener in Quarziten und Metabauxiten;
- Paragenese:** Granat, Andalusit, Sillimanit, Muskovit (Sericit), Biotit, Cordierit, Chloritoid;

Stilpnomelan ca. $K(Fe^{II}, Mg, Fe^{III}, Al)_8(Si, Al)_{12}(O, OH)_{27} \cdot 2H_2O$

- Zusammensetzung:** sehr große Variation vor allem bezüglich Fe^{2+}/Fe^{3+} und Mg
- Kristallsystem:** monoklines oder triklinen Schichtsilikat
- Brechungsindex:** $n_\alpha 1.54 - 1.63$, $n_\beta 1.58 - 1.75$, $n_\gamma 1.58 - 1.75$
zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.03 - 0.11$
- Hauptzone:** (+)
- Achsenwinkel:** $2V_\alpha \approx 0^\circ$ (praktisch einachsig)
- Auslöschung:** meist gerade

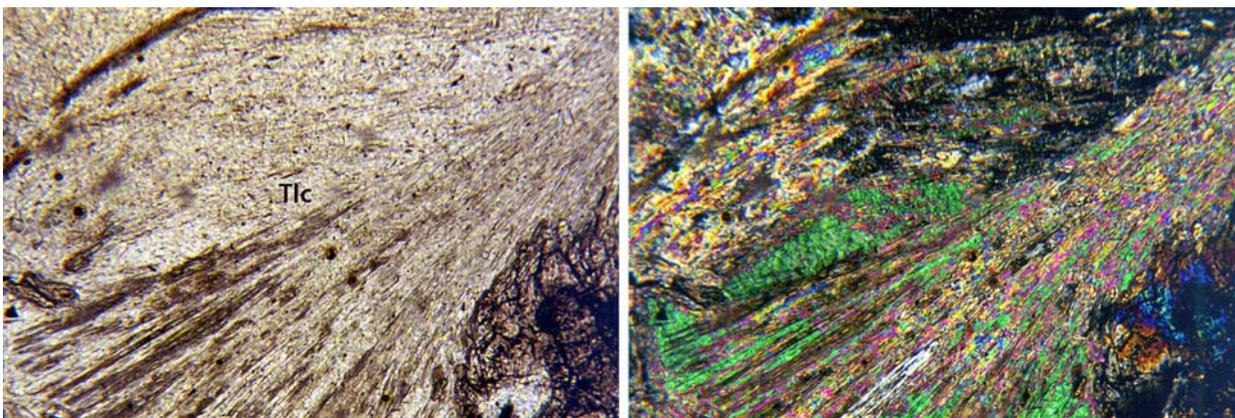
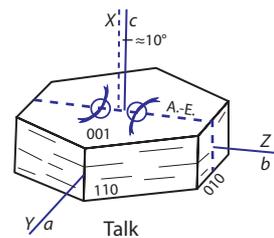


garbenförmige Aggregate von Stilpnomelan in einem grünschieferfaziellen Metabasalt aus dem Münchberger Gneisgebiet, links im Hellfeld, rechts unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt ca. 7.2 mm hoch; die feinkörnige Grundmasse besteht überwiegend aus albitreichem Plagioklas, daneben aus Epidot und Quarz.

Farbe:	gelblich, grünlich, bräunlich; starker Pleochroismus: α (X in der Skizze) blaßgelb, goldgelb, blaßbraun; $\beta = \gamma$ tiefbraun, tiefrotbraun, schwarzbraun, tiefgelbbraun, dunkelgrün;
Spaltbarkeit:	gut nach {001} (nicht so perfekt wie bei den Glimmern)
Verzwilligung:	keine
Ausbildung:	glimmerähnlich: blättrig, auch radialstrahlig und garbenartig;
Unterscheidung:	sehr ähnlich wie Biotit; das Szintillieren in Auslöschungsstellung wird jedoch bei Stilpnomelan wegen seiner schlechteren Spaltbarkeit so gut wie nicht beobachtet; Fe-reicher Stilpnomelan hat höhere Doppelbrechung als Biotit;
Besonderheiten:	keine
Umwandlungen:	verwittert zu Paragenesen mit Tonmineralen, Chloriten und Fe-Oxiden;
Vorkommen:	weit verbreitet in grünschieferfaziellen Gesteinen, vor allem solchen, die aus Grauwacken und Peliten hervorgegangen sind; auch in der Blauschieferfazies und in Eisensteinen;
Paragenese:	Quarz, Sericit, Chlorit, Calcit; in Blauschiefern neben Glaukophan, Granat, Titanit; in metapelitischen Hochdruckgesteinen mit Talk, Phengit, Chloritoid; in Eisensteinen mit Riebeckit, Siderit, Chlorit, verschiedenen Fe-Oxiden und Fe-Silikaten;

Talk $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$

Kristallsystem:	monoklin, Kristallklasse 2/m
Brechungsindex:	$n_\alpha 1.539 - 1.550$, $n_\beta 1.589 - 1.594$, $n_\gamma 1.589 - 1.600$ zweiachsig \ominus mit $\Delta \approx 0.050$
Hauptzone:	(+)
Achsenwinkel:	$2V_\alpha = 0 - 30^\circ$
Auslöschung:	meist gerade
Farbe:	farblos
Spaltbarkeit:	vollkommen nach {001}
Verzwilligung:	keine
Ausbildung:	faserige, schuppige, dichte verfilzte Massen, auch radialstrahlige Aggregate



feinschuppiger Talk in einem Talk-Tremolit-Olivin-Fels aus der Oberpfalz im Hellfeld (links) bzw. unter gekreuzten Polarisatoren (rechts); Bildausschnitt ca. 0.45 mm quer; der Talk macht den größten Teil des Schliffes aus.

- Unterscheidung:** mit Muskovit/Sericit und Pyrophyllit zu verwechseln (Muskovit hat jedoch größeren Achsenwinkel; Bricit ist optisch zweiachsig \oplus und hat oft anomale Interferenzfarben; Gibbsit ist ebenfalls optisch zweiachsig \oplus ; Phlogopit hat höhere Brechwerte und ist in der Regel bräunlich;
- Besonderheiten:** trioktaedrisches Phyllosilikat wie Biotit, aber ohne Besetzung der A-Positionen
- Umwandlungen:** keine
- Vorkommen:** entsteht bei hydrothermalen Umwandlung mafischer und ultramafischer Gesteine: Talkschiefer, Serpentinite, kieselige Dolomite; „Weißschiefer“ [exotisch zusammengesetzte Sedimente in Hochdruckfazies];
- Paragenese:** Serpentin, Magnesit, Olivin, Pyroxene, Magnetit, Tremolit, Chlorit

Titanit [= Sphen] $\text{CaTiO}(\text{SiO}_4)$

Zusammensetzung: Ti kann bis zu mehreren Prozent durch Al und Fe ersetzt werden; in diesem Fall erfolgt ein gekoppelter Ersatz von O durch OH oder F;

Kristallsystem: monoklin, Kristallklasse 2/m

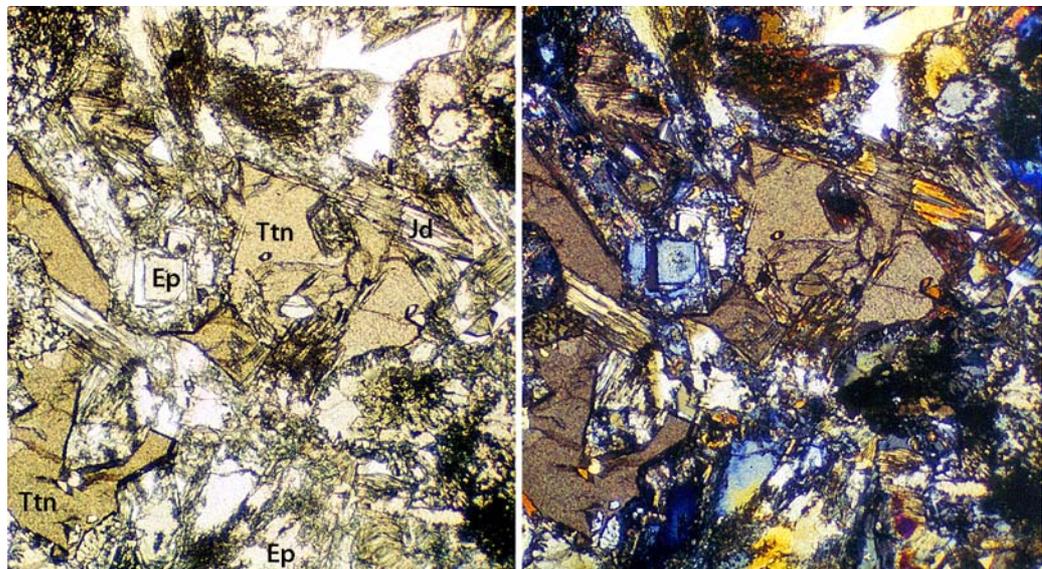
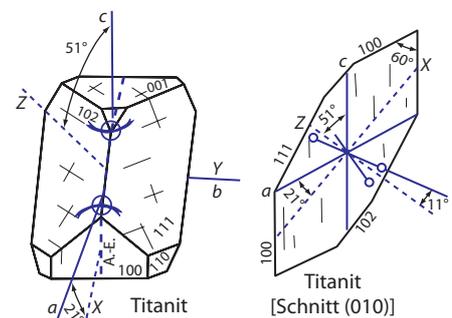
Brechungsindex: n_α 1.843 – 1.950, n_β 1.870 – 2.034, n_γ 1.943 – 2.110
zweiachsig \oplus mit $\Delta = 0.100 - 0.192$

Hauptzone: (+)

Achsenwinkel: $2V_\gamma = 20 - 56^\circ$

Auslöschung: in rhombischen Schnitten symmetrisch (infolge der starken Dispersion oft unvollständige Auslöschung), sonst schief: $\angle(\gamma, c) = 36 - 51^\circ$;

Verzwilligung: Einfachzwillinge mit {100} als Zwillingsene



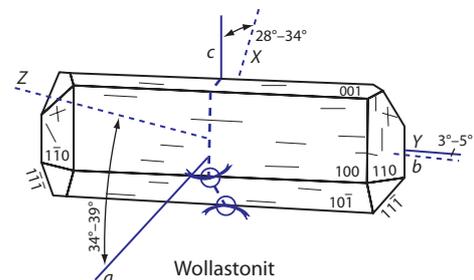
große Titanite (hohes Relief) neben nadeligem Jadeit, Albit und Epidot/Klinozoisit in einem Jadeit-Albit-Fels von Syros/Kykladen im Hellfeld (links) und unter gekreuzten Polarisatoren (rechts); Bildausschnitt ca. 2.7 mm quer.

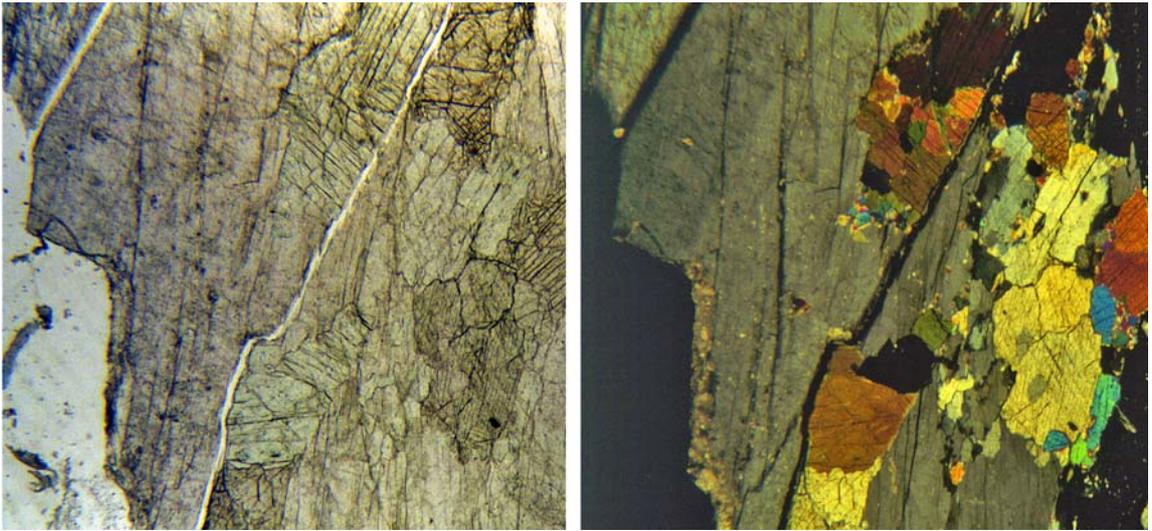
Optisch zweiachsig Minerale

Farbe:	farblos bis schwach bräunlich, gelblich bis grünlich mit merklichem Pleochroismus; oft fleckige Farbverteilung;
Spaltbarkeit:	gut nach {110}
Ausbildung:	idiomorph (briefkuvertförmig mit spitz-rautenförmigem Querschnitt), hypidiomorph, xenomorph;
Unterscheidung:	sehr hohes Relief und extrem hohe Doppelbrechung sowie Umriß machen die Identifizierung meist einfach; Rutil, Zirkon, Zinnstein, Calcit sind optisch einachsig; Monazit hat niedrigere Doppelbrechung; in feinkörniger Ausbildung Verwechslung mit Epidot und Allanit (Orthit) möglich;
Besonderheiten:	zonierte Kristalle haben randlich höheren Brechungsindex; bei höheren Th-Gehalten erzeugen Titaniteinschlüsse pleochroitische Höfe in Biotit, Chlorit oder Hornblende;
Umwandlungen:	unter hydrothermalen Bedingungen Zerfall in Leukoxen (erdfarbenes, weißes oder gelbliches Gemisch aus Ti-Oxiden, Quarz und anderen Mineralen);
Vorkommen:	weit verbreitet in vielen magmatischen und metamorphen Gesteinen: in Magmatiten am häufigsten in Syeniten, Monzoniten, Granodioriten und Dioriten; in Vulkaniten nur in Phonolith verbreitet; pegmatitisch bis hydrothermal; in metamorphen Gesteinen vor allem in Amphiboliten, Blauschiefern, Glimmerschiefern, granitischen Gneisen, Skarnen und Marmoren; auch in der Schwermineralfraktion von klastischen Sedimenten;
Paragenese:	grüne Hornblende, Plagioklas, K-Feldspat, Biotit, Apatit; in Magmatiten mit Nephelin, Apatit, Ägirinaugit, Sanidin;

Wollastonit $\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)$

Zusammensetzung:	kann etwas Fe enthalten; Zusammensetzung liegt jedoch meist in der Nähe der Formel;
Kristallsystem:	triklin, Kristallklasse $\bar{1}$, oder monoklin, Kristallklasse 2/m
Brechungsindex:	n_α 1.616 – 1.640, n_β 1.628 – 1.650, n_γ 1.631 – 1.653 zweiachsig \ominus mit $\Delta = 0.013 - 0.014$
Hauptzone:	(+) oder (-)
Achsenwinkel:	$2V_\alpha = 36 - 60^\circ$
Auslöschung:	schief (in Längsschnitten fast gerade): $\angle(\beta, b) = 0 - 5^\circ$; $\angle(\alpha, c) = 30 - 44^\circ$
Farbe:	farblos
Spaltbarkeit:	nach {100} perfekt, nach {001} und $\{\bar{1}02\}$ gut
Verzwillingung:	lamellar nach {100} häufig
Ausbildung:	stengelig bis faserig $\parallel b$, strahlige Aggregate; selten tafelig mit fast rechtwinkligen Querschnitten; gelegentlich poikiloblastisch;
Unterscheidung:	ähnt Tremolit, der jedoch andere Spaltwinkel (124°) besitzt, höheren Achsenwinkel und höhere Doppelbrechung hat;
Besonderheiten:	keine
Umwandlungen:	Abbau zu Pektolith, Calcit, Apophyllit, Quarz, Chalcedon oder Opal;
Vorkommen:	häufiges Mineral, das bei der hochgradigen Kontaktmetamorphose unreiner Kalke entsteht; auch mittelgradig regionalmetamorph in solchen Gesteinen;
Paragenese:	Diopsid, Fassait, Vesuvian, Epidot, Grossular, Calcit, Monticellit





große und kleine Kristalle von Wollastonit im Hellfeld (links) bzw. unter gekreuzten Polarisatoren (rechts);
Bildausschnitt jeweils ca. 1.9 mm quer.

V. ERGÄNZUNG: WICHTIGE GESTEINSBILDENDE MINERALE IN KLEINEN FARBFOTOS

In den beiden folgenden Abbildungen sind einige der wichtigsten gesteinsbildenden Minerale in Magmatiten und Metamorphiten zusammengestellt.

einige wichtige Minerale in Magmatiten

Einige der in Abbildung 38 zusammengestellten Minerale sind selbstverständlich auch in Metamorphiten wichtig!

- ① und ② Muskovit, Biotit und Quarz in einem Granit im Hellfeld bzw. unter gekreuzten Polarisatoren; jeweils oben links im Bild sind einige Feldspatkörner zu sehen, die etwas hydrothermal alteriert sind (Neubildung von Schichtsilikaten); das Quarzkorn oben rechts in Bild ② zeigt angedeutet eine undulöse Auslöschung. Der Ausschnitt beträgt in beiden Fällen 1.8×1.8 mm.
- ③ Alkalifeldspat mit großen perthitischen Entmischungskörpern aus einem Alkaligranit; gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt ist 1.1×1.1 mm.
- ④ zonierter Plagioklas aus einem Tonalit unter gekreuzten Polarisatoren; Bildausschnitt: 2.2×2.2 mm.
- ⑤ Plagioklase mit polysynthetischer Verzwilligung aus einem Gabbronorit; gekreuzte Polarisatoren; der Bildausschnitt beträgt 1.8×1.8 mm.
- ⑥ Nosean (mit fast opakem „Trauerrand“) und Leucit aus einem porphyrischen Tinguait (subvulkanischer Foidsyenit) im Hellfeld; Bildausschnitt ist 2.0×2.0 mm.
- ⑦ Ti-reiche Augite und randlich oxidierte Olivine (braune Ränder – „Iddingsit“) in Alkalibasalt; Aufnahme im Hellfeld; die leistenförmigen Minerale mit niedrigem Relief sind Plagioklase; Bildausschnitt: 1.4×1.4 mm.
- ⑧ Ortho- und Klinopyroxen aus einem Gabbronorit; Aufnahme im Hellfeld; die Orthopyroxene sind meist bräunlich, die Klinopyroxene grünlich; dies ist allerdings kein hinreichendes Unterscheidungsmerkmal! Der Bildausschnitt liegt bei 1.75×1.75 mm.
- ⑨ Leicht alterierter Nephelin aus Noseanphonolith; Aufnahme im Hellfeld; Bildausschnitt ist 1.3×1.3 mm.
- ⑩ Apatit, Biotit und Orthopyroxen aus einem Syenit im Hellfeld; Es sind sowohl Apatite zu sehen, die \perp der c-Achse geschnitten sind (ungefähr sechseckig oder rundlich; siehe auch ② in Abbildung 39) als auch parallel dazu (stengelige farblose Kristalle); der Bildausschnitt beträgt 1.1×1.1 mm.
- ⑪ Strahlige Aggregate von blaugrünem Turmalin in einem Granitpegmatit; Aufnahme im Hellfeld; Bildausschnitt: 0.92×0.92 mm.
- ⑫ braune Hornblende, Ägirinaugit und Sanidin aus einem Trachyt; Hellfeld; der Bildausschnitt liegt bei 2.1×2.1 mm.

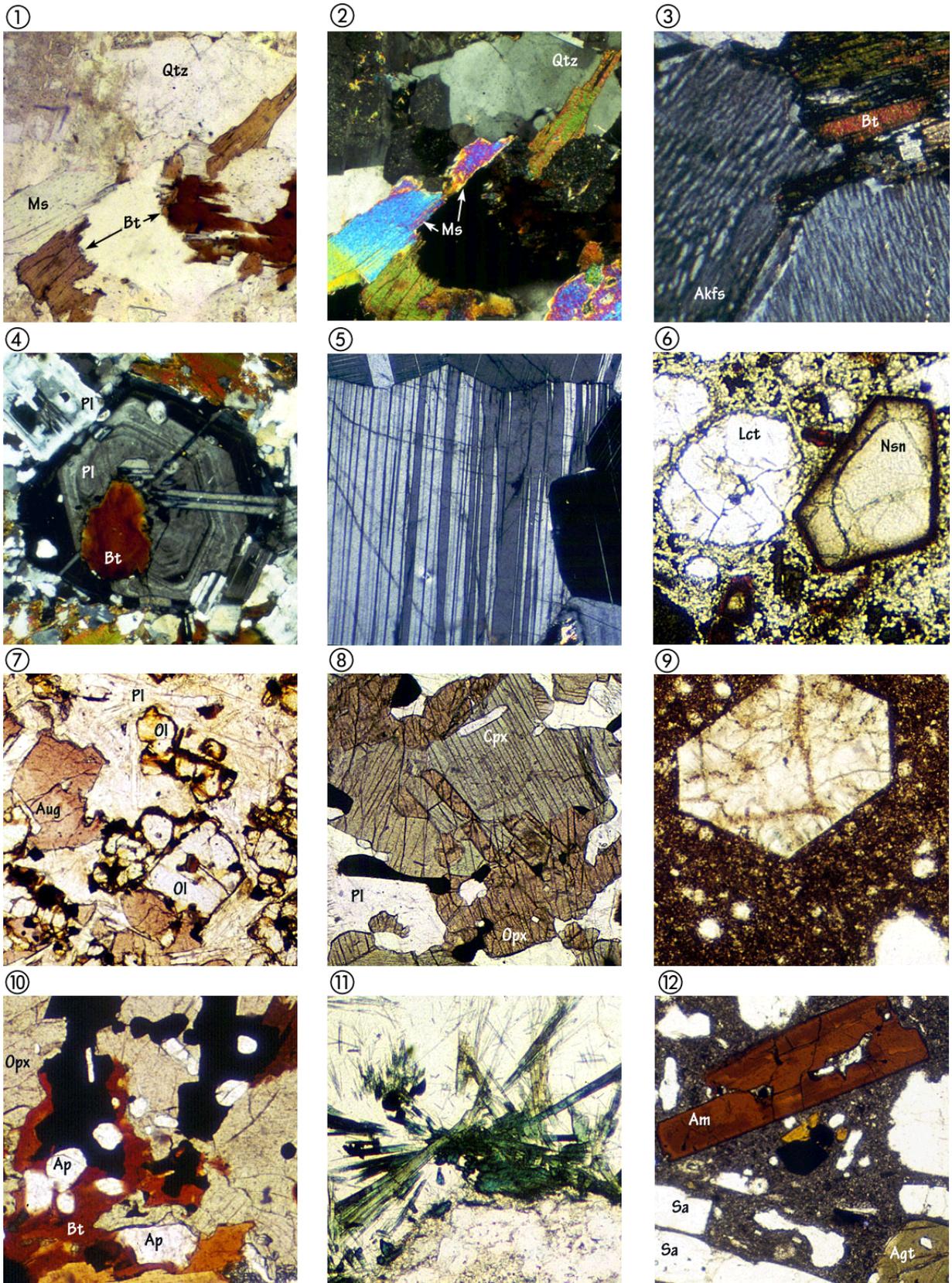


ABBILDUNG 38

wichtige gesteinsbildende Minerale in magmatischen Gesteinen

einige wichtige Minerale in Metamorphiten

Einige der in Abbildung 39 dargestellten Minerale treten natürlich auch in Magmatiten auf!

- ① Idiomorpher Tremolit aus einem Marmor, gekreuzte Polarisatoren; Bildausschnitt ist 2.2×2.2 mm. Die Matrix besteht aus Kristallen von Calcit. Unmittelbar unter dem großen Tremolit ist ein Mg-Chlorit mit gelbgrünen Interferenzfarben zu sehen.
- ② Grüne Hornblende, Granat, Apatit und Orthopyroxen aus einem Granulit; Aufnahme im Hellfeld; Bildausschnitt: 1.4×1.4 mm.
- ③ Chlorit (hellgrün), Biotit und Hornblende (bräunlich, bläulich; mit Spaltrissen) aus einem Hornblendegarbenschiefer; Hellfeld; Bildausschnitt beträgt 1.15×1.15 mm.
- ④ Chlorit aus einem metamorphen Ultramafit unter gekreuzten Polarisatoren; die braunen und dunkelblauen (unternormalen) Interferenzfarben sind typisch; unten links im Bild sind faserige Massen von Serpentinmineralen zu erkennen; Bildausschnitt: 5.25×5.25 mm.
- ⑤ Epidot (zum Teil zoniert) aus einem Amphibolit unter gekreuzten Polarisatoren; die intensiven (übernormalen) gelben und roten Interferenzfarben sind charakteristisch; die blauen Interferenzfarben sprechen für Körner oder Kornbereiche mit niedrigen Fe^{III}-Gehalten. Der Bildausschnitt beträgt 1.5×1.5 mm.
- ⑥ Blauer und violetter Glaukophan, hellgrüner Jadeit und hellbrauner Granat aus einem Blauschiefer im Hellfeld. Dunkelbraune Aggregate von Titanit sind ebenfalls zu sehen; Bildausschnitt ist 1.75×1.75 mm.
- ⑦ Blaßrosa Andalusit in einem Hornfels; Aufnahme im Hellfeld; Bildausschnitt: 1.75×1.75 mm.
- ⑧ Blastomylonit mit prismatischen Sillimaniten; Hellfeldaufnahme; die Sillimanite fallen durch ihr hohes Relief gegenüber Feldspäten und Quarzen auf; Bildausschnitt ist 0.60×0.60 mm
- ⑨ Disthen in Granulit; Aufnahme im Hellfeld; gegenüber Quarzen (farblos) und Feldspäten (z.T. bräunlich infolge von Alteration), welche die Matrix dieses Gesteins bilden, haben die Disthene ein sehr hohes Relief; der Bildausschnitt liegt bei 1.15×1.15 mm.
- ⑩ Großer Staurolith mit vielen Spaltrissen und Einschlüssen anderer Minerale in Glimmerschiefer; Hellfeld; Bildausschnitt ist 5.3×5.3 mm.
- ⑪ Cordierite in Granat-Cordierit-Gneis; Aufnahme im Hellfeld; die Cordierite nehmen eine breite Zone in E–W-Richtung im mittleren Bereich des Dünnschliffs ein und fallen gegenüber Quarz und Feldspat durch ein scheinbar unebenes Relief auf. Mit den Cordieriten assoziiert finden sich zahlreiche kleine Kristalle von prismatischem Sillimanit (hohes Relief) und opaken Mineralen. Der Bildausschnitt liegt bei 1.65×1.65 mm.
- ⑫ Calcit neben Diopsid in einem Diopsid-Skapolith-Marmor; Aufnahme im Hellfeld; ein Calcitkorn oben rechts im Bild zeigt angedeutet die Rhomboederspaltbarkeit. Der Bildausschnitt beträgt 1.5×1.5 mm.

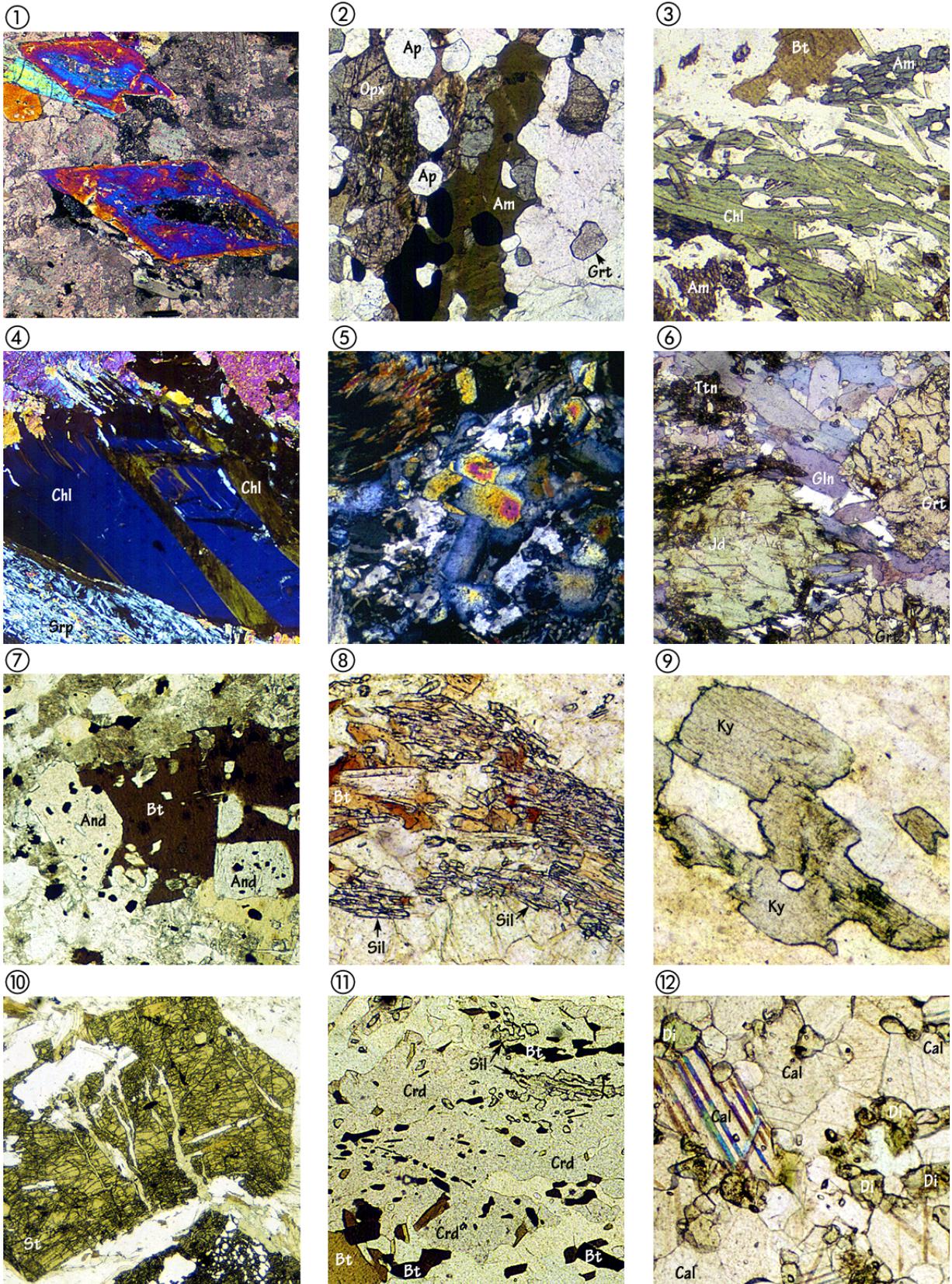


ABBILDUNG 39

wichtige gesteinsbildende Minerale in metamorphen Gesteinen

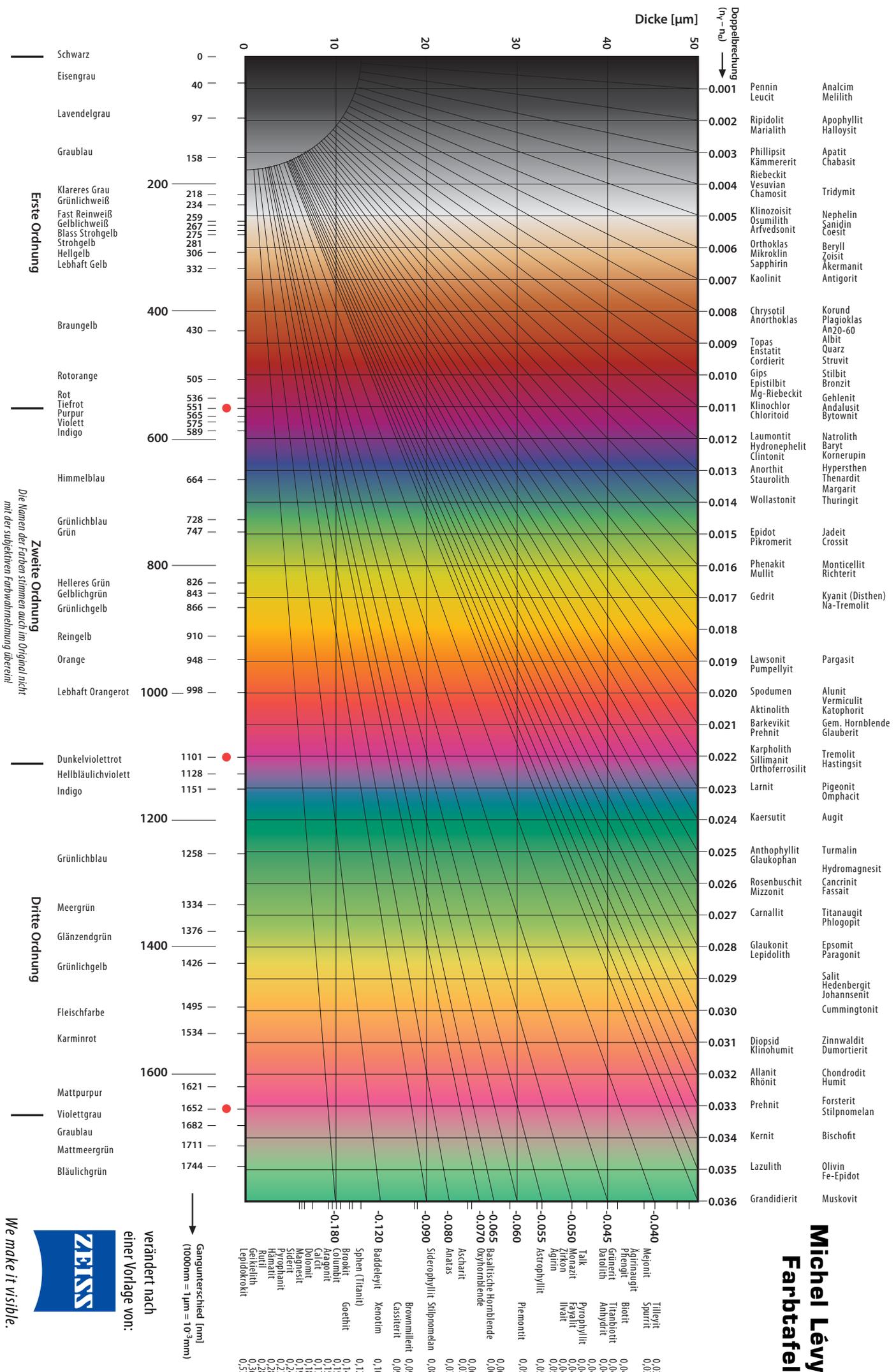
VI. INTERNATIONAL GEBRÄUHLICHE ABKÜRZUNGEN EINIGER MINERALNAMEN

Abkürzung/Mineral	Abkürzung/Mineral	Abkürzung/Mineral
Acm Akmit	Cc Chalcosin	Gr Graphit
Act Aktinolith	Ccp Chalcopyrit	Grs Grossular
Agt Ägirinaugit	Chl Chlorit	Gru Grünerit
Ak Äkermanit	Cld Chloritoid	Gp Gips
Ab Albit	Chn Chondroit	HI Halit
Aln Allanit	Chr Chromit	Hs Hastingsit
Alm Almandin	Ccl Chrysokoll	Hyn Hauyn
As Aluminosilikat	Ctl Chrysotil	Hd Hedenbergit
Amp Amphibol	Cen Klinoenstatit	Hem Hämatit
Anl Analcim	Cfs Klinoferrosilit	Hc Hercynit
Ant Anatas	Chu Klinohumit	Hul Heulandit
And Andalusit	Czo Klinozoisit	Hbl Hornblende
Ads Andesin	Coe Coesit	Hu Humit
Adr Andradit	Crđ Cordierit	Ill Illit
Anh Anhydrit	Crn Korund	Ilm Ilmenit
Ank Ankerit	Cv Covellin	Jd Jadeit
Ann Annit	Crs Cristobalit	Jh Johannsenit
An Anorthit	Cum Cummingtonit	Krs Kaersutit
Atg Antigorit	Dsp Diaspor	Kls Kalsilit
Ath Anthophyllit	Dg Digenit	Kln Kaolinit
Ap Apatit	Di Diopsid	Ktp Katophorit
Apo Apophyllit	Dol Dolomit	Kfs Kalifeldspat
Arg Aragonit	Drv Dravit	Cen Klinoenstatit
Arf Arfvedsonit	Eck Eckermannit	Cfs Klinoferrosilit
Apy Arsenopyrit	Ed Edenit	Chu Klinohumit
Aug Augit	Elb Elbait	Czo Klinozoisit
Ax Axinit	En (Ortho)Enstatit	Krn Kornerupin
Brt Baryt	Ep Epidot	Crn Korund
Brl Beryll	Fst Fassait	Ky Kyanit [Disthen]
Bt Biotit	Fa Fayalit	Lab Labradorit
Gn Bleiglanz [Galenit]	Fed Ferroedenit	Lmt Laumontit
Bhm Böhmit	Fac Ferroaktinolith	Lws Lawsonit
Bn Bornit	Fs Ferrosilit (Ortho)	Lpd Lepidolith
Brk Brookit	Fts Ferrotschermakit	Lct Leucit
Brc Brucit	Fl Fluorit	Liq (Silikat)Schmelze
Bst Bustamit	Fo Forsterit	Lm Limonit
Cam Ca-Klinoamphibol	Gn Galenit [Bleiglanz]	Lz Lizardit

Abkürzung/Mineral		Abkürzung/Mineral		Abkürzung/Mineral	
Cpx	Ca-Klinopyroxen	Grt	Granat	Lo	Löllingit
Cal	Calcit	Ged	Gedrit	Mgh	Maghemit
Ccn	Cancrinit	Gh	Gehlenit	Mkt	Magnesiokatophorit
Crg	Carnegieit	Gbs	Gibbsit	Mrb	Magnesoriebeckit
Cst	Cassiterit [Zinnstein]	Glt	Glaukonit	Mgs	Magnesit
Cls	Cölestin	Gln	Glaukophan	Mag	Magnetit
Cbz	Chabasit	Gt	Goethit	Mrg	Margarit
Mel	Melilith	Pgt	Pigeonit	Spl	Spinell
Mc	Mikroklin	Pl	Plagioklas	Spd	Spodumen
Mo	Molybdänit	Prh	Prehnit	St	Staurolith
Mnz	Monazit	Pen	Protoenstatit	Stb	Stilbit [Desmin]
Mtc	Monticellit	Pmp	Pumpellyit	Stp	Stilpnomelan
Mnt	Montmorillonit	Py	Pyrit	Str	Strontianit
Mul	Mullit	Prp	Pyrop	Sti	Stishovit
Ms	Muskovit	Prl	Pyrophyllit	Tlc	Talk
Ntr	Natrolith	Po	Pyrrhotin	Tmp	Thompsonit
Ne	Nephelin	Qtz	Quarz	Ttn	Titanit
Nrb	Norbergit	Rbk	Riebeckit	Toz	Topas
Nsn	Nosean	Rds	Rhodochrosit	Tur	Turmalin
Olg	Oligoklas	Rdn	Rhodonit	Tr	Tremolit
Ol	Olivin	Rt	Rutil	Trd	Tridymit
Omp	Omphacit	Sa	Sanidin	Tro	Troilit
Oam	Orthoamphibol	Spr	Sapphirin	Ts	Tschemakit
Or	Orthoklas	Liq	(Silikat)Schmelze	Usp	Ulvöspinell
Opx	Orthopyroxen	Srl	Schörl	Vrm	Vermiculit
Osm	Osumilith	Srp	Serpentin	Ves	Vesuvian
Pg	Paragonit	Sd	Siderit	Wai	Wairakit
Prg	Pargasit	Sil	Sillimanit	Wth	Witherit
Pct	Pektolith	Scp	Skapolith	Wo	Wollastonit
Pn	Pentlandit	Sdl	Sodalith	Wus	Wüstit
Per	Periklas	Sps	Spessartin	Cst	Zinnstein [Cassiterit]
Prv	Perowskit	Sp	Sphalerit [Zn-Blende]	Zrn	Zirkon
Phl	Phlogopit	Spn	Sphen [Titanit]	Zo	Zoisit
Symbole für Komponenten:					
fo	Mg ₂ SiO ₄	sps	Mn ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	phl	K ₂ Mg ₆ Al ₂ Si ₆ O ₂₀ (OH) ₄
fa	Fe ₂ SiO ₄	en	Mg ₂ Si ₂ O ₆	eas	K ₂ Mg ₅ AlAl ₃ Si ₅ O ₂₀ (OH) ₄
alm	Fe ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	di	Ca ₂ Si ₂ O ₆	ab	NaAlSi ₃ O ₈
prp	Mg ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	tr	Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂	an	CaAl ₂ Si ₂ O ₈

nach R. Kretz (1983) American Mineralogist **68**, 277 – 279

Michel Lévy Farbtafel



VII. ANHANG: MINERALBESTIMMUNGSTABELLEN^I

Tabelle 1: Minerale in alphabetischer Reihenfolge [y steht jeweils für „ja“ in dieser und in den folgenden Tabellen]

Mineral	Nr. im Träger	opt. Charakter			Lichtbrechung		anomale Interferenzfarben	Doppelbrechung		Vorz. opt. Charakter		Achsenwinkel 2V°		Spaltbarkeiten		
		isotrop	einachsig	zweiachsig	minimal	maximal		minimal	maximal	positiv	negativ	minimal	maximal	min. Zahl	max. Zahl	Winkel zwischen 2 Syst.°
Ägirin	171b			y	1.750	1.836		0.040	0.060		y	60	70	2	3	87
Ägirinaugit	171a			y	1.774	1.826	y	0.034	0.052	y	y	60	90	2	3	87
Albit (Hoch-T)	233a'			y	1.528	1.541		0.008	0.008		y	47	53	1	2	86
Albit (Tief-T)	233a			y	1.530	1.544		0.009	0.010	y		78	82	1	2	86
Allanit	138			y	1.727	1.820		0.024	0.032		y	70	90	1	2	65
Analcim	061a	y	y	y	1.486	1.487		0.000	0.001		y	0	2	0	1	
Anatas	67		y		2.488	2.562		0.073	0.073		y	0	0	1	3	68
Andalusit	130			y	1.629	1.651		0.009	0.011		y	83	85	1	2	89
Andesin (Hoch-T)	233c'			y	1.544	1.562		0.007	0.008		y	76	90	1	2	86
Andesin (Tief-T)	233c			y	1.544	1.562		0.007	0.008	y	y	78	90	1	2	86
Anhydrit	113			y	1.570	1.614		0.044	0.044	y		42	42	1	2	
Anorthit (Hoch-T)	233f'			y	1.573	1.588		0.011	0.013		y	80	83	1	2	86
Anorthit (Tief-T)	233f			y	1.573	1.588		0.012	0.013		y	80	83	1	2	86
Anorthoklas	232			y	1.522	1.535		0.007	0.008		y	20	70	1	2	
Anthophyllit	176			y	1.598	1.664		0.017	0.026	y	y	58	90	2	3	54
Antigorit	217			y	1.546	1.604		0.006	0.009		y	28	60	0	1	
Apatit	90		y	y	1.631	1.667		0.002	0.005		y	0	25			
Aragonit	110			y	1.530	1.686		0.155	0.156		y	18	18	0	1	
Augit	168			y	1.670	1.772	y	0.024	0.029	y		42	60	2	2	87
Barroisit = Tschermakit	187a			y	1.640	1.696		0.018	0.023		y	65	90	2	2	56
Baryt	115			y	1.636	1.648		0.012	0.012	y		36	38	1	3	78
Biotit	202		y	y	1.571	1.697		0.039	0.081		y	0	33	0	1	
Brookit	104			y	2.583	2.741	y	0.117	0.158	y		0	30	1	2	45
Brucit	84		y	y	1.559	1.581		0.015	0.021	y		0	4	0	1	
Bytownit (Hoch-T)	233e'			y	1.564	1.584		0.008	0.011	y	y	79	90	1	2	86
Bytownit (Tief-T)	233e			y	1.564	1.584		0.009	0.012		y	79	90	1	2	86
Calcit	85		y	y	1.486	1.658		0.172	0.172		y	0	25	1	3	75
Cancrinit	97		y	y	1.498	1.524		0.001	0.026		y	0	4	2	3	30
Celsian	234			y	1.518	1.595		0.006	0.010		y	86	90	1	2	

Tabelle 1: Minerale in alphabetischer Reihenfolge [y steht jeweils für „ja“ in dieser und in den folgenden Tabellen]

Mineral	Nr. im Träger	opt. Charakter			Lichtbrechung		anomale Interferenzfarben	Doppelbrechung		Vorz. opt. Charakter		Achsenwinkel 2V°		Spaltbarkeiten		
		isotrop	einachsig	zweiachsig	minimal	maximal		minimal	maximal	positiv	negativ	minimal	maximal	min. Zahl	max. Zahl	Winkel zwischen 2 Syst.°
Chabasit	100		y	y	1.478	1.490		0.002	0.005	y		0	30	2	2	
Chloritoid	195			y	1.682	1.740	y	0.010	0.012	y		36	70	0	1	60
Chondrodit	124			y	1.593	1.653		0.030	0.034	y		73	89	0	1	
Chromit	33	y			2.050	2.160		0.000	0.000							
Chrysotil/Lizardit	218		y	y	1.532	1.567		0.007	0.013	y	y	0	90	0	1	59
Cordierit	156			y	1.530	1.578		0.008	0.018	y	y	42	90	0	1	
Cristobalit	60		y		1.484	1.487		0.003	0.003		y	0	0			
Cummingtonit/ Grunerit	178			y	1.644	1.728		0.030	0.043	y	y	80	90	1	2	54
Diaspor	108			y	1.702	1.752		0.048	0.048	y		84	85	1	3	?
Diopsid/ Hedenbergit	167			y	1.665	1.756		0.029	0.031	y		56	62	2	3	87
Disthen	132			y	1.710	1.729		0.016	0.017		y	83	83	2	2	74
Dolomit/Ankerit	88		y		1.502	1.698		0.177	0.185		y	0	0	1	3	73
Enstatit	164a			y	1.657	1.665		0.005	0.008	y		54	82	2	3	88
Epidot/Klinozoisit	136			y	1.697	1.776	y	0.005	0.048	y	y	65	90	1	2	64
Fe(II)-Chlorite	214		y	y	1.632	1.675	y	0.004	0.010		y	0	90	0	1	
Fluorit	45	y			1.434	1.434		0.000	0.000					4	4	71
Gedrit	177			y	1.642	1.691		0.016	0.017	y	y	70	80	2	3	54
Gibbsit	109		y	y	1.566	1.589		0.021	0.021	y		0	40	0	1	
Gips	116			y	1.521	1.529		0.009	0.009	y		58	58	2	3	66
Glaukophan	181			y	1.595	1.658		0.010	0.025		y	10	70	1	2	55
Goethit	106		y	y	2.150	2.415		0.080	0.140		y	0	27	1	2	
Granatgruppe	56	y			1.710	1.890		0.000	0.004					0	6	60
Hämatit	34		y		2.690	3.220		0.210	0.280		y	0	0			
Heulandit	239			y	1.496	1.505		0.005	0.006	y		0	56	0	1	
Hornblende (Barkevikit)	184a			y	1.646	1.722		0.016	0.022		y	40	55	2	2	56
Hornblende (Hastingsit)	184			y	1.646	1.722		0.016	0.022		y	34	90	2	2	56
Hornblende (Pargasit)	186			y	1.611	1.681		0.019	0.021	y	y	56	90	1	2	56

1. extrahiert aus der Datenbank „MINSORTUCLA™“, © 1995, Regents, University of California (Autor: Dr. J. Rosenfeld)

Tabelle 1: Minerale in alphabetischer Reihenfolge [y steht jeweils für „ja“ in dieser und in den folgenden Tabellen]

Mineral	Nr. im Träger	opt. Charakter			Lichtbrechung		anomale Interferenzfarben	Doppelbrechung		Vorz. opt. Charakter		Achsenwinkel 2V°		Spaltbarkeiten		
		isotrop	einachsig	zweiachsig	minimal	maximal		minimal	maximal	positiv	negativ	minimal	maximal	min. Zahl	max. Zahl	Winkel zwischen 2 Syst.°
Humit	125			y	1.607	1.675		0.032	0.032	y		65	84	0	1	
Hypersthen	164b			y	1.712	1.727		0.010	0.020		y	46	64	2	3	88
Jadeit	174			y	1.654	1.665		0.011	0.011	y		68	72	1	2	88
Kaolinit	220			y	1.553	1.570		0.007	0.007		y	24	50	0	1	
Klinohumit	126			y	1.623	1.698		0.028	0.034	y		62	85	0	1	
Korund	76		y	y	1.759	1.767		0.008	0.009		y	0	30			
Labradorit (Hoch-T)	233d'			y	1.555	1.573		0.008	0.008	y		74	85	1	2	86
Labradorit (Tief-T)	233d			y	1.555	1.573		0.008	0.009	y		78	90	1	2	86
Larnit	127			y	1.707	1.730		0.023	0.023	y		70	75	0	1	
Lawsonit	141			y	1.665	1.686		0.019	0.021	y		78	84	2	3	67
Lepidolith	205			y	1.524	1.566		0.021	0.029		y	22	62	0	1	
Leucit	62	y	y		1.508	1.509		0.000	0.001	y		0				
Magnesit/Siderit	86		y		1.509	1.875		0.191	0.199		y	0	0	1	3	73
Margarit	200			y	1.630	1.650		0.012	0.014		y	40	68	0	1	
Mg-Chlorite	212		y	y	1.562	1.606	y	0.003	0.012	y	y	0	70	0	1	
Mg-Fe(III)-Chlorite	213		y	y	1.589	1.615	y	0.002	0.010	y	y	0	90	0	1	
Mikroklin	230			y	1.518	1.526		0.006	0.006		y	60	84	1	2	
Monazit	117			y	1.774	1.849		0.049	0.051	y		6	19	1	2	76
Monticellit	123			y	1.641	1.674		0.011	0.020		y	70	82	0	1	
Muskovit	199		y	y	1.552	1.624		0.036	0.054		y	0	50	1	1	
Natrolith	235			y	1.473	1.501		0.012	0.012	y		58	64	1	2	89
Nephelin	95		y	y	1.529	1.547		0.003	0.005		y	0	6	2	2	
Oligoklas (Hoch-T)	233b'			y	1.533	1.552		0.008	0.008		y	82	80	1	2	86
Oligoklas (Tief-T)	233b			y	1.535	1.552		0.008	0.009	y	y	52	87	1	2	86
Olivin	122			y	1.636	1.879		0.033	0.052	y	y	50	90	0	1	
Omphacit	173			y	1.669	1.689		0.022	0.024	y		64	68	1	2	88
Opal	58	y			1.400	1.460		0.000	0.000							
Orthoklas	229			y	1.518	1.530		0.005	0.007		y	60	82	1	2	
Oxyhornblende	184b			y	1.666	1.762		0.030	0.080		y	60	60	1	2	
Paragonit	198			y	1.564	1.609		0.029	0.036		y	40	70	0	1	
Perowskit	52	y			2.300	2.380		0.000	0.000					0	1	
Phengit	199a			y	1.547	1.612		0.040	0.041		y	24	36	0	1	

Tabelle 1: Minerale in alphabetischer Reihenfolge [y steht jeweils für „ja“ in dieser und in den folgenden Tabellen]

Mineral	Nr. im Tröger	opt. Charakter			Lichtbrechung		anomale Interferenzfarben	Doppelbrechung		Vorz. opt. Charakter		Achsenwinkel 2V°		Spaltbarkeiten		
		isotrop	einachsig	zweiachsig	minimal	maximal		minimal	maximal	positiv	negativ	minimal	maximal	min. Zahl	max. Zahl	Winkel zwischen 2 Syst.°
Phlogopit	201			y	1.522	1.613		0.027	0.045		y	70	90	0	1	
Piemontit	137			y	1.730	1.829		0.035	0.073	y	y	70	90	1	2	64
Pigeonit	166			y	1.682	1.751	y	0.023	0.029	y		0	30	2	3	88
Plagioklas	233			y	1.529	1.588		0.007	0.013	y	y	74	90	1	2	86
Prehnit	158			y	1.611	1.669		0.021	0.039	y		64	68	1	3	80
Pumpellyit	141a			y	1.665	1.722		0.018	0.020	y		10	85	1	2	82
Pyrophyllit	196			y	1.552	1.601		0.045	0.048		y	53	62	0	1	
Quarz	81		y	y	1.544	1.553		0.009	0.009	y		0	10			
Riebeckit	182			y	1.685	1.699		0.004	0.004	y	y	80	90	2	3	56
Rutil	66		y		2.609	2.903		0.286	0.287	y		0	0	1	3	90
Sanidin	228			y	1.518	1.532		0.005	0.007		y	0	60	1	2	
Sapphirin	135			y	1.705	1.724	y	0.006	0.007		y	50	70	0	1	
Sillimanit	191			y	1.657	1.682		0.020	0.022	y		20	30	0	1	
Skapolith	74		y		1.537	1.596		0.002	0.039		y	0	0	1	3	90
Skolezit	237			y	1.509	1.525		0.011	0.012	y		36	58	1	2	88
Sodalithgruppe	63	y			1.483	1.487		0.000	0.000					6	6	60
Spinell	50	y			1.718	2.050		0.000	0.000					1	3	
Spodumen	175			y	1.651	1.681		0.013	0.025	y		54	80	1	2	86
Staurolith	134			y	1.739	1.762		0.013	0.015	y		79	90	0	2	90
Stilpnomelan	211			y	1.543	1.745		0.033	0.111		y	0	40	0	1	
Talk	197		y	y	1.539	1.596		0.046	0.050		y	0	90	0	1	
Thomsonit	236			y	1.497	1.545		0.015	0.020	y		58	76	1	2	
Titanit	142			y	1.885	2.081	y	0.108	0.160	y		22	50	1	2	60
Tremolit/Aktinolith	179			y	1.608	1.704		0.016	0.022		y	74	86	1	2	56
Tridymit	83			y	1.487	1.481		0.004	0.004	y		35	90			
Turmalin	91		y		1.620	1.692		0.019	0.035		y	0	0			
Vesuvian	70		y		1.701	1.732	y	0.004	0.006		y	0	33	0	3	90
Wairakit	061b		y	y	1.498	1.502		0.004	0.004	y	y	0	76			
Wollastonit	161			y	1.618	1.636		0.014	0.014		y	36	42	1	3	70
Xenotim	68	y			1.721	1.827		0.095	0.107	y		0	0	1	2	
Zirkon	69		y		1.848	1.985		0.020	0.059	y		0	10	1	2	
Zoisit	139			y	1.695	1.707	y	0.006	0.007	y		0	50	1	1	

Tabelle 1: Minerale in alphabetischer Reihenfolge (Fortsetzung)

Mineral	Verzwilligungen			Charakter der Hauptzone			Auslöschung			Eigenfarbe							
	ein- fach	polysyn- thetisch	„ge- kreuzt“ ^a	positiv	untypisch (+ oder -)	negativ	gerade	symmetrisch	max. Auslösch- winkel	farblos	pleochr./ gefärbt	rot- braun	orange	gelb	grünlich- blau - grün	blau- violett	rosarot - purpurn
Ägirin	y					y		y	11		y	y		y	y		
Ägirinaugit	y					y	y	y	44		y	y		y	y		
Albit (Hoch-T)	y	y							5	y							
Albit (Tief-T)	y	y							17	y							
Allanit	y				y		y		18	y	y	y		y	y		
Analcim	y						y			y	y				y		
Anatas							y	y	45		y	y	y	y	y	y	
Andalusit						y	y	y		y	y	y		y	y	y	y
Andesin (Hoch-T)	y	y							33	y							
Andesin (Tief-T)	y	y							27	y							
Anhydrit	y					y	y			y							
Anorthit (Hoch-T)	y	y								y							
Anorthit (Tief-T)	y	y								y							
Anorthoklas	y	y	y			y	y		21	y							
Anthophyllit					y		y	y		y	y	y		y	y		
Antigorit	y	y		y			y			y	y			y	y		
Apatit						y	y			y	y	y			y	y	
Aragonit	y					y	y			y							
Augit	y						y	y	43		y			y	y		
Barroisit = Tschermakit	y			y					22					y	y	y	
Baryt	y			y			y	y	12?	y	y	y		y		y	
Biotit	y			y			y		9	y	y	y	y	y	y		
Brookit						y	y	y		y	y	y	y	y	y		
Brucit						y	y			y							
Bytownit (Hoch-T)	y	y							45	y							
Bytownit (Tief-T)	y	y							45	y							
Calcit	y	y	y					y		y	y					y	y
Cancrinit						y	y	y		y	y			y			
Celsian	y								40	y							
Chabasit	y									y							
Chloritoid	y	y				y			21	y	y			y	y	y	

Tabelle 1: Minerale in alphabetischer Reihenfolge (Fortsetzung)

Mineral	Verzwilligungen			Charakter der Hauptzone			Auslöschung			Eigenfarbe							
	ein- fach	polysyn- thetisch	„ge- kreuzt“ ^a	positiv	untypisch (+ oder -)	negativ	gerade	symmetrisch	max. Auslösch- winkel	farblos	pleochr./ gefärbt	rot- braun	orange	gelb	grünlich- blau - grün	blau- violett	rosarot – purpurn
Chondroit		y				y			29	y	y			y			
Chromit	y										y	y					
Chrysotil/Lizardit				y		y	y			y	y		y	y	y		
Cordierit	y						y	y		y	y	y	y	y	y	y	y
Cristobalit	y			y		y				y							
Cummingtonit/ Grunerit	y	y		y			y	y	20	y	y	y		y	y		
Diaspor					y		y	y		y	y	y					
Diopsid/ Hedenbergit	y							y	44	y	y			y	y		
Disthen	y	y		y			y		30	y	y					y	
Dolomit/Ankerit	y	y	y					y		y	y	y					
Enstatit	y			y			y	y		y	y	y		y	y	y	
Epidot/Klinozoisit	y	y			y		y		30	y	y	y		y	y		y
Fe(II)-Chlorite	y			y			y		7	y	y	y		y	y		
Fluorit	y									y	y	y		y	y	y	y
Gedrit				y			y	y			y	y		y	y		
Gibbsit	y				y		y		25	y							
Gips	y				y		y		38	y							
Glaukophan	y			y			y	y	31?	y	y			y	y	y	y
Goethit						y					y	y	y	y	y		
Granatgruppe										y	y	y	y	y	y	y	y
Hämatit	y			y							y	y		y			
Heulandit				y			y		34	y							
Hornblende (Barkevikit)	y			y				y	15		y	y		y			
Hornblende (Hastingsit)	y			y				y	20		y	y		y	y		
Hornblende (Pargasit)				y			y		25	y	y				y		
Humit	y						y			y	y	y		y			
Hypersthen	y			y			y	y		y	y	y		y	y	y	
Jadeit	y						y	y	35	y	y			y	y		
Kaolinit	y			y			y		12	y							

Tabelle 1: Minerale in alphabetischer Reihenfolge (Fortsetzung)

Mineral	Verzwilligungen			Charakter der Hauptzone			Auslöschung			Eigenfarbe							
	ein- fach	polysyn- thetisch	„ge- kreuzt“ ^a	positiv	untypisch (+ oder -)	negativ	gerade	symmetrisch	max. Auslösch- winkel	farblos	pleochr./ gefärbt	rot- braun	orange	gelb	grünlich- blau - grün	blau- violett	rosarot - purpurn
Klinohumit	y	y							15	y	y	y		y			
Korund	y					y				y	y	y		y	y	y	
Labradorit (Hoch-T)	y	y							42	y							
Labradorit (Tief-T)	y	y							42	y							
Larnit	y						y		14	y							
Lawsonit	y					y	y	y		y	y			y		y	
Lepidolith	y			y			y		3	y	y						
Leucit	y		y							y							
Magnetit/Siderit	y	y	y					y		y	y	y			y		
Margarit	y			y			y		13	y							
Mg-Chlorite	y	y		y		y	y		7	y	y			y	y		
Mg-Fe(III)-Chlorite	y			y		y	y		7	y	y	y		y	y		
Mikroklin	y		y			y			18	y							y
Monazit	y						y		11	y	y			y	y		
Monticellit							y			y							
Muskovit	y			y			y		2	y	y	y		y	y		
Natrolith	y			y			y	y		y							
Nephelin							y			y							
Oligoklas (Hoch-T)	y	y					y		21	y							
Oligoklas (Tief-T)	y	y					y		15	y							
Olivin	y						y	y		y	y			y	y		
Omphacit	y						y	y	43	y							
Opal										y	y			y			y
Orthoklas	y					y	y		23	y	y						y
Oxyhornblende	y			y			y				y	y					
Paragonit				y			y			y							
Perowskit	y									y	y					y	
Phengit				y			y			y							
Phlogopit	y			y			y		4	y	y	y		y			
Piemontit	y				y		y		33		y	y	y	y		y	y
Pigeonit	y								44	y	y	y		y	y		y

Tabelle 1: Minerale in alphabetischer Reihenfolge (Fortsetzung)

Mineral	Verzwilligungen			Charakter der Hauptzone			Auslöschung			Eigenfarbe							
	ein- fach	polysyn- thetisch	„ge- kreuzt“ ^a	positiv	untypisch (+ oder -)	negativ	gerade	symmetrisch	max. Auslösch- winkel	farblos	pleochr./ gefärbt	rot- braun	orange	gelb	grünlich- blau - grün	blau- violett	rosarot – purpurn
Plagioklas	y	y	y						45	y							
Prehnit	y	y	y		y		y	y	10?	y	y				y		
Pumpellyit	y				y		y		39	y	y				y		
Pyrophyllit				y			y		10	y							
Quarz				y			y			y	y					y	
Riebeckit	y						y	y	18		y			y	y	y	
Rutil	y	y		y			y	y	45		y	y		y	y	y	
Sanidin	y					y			9	y							
Sapphirin					y		y		14	y	y			y	y	y	y
Sillimanit				y			y	y		y	y	y					
Skapolith						y	y	y		y	y	y		y	y	y	
Skolezit	y					y	y		18	y							
Sodalithgruppe	y									y	y	y		y	y	y	y
Spinell	y									y	y	y		y	y	y	y
Spodumen	y			y			y	y	27	y	y				y		y
Staurolith	y			y			y	y			y	y		y			
Stilpnomelan				y			y		7		y	y		y	y		
Talk	y			y			y		10	y	y				y		
Thomsonit	y				y		y			y							
Titanit	y	y						y	39	y	y	y	y	y	y		
Tremolit/Aktinolith	y			y			y	y	15	y	y	y		y	y		
Tridymit	y					y	y			y							
Turmalin						y	y			y	y	y		y	y	y	y
Vesuvian						y		y		y	y	y		y	y		
Wairakit	y	y	y							y							
Wollastonit	y				y		y		34	y							
Xenotim	y			y			y	y		y	y	y		y	y		y
Zirkon	y			y			y	y		y	y	y		y	y		
Zoisit					y	y	y			y	y			y	y	y	y

a. wie bei Mikroklin

Tabelle 2: Minerale, geordnet nach steigender minimaler Lichtbrechung

Mineral	min.	max.	Mineral	min.	max.	Mineral	min.	max.	Mineral	min.	max.	Mineral	min.	max.
Opal	1.400	1.460	Albit (Hoch-T)	1.528	1.541	Bytownit (Hoch-T)	1.564	1.584	Monticellit	1.641	1.674	Granatgruppe	1.710	1.890
Fluorit	1.434	1.434	Nephelin	1.529	1.547	Paragonit	1.564	1.609	Gedrit	1.642	1.691	Hypersthen	1.712	1.727
Natrolith	1.473	1.501	Plagioklas	1.529	1.588	Gibbsit	1.566	1.589	Cumingtonit/ Grunerit	1.644	1.728	Spinell	1.718	2.050
Chabasit	1.478	1.490	Albit (Tief-T)	1.530	1.544	Anhydrit	1.570	1.614	Hornblende (Barkevikit)	1.646	1.722	Xenotim	1.721	1.827
Sodalithgruppe	1.483	1.487	Cordierit	1.530	1.578	Biotit	1.571	1.697	Hornblende (Hastingsit)	1.646	1.722	Allanit	1.727	1.820
Cristobalit	1.484	1.487	Aragonit	1.530	1.686	Anorthit (Hoch-T)	1.573	1.588	Spodumen	1.651	1.681	Piemontit	1.730	1.829
Analcim	1.486	1.487	Chrysotil/Lizardit	1.532	1.567	Anorthit (Tief-T)	1.573	1.588	Jadeit	1.654	1.665	Staurolith	1.739	1.762
Calcit	1.486	1.658	Oligoklas (Hoch-T)	1.533	1.552	Mg-Fe(III)-Chlorite	1.589	1.615	Enstatit	1.657	1.665	Ägirin	1.750	1.836
Tridymit	1.487	1.481	Oligoklas (Tief-T)	1.535	1.552	Chondrodit	1.593	1.653	Sillimanit	1.657	1.682	Korund	1.759	1.767
Heulandit	1.496	1.505	Skapolith	1.537	1.596	Glaukophan	1.595	1.658	Lawsonit	1.665	1.686	Ägirinaugit	1.774	1.826
Thomsonit	1.497	1.545	Talk	1.539	1.596	Anthophyllit	1.598	1.664	Pumpellyit	1.665	1.722	Monazit	1.774	1.849
Wairakit	1.498	1.502	Stilpnomelan	1.543	1.745	Humit	1.607	1.675	Diopsid/ Hedenbergit	1.665	1.756	Zirkon	1.848	1.985
Cancrinit	1.498	1.524	Quarz	1.544	1.553	Tremolit/Aktinolith	1.608	1.704	Oxyhornblende	1.666	1.762	Titanit	1.885	2.081
Dolomit/Ankerit	1.502	1.698	Andesin (Hoch-T)	1.544	1.562	Prehnit	1.611	1.669	Omphacit	1.669	1.689	Chromit	2.050	2.160
Leucit	1.508	1.509	Andesin (Tief-T)	1.544	1.562	Hornblende (Pargasit)	1.611	1.681	Augit	1.670	1.772	Goethit	2.150	2.415
Skolezit	1.509	1.525	Antigorit	1.546	1.604	Wollastonit	1.618	1.636	Chloritoid	1.682	1.740	Perowskit	2.300	2.380
Magnesit/Siderit	1.509	1.875	Phengit	1.547	1.612	Turmalin	1.620	1.692	Pigeonit	1.682	1.751	Anatas	2.488	2.562
Mikroklin	1.518	1.526	Pyrophyllit	1.552	1.601	Klinohumit	1.623	1.698	Riebeckit	1.685	1.699	Brookit	2.583	2.741
Orthoklas	1.518	1.530	Muskovit	1.552	1.624	Andalusit	1.629	1.651	Zoisit	1.695	1.707	Rutil	2.609	2.903
Sanidin	1.518	1.532	Kaolinit	1.553	1.570	Margarit	1.630	1.650	Epidot/Klinozoisit	1.697	1.776	Hämatit	2.690	3.220
Celsian	1.518	1.595	Labradorit (Tief-T)	1.555	1.573	Apatit	1.631	1.667	Vesuvian	1.701	1.732			
Gips	1.521	1.529	Labradorit (Hoch-T)	1.555	1.573	Fe(II)-Chlorite	1.632	1.675	Diaspor	1.702	1.752			
Anorthoklas	1.522	1.535	Brucit	1.559	1.581	Baryt	1.636	1.648	Sapphirin	1.705	1.724			
Phlogopit	1.522	1.613	Mg-Chlorite	1.562	1.606	Olivin	1.636	1.879	Larnit	1.707	1.730			
Lepidolith	1.524	1.566	Bytownit (Tief-T)	1.564	1.584	Barroisit ≈ Tschemakit	1.640	1.696	Disthen	1.710	1.729			

Die Tabellen 2 – 12 sind zum Identifizieren von Mineralen auf Grund einzelner optischer Eigenschaften gedacht. Hat man damit ein zu identifizierendes Mineral auf einige mögliche Kandidaten eingengt, lassen sich deren andere optische Eigenschaften mit Tabelle 1 aufsuchen.

Tabelle 3: Minerale, geordnet nach steigender minimaler Doppelbrechung

Mineral	min.	max.	Mineral	min.	max.	Mineral	min.	max.	Mineral	min.	max.	Mineral	min.	max.
Chromit	0.000	0.000	Enstatit	0.005	0.008	Bytownit (Tief-T)	0.009	0.012	Hornblende (Pargasit)	0.019	0.021	Muskovit	0.036	0.054
Fluorit	0.000	0.000	Epidot/Klinozoisit	0.005	0.048	Chloritoid	0.010	0.012	Lawsonit	0.019	0.021	Biotit	0.039	0.081
Opal	0.000	0.000	Mikroklin	0.006	0.006	Hypersthen	0.010	0.020	Turmalin	0.019	0.035	Phengit	0.040	0.041
Perowskit	0.000	0.000	Sapphirin	0.006	0.007	Glaukophan	0.010	0.025	Sillimanit	0.020	0.022	Ägirin	0.040	0.060
Sodalithgruppe	0.000	0.000	Zoisit	0.006	0.007	Jadeit	0.011	0.011	Zirkon	0.020	0.059	Anhydrit	0.044	0.044
Spinell	0.000	0.000	Antigorit	0.006	0.009	Skolezit	0.011	0.012	Gibbsit	0.021	0.021	Pyrophyllit	0.045	0.048
Analcim	0.000	0.001	Celsian	0.006	0.010	Anorthit (Hoch-T)	0.011	0.013	Lepidolith	0.021	0.029	Talk	0.046	0.050
Leucit	0.000	0.001	Kaolinit	0.007	0.007	Monticellit	0.011	0.020	Prehnit	0.021	0.039	Diaspor	0.048	0.048
Granatgruppe	0.000	0.004	Andesin (Hoch-T)	0.007	0.008	Baryt	0.012	0.012	Omphacit	0.022	0.024	Monazit	0.049	0.051
Cancrinit	0.001	0.026	Andesin (Tief-T)	0.007	0.008	Natrolith	0.012	0.012	Larnit	0.023	0.023	Anatas	0.073	0.073
Apatit	0.002	0.005	Anorthoklas	0.007	0.008	Anorthit (Tief-T)	0.012	0.013	Pigeonit	0.023	0.029	Goethit	0.080	0.140
Chabasit	0.002	0.005	Chrysozil/Lizardit	0.007	0.013	Margarit	0.012	0.014	Augit	0.024	0.029	Xenotim	0.095	0.107
Mg-Fe(III)-Chlorite	0.002	0.010	Plagioklas	0.007	0.013	Staurolith	0.013	0.015	Allanit	0.024	0.032	Titanit	0.108	0.160
Skapolith	0.002	0.039	Albit (Hoch-T)	0.008	0.008	Spodumen	0.013	0.025	Phlogopit	0.027	0.045	Brookit	0.117	0.158
Cristobalit	0.003	0.003	Labradorit (Hoch-T)	0.008	0.008	Wollastonit	0.014	0.014	Klinohumit	0.028	0.034	Aragonit	0.155	0.156
Nephelin	0.003	0.005	Oligoklas (Hoch-T)	0.008	0.008	Thomsonit	0.015	0.020	Diopsid/Hedenbergit	0.029	0.031	Calcit	0.172	0.172
Mg-Chlorite	0.003	0.012	Korund	0.008	0.009	Brucit	0.015	0.021	Paragonit	0.029	0.036	Dolomit/Ankerit	0.177	0.185
Riebeckit	0.004	0.004	Labradorit (Tief-T)	0.008	0.009	Disthen	0.016	0.017	Chondroit	0.030	0.034	Magnesit/Siderit	0.191	0.199
Tridymit	0.004	0.004	Oligoklas (Tief-T)	0.008	0.009	Gedrit	0.016	0.017	Cummingtonit/ Grunerit	0.030	0.043	Hämatit	0.210	0.280
Wairakit	0.004	0.004	Bytownit (Hoch-T)	0.008	0.011	Hornblende (Barkevikit)	0.016	0.022	Oxyhornblende	0.030	0.080	Rutil	0.286	0.287
Vesuvian	0.004	0.006	Cordierit	0.008	0.018	Hornblende (Hastingsit)	0.016	0.022	Humit	0.032	0.032			
Fe(II)-Chlorite	0.004	0.010	Gips	0.009	0.009	Tremolit/Aktinolith	0.016	0.022	Olivin	0.033	0.052			
Heulandit	0.005	0.006	Quarz	0.009	0.009	Anthophyllit	0.017	0.026	Stilpnomelan	0.033	0.111			
Orthoklas	0.005	0.007	Albit (Tief-T)	0.009	0.010	Pumpellyit	0.018	0.020	Ägirinaugit	0.034	0.052			
Sanidin	0.005	0.007	Andalusit	0.009	0.011	Barroisit = Tschermakit	0.018	0.023	Piemontit	0.035	0.073			

Tabelle 4: Minerale, geordnet nach dem Charakter der Hauptzone^a

Mineral	+	-	untypisch (+ oder -)	Mineral	+	-	untypisch (+ oder -)	Mineral	+	-	untypisch (+ oder -)	Mineral	+	-	untypisch (+ oder -)
Antigorit	y			Muskovit	y			Mg-Chlorite	y	y		Sanidin		y	
Barroisit = Tschermakit	y			Natrolith	y			Mg-Fe(III)- Chlorite	y	y		Skapolith		y	
Baryt	y			Oxyhornblende	y			Ägirin		y		Skolezit		y	
Biotit	y			Paragonit	y			Ägirinaugit		y		Tridymit		y	
Cummingtonit/ Grunerit	y			Phengit	y			Andalusit		y		Turmalin		y	
Disthen	y			Phlogopit	y			Anhydrit		y		Vesuvian		y	
Enstatit	y			Pyrophyllit	y			Anorthoklas		y		Zoisit		y	
Fe(II)-Chlorite	y			Quarz	y			Apatit		y		Allanit			y
Gedrit	y			Rutil	y			Aragonit		y		Anthophyllit			y
Glaukophan	y			Sillimanit	y			Brookit		y		Diaspor			y
Hämatit	y			Spodumen	y			Brucit		y		Epidot/Klinozoisit			y
Heulandit	y			Staurolith	y			Cancrinit		y		Gibbsit			y
Hornblende (Barkevikit)	y			Stilpnomelan	y			Chloritoid		y		Gips			y
Hornblende (Hastingsit)	y			Talk	y			Chondroit		y		Piemontit			y
Hornblende (Pargasit)	y			Tremolit/ Aktinolith	y			Goethit		y		Prehnit			y
Hypersthen	y			Xenotim	y			Korund		y		Pumpellyit			y
Kaolinit	y			Zirkon	y			Lawsonit		y		Sapphirin			y
Lepidolith	y			Chrysotil/Lizardit	y	y		Mikroklin		y		Thomsonit			y
Margarit	y			Cristobalit	y	y		Orthoklas		y		Wollastonit			y

a. „+“ entspricht „length slow, „-“ entspricht „length fast“

Tabelle 5: Minerale, geordnet nach dem Vorzeichen des optischen Charakters^a

Mineral	positiv	Mineral	positiv	negativ	Mineral	positiv	negativ	Mineral	negativ	Mineral	negativ
Albit (Tief-T)	y	Monazit	y		Cordierit	y	y	Antigorit	y	Margarit	y
Anhydrit	y	Natrolith	y		Cummingtonit/ Grunerit	y	y	<i>Apatit</i>	y	Mikroklin	y
Augit	y	Omphacit	y		Epidot/Klinozoisit	y	y	Aragonit	y	Monticellit	y
Baryt	y	Pigeonit	y		Gedrit	y	y	Barroisit = Tschermakit	y	<i>Muskovit</i>	y
Brookit	y	Prehnit	y		Hornblende (Pargasit)	y	y	<i>Biotit</i>	y	<i>Nephelin</i>	y
<i>Brucit</i>	y	Pumpellyit	y		<i>Mg-Chlorite</i>	y	y	Bytownit (Tief-T)	y	Oligoklas (Hoch-T)	y
<i>Chabasit</i>	y	<i>Quarz</i>	y		<i>Mg-Fe(III)-Chlorite</i>	y	y	<i>Calcit</i>	y	Orthoklas	y
Chloritoid	y	<i>Rutil</i>	y		Oligoklas (Tief-T)	y	y	<i>Cancrinit</i>	y	Oxyhornblende	y
Chondroit	y	Sillimanit	y		Olivin	y	y	Celsian	y	Paragonit	y
Diaspor	y	Skolezit	y		Piemontit	y	y	<i>Cristobalit</i>	y	Phengit	y
Diopsid/Hedenbergit	y	Spodumen	y		Plagioklas	y	y	Disthen	y	Phlogopit	y
Enstatit	y	Staurolith	y		Riebeckit	y	y	<i>Dolomit/Ankerit</i>	y	Pyrophyllit	y
<i>Gibbsit</i>	y	Thomsonit	y		<i>Wairakit</i>	y	y	<i>Fe(II)-Chlorite</i>	y	Sanidin	y
Gips	y	Titanit	y		Ägirin		y	Glaukophan	y	Sapphirin	y
Heulandit	y	Tridymit	y		Albit (Hoch-T)		y	<i>Goethit</i>	y	<i>Skapolith</i>	y
Humit	y	Xenotim	y		Allanit		y	<i>Hämatit</i>	y	Stilpnomelan	y
Jadeit	y	<i>Zirkon</i>	y		<i>Analcim</i>		y	Hornblende (Barkevikit)	y	<i>Talk</i>	y
Klinohumit	y	Zoisit	y		<i>Anatas</i>		y	Hornblende (Hastingsit)	y	Tremolit/Aktinolith	y
Labradorit (Hoch-T)	y	Ägirinaugit	y	y	Andalusit		y	Hypersthen	y	<i>Turmalin</i>	y
Labradorit (Tief-T)	y	Andesin (Tief-T)	y	y	Andesin (Hoch-T)		y	Kaolinit	y	<i>Vesuvian</i>	y
Larnit	y	Anthophyllit	y	y	Anorthit (Hoch-T)		y	<i>Korund</i>	y	Wollastonit	y
Lawsonit	y	Bytownit (Hoch-T)	y	y	Anorthit (Tief-T)		y	Lepidolith	y		
<i>Leucit</i>	y	<i>Chrysofil/Lizardit</i>	y	y	Anorthoklas		y	<i>Magnesit/Siderit</i>	y		

a. Die Namen einachsiger Minerale oder zweiachsiger Minerale, die kleine Achsenwinkel aufweisen können, sind *kursiv* gedruckt.

Tabelle 6: Minerale, geordnet nach der Größe des minimalen Achsenwinkels 2V

Mineral	° min.	° max.	Mineral	° min.	° max.	Mineral	° min.	° max.	Mineral	° min.	° max.	Mineral	° min.	° max.
Analcim	0	2	Chrysotil/Lizardit	0	90	Chloritoid	36	70	Anthophyllit	58	90	Labradorit (Hoch-T)	74	85
Brucit	0	4	Fe(II)-Chlorite	0	90	Hornblende (Barkevikit)	40	55	Oxyhornblende	60	60	Tremolit/Aktinolith	74	86
Cancrinit	0	4	Mg-Fe(III)-Chlorite	0	90	Margarit	40	68	Ägirin	60	70	Plagioklas	74	90
Nephelin	0	6	Talk	0	90	Paragonit	40	70	Orthoklas	60	82	Andesin (Hoch-T)	76	90
Quarz	0	10	Monazit	6	19	Anhydrit	42	42	Mikroklin	60	84	Albit (Tief-T)	78	82
Apatit	0	25	Glaukophan	10	70	Augit	42	60	Ägirinaugit	60	90	Lawsonit	78	84
Calcit	0	25	Pumpellyit	10	85	Cordierit	42	90	Klinohumit	62	85	Andesin (Tief-T)	78	90
Goethit	0	27	Aragonit	18	18	Hypersthen	46	64	Omphacit	64	68	Labradorit (Tief-T)	78	90
Brookit	0	30	Sillimanit	20	30	Albit (Hoch-T)	47	53	Prehnit	64	68	Bytownit (Hoch-T)	79	90
Chabasit	0	30	Anorthoklas	20	70	Sapphirin	50	70	Humit	65	84	Bytownit (Tief-T)	79	90
Korund	0	30	Titanit	22	50	Olivin	50	90	Barroisit ≈ Tschermakit	65	90	Staurolith	79	90
Pigeonit	0	30	Lepidolith	22	62	Oligoklas (Tief-T)	52	87	Epidot/Klinozoisit	65	90	Anorthit (Hoch-T)	80	83
Biotit	0	33	Phengit	24	36	Pyrophyllit	53	62	Jadeit	68	72	Anorthit (Tief-T)	80	83
Gibbsit	0	40	Kaolinit	24	50	Spodumen	54	80	Larnit	70	75	Cummingtonit/ Grunerit	80	90
Stilpnomelan	0	40	Antigorit	28	60	Enstatit	54	82	Gedrit	70	80	Riebeckit	80	90
Muskovit	0	50	Hornblende (Hastingsit)	34	90	Diopsid/ Hedenbergit	56	62	Monticellit	70	82	Oligoklas (Hoch-T)	82	80
Zoisit	0	50	Tridymit	35	90	Hornblende (Pargasit)	56	90	Allanit	70	90	Disthen	83	83
Heulandit	0	56	Baryt	36	38	Gips	58	58	Phlogopit	70	90	Andalusit	83	85
Sanidin	0	60	Wollastonit	36	42	Natrolith	58	64	Piemontit	70	90	Diaspor	84	85
Mg-Chlorite	0	70	Skolezit	36	58	Thomsonit	58	76	Chondrodit	73	89	Celsian	86	90

Tabelle 7: Minerale, geordnet nach der maximalen Auslöschungsschiefe (jeweils spitzer Winkel)

Mineral	° max.	Mineral	° max.	Mineral	° max.	Mineral	° max.	Mineral	° max.	Mineral	° max.
Muskovit $\rightarrow(\beta,a)$	2	Pyrophyllit $\rightarrow(\alpha,c)$	10	Oligoklas (Tief-T) $\rightarrow(\alpha,$ Spur von (010))	15	Oligoklas (Hoch-T) $\rightarrow(\alpha,$ Spur von (010))	21	Glaukophan $\rightarrow(\alpha,c)$	31?	Labradorit (Hoch-T) $\rightarrow(\alpha,$ Spur von (010))	42
Lepidolith $\rightarrow(\gamma,a)$	3	Talk $\rightarrow(\alpha,c)$	10	Tremolit/Aktinolith $\rightarrow(\gamma,c)$	15	Barroisit \approx Tschermakit $\rightarrow(\gamma,c)$	22	Andesin (Hoch-T) $\rightarrow(\alpha,$ Spur von (010))	33	Labradorit (Tief-T) $\rightarrow(\alpha,$ Spur von (010))	42
Phlogopit $\rightarrow(\gamma,a)$	4	Ägirin $\rightarrow(\alpha,c)$	11	Albit (Tief-T) $\rightarrow(\alpha,$ Spur von (010))	17	Orthoklas $\rightarrow(\beta,c)$	23	Piemontit $\rightarrow(\gamma,a)$	33	Augit $\rightarrow(\gamma,c)$	43
Albit (Hoch-T) $\rightarrow(\alpha,$ Spur von (010))	5	Monazit $\rightarrow(\beta,a)$	11	Allanit $\rightarrow(\alpha,c)$	18	Hornblende (Pargasit) $\rightarrow(\gamma,c)$	25	Heulandit $\rightarrow(\alpha,a)$	34	Omphacit $\rightarrow(\gamma,c)$	43
Stilpnomelan $\rightarrow(\gamma,c)$	7	Baryt	12?	Mikroklin $\rightarrow(\alpha,a)$	18	Gibbsit $\rightarrow(\beta,a)$	25	Wollastonit $\rightarrow(\alpha,c)$	34	Ägirinaugit $\rightarrow(\gamma,a)$	44
Fe(II)-Chlorite $\rightarrow(\gamma,c)$	7	Kaolinit $\rightarrow(\alpha,c)$	12	Riebeckit $\rightarrow(\gamma,a)$	18	Andesin (Tief-T) $\rightarrow(\alpha,$ Spur von (010))	27	Jadeit $\rightarrow(\gamma,c)$	35	Diopsid/Hedenbergit $\rightarrow(\gamma,c)$	44
Mg-Chlorite $\rightarrow(\gamma,c)$	7	Margarit $\rightarrow(\alpha,c)$	13	Skolezit $\rightarrow(\alpha,c)$	18	Spodumen $\rightarrow(\gamma,c)$	27	Gips $\rightarrow(\alpha,c)$	38	Pigeonit $\rightarrow(\gamma,c)$	44
Mg-Fe(III)-Chlorite $\rightarrow(\gamma,c)$	7	Larnit $\rightarrow(\alpha,c)$	14	Cummingtonit/ Grunerit $\rightarrow(\gamma,c)$	20	Chondrodit $\rightarrow(\alpha,c)$	29	Pumpellyit $\rightarrow(\alpha,a)$	39	Bytownit (Hoch-T) $\rightarrow(\alpha,$ Spur von (010))	45
Sanidin $\rightarrow(\alpha,a)$	9	Sapphirin $\rightarrow(\alpha,a)$	14	Hornblende (Hastingsit) $\rightarrow(\gamma,c)$	20	Disthen $\rightarrow(\gamma,c)$	30	Titanit $\rightarrow(\gamma,c)$	39	Bytownit (Tief-T) $\rightarrow(\alpha,$ Spur von (010))	45
Biotit $\rightarrow(\gamma,a)$	9	Hornblende (Barkevikit) $\rightarrow(\gamma,c)$	15	Anorthoklas $\rightarrow(\beta,c)$	21	Epidot/Klinozoisit $\rightarrow(\gamma,a)$	30	Celsian $\rightarrow(\alpha,a)$	40	Plagioklas $\rightarrow(\alpha,$ Spur von (010))	45
Prehnit	10?	Klinohumit $\rightarrow(\alpha,c)$	15	Chloritoid $\rightarrow(\gamma,c)$	21						

Tabelle 8: Minerale mit anomalen Interferenzfarben

Mineral	anomale Interferenzfarben	Mineral	anomale Interferenzfarben
Ägirinaugit	y	Mg-Fe(III)-Chlorite	y
Augit	y	Pigeonit	y
Brookit	y	Sapphirin	y
Chloritoid	y	Titanit	y
Epidot/Klinozoisit	y	Vesuvian	y
Fe(II)-Chlorite	y	Zoisit	y
Mg-Chlorite	y		

Tabelle 9: Minerale, die im Dünnschliff farblos sind oder zumindest sein können

Mineral	kann auch farbig sein	Mineral	kann auch farbig sein	Mineral	kann auch farbig sein	Mineral	kann auch farbig sein	Mineral	kann auch farbig sein
Albit (Hoch-T)		Calcit	y	Granatgruppe	y	Monticellit		Sapphirin	y
Albit (Tief-T)		Cancrinit	y	Heulandit		Muskovit	y	Sillimanit	y
Allanit	y	Celsian		Hornblende (Pargasit)	y	Natrolith		Skapolith	y
Analcim	y	Chabasit		Humit	y	Nephelin		Skolezit	
Andalusit	y	Chloritoid	y	Hypersthen	y	Oligoklas (Hoch-T)		Sodalithgruppe	y
Andesin (Hoch-T)		Chondroit	y	Jadeit	y	Oligoklas (Tief-T)		Spinell	y
Andesin (Tief-T)		Chrysotil/Lizardit	y	Kaolinit		Olivin	y	Spodumen	y
Anhydrit		Cordierit	y	Klinohumit	y	Omphacit		Talk	y
Anorthit (Hoch-T)		Cristobalit		Korund	y	Opal	y	Thomsonit	
Anorthit (Tief-T)		Cummingtonit/ Grunerit	y	Labradorit (Hoch-T)		Orthoklas	y	Titanit	y
Anorthoklas		Diaspor	y	Labradorit (Tief-T)		Paragonit		Tremolit/Aktinolith	y
Anthophyllit	y	Diopsid/ Hedenbergit	y	Larnit		Perowskit	y	Tridymit	
Antigorit	y	Disthen	y	Lawsonit	y	Phengit		Turmalin	y
Apatit	y	Dolomit/Ankerit	y	Lepidolith	y	Phlogopit	y	Vesuvian	y
Aragonit		Enstatit	y	Leucit		Pigeonit	y	Wairakit	
Baryt	y	Epidot/Klinozoisit	y	Magnesit/Siderit	y	Plagioklas		Wollastonit	
Biotit	y	Fe(II)-Chlorite	y	Margarit		Prehnit	y	Xenotim	y
Brookit	y	Fluorit	y	Mg-Chlorite	y	Pumpellyit	y	Zirkon	y
Brucit		Gibbsit		Mg-Fe(III)-Chlorite	y	Pyrophyllit		Zoisit	y
Bytownit (Hoch-T)		Gips		Mikroclin		Quarz	y		
Bytownit (Tief-T)		Glaukophan	y	Monazit	y	Sanidin			

Tabelle 10: Minerale, die im Dünnschliff rötliche Eigenfarben zeigen können

Mineral	Farbton			Mineral	Farbton			Mineral	Farbton		
	rötlich – bräunlich	orange	rosarot – purpurn		rötlich – bräunlich	orange	rosarot – purpurn		rötlich – bräunlich	orange	rosarot – purpurn
Ägirin	y			Fluorit	y		y	Piemontit	y	y	y
Ägirinaugit	y			Gedrit	y			Pigeonit	y		y
Allanit	y			Glaukophan			y	Rutil	y		
Anatas	y	y		Goethit	y	y		Sapphirin			y
Andalusit	y		y	Granatgruppe	y	y	y	Sillimanit	y		
Anthophyllit	y			Hämatit	y			Skapolith	y		
Apatit	y			Hornblende (Barkevikit)	y			Sodalithgruppe	y		y
Baryt	y			Hornblende (Hastingsit)	y			Spinell	y		y
Biotit	y	y		Humit	y			Spodumen			y
Brookit	y	y		Hypersthen	y			Staurolith	y		
Calcit			y	Klinohumit	y			Stilpnomelan	y		
Chromit	y			Korund	y			Titanit	y	y	
Chrysotil/Lizardit		y		Magnesit/Siderit	y			Tremolit/Aktinolith	y		
Cordierit	y	y	y	Mg-Fe(III)-Chlorite	y			Turmalin	y		y
Cummingtonit/ Grunerit	y			Mikroklin			y	Vesuvian	y		
Diaspor	y			Muskovit	y			Xenotim	y		y
Dolomit/Ankerit	y			Opal			y	Zirkon	y		
Enstatit	y			Orthoklas			y	Zoisit			y
Epidot/Klinozoisit	y		y	Oxyhornblende	y						
Fe(II)-Chlorite	y			Phlogopit	y						

Tabelle 11: Minerale, die im Dünnschliff gelbliche Eigenfarbe zeigen können

Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral	Mineral
Ägirin	Augit	Chondroit	Fe(II)-Chlorite	Hornblende (Barkevikit)	Lawsonit	Phlogopit	Sodalithgruppe	Vesuvian
Ägirinaugit	Barroisit = Tschermakit	Chrysotil/Lizardit	Fluorit	Hornblende (Hastingsit)	Mg-Chlorite	Piemontit	Spinell	Xenotim
Allanit	Baryt	Cordierit	Gedrit	Humit	Mg-Fe(III)-Chlorite	Pigeonit	Staurolith	Zirkon
Anatas	Biotit	Cummingtonit/ Grunerit	Glaukophan	Hypersthen	Monazit	Riebeckit	Stilpnomelan	Zoisit
Andalusit	Brookit	Diopsid/Hedenbergit	Goethit	Jadeit	Muskovit	Rutil	Titanit	
Anthophyllit	Cancrinit	Enstatit	Granatgruppe	Klinohumit	Olivin	Sapphirin	Tremolit/Aktinolith	
Antigorit	Chloritoid	Epidot/Klinozoisit	Hämatit	Korund	Opal	Skapolith	Turmalin	

Tabelle 12: Minerale, die im Dünnschliff grünliche oder bläuliche Eigenfarben zeigen können

Mineral	Farbton		Mineral	Farbton		Mineral	Farbton		Mineral	Farbton		Mineral	Farbton	
	grünlich-blau bis grün	blauviolett		grünlich-blau bis grün	blauviolett		grünlich-blau bis grün	blauviolett		grünlich-blau bis grün	blauviolett		grünlich-blau bis grün	blauviolett
Ägirin	y		Brookit	y		Glaukophan	y	y	Muskovit	y		Spinell	y	y
Ägirinaugit	y		Calcit		y	Goethit	y		Olivin	y		Spodumen	y	
Allanit	y		Chloritoid	y	y	Granatgruppe	y	y	Perowskit		y	Staurolith		
Analcim	y		Chrysotil/Lizardit	y		Hornblende (Hastingsit)	y		Piemontit		y	Stilpnomelan	y	
Anatas	y	y	Cordierit	y	y	Hornblende (Pargasit)	y		Pigeonit	y		Talk	y	
Andalusit	y	y	Cummingtonit/ Grunerit	y		Hypersthen	y	y	Prehnit	y		Titanit	y	
Anthophyllit	y		Diopsid/ Hedenbergit	y		Jadeit	y		Pumpellyit	y		Tremolit/Aktinolith	y	
Antigorit	y		Disthen		y	Korund	y	y	Quarz		y	Turmalin	y	y
Äpatit	y	y	Enstatit	y	y	Lawsonit		y	Riebeckit	y	y	Vesuvian	y	
Augit	y		Epidot/Klinozoisit	y		Magnesit/Siderit	y		Rutil	y	y	Xenotim	y	
Barroisit = Tschermakit	y	y	Fe(II)-Chlorite	y		Mg-Chlorite	y		Sapphirin	y	y	Zirkon	y	
Baryt		y	Fluorit	y	y	Mg-Fe(III)-Chlorite	y		Skapolith	y	y	Zoisit	y	y
Biotit	y		Gedrit	y		Monazit	y		Sodalithgruppe	y	y			

	Seite		Seite
A			
Absorption, Definition	5	Aragonit	23, 63, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xv
Adular	83	Arfvedsonit	52, 59–60, 82
Ägirin 18, 19, 20, 30, 60, 112, 116–117, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xvi, xvii		Asbestminerale	53, 60, 120, 122
Ägirinaugit 18, 19, 20, 29, 60, 80, 82, 112, 113, 116, 116–117, 126, 129, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xvi, xvii		Augit 96, 105, 111, 113, 114, 114–115, i, v, ix, x, xii, xiii, xiv, xvii	
Åkermanit	27	Auslöschungsschiefe, Definition	10
Akmit	116–117	Auslöschungswinkel, Definition	10
Aktinolith 49, 54–55, 61, 66, 72, 74, 87, 106, 107, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii		B	
Al ₂ SiO ₅ -Gruppe	43–48	Barkevikit	ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xvi, xvii
Albit 57, 67, 72, 74, 81, 84, 93, 96, 102, 106, 107, 118, i, v, ix, x, xii, xiii, xiv, xv		Barroisit	51, 61, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xvii
Albitzwillinge	79	Baryt	62, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
Alkalibasalte	114	Basalte	58, 62, 106, 114
Alkalifeldspäte	29, 35, 77–83, 87, 129	Basanite	30, 105, 113, 115, 116
Alkaligabbros	116	Basite	21, 26, 63
Alkaligranite	16, 117	Bastit	111
Alkaliolivinbasalte	105, 113, 116	Bavalit	65
Alkalirhyolithe	60, 82	Bavenoer Zwillinge	79
Alkalisyenite	117	Becke-Linie	8
Alkalitrachyte	117	Beryll	22–23, 39, 98, 119
Allanit	74–75, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii	beta-Cristobalit	32
Almandin	16–18, 57, 61, 67, 96	beta-Quarz	32
Alnöite	103	beta-Tridymit	32
alpha-Cristobalit	32	Biotit 18, 22, 33, 42, 45, 46, 48, 54, 57, 58, 60, 66, 67, 69, 70, 74, 75, 80, 81, 83, 87, 93, 95–96, 120, 123, 126, 129, 131, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii	
alpha-Quarz	32	birds eye structure	93
alpha-Tridymit	32	Bisectrix, spitze	13
Amiant	54	Blauasbest	60
Amosit	53	Blauschiefer	36, 55, 61, 67, 72, 74, 94, 95, 107, 124, 126
Amphibole	31, 38, 66, 73, 74, 87	Bøggildlücke	77, 84
Amphibolgruppe	49–61	Bowlingit	105
Amphibolite	38, 53, 54, 57, 72, 75, 126	Brechungsindex, Definition	5
Analcim	29, 35, i, v, ix, x, xii, xiii, xv, xvii	Bronzit	109, 110, 122
Anatas	32, i, v, ix, x, xii, xvi, xvii	Brookit	32, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
Andalusit 43–45, 46, 48, 66, 69, 123, 131, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvi, xvii		Brucit	i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xv
Andesin	81, 84, i, v, ix, x, xii, xiii, xiv, xv	Bytownit	84, i, v, ix, x, xii, xiii, xiv, xv
Andesite	58, 69, 115	C	
Andradit	16–18, 103	Calcit 18, 20, 23, 24–25, 37, 38, 39, 41, 55, 62, 63, 72, 74, 87, 90, 91, 97, 100, 106, 107, 114, 124, 126, 131, i, v, ix, x, xii, xiii, xv, xvi, xvii	
Anhydrit	62, 90, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xv	Cancrinit	i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvii
Ankerit	ii, vi, ix, x, xii, xv, xvi	Cassiterit	40–41
Annit	95	Celsian	76, i, v, ix, x, xii, xiii, xiv, xv
anomale Interferenzfarben	6	Chabasit	ii, v, ix, x, xii, xiii, xv
Anorthit	84, i, v, ix, x, xii, xiii, xv	Chagrin, Definition	8
Anorthoklas	82, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv	Chalcedon	32, 34, 35
Anorthosite	85	Chialolith	44, 45
Anthophyllit	49, 52–53, 54, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvi, xvii	Chlorit	18, 32, 53, 54, 55, 57, 58, 61, 64–66, 67, 69, 72, 74, 87, 91, 93, 95, 96, 101, 106, 107, 118, 122, 124, 125, 131, ii, iii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
Antigorit	55, 120–122, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvii	Chloritoid 46, 66, 66–68, 93, 95, 101, 123, 124, ii, v, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvii	
Apatit 20, 22, 39, 42, 126, 129, 131, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvi, xvii			
Aphrosiderit	65		

	Seite
Chloritschiefer	25, 66
Chondrodit	99, ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvii
Chromdiopsid	114
Chromit	21, 122, ii, vi, ix, x, xvi
Chrysolith	104
Chrysotil	91, 120–122, ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvi, xvii
Coesit	32, 35–36
Cordierit	26, 31, 45, 46, 48, 53, 54, 66, 68–70, 111, 123, 131, ii, vi, ix, x, xii, xiii, xv, xvi, xvii
Cristobalit	35, 35, ii, vi, ix, x, xi, xii, xv
Crossit	60, 61, 107
Cumingtonit	53–54, 55, ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
D	
Dannemorit	49
Dazite	85
Diabantit	65
Diabase	66, 106, 111
Diaspor	ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvi
Diopsid	18, 37, 38, 55, 59, 72, 97, 111, 113–114, 122, 126, 131, ii, vi, ix, x, xii, xiii, xiv, xv, xvii
Diorite	75, 126
Diskquarz	34
Dispersion der Auslöschung	7
Dispersion der optischen Achsen	10
Dispersion, Definition	5
Disthen	26, 31, 45–46, 48, 71, 96, 117, 118, 131, ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvii
Dolomit	23, 25, 55, 62, 90, 100, 125, ii, vi, ix, x, xii, xv, xvi
dolomitische Sedimente	25
Doppelbrechung, Definition	6
Dora Maira	35, 36
Dravit	38–39
Durchkreuzungszwillinge	122
E	
Eckermannit	52, 59–60
Edenit	50, 56–57
Eisensteine	124
Eklogite	18, 31, 36, 46, 55, 71, 72, 94, 117
Elbait	38–39
Enstatit	97, 109–111, 122, ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvi, xvii
Epidot	39, 55, 57, 61, 66, 72, 73–74, 75, 87, 96, 106, 107, 118, 125, 126, 131, ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
Epidotgruppe	70–75
Erzgänge	25
Essenenit	112
Essexite	30
Evaporite	62, 90
F	
Faserasbest	120
Fassait	39, 126
Fayalit	104–105

B

	Seite
Fe(II)-Chlorit	ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
Feldspäte	42, 57, 69, 76–89, 93, 96, 103, 108
Fe-Oxide	54, 66, 124
Ferrosilit	109–111
Fibrolith	47, 69
Fließquarz	33
Fluorit	16, 35, 39, 41, 60, 75, ii, vi, ix, x, xv, xvi, xvii
Flußspat	16
Foide	114, 116
foidführende Pegmatite	20
Foidite	21, 97
Forsterit	55, 59, 100, 104–105, 114
Fruchtschiefer	45, 68, 69
Fuchsit	93
G	
Gabbronorite	111
Gabbros	66, 69, 105, 111, 115, 122
Gahnit	21
Gangunterschied, Definition	7
Garbenschiefer	55
Gedrit	49, 52–53, ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xvi, xvii
Gehlenit	27
Gibbsit	ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv
Gips	62, 90, 90, ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv
Glas	58, 82
Glaukonit	91
Glaukophan	52, 61, 67, 74, 94, 95, 102, 107, 124, 131, ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
Glaukophanschiefer	61, 67, 102, 107, 118
Glimmer	92–98
Glimmerschiefer	18, 23, 45, 46, 48, 123
Gneise	46, 48, 53, 54, 69, 70, 72, 73, 75, 94, 96
Goethit	ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xvi, xvii
Granate	26, 31, 36, 38, 45, 46, 48, 53, 54, 55, 57, 59, 61, 66, 67, 69, 74, 96, 105, 111, 117, 120, 123, 124, 131
Granatgruppe	16–18, ii, vi, ix, x, xv, xvi, xvii
Granite	16, 18, 23, 33, 38, 41, 69, 75, 81, 82, 83, 87, 93, 96
Granitgneise	53, 126
Granitoide	42
Granitpegmatite	98
Granodiorite	73, 75, 81, 83, 93, 115, 126
Granophyre	34
Granulite	17, 21, 30, 34, 38, 46, 69, 72, 111, 120
Grauwacke	106
Greisen	98
Grochaut	65
Grossular	16–18, 39, 100, 106, 114, 126
Grunerit	49, 53–54, ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
Grünsande	91
Grünschiefer	55
H	
Halit	62, 90

	Seite
Hämatit	58, ii, vi, ix, x, xi, xii, xvi, xvii
Hastingsit	50, 56–57 , 60, ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xvi, xvii
Hauptzone, optischer Charakter	14
Hauyn	20
Hedenbergit	111, 113–114 , ii, vi, ix, x, xii, xiii, xiv, xv, xvii
Hellglimmer	66, 74
Hercynit	21
Heulandit	ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv
Hochalbit	84
Hochcristobalit	32
Hochquarz	32
Hochtridymit	32
Hohlraumfüllungen	106
Holmquistit	49
Hornblende	22, 42, 46, 51, 53, 54, 56–57 , 61, 66, 72, 75, 80, 81, 83, 96, 114, 115, 126, 129, 131, ii, iii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
Hornblendegneise	57
Hornfelse	45, 53, 54, 73
Hortonolith	104
Humit	99, iii, vi, ix, x, xii, xiii, xv, xvi, xvii
Humitgruppe	99–100
Huttenlocherlücke	84
Hyalosiderit	104
hydrothermale Gänge	25, 72
Hypersthen	96, 115, iii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvi, xvii
I–J	
Iddingsit	105
Idokras	39
Illit	62
Ilmenit	26, 69
Indikatrix, Definition	8
Interferenz	5
intermediäre Vulkanite	106
Isochromate	12
Isogyre	12
Jacobsit	21
Jadeit	61, 74, 102, 112, 118 , 125, 131, iii, vi, ix, x, xii, xiii, xiv, xv, xvii
Johannsenit	111
K	
Kaersutit	51, 58
Kalifeldspat	41, 48, 60, 76–83 , 93, 119, 126
Kalkkaliandesite	111
Kalke	59, 91, 100
Kalksilikatfelse	55, 72, 73, 114
Kalksilikatschiefer	114
Kalksteine	25
Kalzit (siehe auch Calcit)	24–25
Kanoit	111
Kaolinit	23, iii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv
Karbonate	23–25 , 54, 61, 66, 91

	Seite
Karbonatite	20, 25, 97, 100, 103
Karlsbader Zwillinge	79
Karpholith	101 , 108
Katophorit	51, 60
Katungit	28
Kelyphit	18
kieselige Marmore	126
Kimberlite	36, 97, 100, 103
Kink Bands	105
Kirschsteinit	103
klastische Sedimente	41, 42
Klinochlor	64, 65
Klinoenstatit	111
Klinoferrosilit	111
Klinohumit	99, iii, vii, ix, x, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
Klinopyroxene	19, 22, 111, 111–119 , 129
Klinozoisit	61, 72, 72–73 , 94, 114, 125, ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
Kluftfüllungen	35, 63, 66, 91, 106
Knotenschiefer	45, 69
Kontaktmetamorphite	18, 21, 26, 39, 45, 75, 106, 111
Koppit	19–20
Korund	26, 31, 67, 69, 108, iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvi, xvii
Kosmochlor	112
Kozulit	52
K-reiche Plutonite	18
Krokydolith	60

L

Labradorit	77, 84, iii, vii, ix, x, xii, xiii, xiv, xv
Larnit	iii, vii, ix, x, xii, xiii, xiv, xv
Larvikit	83
Latite	58, 82
Lawsonit	61, 74, 94, 102 , 107, 118, iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvii
length fast	14
length slow	14
Lepidolith	39, 93, 97–98 , 98, 119, iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv
Lepidomelan	95
Leucit	18, 18–19 , 20, 30, 35, 97, 105, 113, 117, 129, iii, vii, ix, x, xii, xv
Leucitite	18
Leucittephrite	18
Leukoxen	126
Lithiumglimmer	23, 41
Lizardit	120–122 , ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvi, xvii

M

Mafite	114
magmatische Karbonatite	25
Magnesiochromit	21
Magnesiocummingtonit	49
Magnesioferrit	21
Magnesit	23, 25 , 122, 125, iii, vii, ix, x, xii, xv, xvi, xvii

	Seite		Seite
Magnetit	21, 26, 54, 58, 122, 125		
Manebacher Zwillinge	79		
Margarit	iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv		
Marialith	37–38		
Marmore	21, 23, 25, 38, 55, 57, 63, 72, 73, 97, 103, 115, 126		
Mejonit	37–38		
Melanit	16, 18, 19, 20, 30, 117		
Melatop	12		
Melilith	97, 103, 116		
Melilithgruppe	27–28		
Mergel	91, 106		
Meroxen	95		
Metabasalt	123		
Metabauxite	123		
Metagrauwacken	118, 124		
metamorphe Dolomite	105		
metamorphe Marmore	25		
metamorphe Schiefer	72, 73, 75, 93		
Metapelite	26, 67, 69, 95, 96, 108, 123, 124		
Mg-Chlorit	iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvii		
Mg-Fe(III)-Chlorit	iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii		
Michel-Lévy-Tafel, Gebrauch	15		
Mikroklin	74, 81, 82–83 , iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi		
Mikroklinperthit	83		
Mittelnahrt	27		
Monalbit	84		
Monazit	75, iii, vii, ix, x, xii, xiii, xiv, xv, xvii		
Monticellit	100, 103 , 126, iii, vii, ix, x, xii, xiii, xv		
Monzodiorite	58		
Monzonite	58, 126		
Monzosyenite	42		
Mosaikquarz	33		
Muskovit	18, 23, 33, 45, 46, 48, 61, 66, 69, 74, 81, 87, 93 , 95, 96, 98, 123, 129, iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii		
Myrmekit	34		
N			
Natriumamphibole	117		
Natrolith	iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xv		
Nephelin	18, 19, 20, 29–30 , 35, 60, 80, 82, 97, 113, 117, 126, 129, iii, vii, ix, x, xii, xiii, xv		
Nephelingabbros	30		
Nephelinite	113, 116		
Nephelinsyenite	16, 21, 26, 30, 42, 60		
Nephrit	54		
Norbergit	99		
Norite	110, 111		
Nosean	20, 129		
O			
Oligoklas	74, 84, iii, vii, ix, x, xii, xiii, xiv, xv		
Olivin	18, 19, 20, 21, 28, 30, 57, 87, 97, 100, 104–105 , 111, 113, 114, 115, 116, 122, 125, 129, iii, vii, ix, x, xii, xiii, xv, xvii		
Omphacit	18, 36, 61, 71, 94, 112, 117 , iii, vii, ix, x, xii, xiii, xiv, xv		
Ooide	24		
oolithische Eisensteine	25		
opak	3		
Opal	iii, vii, ix, x, xv, xvi, xvii		
optische Achsenebene	14		
optischer Charakter	9, 11		
Orthit	74–75		
Orthoklas	80–81 , iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi		
Orthopyroxene	69, 109–111 , 114, 129		
Osumilith	30–31		
Oxyhornblende	57–58 , iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xvi		
P–Q			
Palisadenquarz	36		
Paragonit	94–95 , iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xv		
Pargasit	50, 56–57 , ii, vi, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvii		
Pegmatite	23, 39, 41, 75, 83, 93, 119		
Pennin	64, 65		
Peridotit	105		
Peridotite	25, 57, 97, 100, 105, 122		
Periklinzwillinge	79		
Peristeritlücke	84		
Perlmutter	63		
Perowskit	116, iii, vii, ix, x, xv, xvii		
Perthit	129		
Pflockstruktur	27		
Phengit	94 , 117, 124, iii, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xv		
Phlogopit	20, 38, 93, 97 , iv, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii		
Phonolithe	18, 21, 60, 80, 82, 117, 126		
Phyllite	66, 73, 94		
Phyllosilikate	45, 46, 53		
Picotit	21		
Piemontit	73, iv, vii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xvi, xvii		
Pigeonit	111, 112–113 , iv, vii, ix, x, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii		
Pikrite	105		
Pinit	69		
Pistazit	73		
Plagioklas	48, 53, 54, 58, 60, 72, 73, 80, 83, 84–89 , 96, 105, 106, 111, 113, 114, 115, 126, 129, iv, viii, ix, x, xii, xiii, xiv, xv		
pleochroitische Höfe	22, 42, 45, 57, 58, 69, 75, 96		
Polarisation, Definition	5		
Prehnit	39, 105–106 , 107, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvii		
Propylitisierung	87		
Pumpellyit	61, 74, 102, 107 , 118, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvii		
Pumpellyit-Chlorit-Zone	107		
Pumpellyit-Prehnit-Zone	107		
Pyknochlorit	65		
Pyrit	91		

	Seite		Seite
Pyrochlor.....	19–20	Smaragdit.....	55
Pyrop.....	16–18, 36, 97	Smirgel.....	67
Pyrophyllit.....	101, 108, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv	Sodalithe.....	18, 20, 29, 35, 80, 113, 117
Pyropquarzit.....	35, 36	Sodalithgruppe.....	19, 20–21, iv, viii, ix, x, xv, xvi, xvii
Pyroxene.....	18, 38, 57, 58, 66, 73, 74, 80, 81, 83, 87, 105, 109–119, 125	Sodalithsyenite.....	21
Pyroxenite.....	122	Spessartin.....	16–18
Quarz.....	16, 18, 19, 20, 23, 26, 30, 31, 32–34, 35, 41, 42, 44, 45, 46, 54, 55, 57, 60, 67, 69, 74, 80, 81, 82, 83, 87, 91, 93, 96, 98, 101, 105, 107, 108, 111, 117, 118, 119, 124, 129, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvii	Sphen.....	125–126
Quarzin.....	32	Spilite.....	66
Quarzite.....	66, 73, 118, 123	Spinell.....	21, 26, 31, 48, 67, 69, 105, 111, iv, viii, ix, x, xv, xvi, xvii
R			
Regionalmetamorphite.....	18, 45	Spinellgruppe.....	21
Relief, Definition.....	8	Spinifex-Textur.....	104
Rhipidolith.....	65	Spodumen.....	39, 98, 112, 119, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
Rhyodazite.....	80, 115	Spurrit.....	103
Rhyolithe.....	18, 69, 80	Staurolith.....	45, 46, 48, 66, 67, 69, 96, 122–123, 131, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xvi, xvii
Richterit.....	51, 59	Stilpnomelan.....	107, 123–124, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xvi, xvii
Riebeckit.....	52, 59–60, 124, iv, viii, ix, x, xii, xiii, xiv, xvii	Stishovit.....	32
Rosenbuschit.....	60	subalkalische Gesteine.....	113
Rutil.....	26, 31–32, 46, 57, 61, 94, 117, iv, viii, ix, x, xi, xii, xvi, xvii	Subvulkanite.....	82
S			
Sagenitgitter.....	31, 96	Sulfidlagerstätten.....	62, 90
Sanduhrstruktur.....	115	Syenit.....	60
Sanidin.....	80, 117, 126, 129, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv	Syenite.....	16, 22, 23, 26, 58, 60, 75, 81, 83, 126
Sanidinite.....	20	Sylvin.....	62, 90
Saponit.....	91	Szintillieren in Auslöschungsstellung.....	93
Sapphirin.....	119–120, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii	T	
Saussuritisierung.....	87	Talk.....	53, 54, 55, 66, 122, 124, 124–125, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvii
Scheibenquarz.....	34	Talkschiefer.....	25, 53, 55, 100, 125
Schlackenkränzchen.....	18	Taramit.....	51
Schörl.....	38–39	Tephrite.....	18, 21, 113, 116
Schriftgranite.....	34	Thermen.....	63
Schröder van der Kolk-Methode.....	8	Tholeiite.....	114, 115
Sedimente.....	41	Thomsonit.....	iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xv
Seladonit.....	91	Thulit.....	71, 72
Sericit.....	45, 46, 47, 67, 69, 72, 87, 93, 95, 107, 108, 123, 124	Tiefalbit.....	84
Serpentinite.....	39, 55, 100, 125	Tiefcrystalit.....	32
Serpentinminerale.....	18, 53, 66, 100, 120–122, 125, 131	Tiefquarz.....	32
Shonkinite.....	60	Tieftridymit.....	32
Siderit.....	23, 25, 124, iii, vii, ix, x, xii, xv, xvi, xvii	Tinguait.....	18
Siderophyllit.....	95	Tirodit.....	49
Siebstruktur.....	44, 46, 123	Titanaugit.....	20, 30, 58, 116, 129
Sillimanit.....	26, 46, 46–48, 53, 69, 70, 123, 131, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xv, xvi	Titanit.....	32, 39, 57, 58, 61, 74, 75, 96, 107, 124, 125–126, 131, iv, viii, ix, x, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii
SiO ₂ -Minerale.....	32–36	Tonalit.....	86
Skapolith.....	37–38, iv, viii, ix, x, xi, xii, xv, xvi, xvii	Tonalite.....	73
Skarne.....	38, 39, 57, 59, 73, 100, 114, 126	Toneisensteine.....	25
Skolezit.....	iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv	Tonminerale.....	66, 67, 91, 108
Smaragd.....	23	Topas.....	16, 23, 39, 41, 98
		Trachyandesite.....	58
		Trachybasalte.....	58
		Trachyte.....	58, 60, 80, 82

	Seite	Seite
Tremolit	49, 54–55, 100, 125, 131, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii	
Tridymit	34–35, 35, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xv	
Tschermakit	51, 56–57, i, v, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xvii	
Turmalin	16, 23, 26, 38, 41, 75, 93, 98, 119, 129, iv, viii, ix, x, xi, xii, xv, xvi, xvii	
Turmalinsonnen		39
U–V		
übernormale Interferenzfarben		6
Ultramafite		53, 100, 111, 114
Ulvöspinell		21
undulöse Auslöschung		33, 105
Unterkrustenxenolithe		26
unternormale Interferenzfarben		6
untersättigte Magmatite		21, 30
untersättigte Vulkanite		18
Uralit		54
Uwarowit		16–18
Verzwillingung, Feldspäte		78
Vesuvian	18, 38, 39–40, 74, 103, 114, 126, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiv, xv, xvi, xvii	
vulkanische Exhalationen		90
W–Z		
Wairakit	iv, viii, ix, x, xii, xv	
Wiluit		39
Winchit		51
Wolframit		98
Wollastonit	18, 39, 100, 114, 126–127, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv	
Xenotim	iv, viii, ix, x, xi, xii, xv, xvi, xvii	
Zeolithe	29, 35, 91, 106	
Zinnstein	23, 39, 40–41, 98	
Zinnwaldit		98
Zirkon	41–42, 69, iv, viii, ix, x, xi, xii, xv, xvi, xvii	
Zoisit	61, 70–72, 106, 108, 117, iv, viii, ix, x, xi, xii, xiii, xiv, xv, xvi, xvii	
Zonarbau, Plagioklase		86
Zonenmethode nach Rittmann		88