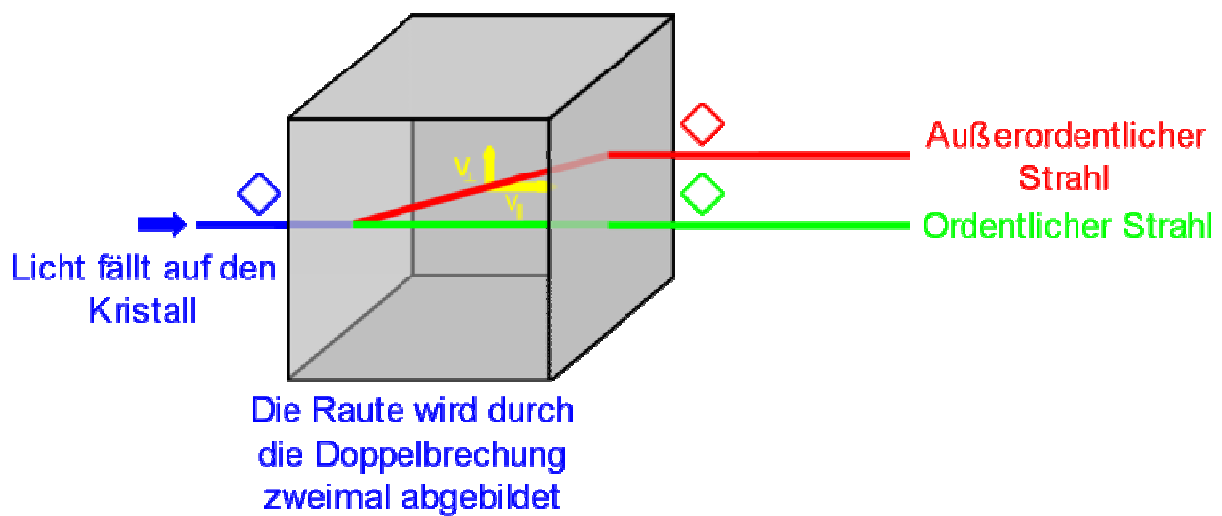


Doppelbrechung

Die Doppelbrechung

Als **Doppelbrechung** (engl. *birefringence*) wird in der Optik die Eigenschaft von nichtkubischen (optisch anisotropen) Materialien bezeichnet, ein Lichtbündel in zwei senkrecht zueinander polarisierte Teilbündel aufzuspalten. Die Ursache dieses Effekts liegt in unterschiedlichen Brechzahlen (n_o und n_{ao}) in Abhängigkeit von der Ausbreitungsrichtung und Polarisation des Lichtes. Ein prominentes Beispiel für ein solches Material ist Calcit (Kalkspat). Die Doppelbrechung wurde 1669 von Erasmus Bartholin am Doppelspat (Kalkspat) entdeckt.



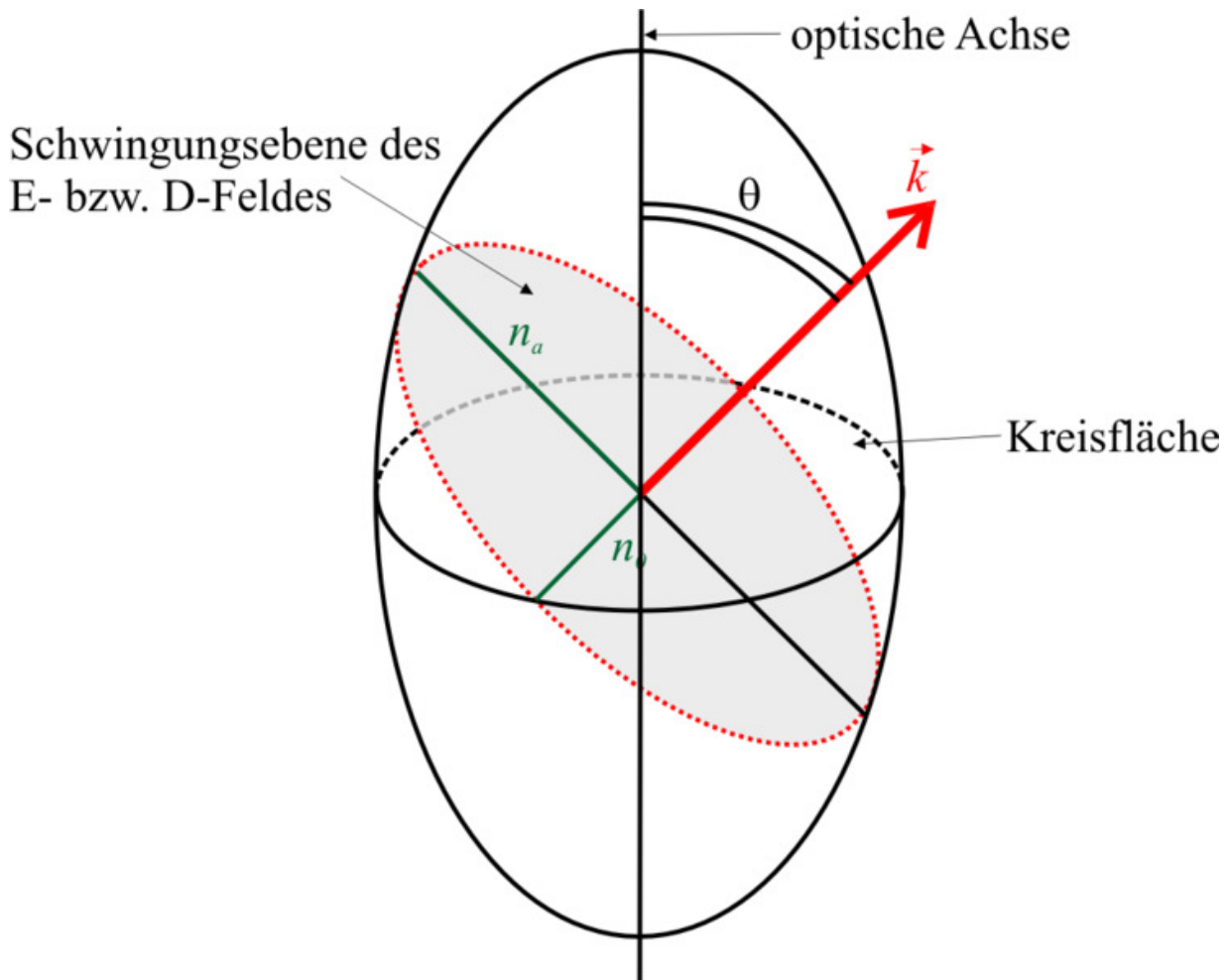
Doppelbrechung beim Calcit



Aufspaltung eines Laser-Strahles in Calcit

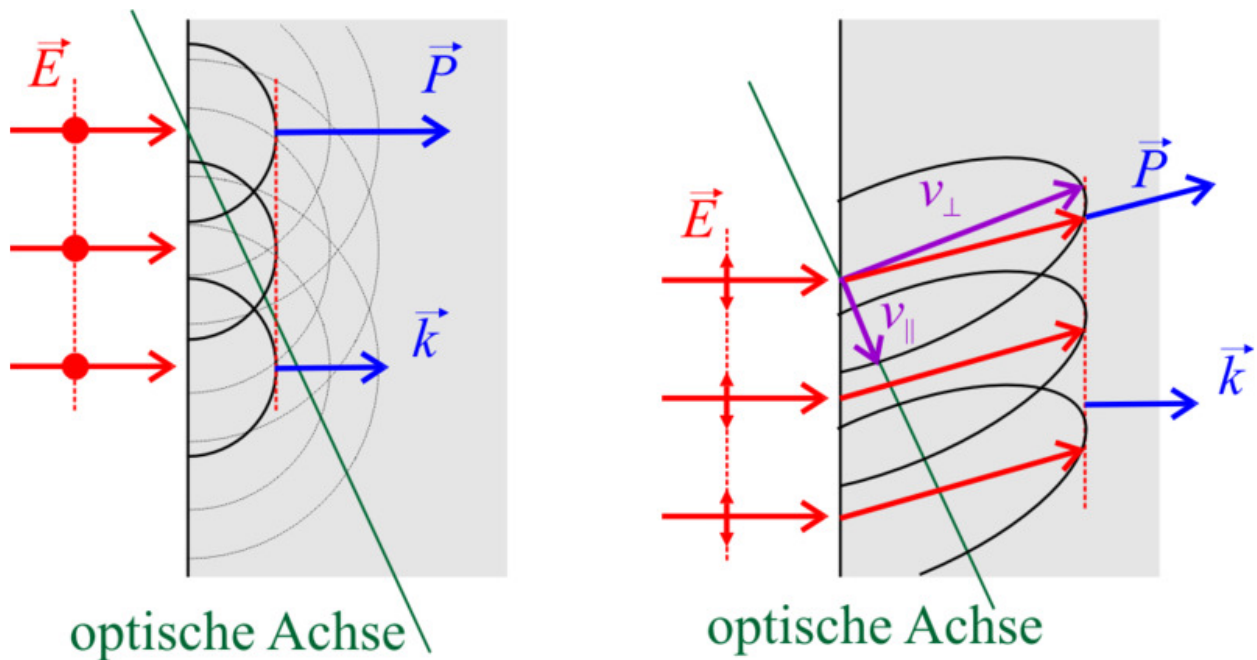
Auch isotrope Materialien können durch äußere Einflüsse, wie mechanische Spannung (Deformations- oder Spannungsdoppelbrechung), elektrische Felder (elektrische Doppelbrechung, Kerr-Effekt) oder magnetische Felder (magnetische Doppelbrechung, Cotton-Mouton-Effekt), doppelbrechend werden. Auch Flüssigkeiten mit hoher Zähigkeit können bei Strömung durch innere Reibung doppelbrechend wirken.

Eng verwandt mit der Doppelbrechung ist der Dichroismus.

Physikalische Ursache für den Effekt

Brechzahl-Ellipsoid eines optisch einachsigen Kristalles

Doppelbrechung tritt in solchen Kristallen auf, die optisch anisotrop sind. Dies bedeutet, dass sie verschiedene Brechzahlen für verschiedene Polarisierungen und Richtungen des eingestrahnten Lichtes aufweisen. Dies lässt sich mit dem Brechzahl-Ellipsoid (auch Indikatrix genannt) darstellen. Dieses Ellipsoid kann ein Rotationsellipsoid, d. h. „optisch einachsig“, sein (z. B. bei tetragonalen Kristallen) oder drei verschiedene Hauptachsen besitzen (z. B. bei orthorhombischer Symmetrie). In diesem besonderen Fall, d. h. bei „optisch zweiachsigen“ Kristallen (biaxial), sind im Allgemeinen beide gebrochenen Strahlen „außerordentlich“ (elektrisches Feld, \vec{E} , und dielektrische Induktion, \vec{D} , haben nicht die gleiche Richtung, wobei der Ausbreitungsvektor, \vec{k} , parallel zu \vec{D} ist, nicht wie sonst üblich, zu \vec{E} ,).



Konstruktion des ordentlichen (links) und des außerordentlichen (rechts) Strahles nach Huygens. Im linken Fall ist das Licht senkrecht zur Zeichenebene polarisiert, im rechten parallel dazu.

In optisch einachsigen Kristallen breitet sich der **ordentliche Strahl**, dessen elektrisches Feld immer senkrecht zur optischen Achse des Kristalls steht, wie in einem *nicht* doppelbrechenden Material aus, ist also transversal zur Ausbreitungsrichtung. Dagegen hat das elektrische Feld des **außerordentlichen Strahls**, der senkrecht zum ordentlichen polarisiert ist, eine Komponente parallel zur Ausbreitungsrichtung. Beide Komponenten bzgl. der optischen Achse haben unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten, v_{\parallel} bzw. v_{\perp} , was dazu führt, dass der außerordentliche Strahl im Material bzgl. der Richtung des ordentlichen Strahls etwas geneigt ist.

Man kann zu den genannten Geschwindigkeiten Brechzahlen definieren: $n_e = c/v_{\parallel}$, $n_o = c/v_{\perp}$, wobei c die Vakuum-Lichtgeschwindigkeit ist. Die Differenz der Brechzahlen $\Delta n = n_e - n_o$ ist ein Maß für die Doppelbrechung, das Vorzeichen wird als *optischer Charakter* (oder optische Orientierung) bezeichnet. Für Kalkspat ist $\Delta n = -0,172$, man nennt ihn auch optisch negativ.

Da es in optisch aktiven Substanzen unterschiedliche Brechzahlen für links- und rechtszirkular polarisiertes Licht gibt, spricht man in diesem Fall auch von *zirkularer Doppelbrechung*.

Tabellen

Die beiden folgenden Tabellen auf der rechten Seite enthalten Daten gängiger uniaxialer bzw. biaxialer Systeme. 'D' ist die oben angegebene Differenz der Brechzahlen für den außerordentlichen ($\hat{=}e$) bzw. für den ordentlichen Strahl:

Uniaxiale Kristalle, für $\lambda=590$ nm				Biaxiale Kristalle, für $\lambda= 590$ nm			
Material	n_o	n_e	D	Material	n_a	n_β	n_γ
Beryll $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$	1,602	1,557	-0,045	Borax	1,447	1,469	1,472
Kalkspat CaCO_3	1,658	1,486	-0,172	Epsomsalz $\text{MgSO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$	1,433	1,455	1,461
Kalomel Hg_2Cl_2	1,973	2,656	+0,683	Glimmer, Biotit	1,595	1,640	1,640
Eis H_2O	1,309	1,313	+0,014	Glimmer, Muskovit	1,563	1,596	1,601
Lithiumniobat LiNbO_3	2,272	2,187	-0,085	Olivin, $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$	1,640	1,660	1,680
Magnesiumfluorid MgF_2	1,380	1,385	+0,006	Perovskit CaTiO_3	2,300	2,340	2,380
Quarz SiO_2	1,544	1,553	+0,009	Topas	1,618	1,620	1,627
Rubin Al_2O_3	1,770	1,762	-0,008	Ulexit	1,490	1,510	1,520
Rutil TiO_2	2,616	2,903	+0,287				
Peridotit $(\text{Mg}, \text{Fe})_2\text{SiO}_4$	1,690	1,654	-0,036				
Saphir Al_2O_3	1,768	1,760	-0,008				
Natriumnitrat NaNO_3	1,587	1,336	-0,251				
Turmalin (komplexes Silikat)	1,669	1,638	-0,031				
a-Zirkon ZrSiO_4	1,960	2,015	+0,055				
b-Zirkon ZrSiO_4	1,920	1,967	+0,047				

Anwendung von doppelbrechenden Materialien

Doppelbrechende Materialien werden z. B. in Wellenplatten und Polarisatoren verwendet. Man kann aus unpolarisiertem Licht so linear polarisiertes Licht erzeugen. Zu den doppelbrechenden Polarisatoren zählen unter anderem das Nicolsche Prisma, das Glan-Thompson-Prisma oder das $\lambda/4$ -Plättchen.

Doppelbrechung kann auch beim Spritzpressen von CDs auftreten. Verursacht wird die Doppelbrechung durch mechanische Verspannungen innerhalb der Polycarbonat-Schicht, beispielsweise durch thermischen Belastung oder Scherbeanspruchung des Materials.

Nachweis doppelbrechender Materialien

Der Nachweis einer doppelbrechenden Substanz erfolgt z.B. über das Polarisoskop. Bei Drehung der Probe zwischen gekreuzten Polarisationsfiltern ändert sich die Helligkeit bzw. die Farbe des doppelbrechenden Objektes, während optisch isotrope Materialien keine Veränderungen im Bild zeigen.