



Elemente der Mineralogie

Naumann, Carl Friedrich

Leipzig, 1901

§. 104. Optisch-zweiaxige Krystalle

[urn:nbn:de:hbz:466:1-84232](https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:hbz:466:1-84232)

Negative (repulsive), wenn in den Krystallen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Richtung der Hauptaxe kleiner ist, als in der Richtung senkrecht dazu; in ihnen ist also $v < c$ und $\omega > \varepsilon$; z. B. der Kalkspat, bei welchem $\omega = 4,654$ und ε (senkrecht auf die Hauptaxe) = 4,484. Bei den negativen Krystallen ist die

Aetherelastizität in der Richtung der Hauptaxe ein Maximum und $c = a$. Bei ihnen stellt die innere Elastizitätsfläche eine Kugel dar (für O), die äussere ein senkrecht auf die optische Axe abgeplattetes Rotationsellipsoid (für E), welche sich beide an den Enden der Hauptaxe berühren, die hier c entspricht.

Positive (attractive), wenn in ihnen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Richtung der Hauptaxe grösser ist als in der Richtung senkrecht dazu; in ihnen ist daher $v > c$ und $\omega < \varepsilon$; hierher gehört z. B. der Quarz, bei welchem $\omega = 4,548$ und ε (senkrecht auf die Hauptaxe) = 4,558.

Bei diesen positiven Krystallen ist die Elastizität des Aethers in der Richtung der Hauptaxe ein Minimum und $c = c$. Sie besitzen als innere Elastizitätsfläche ein nach der optischen Axe in die Länge gestrecktes Rotationsellipsoid (für E), als äussere eine Kugel (für O), welche sich beide an den Enden der hier c entsprechenden Hauptaxe berühren. — Dieser Gegensatz zwischen positiv und negativ bedingt den sog. »optischen Charakter«.

Bei den negativen Krystallen ist die ausserordentliche Welle die schnellere, daher umschliesst das Rotationsellipsoid die Kugel; bei den positiven ist die ordentliche Welle die schnellere, deshalb umschliesst die Kugel das Rotationsellipsoid. — Da ω und ε für verschiedene Farben verschiedene Werthe haben, so muss auch die Elastizitätsfläche für eine andere Farbe eine andere Krümmung, d. h. einen anderen Werth der Rotations- und der äquatorialen Axe besitzen; so kann es selbst der Fall sein, dass ein Krystall für eine Farbe optisch positiv, für eine andere optisch negativ ist; die Rotationsaxe, im ersten Falle die längere, im zweiten die kürzere des Ellipsoids, bleibt aber als Hauptaxe der Richtung nach constant für alle Farben.

Für jede Krystall- oder Spaltungsfläche, welche als Eintrittsfläche des Lichtes dient, versteht man unter dem optischen Hauptschnitt diejenige Ebene, welche auf solcher Fläche normal und zugleich der optischen Axe parallel ist¹⁾. Der ordentliche Strahl führt hier seine Schwingungen senkrecht zum optischen Hauptschnitt aus, der ausserordentliche schwingt in dem optischen Hauptschnitt.

§ 104. Optisch-zweiaxige Krystalle. Die Krystalle des rhombischen, monoklinen und triklinen Systems erweisen sich ebenfalls als doppelbrechend, doch weichen hier beide Strahlen von den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung ab, indem sie beide einen mit der Richtung variablen Brechungsquotienten besitzen,

1) Von dem optischen Hauptschnitt gilt dasselbe wie von den optischen Axen; er ist nicht eine einzelne Ebene, sondern die durch solche Ebene bestimmte Richtung, welcher unendlich viele Ebenen parallel liegen.

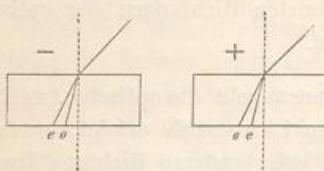


Fig. 304.

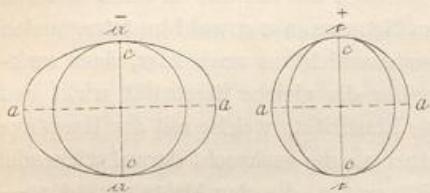


Fig. 305.



so dass in ihnen eigentlich gar kein ordentlicher Strahl mehr vorhanden ist. Zwei Richtungen, die beiden optischen Axen, gibt es hier, nach welchen keine Doppelbrechung erfolgt, indem die beiden Strahlen mit gleicher Geschwindigkeit und Schwingungsrichtung hindurchgehen¹⁾.

In den Krystallen dieser Systeme ohne Hauptaxe setzt man drei Axen von abweichender optischer Elasticität voraus, von welchen man die Axe der grössten Elasticität mit a , die der mittleren mit b , die der kleinsten mit c bezeichnet. Diese drei rechtwinkelig auf einander stehenden optischen Elasticitätsachsen fallen in ihrer Richtung nur in so weit mit den krystallographischen Axen zusammen, als diese letzteren Symmetrieaxen sind, woraus ein wesentlicher Unterschied zwischen den rhombischen, monoklinen und triklinen Krystallen folgt. Eine Ebene, welche durch je zwei Elasticitätsachsen gelegt wird, nennt man einen Hauptschnitt der Elasticitätsfläche, deren es demnach drei gibt. Bei den optisch-zweiaxigen Krystallen, welche keine Haupt-Symmetrieebene besitzen, kann keiner dieser 3 Hauptschnitte ein Kreis sein: für sie ist die Elasticitätsfläche ein dreiaxig-ungleichaxiges Ellipsoid, bei welchem sowohl Längsschnitte als Querschnitte Ellipsen sind. Entsprechend den drei Elasticitätsachsen hat man hier auch drei verschiedene Haupt-Brechungsquotienten α , β , γ zu unterscheiden; α ist der Brechungsquotient für solche Strahlen, welche sich, indem die Vibrationen parallel a gehen, senkrecht zu a fortpflanzen, β derjenige für die parallel b schwingenden und sich senkrecht zu b fortpflanzenden Strahlen, γ der für diejenigen, welche parallel c schwingen und sich rechtwinkelig zu c fortpflanzen. Die Richtung der grössten Geschwindigkeit stimmt überein mit dem Quotienten der geringsten Brechung und umgekehrt.

Die beiden optischen Axen stehen senkrecht auf denjenigen kreisförmigen Schnitten, welche durch den Mittelpunkt des dreiaxigen Ellipsoids gelegt werden können, indem in einem solchen Schnitt die Elasticität nach allen Richtungen gleich gross ist. Sie bilden in diesen Krystallen mit einander einen Winkel, welcher nicht nur in den verschiedenen Mineralsubstanzen, sondern auch oft in den verschiedenen Varietäten einer und derselben Art sehr abweichende Werthe besitzt. Der Winkel ist meist verschieden von 90° , daher einerseits ein spitzer ($2Va$), anderseits ein stumpfer ($2Vo$). Eine den spitzen Winkel der optischen Axen halbirende Linie nennt man die spitze Bisectrix (Bisectrix schlechthin), die optische Mittellinie, die erste oder spitze Mittellinie; die Halbirungslinie des stumpfen Winkels heisst stumpfe Bisectrix, zweite oder stumpfe Mittellinie. Die beiden Bisectricen liegen daher in der Ebene der optischen Axen und sind senkrecht auf einander. Senkrecht auf der Ebene der optischen Axen steht die sog. optische Normale. Die beiden Bisectricen und diese Normale sind die drei Elasticitätsachsen. Immer ist die optische Normale auch die Axe der mittleren Elasticität (b), während abwechselnd in den verschiedenen Krystallen die beiden Mittellinien mit den Axen der grössten oder der kleinsten Elasticität zusammen-

1) Wenn auch in der Richtung von je einer dieser optischen Axen hier ebenfalls keine Doppelbrechung stattfindet, so besteht doch der Unterschied gegen die in der vorigen Abtheilung allein vorhandene einzige optische Axe, dass durch letztere unendlich viele Hauptschnitte gelegt werden können, während hier durch je eine der beiden optischen Axen nur ein Hauptschnitt geht.

fallen (Fig. 306). Entspricht die spitze Bisectrix der Axe der grössten Elasticität (α), so heisst der Krystall negativ (Aragonit, Borax), coincidirt sie mit derjenigen der kleinsten Elasticität (c), so ist der Krystall ein positiver (Topas, Schwerspath, Gyps)¹⁾; α wird daher wohl auch die negative, c die positive Bisectrix genannt.

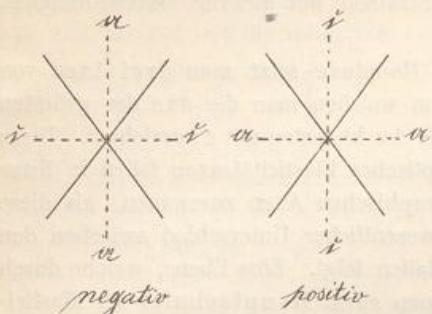


Fig. 306.

Da die Grösse des Winkels der optischen Axen (und des Winkels, den jede von ihnen mit einer Bisectrix bildet) von dem Verhältniss der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten $\alpha : b : c$ (oder von dem Verhältniss der Hauptbrechungsquotienten

$$\alpha : \beta : \gamma = \frac{1}{a} : \frac{1}{b} : \frac{1}{c}$$

abhängt, und da

das Verhältniss dieser Grössen mit der Wellenlänge des Lichtes variiert, so sind auch die Winkel der optischen Axen für die verschiedenen Arten homogenen Lichtes (oder die verschiedenen Farben) nicht einander gleich. Diese Erscheinung, welche bei allen optisch-zweiaxigen Krystallen auftritt, nennt man die Dispersion der optischen Axen. Beim Syngenit beträgt z. B. (Temperatur 20°) der scheinbare Axenwinkel in Luft für Roth 41° 36', Gelb 41° 23', Grün 45° 37', Blau 49° 45'.

Da der Winkel der optischen Axen in verschiedenen Varietäten einer und derselben optisch-zweiaxigen Substanz bei derselben Lichtart sehr verschieden sein kann, wie solches z. B. für den Topas und den Glimmer in sehr auffallender Weise der Fall ist, so lässt er sich auch nicht mit Sicherheit als ein Merkmal zur Unterscheidung benutzen. Auch zeigte *Des Cloizeaux*, dass ein und derselbe Orthokaskrystall bei derselben Temperatur, in verschiedenen seiner Spaltungslamellen, ganz ausserordentliche Verschiedenheiten des Neigungswinkels der optischen Axen erkennen lässt. — Ebenso ist in gewissen optisch-zweiaxigen Krystallen die Lage der optischen Axenebene nicht immer constant; vielmehr schwankt sie bisweilen zwischen zwei auf einander rechtwinkeligen Richtungen; ja es kommt sogar vor, dass die Axen der verschiedenen Farben in zwei verschiedenen, jedoch auf einander rechtwinkeligen Ebenen liegen, wie dies z. B. am Orthoklas, Stilbit, Prehnit u. a. Mineralien beobachtet wird.

Im rhombischen System fallen die drei ungleichwerthigen rechtwinkeligen optischen Elasticitätsachsen $\alpha > b > c$ ihrer Richtung nach für alle Farben und Temperaturen mit den krystallographischen Axen zusammen, selbstverständlich ohne dass bei der willkürlichen Aufstellung der Krystalle auch die längste Krystallaxe mit der Axe der grössten Elasticität zu coincidiren, oder α der Brachydiagonale (a), b der Makrodiagonale (b), c der Verticalaxe (c) zu entsprechen braucht. Stets ist also eine krystallographische Axe die Schwingungsrichtung der grössten, eine

1) Denkt man sich in einem negativen zweiaxigen Krystall den durch die spitze Bisectrix ($= \alpha$) halbierten Axenwinkel immer kleiner und zuletzt gleich Null werdend, so fallen die optischen Axen mit α zusammen und es ergibt sich die Beschaffenheit eines negativen einaxigen Krystals, in welchem die einzige optische Axe abermals die Axe (α) der grössten Elasticität ist und b alsdann $= c$ wird. Dieselbe Vorstellung geleitet von einem positiven zweiaxigen Krystall auf einen positiven einaxigen, dessen Hauptaxe zugleich die Axe der kleineren Elasticität c ist. Die optisch-einaxigen (tetragonalen und hexagonalen) Krystalle stellen also gewissermassen die Specialfälle der optisch-zweiaxigen dar, dass entweder $c = b$ (Charakter —) oder $a = b$ (Charakter +) ist. — Der mittlere Brechungsquotient β liegt bei einem negativen Krystall näher an γ als an α bei einem positiven näher an α als an γ .

andere die der kleinsten, die dritte diejenige der mittleren Lichtgeschwindigkeit, zwei der krystallographischen Axen sind hier immer die Bisectrinen, und die Ebene der optischen Axen ist stets parallel einem der drei krystallographischen Axen-ebenen (Pinakoide) — alles entsprechend den Symmetrieverhältnissen dieses Systems, in welchem die 3 Hauptschnitte der Elasticitätsfläche identisch sind mit den 3 krystallographischen Axenebenen. So ist z. B. beim Olivin die Ebene der optischen Axen die Basis $0P$, die ihren spitzen Winkel von $87^\circ 46'$ halbirende Bisectrix fällt mit der Brachydiagonale a , die stumpfe Bisectrix mit der Makrodiagonale b zusammen, die Verticalaxe c ist optische Normale; speciell ist $a = b$, $b = c$, $c = a$. — Die Dispersion der optischen Axen findet dergestalt statt, dass dieselben für alle Strahlen genau symmetrisch zur Bisectrix liegen; eine Dispersion (veränderliche Lage) der Elasticitätsaxen kann hier nicht eintreten, da dieselben zugleich krystallographische Axen sind.

Im rhombischen System können daher folgende Fälle vorkommen:

Optische Axenebene parallel $0P$; alsdann $\left\{ \begin{array}{l} \text{entweder } a = c, b = c \\ \text{oder } a = c, b = a \end{array} \right\} c = b$

Optische Axenebene par. $\infty\bar{P}\infty$; alsdann $\left\{ \begin{array}{l} \text{entweder } c = a, b = c \\ \text{oder } c = c, b = a \end{array} \right\} a = b$

Optische Axenebene par. $\infty\bar{P}\infty$; alsdann $\left\{ \begin{array}{l} \text{entweder } c = a, a = c \\ \text{oder } c = c, a = a \end{array} \right\} b = b$.

Im monoklinen System fällt nur noch die Orthodiagonale (die auch krystallographisch bevorzugte einzige Axe der Symmetrie) mit einer der drei optischen Elasticitätsaxen zusammen, die beiden anderen liegen zwar innerhalb der zur Orthodiagonale senkrecht stehenden Symmetrieebene (dem Klinopinakoid), stehen aber hier zu den krystallographischen Axen nicht mehr in einer gesetzmässigen Beziehung und verändern in dieser Ebene ihre Lage mit der Farbe des Lichtes und der Temperatur (Dispersion der Elasticitätsaxen). Hier ist nur noch ein Hauptschnitt der Wellenfläche mit der einzigen geometrischen Symmetrieebene, nämlich $\infty\bar{P}\infty$ identisch. Die Orthodiagonale ist natürlich Elasticitätsaxe für Licht jeder Wellenlänge und kann als solche keine Dispersion erleiden. Die Ebene der optischen Axen ist hier entweder parallel oder rechtwinkelig zu der Symmetrieebene. Daraus ergeben sich folgende Fälle:

1. Die Ebene der optischen Axen liegt in der Symmetrieebene $\infty\bar{P}\infty$, welche demzufolge auch die spitze und stumpfe Bisectrix, die Axe der kleinsten und grössten Elasticität enthält, während die Orthodiagonale b die Axe der mittleren Elasticität b darstellt und optische Normale ist. Die Lage der optischen Axen und deren Bisectrinen gegen die krystallographische Verticalaxe und Klinodiagonale ist nicht allgemein gesetzlich, sondern lässt sich jedesmal nur durch das Experiment feststellen (Gyps, Diopsid, Epidot).
2. Die Ebene der optischen Axen steht senkrecht auf der Symmetrieebene. Dabei geht entweder
 - die spitze Bisectrix parallel der Orthodiagonale; die stumpfe Bisectrix und die optische Normale fallen in die Symmetrieebene (Borax, Heulandit); oder es steht
 - die spitze Bisectrix senkrecht auf der Orthodiagonale, während die stumpfe mit der letzteren zusammenfällt (Orthoklas).

Die Orthodiagonale fungirt also entweder als optische Normale (Fall 1), oder als spitze Bisectrix (Fall 2a), oder als stumpfe Bisectrix (Fall 2b); eine andere Orientirung ist nicht möglich.

Für die triklinen Krystalle, in welchen man auch drei auf einander senkrechte Elasticitätsaxen annimmt, lässt sich im Allgemeinen gar keine bestimmte Relation zwischen der Lage der optischen Axenebene und den krystallographischen Axen aufstellen, weil letztere ja nur ganz willkürlich gewählte Coordinaten sind; deshalb muss in jedem concreten Falle die Auffindung der Axenebene, der optischen Axen und ihrer Mittellinien durch Experimente versucht werden. Die optischen Elasticitätsaxen haben hier sämmtlich für jede Farbe und für jede Temperatur eine etwas andere Lage. Die Elasticitätsellipsoide für Licht von verschiedener Wellenlänge besitzen daher keine Axe mehr gemeinsam.

§ 105. Polarisation des Lichtes. Unter der Polarisation des Lichtes versteht man eine eigenthümliche Modification desselben, vermöge welcher seine fernere Reflexions- oder Transmissionsfähigkeit nach gewissen Seiten hin theilweise oder gänzlich aufgehoben wird. In einem planpolarisirten Strahl finden die transversalen Schwingungen sämmtlicher Aethertheilchen nur in paralleler Richtung, demnach nur in einer einzigen (zu einer Fortpflanzungsrichtung senkrechten) Ebene statt, während ein nicht polarisirter gewöhnlicher sich nach allen Seiten rings um seine Gangrichtung gleichartig verhält, also bei ihm die Aethertheilchen in unendlich vielen Richtungen schwingen. Polarisationsebene ist diejenige Ebene, zu welcher die Schwingungen eines polarisirten Strahls senkrecht erfolgen. Man kann das Licht sowohl durch Reflexion als auch durch Transmission polarisiren.

Lässt man z. B. einen Lichtstrahl auf einen an seiner Rückseite geschwärzten Glasspiegel unter dem Einfallswinkel von $54\frac{1}{2}^\circ$ auffallen, so zeigt er sich nach der Reflexion mehr oder weniger vollkommen polarisirt. Er hat nämlich seine fernere Reflexionsfähigkeit total verloren, sobald man ihm mit einem zweiten Spiegel (dem Prüfungsspiegel) unter demselben Einfallswinkel dergestalt auffängt, dass die Reflexionsebenen beider Spiegel auf einander rechtwinkelig sind. Dagegen findet noch eine vollständige Reflexion statt, wenn beide Reflexionsebenen einander parallel sind; sowie eine partielle Reflexion, wenn beide Ebenen irgend einen Winkel bilden, der zwischen 0° und 90° liegt. — Man nennt die Reflexionsebenen beider Spiegel auch die Polarisationsebenen derselben, und sagt, das Licht, welches vom ersten Spiegel reflectirt wird, sei nach der Richtung der Reflexionsebene desselben polarisirt, oder habe seine Polarisationsrichtung nach dieser Ebene. Demgemäß lässt sich die That-sache des Fundamentalversuchs auch allgemein so darstellen: wenn ein durch Reflexion polarisirter Lichtstrahl eine zweite polarisirende Spiegelfläche trifft, so wird er im Maximum oder Minimum der Intensität reflectirt, je nachdem die beiden Polarisationsebenen parallel oder rechtwinkelig sind. — Unter dem Polarisationswinkel einer reflectirenden Substanz versteht man denjenigen Einfallswinkel des Lichtes, bei welchem die Polarisation desselben möglichst vollkommen erfolgt; so ist also $54\frac{1}{2}^\circ$ der Polarisationswinkel für gewöhnliches Spiegelglas. — Brewster fand, dass derjenige Einfallswinkel der Polarisationswinkel (p) ist, bei welchem der reflectirte Strahl auf dem gebrochenen senkrecht steht; $\tan p =$ dem Brechungsquotienten.

Das Licht kann aber auch durch Transmission oder Brechung polarisirt werden. Lässt man z. B. auf ein System von parallelen Glasplatten einen Lichtstrahl unter $54\frac{1}{2}^\circ$ einfallen, so wird sich nicht nur, wie eben gezeigt, der reflectirte Strahl, sondern auch der transmittirte Strahl polarisirt erweisen. Allein die Polarisations-Richtung beider Strahlen ist wesentlich verschieden, indem der reflectirte Strahl nach