AB: Doppelbrechung

Einleitung

Der innere Aufbau von Material hat oft deutliche Auswirkungen auf die physikalischen Eigenschaften. Es ist daher nicht verwunderlich, dass man z.B. zum Schleifen körniges Material (Abb.1), als Schmiermittel aber blättriges Material (Abb.2) verwendet.

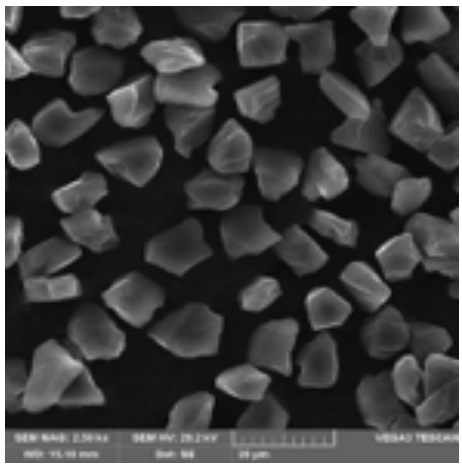

Abb. 1: Beispiele für körniges Material, welches in allen Raumrichtungen relativ ähnliche Eigenschaften aufweist. Je nach Rundungsgrad eignet sich körniges Material als Kugellager (links) oder Schleifmaterial (rechts, Elektronenmikroskopische Aufnahme).

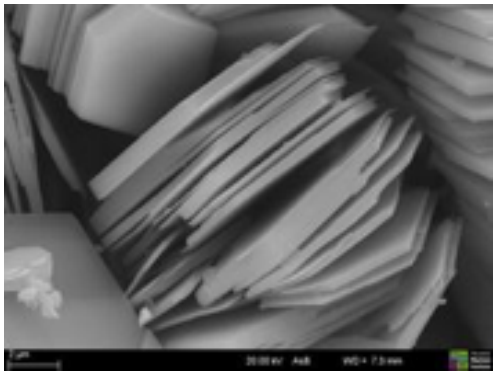

Abb. 2: Beispiel für blättriges Material: Papier (links), Kaolin-Ton (rechts, Elektronenmikroskopische Aufnahme). Entlang der Schichten sind die Materialunterschiede gering, dagegen stehen jedoch enorme Unterschiede senkrecht zur Blattrichtung.

Generell hat kristalline Materie die Eigenheit, dass gerichtete physikalische Eigenschaften in verschiedenen Raumrichtungen im Allgemeinen unterschiedliche Werte annehmen. Man spricht hier von ***Anisotropie***. Die Art und Deutlichkeit dieser Anisotropie spiegelt dabei den inneren atomaren Aufbau wider und kann einerseits zur Identifizierung des Materials herangezogen,

andererseits technisch gezielt eingesetzt werden. Beispiele für gerichtete physikalische Größen sind elektrische, thermische und mechanische Eigenschaften sowie Wechselwirkung mit Licht oder anderer Strahlung. Die richtungsabhängige (anisotrope) Wechselwirkung mit Licht führt zu unterschiedlichen ***Brechungsindizes*** in verschiedenen Richtungen und somit zur ***Doppelbrechung*** (Abb.3).

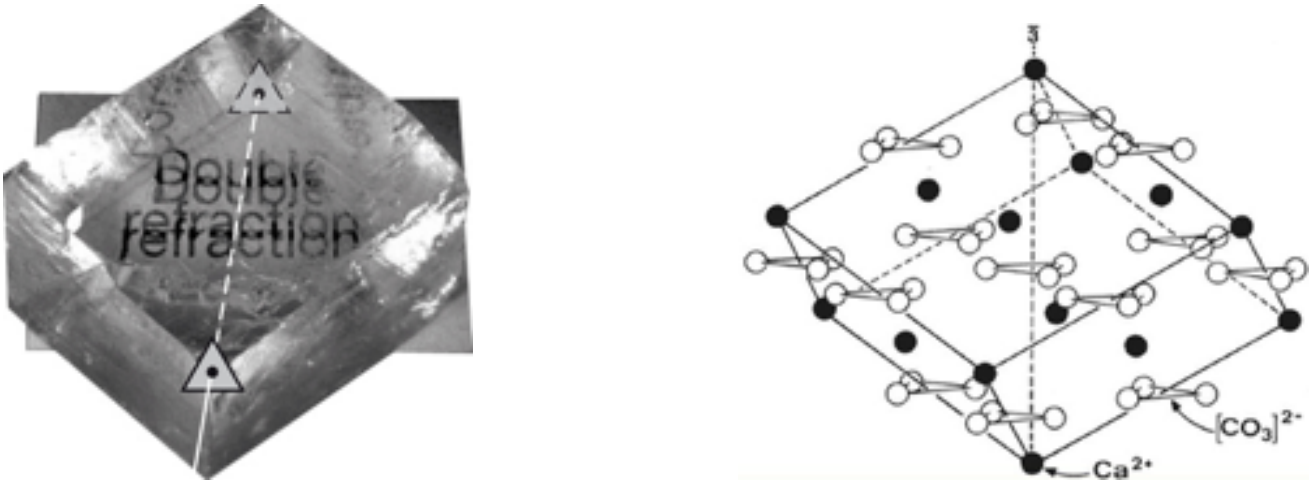

Abb. 3: Äußere Form (links) und innerer Aufbau (rechts) von Calcit ($CaCO_3$). Die regelmäßige Anordnung der planaren CO_3^{2-} -Gruppen im Kristallgitter führt zu deutlich höherer Lichtbrechung in Raumrichtungen senkrecht zur 3-zähligen Symmetrieachse (jeweils gekennzeichnet durch die gestrichelte Linie). Der Effekt ist beim Calcit so stark, dass es zu einer makroskopisch erkennbaren Doppelbrechung kommt.

Beim Eintritt in einen Kristall spaltet sich jede Lichtwelle in zwei senkrecht zueinander schwingende Wellen[1] auf, die unterschiedliche Ausbreitungsgeschwindigkeiten haben und daher unterschiedlich stark gebrochen werden: ordentlicher und außerordentlicher Strahl. Ist die Doppelbrechung gering, kann man dies mit polarisierter Strahlung nachweisen (siehe AB Polarisation für Fortgeschrittene). Ist der Unterschied der beiden Wellengeschwindigkeiten jedoch sehr deutlich, ist bereits mit bloßem Auge eine Aufspaltung zu beobachten (siehe Abb. 4).

Im Detail ist das alles wesentlich komplizierter, da eine der beiden Wellen nicht dem herkömmlichen Strahlengesetz folgt und auch bei senkrechtem Einfall gebrochen wird. Hier begnügen wir uns mit dem Phänomen, dass beide Wellen sich grundsätzlich unterschiedlich verhalten. Die Schwingungsrichtung der beiden Lichtwellen ist durch die Struktur des Kristalls vorgegeben.

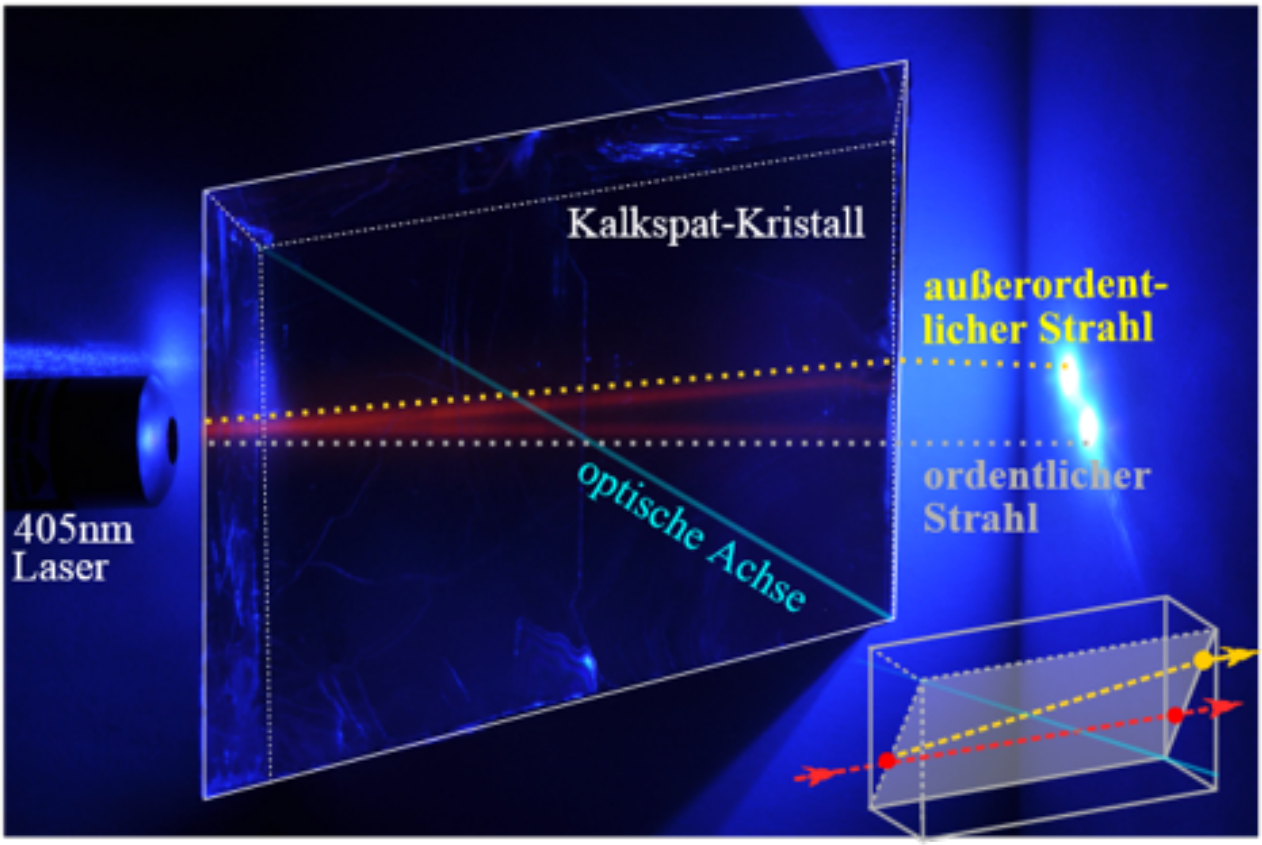

Abb. 4: Doppelbrechender Kalkspatkristall, in dem der ordentliche und außerordentliche Strahl durch Fluoreszenz sichtbar gemacht wurde.
Jan Krieger [CC BY-SA 3.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0)], via Wikimedia Commons

Die Doppelbrechung ist die Differenz aus dem jeweils größten und kleinsten Brechungsindex entlang einer betrachteten Fläche. Genau wie der Brechungsindex ist die Doppelbrechung ***dimensionslos***. Die Doppelbrechung Δ nimmt Werte von $\Delta=0$ (z.B. Diamant, Steinsalz) bis zu Werten von $\Delta > 0{,}2$ ein. Calcit hat z.B. entlang der 3-zähligen Symmetrieachse einen Brechungsindex von n=1,49, senkrecht dazu ein n=1,66, und somit eine maximale Doppelbrechung von $\boldsymbol{\Delta = 0{,}17}$.

Doppelbrechung ist ein Phänomen, das bei allen (außer kubischen) Kristallen auftritt, auch wenn der Effekt meistens so schwach ist, dass man es nicht ohne Hilfsmittel erkennen kann. Die unterschiedliche Geschwindigkeit der beiden sich im Kristall ausbreitenden Wellen führt jedoch stets dazu, dass eine der beiden Wellen einen Vorsprung (***Phasenverschiebung***) zu der anderen bekommt. Dieser Vorsprung Γ ist umso größer, je größer die Doppelbrechung Δ und die Dicke d des Kristalls ist. Es gilt

$$\Gamma = d * \Delta \qquad (1)$$

Aufgabe 1: Doppelbrechung - Aufspaltung in zwei Strahlen

1.1 Legt den Calcit-Kristall („Doppelspat“) auf ein Blatt Papier, auf dem ein einfaches Zeichen (z.B. ein Punkt) geschrieben steht. Beobachtet die Aufspaltung des Lichtes und notiert den seitlichen Versatz zwischen den beiden Punkten. Messt die Höhe des Kristalls und berechnet den Winkel zwischen den beiden Lichtstrahlen. Dreht den Kristall auf eine andere Fläche, so dass sich seine Höhe dabei ändert und wiederholt den Vorgang. Alternativ dazu könnt Ihr den Winkel auch graphisch bestimmen.

1.2 Dreht den Kristall und beschreibt die Veränderung der Position der beiden Punkte. Vergleicht Eure Beobachtungen mit Abbildung 4 und ordnet die Strahlbezeichnungen zu.

1.3 Da der Kristall im Vergleich zur Luft das höherbrechende Medium ist ($n_{Luft} = 1$) erscheinen beim Betrachten durch den Kristall die Punkte höher (d.h. aus der Papierebene angehoben) als bei der Betrachtung ohne Kristall. Beim genauen Hinschauen erkennt man auch, dass die beiden Punkte unterschiedlich weit aus der Papierebene angehoben erscheinen. Notiere, welcher der beiden Punkte dies ist und leite ab, welcher Brechungsindex (ordentlicher oder außerordentlicher Strahl) größer ist.