



Elemente der Mineralogie

Naumann, Carl Friedrich

Leipzig, 1901

5. Von den optischen eigenschaften der Mineralien.

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

vorliegt, und zwar ist der letztere der specifisch leichtere; es ergibt sich dies, wenn man die specifischen Gewichte einzelner krystallisirter Mineralien mit denjenigen vergleicht, welche das glasig-amorphe Erstarrungsproduct der betreffenden künstlich (ohne Veränderung der chemischen Zusammensetzung) geschmolzenen Mineralien aufweist. So sind die specifischen Gewichte für:

	krystallisirt	geschmolzen und glasig erstarrt
Rothen Granat von Grönland	3,90	3,05
Grossular vom Wiluifluss . .	3,63	2,95
Vesuvian von Egg	3,45	2,957
Adular vom St. Gotthard . .	2,564	2,354
Orthoklas von Hirschberg . .	2,595	2,284
Augit von Guadeloupe . . .	3,266	2,835
Olivin von Fogo	2,604	2,044
Albit von Kirebinsk	3,384	2,834

5. Von den optischen Eigenschaften der Mineralien.

§ 101. **Einfache und doppelte Strahlenbrechung.** Es ist bekannt, dass ein Lichtstrahl bei seinem Eintritt aus der Luft in einen tropfbar-flüssigen oder festen durchsichtigen Körper vermöge seiner veränderten Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine Ablenkung von seiner Richtung, eine Brechung oder Refraction erleidet, sobald er nicht rechtwinkelig auf die Trennungsfläche beider Medien einfällt. Dasselbe wird daher auch in allen Fällen stattfinden müssen, wenn ein Lichtstrahl aus der Luft in ein pellucides Mineral eintritt. Die Winkel, welche der so auffallende und der gebrochene Strahl mit einer zur Oberfläche des Minerals senkrechten Geraden bilden — der Einfallswinkel (i) und der Brechungswinkel (r) — haben stets für eine und dieselbe Substanz ein constantes Verhältniss der Sinus, welches man Brechungsquotient oder Brechungsindex oder Brechungsexponent (n oder μ) nennt, indem $\frac{\sin i}{\sin r} = n$. Derselbe beträgt z. B. für Steinsalz 1,498, d. h. wenn ein Lichtstrahl aus der Luft in Steinsalz eintritt, so ist der Sinus des Einfallswinkels 1,498mal grösser als der Sinus des Brechungswinkels. Beim Granat, in welchem die Strahlen stärker gebrochen oder abgelenkt werden, welcher ein optisch dichteres Medium darstellt, ist er 1,845, beim Diamant 2,449 u. s. w. Für die allermeisten festen Mineralmedien liegt der Brechungsquotient zwischen 1 und 2. Die Lichtgeschwindigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Brechungsquotienten. Der Brechungsquotient ändert sich übrigens nicht nur mit der Substanz, sondern auch mit der Farbe, d. h. mit der Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahls und zwar ist die Grösse der Brechung umgekehrt proportional der Wellenlänge; für violette Strahlen ist daher n ein Maximum, für rothe ein Minimum. Diese Erscheinung heisst die Dispersion des Lichtes oder die Farbenzerstreuung und die Grösse derselben ist abweichend für verschiedene Medien.

Die Bestimmung der Brechungsquotienten kann auf verschiedenem Wege vorgenommen werden. Einmal an einem aus der Substanz geschliffenen Prisma, welches mit der scharfen Kante senkrecht gegen einen Limbus steht und woran die Minimalablenkung gemessen wird, die dasselbe auf das einfallende Licht ausübt. Sodann vermittle der Totalreflexion; das Verfahren beruht darauf, dass man aus der

Beobachtung des Grenzwinkels der totalen Reflexion auf der ebenen Fläche einer in Schwefelkohlenstoff getauchten Substanz die Brechungsquotienten der letzteren bestimmen kann, sofern dieselben kleiner sind, als die des Schwefelkohlenstoffs ($n = 1,6274$ bei 20° C.) bei derselben Temperatur; anstatt des Schwefelkohlenstoffs kann auch eine andere stark lichtbrechende Flüssigkeit, Kaliumquecksilberjodid oder Monobromnaphthalin verwandt werden¹⁾. — Ferner gab schon 1767 der *Herzog von Chaulnes* eine Methode an, wie sich vermittels eines Mikroskops der Brechungsquotient planparalleler Mineralplättchen bestimmen lässt. Bringt man zwischen einen im Mikroskop scharf eingestellten Punkt (z. B. auch eine Mikrometertheilung auf Glas) und das Objectiv die zu untersuchende Platte, so wird das Bild jenes Punktes ganz undeutlich oder kaum mehr sichtbar; es bedarf, um ihn wieder scharf zu erblicken, einer Tubushebung, deren Grösse v allein abhängt von der Dicke d der Platte und deren Brechungsquotienten n . Somit lässt sich letzterer aus v und d berechnen, indem sehr annäherungsweise $n = \frac{d+v}{d}$. Die Dicke der Platte kann mit einem Sphaerometer

bestimmt, die Grösse der Verticalbewegung des Tubus an einer Kreistheilung der zu drehenden Mikrometerschraube des Mikroskops abgelesen werden.

Da ein durchsichtiger Krystall um so weniger dunkel umrandet erscheint, je geringer die Differenz zwischen seinem eigenen Brechungsquotienten und demjenigen des ihn umgebenden Mediums ist, so lässt sich sein Brechungsquotient manchmal dadurch angenähert bestimmen, dass er nach einander von Flüssigkeiten mit abweichendem bekanntem Brechungsquotienten umgeben wird, bis seine Randbegrenzung (und die Rauheit seiner Oberfläche) ganz unmerklich wird; in diesem Falle ist der Brechungsquotient des Krystalls ungefähr derselbe wie der der angewandten Flüssigkeit (z. B. n für Wasser 1,336, für Tetrachlorkohlenstoff 1,466, für Xylol 1,495, für Nelkenöl 1,544, für Zimmtöl 1,605, für Jodmethylen 1,740 u. s. w.); vgl. über das Detail der Methode *Schroeder van der Kolk*, Tabellen z. mikroskop. Bestimmung d. Mineralien nach ihrem Brechungsindex; Wiesbaden 1900.

Die meisten Krystalle zeigen jedoch diese Brechung des Lichtes in der Weise, dass der in sie einfallende Lichtstrahl zugleich einer Theilung in zwei verschiedenen stark abgelenkte Strahlen unterliegt, von welchen zwar oft der eine den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung, der andere aber ganz eigenthümlichen Gesetzen unterworfen ist; weshalb man jenen den ordentlichen, diesen den ausserordentlichen Strahl nennt, und beide durch die Buchstaben *O* und *E* unterscheidet.

Die Krystalle des regulären Systems, holoëdrische wie hemiëdrische, sind allein hiervon ausgenommen, sie zeigen keine Doppelbrechung des Lichtes. In ihnen ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit desselben und demzufolge auch die Elasticität des Aethers nach allen Richtungen hin die gleiche, keine Direction hat vor einer anderen etwas voraus, und sie verhalten sich in dieser optischen Hinsicht

¹⁾ Einen Apparat für diese letztere Methode beschrieb *Kohlrausch* in Z. f. Kryst. II. 1878. 406. Eine zweckmässige Modification desselben wurde von *Klein* vorgenommen (N. Jahrb. f. Min. 1879. 880), während *Liebisch* angab, wie man auch ein Reflexionsgoniometer zu dem gleichen Gebrauch einrichten kann, und *Bauer* hervorhob, wie auch der bei dem *Fuess'schen* sog. Universalinstrument vorhandene Axenwinkelmessungsapparat fast ohne weitere Veränderung als Totalreflectometer zu benutzen ist (N. Jahrb. f. Min. 1882. I. 432). Ueber eine Abänderung des Verfahrens siehe *Feussner* in Z. f. Kryst. VII. 1883. 505. Vgl. auch *Ch. Soret* über ein Refractometer zur Messung der Brechungsexponenten und der Dispersion in Z. f. Kryst. VII. 1883. 529. — Eine andere Construction des Totalreflectometers als die von *Kohlrausch* herstammende ist von *Pulfrich* angegeben worden (*C. Pulfrich*, das Totalreflectometer, Leipzig 1890); dieselbe gestattet, die drei Hauptbrechungsquotienten nicht nur an den drei Hauptschnitten, sondern im Einklang mit *Soret's* theoretischem Nachweis, an jeder beliebigen Schnittebene zu bestimmen. — Ueber das *Abbe'sche* »Krystallrefractometer« s. *Groth*, Physik. Krystallogr. 1893. 676.

wie amorphe, überhaupt unkrystallinische Körper. Diese einfach brechenden Medien (reguläre Krystalle und amorphe Substanzen) heissen auch isotrope. In den Krystallen der übrigen Systeme dagegen, in welchen auch nicht alle krystallographischen Axen gleichwerthig sind, ist die Aetherelasticität nach verschiedenen Richtungen verschieden, in ihnen ändert sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes mit der Richtung und sie besitzen die Eigenschaft der Doppelbrechung; sie heissen auch anisotrope. Diese Doppelbrechung kann allerdings nur selten, wie z. B. bei dem isländischen Kalkspath, unmittelbar wahrgenommen werden¹⁾ und ihr Dasein wird gewöhnlich nur auf Grund anderer, mit ihr zusammenhängender optischer Reactionen erkannt. Die Doppelbrechung eines Minerals ist natürlich um so stärker, je grösser die Differenz zwischen den Brechungsquotienten der beiden Strahlen ist.

Indem in den isotropen Medien die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes nur abhängig ist von seiner Schwingungszahl (oder Wellenlänge) und von der Natur der Substanz, dagegen unabhängig von der Fortpflanzungsrichtung, stellt die optische Elasticitätsfläche (Strahlenfläche oder Wellenfläche)²⁾ hier eine Kugel dar, indem bei dieser jeder Querschnitt einen Kreis liefert; d. h., wenn in einem Punkt eines isotropen Mediums eine Lichtbewegung erregt wird, so pflanzt dieselbe sich radial in das umgebende Medium derart fort, dass zu einer bestimmten Zeit ein gleicher Bewegungszustand an allen denjenigen Punkten herrscht, welche auf einer Kugeloberfläche liegen, deren Centrum der Erregungspunkt ist. — Isotrope Medien besitzen nur einen einzigen constanten Brechungsquotienten für eine gegebene Wellenlänge.

§ 102. **Optische Axen.** In jedem doppeltbrechenden Krystall gibt es jedoch entweder eine Richtung, oder zwei Richtungen, nach welchen ein hindurchgehender Lichtstrahl keine Doppelbrechung erfährt, sondern ungetheilt bleibt. Diese Richtungen nennt man die optischen Axen, und unterscheidet demgemäss optisch-einaxige und optisch-zwei-axige Krystalle. Die optischen Axen sind also nicht einzelne Linien, sondern Richtungen, denen unendlich viele Linien parallel gehen. In einem isotropen Medium ist daher gewissermassen die Anzahl der optischen Axen unendlich gross. — Die Krystalle des tetragonalen und hexagonalen Systems, holoëdrische sowohl als hemiëdrische und hemimorphe, sind optisch-einaxig, die rhombischen, monoklinen, triklinen Krystalle optisch-zwei-axig. So stehen demnach die Erscheinungen der Doppelbrechung nicht nur mit den auf die krystallographischen Axen gegründeten Krystallsystemen überhaupt, sondern auch mit deren Hauptabtheilungen (S. 47) in genauem Zusammenhang.

Indem in den doppeltbrechenden, optisch anisotropen Krystallen die Elasticität des Lichtäthers nach verschiedenen Richtungen eine abweichende ist, setzt man demzufolge gewisse Richtungen grösserer oder kleinerer Aetherelasticität in denselben voraus, welche z. Theil in enger und gesetzlicher Beziehung zu den

1) An den durchsichtigen Stücken dieses sog. Doppelspaths aus Island wurde die Erscheinung zuerst im Jahre 1669 durch *Erasmus Bartholin* entdeckt; er beschrieb sie in der Schrift: *Experimenta crystalli islandici diadactylastici, quibus mira et insolita refractio detegitur*. Havniae 1669. Bei anderen Substanzen fallen in Folge des geringen Unterschiedes zwischen den Brechungsquotienten der beiden gebrochenen Strahlen diese letzteren so nahe zusammen, dass das blose Auge sie nicht von einander trennen kann.

2) Es braucht kaum besonders betont zu werden, dass die optische Elasticität der Krystalle völlig verschieden ist von der in § 98 besprochenen gewöhnlichen oder rein mechanischen Elasticität.

krystallographischen Axen stehen und welche man als die optischen Elasticitätsaxen bezeichnet. — Die optischen Axen und die Elasticitätsaxen sind in den Krystall-Individuen stets entsprechend der Symmetrie des inneren Baues derselben orientirt. Anisotrope Substanzen haben innerhalb gewisser Grenzen unendlich viele Brechungsquotienten; diejenigen für die ausgezeichneten Richtungen der optischen Elasticitätsaxen heissen Hauptbrechungsquotienten.

§ 403. **Optisch-einaxige Krystalle.** In ihnen geht die optische Axe, nach welcher keine Doppelbrechung des durchlaufenden Lichtstrahls erfolgt, parallel der krystallographischen Hauptaxe c , während in jeder anderen Richtung Doppelbrechung stattfindet. Dies verweist darauf, dass in diesen Krystallen die Aetherelasticität in der Direction der Hauptaxe verschieden ist von der in allen anderen Richtungen; wie aber die krystallographischen Nebenaxen a sowohl im tetragonalen als hexagonalen System gleichwerthig sind, so geschieht es auch hier, dass senkrecht zu der Hauptaxe nach allen Richtungen hin die gleiche Elasticität wirkt und der Krystall optisch gleich beschaffen ist. Die Elasticität, welche mit der Hauptaxe zusammenfällt, ist entweder grösser oder kleiner als die senkrecht darauf wirkende. Man bezeichnet die Axe der grössten Elasticität mit a , die der kleinsten mit c . — Bei den einaxigen Krystallen muss die optische Axe, als krystallographische Haupt- oder Verticalaxe ihrer Richtung nach fixirt, für jede Lichtart oder Farbe dieselbe Lage haben, sie kann keine Dispersion zeigen.

Der ordentliche Strahl pflanzt sich in diesen Krystallen nach allen Richtungen hin mit gleicher Geschwindigkeit fort und deshalb ist sein Brechungsquotient stets constant, seine Elasticitätsfläche eine Kugel, wie bei jedem Strahl in einem optisch isotropen Medium; der Brechungsquotient für den (im Allgemeinen dem Sinusgesetz nicht mehr gehorchenden) ausserordentlichen Strahl ist aber variirend je nach der Richtung, in welcher dieser den Krystall durchläuft, seine Elasticitätsfläche ein Rotationsellipsoid, dessen Drehungsaxe die optische Axe oder krystallographische Haupt-Symmetrieaxe ist und welches entweder in den Polen seiner längeren oder denjenigen seiner kürzeren Axe jene Kugel berührt. Geht der Lichtstrahl senkrecht zur Hauptaxe hindurch, so ist die Differenz zwischen beiden Quotienten am grössten, sie nimmt ab mit dem Winkel, welcher mit der Hauptaxe gebildet wird, und parallel mit der Hauptaxe (in welcher Richtung ja beide Strahlen in einen zusammenfallen) ist der Brechungsquotient von E gleich dem von O . — Alle Strahlen, die symmetrisch um die Hauptaxe gruppirt sind, besitzen gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit.

Man bezeichnet den constanten Brechungsquotienten von O mit ω , denjenigen des ausserordentlichen Strahls, welcher sich senkrecht zur Hauptaxe fortpflanzt, mit ε . — Selbstverständlich sind sowohl ω als ε abhängig von der Wellenlänge, und ihr Werth wechselt daher mit der Farbe des Lichtes. — Nennt man v die Geschwindigkeit des ordentlichen Strahls und e die Geschwindigkeit desjenigen ausserordentlichen Strahls, welcher sich in der Richtung senkrecht zur optischen Axe fortbewegt, so ist $v = \frac{1}{\omega}$ und $e = \frac{1}{\varepsilon}$. Man unterscheidet nun die doppeltbrechenden einaxigen Krystalle als (vgl. Fig. 304 u. 305):

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 Kalkspath, bei welchem $\omega = 1,654$ und ε (senkrecht auf die Hauptaxe) $= 1,484$. Bei den negativen Krystallen ist die

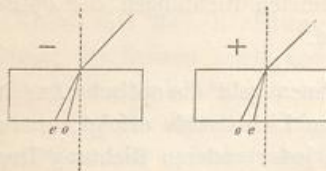


Fig. 304.

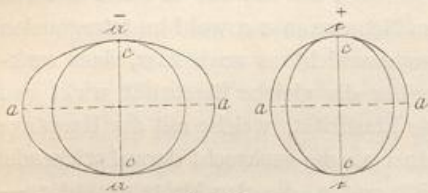


Fig. 305.

Bei diesen positiven Krystallen ist die Elasticität des Aethers in der Richtung der Hauptaxe ein Minimum und $c = c$. Sie besitzen als innere Elasticitätsfläche 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 Elasticitätsfläche 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 ersteren 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.

§ 404. **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,

4) 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.

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 Elasticitätsaxen fallen in ihrer Richtung nur in so weit mit den krystallographischen Axen zusammen, als diese letzteren Symmetriemaxen sind, woraus ein wesentlicher Unterschied zwischen den rhombischen, monoklinen und triklinen Krystallen folgt. Eine Ebene, welche durch je zwei Elasticitätsaxen 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 Elasticitätsaxen 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 ($2V\alpha$), anderseits ein stumpfer ($2V\sigma$). 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 Elasticitätsaxen. 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

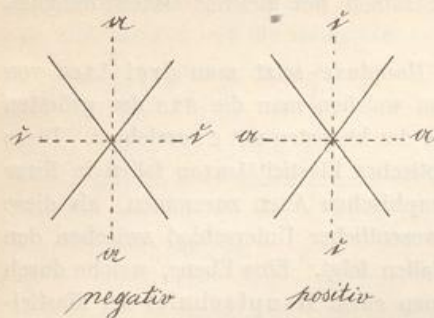


Fig. 306.

der kleinsten Elasticität (c), so ist der Krystall ein positiver (Topas, Schwerspath, Gyps¹⁾); a wird daher wohl auch die negative, c die positive Bisectrix genannt.

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

$$\alpha:\beta:\gamma = \frac{a}{a}:\frac{b}{b}:\frac{c}{c}) \text{ abhängt, und da}$$

das Verhältniss dieser Grössen mit der Wellenlänge des Lichtes variirt, 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 44° 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 Cloiseaux*, dass ein und derselbe Orthoklaskrystall 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 $a > b > c$ 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 a 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 (= a) halbirten Axenwinkel immer kleiner und zuletzt gleich Null werdend, so fallen die optischen Axen mit a zusammen und es ergibt sich die Beschaffenheit eines negativen einaxigen Krystalls, in welchem die einzige optische Axe abermals die Axe (a) 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 Bisectricen, und die Ebene der optischen Axen ist stets parallel einem der drei krystallographischen Axenebenen (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 OP , 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 OP ; alsdann $\left\{ \begin{array}{l} \text{entweder } a = a, b = c \\ \text{oder } a = c, b = a \end{array} \right\} c = b$
- Optische Axenebene par. $\infty P \infty$; 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. $\infty P \infty$; 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 $\infty P \infty$ 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 $\infty P \infty$, 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 Bisectricen 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
 - a) die spitze Bisectrix parallel der Orthodiagonale; die stumpfe Bisectrix und die optische Normale fallen in die Symmetrieebene (Borax, Heulandit); oder es steht
 - b) 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 ihn 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 Thatsache 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

einer Parallelebene, der transmittirte Strahl dagegen nach einer Normalebene der Einfallsebene polarisirt ist; man sagt daher, dass beide Lichtstrahlen auf einander rechtwinkelig polarisirt sind.

Auch eine jede Doppelbrechung des Lichtes ist zugleich mit einer Polarisation desselben verbunden, indem beide Strahlen, sowohl *O* als *E*, jedoch beide auf einander rechtwinkelig, und zwar *O* nach einer Parallelebene, *E* nach einer Normalebene des optischen Hauptschnitts der Eintrittsfläche polarisirt sind. Der ordentliche Strahl schwingt also senkrecht zum Hauptschnitt, der ausserordentliche parallel zu demselben oder in demselben: — Wenn jedoch ein Lichtstrahl den Krystall in der Richtung einer optischen Axe durchläuft, so erfolgt, zugleich mit dem Ausbleiben der Doppelbrechung, auch keine Polarisation des Lichtes und der Strahl verhält sich wie gewöhnliches (nicht polarisirtes) Licht.

Die beiden Strahlen *O* und *E* eines doppelbrechenden Krystalls verhalten sich also auf ähnliche Weise zu einander, wie der reflectirte und der transmittirte Strahl der Glasplattensäule.

Ein jedes Polarisationsinstrument besteht hauptsächlich aus zwei Theilen, dem Polarisator, welcher dazu dient, gewöhnliches Licht in den polarisirten Zustand zu versetzen, ihm nur eine einzige Schwingungsrichtung zu verleihen, und sodann dem Analysator, vermittels dessen das polarisirte Licht entweder für sich selbst oder nach seinem Durchgang durch das zu untersuchende Mineral bezüglich der mit ihm vorgegangenen Veränderungen geprüft wird. Als Polarisator kann im Allgemeinen ein reflectirender Spiegel, ein das Licht transmittirender Glasplattensatz verwandt werden. Bei den hier in Frage kommenden Instrumenten pflegt man sich aber dazu eines doppelbrechenden Mediums zu bedienen, welches von dem eintretenden Lichtstrahl in anderer als der Richtung einer optischen Axe durchlaufen wird; jener Strahl liefert dabei durch Doppelbrechung zwei polarisirte Strahlen, von denen der eine entfernt werden muss. Man erreicht dies durch die farblosen und durchsichtigen sog. Nicol'schen Prismen (Nicols), von denen eines als Polarisator, ein anderes als Analysator dient. Ein solches Prisma wird aus zwei eigenthümlich geschliffenen, mit Canadabalsam zusammengeklebten Kalkspathstücken hergestellt. Dasselbe hat die Eigenschaft, von den zwei Strahlen, in welche ein auffallender Lichtstrahl gespalten wird, nur einen, und zwar den ausserordentlichen Strahl im vollkommen polarisirten Zustande hindurchzulassen, während der ordentliche Strahl an der Balsamschicht total reflectirt und durch die geschwärzten Seiten des Prismas absorbirt wird. Gehen die optischen Hauptschnitte zweier hintereinander befindlicher Nicols parallel, so ist das Gesichtsfeld hell, denn der aus dem ersten Nicol (dem Polarisator) austretende einzige polarisirte Strahl *E*, welcher parallel der Hauptaxe schwingt, kann in dem zweiten Nicol (dem Analysator) keine Zerlegung erfahren, sondern muss diesen letzteren wieder als ausserordentlicher Strahl mit unveränderter Schwingungsrichtung durchlaufen. Stehen die Hauptschnitte der beiden Nicols aber senkrecht (gekreuzt), so erscheint das Gesichtsfeld dunkel; in diesem Falle gelangt nämlich der aus dem Polarisator kommende ausserordentliche Strahl mit Schwingungen in den Analysator, welche senkrecht zu dessen Hauptschnitt stehen, d. h. er tritt in ihn als ordentlicher Strahl ein, und muss demzufolge seitlich reflectirt und als solcher gänzlich

vernichtet werden. Je kleiner der Winkel der beiden Nicolhauptschnitte ist, desto heller, je mehr er sich 90° nähert, desto dunkler erscheint das Gesichtsfeld. — Neuerlich hat man den polarisirenden Prismen auch wohl eine etwas abweichende Construction gegeben, wodurch aber das Wesentliche ihrer Wirkung nicht verändert wird¹⁾.

Die hierher gehörigen Untersuchungen werden entweder im parallelen oder im convergenten polarisirten Licht ausgeführt. Das erstere wird erzeugt, indem man mit einem gewöhnlichen Mikroskop eine Polarisationsvorrichtung in der Weise verbindet, dass der polarisirende Nicol in fixer Stellung von unten her in den Objecttisch eingeführt wird, während man den analysirenden Nicol entweder gekreuzt in einen Schlitz des Tubus einführt, oder ihn in einem mit Gradeintheilung versehenen drehbaren Hut auf das Ocular oben aufsetzt. In diesem Falle gelangt das am Spiegel reflectirte Tageslicht durch den Polarisator als schmales und daher fast paralleles Lichtbündel in die Mineralplatte, welche also im parallelen polarisirten Licht untersucht wird.

Um nun anderseits sowohl die Untersuchung im convergenten Licht, im Lichtkegel, vornehmen zu können, als auch ein grösseres Gesichtsfeld zu erhalten, bedient man sich des sog. Nörreberg'schen Polarisationsinstruments, dessen Construction im Wesentlichen auf Folgendes hinausläuft: Am Fuss eines verticalen Stativs befindet sich als Polarisator entweder eine Spiegelcombination, oder ein Glasplattensatz, eine Turmalinplatte oder ein Nicol, wobei die drei letzteren ihr Licht durch einen Erleuchtungsspiegel beziehen. Die parallelen polarisirten Strahlen werden in einem darauf folgenden Linsensatz von kurzer Brennweite stark convergent gemacht und durchsetzen so das unmittelbar darüber befindliche Untersuchungsobject, aus welchem sie divergent austreten. Nun passiren sie ein weiter nach oben angebrachtes zweites Linsensystem, welches sie wieder schwächer convergent macht, und welches mit dem unteren ein möglichst grosses Gesichtsfeld, übrigens keine sehr bedeutende Vergrösserung, gewährt, weshalb das Instrument auch nur mit Unrecht Polarisationsmikroskop hiess. Am obersten Ende des Rohres befindet sich noch eine Loupe (Ocular), durch welche das entstandene reelle Bild als ein virtuelles erblickt wird. Als Analysator, der wie die beiden Linsensätze an dem Stativ verschiebbar ist, dient oben ein drehbarer Nicol, dessen Polarisationssebene alle Stellungen zu derjenigen des Polarisators annehmen kann. — Ueber

1) Platten des hexagonalen Turmalins, welche der Hauptaxe parallel geschliffen sind, erlangen bei einem gewissen Grade der Verdickung ebenfalls die Eigenschaft, dass von den beiden in ihnen durch Doppelbrechung entstandenen Strahlen nur der Strahl *E*, welcher nach *OR* polarisirt ist, durchgelassen wird, indem *O* innerhalb des Minerals zur Absorption gelangt. Der Turmalin lässt also nur solche Schwingungen im Maximum durch, welche parallel seiner Hauptaxe gerichtet sind. Stehen die Hauptaxen zweier, hinter einander in einer Zange befindlicher Turmalinplatten parallel, so geht der Lichtstrahl durch beide wie durch eine einzige dickere Platte ungestört hindurch; werden aber die Hauptaxen senkrecht gekreuzt, so tritt der aus der einen kommende einzige Strahl *E* in die zweite als *O* ein und muss innerhalb der letzteren absorbirt werden. Senkrecht gekreuzte Turmalinplatten wirken daher wie ebenso gestellte Nicol'sche Prismen und erscheinen beim Durchblicken dunkel. Eine solche Turmalinzange hat den Nachtheil, dass sie nur gefärbtes Licht liefert.

Um zu erkennen, ob ein Strahl polarisirt ist, genügt es daher, ihn senkrecht auf ein Nicol'sches Prisma oder auf eine Turmalinplatte fallen zu lassen und die letzteren beiden Objecte um die Richtung des Strahles zu drehen; geht bei einer gewissen Stellung derselben das Licht nicht mehr hindurch, so ist dasselbe polarisirt (und führt seine Schwingungen senkrecht zur kurzen Diagonale des Nicols und zur Hauptaxe des Turmalins aus).

die Einrichtung eines wirklichen Mikroskops als Instrument zur Untersuchung im convergenten polarisirten Licht vgl. S. 229. — Nach dem zweckmässigen Vorschlag von *Tschermak* wird das mit Nicols versehene Mikroskop, in welchem die Untersuchung im parallelen polarisirten Licht vorgenommen wird, Orthoskop, das die Untersuchung im convergenten Licht bedingende Instrument Konoskop genannt.

§ 406. Untersuchungen im parallelen polarisirten Licht. Dieselben bezwecken: 1) einfachbrechende und doppelbrechende Blättchen zu unterscheiden; 2) in den letzteren die Lage der Elasticitätsaxen gegen die krystallographischen Axen zu bestimmen und somit das Krystallsystem abzuleiten; 3) den relativen Werth der Elasticitätsaxen, den sog. optischen Charakter zu bestimmen.

Unterschied von einfach- und doppelbrechenden dünnen Mineralblättchen im weissen parallelen polarisirten Licht. Aufsuchung der Lage der Elasticitätsaxen. Zu diesen Untersuchungen dient, wie erwähnt, das gewöhnliche mit Nicols versehene Mikroskop, an welchem sich ein graduirter, mit Nonius versehener, horizontal drehbarer Tisch befindet, um dem Object eine verschiedene Lage gegen die Polarisationssebene ertheilen zu können. Wird nun ein dünnes planparalleles Blättchen eines einfachbrechenden Minerals (regulären Krystalls oder amorphen Körpers) auf den Objecttisch zwischen beide Nicols gebracht, deren Hauptschnitte oder Polarisationssebenen gekreuzt sind, so wird das Object völlig dunkel erscheinen wie in diesem Falle das Gesichtsfeld selbst, da der mit der Schwingungsrichtung des unteren Polarisators eintretende Strahl seinen Weg durch die isotrope Substanz mit gleicher Schwingungsrichtung fortsetzt und daher von dem gekreuzt stehenden Analysator ausgelöscht werden muss. Da die Aetherelasticität in dem Blättchen nach allen Directionen hin gleich ist, so wird auch dadurch, dass man dasselbe um seine eigene Axe dreht, oder dadurch, dass man eine von dem Mineral in anderer Richtung gewonnene Lamelle unterschiebt, keinerlei Veränderung eintreten. Wenn umgekehrt durch die parallele Stellung beider Nicolhauptschnitte das Gesichtsfeld hell erscheint, so wird das zwischen geschobene Blättchen keine andere Farbe aufweisen, als es auch im gewöhnlichen Licht besass.

Genau so wie einfachbrechende Lamellen verhalten sich zwischen gekreuzten (und parallelen) Nicols diejenigen von doppelbrechenden einaxigen Substanzen, welche senkrecht zu der optischen Axe geschnitten sind. Für Strahlen, welche parallel der einzigen Hauptaxe den Krystall durchlaufen, erfolgt weder eine Doppelbrechung noch eine Polarisation, sondern sie gehen in dieser Richtung genau mit demselben Verhalten hindurch, wie durch ein überhaupt isotropes Medium. So erscheinen solche basischen Platten tetragonaler und hexagonaler Substanzen bei gekreuzten Nicols dunkel und bleiben dunkel bei einer vollen Horizontaldrehung um die eigene Axe. Die Frage, ob ein solcher einfachbrechender Schnitt ein basischer eines einaxigen Minerals ist, oder einem isotropen angehört, kann, wenn nur er allein vorliegt, erst im convergenten polarisirten Licht entschieden werden.

Da im tetragonalen und hexagonalen System die Basis die einzige Form ist, welche nur aus einem parallelen Flächenpaar besteht, welcher also auch eine einzelne Spaltungsfläche allein entsprechen kann, so muss jede von einem optisch-einaxigen

Krystall durch Spaltung erhaltene Lamelle ihre optische Axe senkrecht stehen haben und sich daher wie angegeben zwischen gekreuzten Nicols verhalten.

Dünne Schnitte senkrecht gegen eine optische Axe eines zweiachsigigen Minerals erscheinen zwischen gekreuzten Nicols im Instrument für paralleles Licht bei totaler Horizontalrotation aber nicht stets gleich dunkel, sondern im Gegentheil stets gleich hell, ohne dass Interferenzfarben auftreten; dieses Verhalten ist jedoch nur scheinbar abnorm, denn es folgt nothwendig aus der Thatsache, dass die optischen Axen zweiachsigiger Körper Axen innerer konischer Refraction sind. Die Intensität des Lichtes ist abhängig von der Dicke des Schliffes und der Stärke der Doppelbrechung; dicke Platten sind zwischen gekreuzten Nicols ebenso hell, wie zwischen parallelen¹⁾.

Wenn dagegen das Blättchen nicht senkrecht zu einer optischen Axe geschnitten und doppelbrechend ist, so zeigt es, mit Ausnahme gewisser besonderer, gleich zu erwähnender Stellungen sowohl zwischen gekreuzten als zwischen parallelen Nicols Farbenerscheinungen, chromatische Polarisation²⁾. Sofern nämlich die Schwingungsebene des polarisirten Lichtstrahls mit dem optischen Hauptschnitt des doppelbrechenden eingeschobenen Mediums irgend einen anderen Winkel bildet als 0° oder 90° , so erfolgt (in derselben Weise wie beim gewöhnlichen Licht) eine Zerlegung in zwei zu einander senkrechte Strahlen, welche, nach Reduction ihrer Schwingungen auf dieselbe Ebene, zur Interferenz gelangen. Die Farben, welche ein solches Object bei gekreuzten Nicols trägt, sind die complementären von denjenigen, die es bei parallelen aufweist (Roth im Gegensatz zu Grün, Blau zu Gelb u. s. w.).

Die Farbe, welche ein doppelbrechendes, nicht senkrecht auf eine optische Axe geschnittenes Blättchen im weissen parallelen polarisirten Licht zwischen gekreuzten Nicols zeigt, ist abhängig von der Dicke des Blättchens, von der Lage desselben im Krystall und von der relativen Grösse der Elasticitätsaxen, resp. der Brechungsquotienten der Substanz. Ein Gypsblättchen von 0,13 mm Dicke erscheint purpurn, von 0,14 mm blau, von 0,16 mm grün, von 0,18 mm roth. Eine und dieselbe Substanz zeigt bei gleicher Dicke um so höhere Interferenzfarbe, je grösser die Differenz der zwei in dem Blättchen liegenden Elasticitätsaxen ist, denen die Schwingungen der Strahlen parallel gehen. Unter gleich dicken Schnitten eines optisch einachsigigen Minerals muss daher derjenige die höchste Interferenzfarbe geben, welcher parallel der optischen Axe gerichtet ist; je mehr die Schnitttrichtung sich der Basis nähert, desto mehr müssen die Interferenzfarben sinken. Bei einem zweiachsigigen Mineral muss unter gleich dicken Schnitten derjenige die höchste Interferenzfarbe liefern, welcher senkrecht zur Axe der mittleren Elasticität steht, d. h. parallel der optischen Axenebene geht, weil in diesem Schnitt dann die Axen gerade der grössten und kleinsten Elasticität gelegen sind, und sich in ihm die grösste Differenz ($\gamma - \alpha$) geltend macht.

Von zwei Substanzen mit verschiedenem Maass der Doppelbrechung, welche in gleich dicken Blättchen vorliegen, gibt diejenige mit schwächerer Doppelbrechung Farben, welche dem Anfang der Newton'schen Farbenscala näher stehen, als es bei der stärker doppelbrechenden der Fall ist.

Wenn eine durch Spaltung erhaltene Lamelle einem rhombisch oder klinödrisch krystallisirten Mineral angehört, so entspricht ihre Spaltungsfläche in der Regel entweder der Basis oder einem der beiden verticalen Pinakoide; keine der beiden optischen Axen wird aber alsdann auf der Lamelle rechtwinkelig sein und die letztere muss daher in den meisten Stellungen zwischen den Nicols Farben aufweisen. Unter

¹⁾ Hierauf wurde zuerst von *Kalkowsky* hingewiesen, Z. f. Kryst. IX. 1883. 486.

²⁾ Zur specielleren Erläuterung der Ursache dieser und folgender Erscheinungen wird auf die ausführlichen Lehrbücher der Physik oder physikalischen Krystallographie verwiesen.

Erwägung des oben Angeführten kann man daher sehr leicht erkennen, ob man es mit einer optisch-einaxigen oder optisch-zwei-axigen Lamelle zu thun hat, woraus sich dann rückwärts ein Schluss auf den allgemeinen Charakter des Krystallsystems ziehen lässt.

Ist das doppelbrechende Blättchen nicht gleichmässig dick, sondern keilförmig, so erscheint nicht eine einzige Farbe, sondern es folgen, der Dicke entsprechend, mehrere Farben in Uebergängen aufeinander. Bei allzugrosser Dünne der doppelbrechenden Lamelle sind die Interferenzfarben mitunter nicht lebhaft genug, um erkannt zu werden. Wenn man alsdann ein dünnes Glimmer- oder Gypsblättchen, welches für sich im polarisirten Licht gleichmässig und charakteristisch (z. B. mit dem empfindlichen Roth der ersten Ordnung) gefärbt erscheint, darüber deckt, so wird an den Stellen, wo die Lamelle darunter liegt, eine Veränderung dieser Farbe ersichtlich und damit die Doppelbrechung der Substanz selbst erwiesen sein. Eine isotrope Lamelle kann die Interferenzfarbe des Glimmerblättchens nicht ändern. Zu demselben Zweck schiebt man eine 3,75 mm dicke planparallele und senkrecht auf die optische Axe geschliffene Quarzplatte in einen über der Objectivlinse angebrachten Schlitz des Tubus und erzeugt durch Drehung des oberen Nicols das empfindliche Hellbläulich-violett oder Purpurviolett (die sog. *Teinte de passage* oder *Teinte sensible* im Anfang der dritten Ordnung) des circularpolarisirenden Quarzes; selbst ein sehr schwach doppelbrechendes Object verändert diese charakteristische Farbe.

Speciell wird ein doppelbrechendes, nicht senkrecht auf die optische Axe geschnittenes Blättchen in allen den überwiegenden Fällen bei gekreuzten Nicols Farben zeigen, wenn es eine solche Lage hat, dass die Elasticitätsachsen in seiner Fläche irgend einen schiefen Winkel mit dem optischen Hauptschnitt des Polarisators bilden. Die Intensität dieser Farbe ist weiterhin abhängig von der Neigung des optischen Hauptschnitts im Blättchen gegen die Hauptschnitte des Polarisators und Analysators, welche ihrerseits durch das Ocularfadenkreuz angezeigt zu werden pflegen. Dreht man das Blättchen horizontal um seine Axe, so bleibt die Art der Farbe gleich, aber die Intensität derselben wechselt und ist dann am grössten, wenn die Elasticitätsachsen des Blättchens mit den optischen Hauptschnitten der Nicols einen Winkel von 45° bilden; dies tritt bei einer vollen Horizontaldrehung des Blättchens viermal ein.

Fällt dagegen irgend eine Elasticitätsaxe mit dem optischen Hauptschnitt des polarisirenden Nicols zusammen, so erreicht die Intensität des Interferenzstrahls ihr Minimum, es werden dann selbst solche doppelbrechende Blättchen keine besonderen Interferenzfarben aufweisen, sondern (bei parallelen Nicols nur hell oder eigenfarbig) bei gekreuzten Nicols nur dunkel erscheinen; denn — im Gegensatz zu dem Verhalten eines gewöhnlichen Strahls, welcher ein doppelbrechendes Medium in einer anderen Richtung als der einer optischen Axe durchläuft — kann ein schon polarisirter Strahl in dem Blättchen dann keine weitere Zerlegung in zwei Strahlen erleiden und wird dasselbe unverändert (blos mit abweichender Fortpflanzungsgeschwindigkeit) passiren, sobald seine Schwingungsebene (also der optische Hauptschnitt des Polarisators) parallel der Richtung der grössten oder kleinsten Elasticität der Fläche des Blättchens liegt, welche ja die Schwingungsrichtungen für die dasselbe durchlaufenden Strahlen sind; die durch das Blättchen ungestört durchgegangene Schwingung gelangt alsdann in den Analysator, in welchem sie vermöge der Kreuzstellung desselben ausgelöscht wird. Dreht man nun das doppelbrechende Blättchen aus der Dunkelstellung heraus, so erfolgt eine mit der

Drehung wachsende Aufhellung und Intensität der chromatischen Polarisation, bis der Drehungswinkel 45° beträgt. Bei weiterer Drehung verschwächt sich aber die Aufhellung und Farbe wieder und wird dann $= 0$ (d. h. es tritt wieder Dunkelheit ein), wenn der Drehungswinkel 90° misst; letzteres tritt also bei einer vollen Horizontaldrehung ebenfalls viermal ein.

Durch diese so zwischen gekreuzten Nicols vorgenommene Einstellung des Blättchens auf Dunkel, durch die Aufsuchung der sog. Auslöschungsrichtung ist es daher möglich, in optisch-einaxigen Blättchen dieser Art die Richtung der Hauptaxe, in optisch-zwei-axigen die Richtung zweier Elasticitätsaxen zu finden. So kann also auch dadurch die Frage entschieden werden, ob die durch die optische Reaction der Auslöschung ihrer Richtung nach erkennbaren optischen Elasticitätsaxen sämmtlich oder nur theilweise oder gar nicht mit den durch Contourenverlauf, Spaltbarkeit u. s. w. der Blättchen ihrer Lage nach angezeigten krystallographischen Axen zusammenfallen. Aus diesem Ergebniss lässt sich aber in vielen Fällen ein directer Schluss auf das Krystallsystem ziehen. Die Auslöschung heisst eine gerade, wenn sie parallel einer krystallographischen Axe erfolgt, anderenfalls ist sie eine schiefe. — Im Folgenden sind noch einige andere Methoden zur Ermittlung der Lage der Elasticitätsaxen angeführt.

Wenn man auf das Ocular eines Mikroskops eine senkrecht auf die optische Axe geschnittene Kalkspathplatte legt und den Analysator, in Kreuzstellung mit dem Polarisator darüber stülpt, so erscheint in dem Gesichtsfelde die (erst im Folgenden zu erläuternde) charakteristische Interferenzfigur der Kalkspathplatte, ein System buntfarbiger concentrisch-kreisförmiger Ringe, durchzogen von einem schwarzen schattigen Kreuz, dessen Arme mit dem Fadenkreuz im Ocular zusammenfallen. Diese Calcitplatte heisst deshalb auch die stauroskopische. Wird nun ein zu untersuchendes Mineralblättchen auf den Objecttisch gelegt, so tritt jene Interferenzfigur nur dann völlig ungestört und ganz symmetrisch hervor, sofern entweder in dem Object überhaupt keine Doppelbrechung erfolgt, oder sofern das doppeltbrechende Object eine solche Lage hat, dass seine beiden Elasticitätsaxen mit den Hauptschnitten der gekreuzten Nicols (also mit dem Fadenkreuz im Ocular) zusammenfallen. Bei allen anderen Lagen des Untersuchungsobjects stellt sich eine auffallende Störung der Calcit-Interferenzfigur ein. Es kommt also hier, zur Ermittlung der Lage der Elasticitätsaxen in dem Blättchen, darauf an, den Moment zu erfassen, in welchem bei der Drehung desselben die buntfarbige Interferenzfigur in ihrer normalen Symmetrie correct erscheint, und dies gelingt dem Auge meistens schon viel besser, als die Aufsuchung des Dunkelheits-Maximums. — Liegt eine zu untersuchende Krystallplatte so auf dem Objecttisch, dass eine Kante derselben parallel geht dem Hauptschnitt eines der Nicols, und ist in diesem Falle die Calcit-Interferenzfigur gestört, so zeigt der Winkel, um welchen bis zur Wiederherstellung der letzteren das Object gedreht werden muss, an, wie gross die Neigung ist zwischen einer Elasticitätsaxe im Krystall und der betreffenden Kante. Das Princip dieser stauroskopischen Untersuchung wurde schon 1855 durch v. Kobell angegeben.

Brezina ersetzte die stauroskopische, senkrecht auf die Axe geschliffene einfache Kalkspathplatte durch zwei nahezu senkrecht auf die Axe, d. h. ein wenig schief gegen die Basis geschliffene Kalkspathlamellen, welche so übereinandergelegt werden, dass die optischen Axen von beiden zwar in einer Ebene liegen, aber nach entgegengesetzter Seite geneigt sind; die Interferenzfigur dieser Combination ist überaus empfindlich, indem eine sehr geringe Divergenz zwischen der Elasticitätsaxe des Objects und dem optischen Hauptschnitt des Analysators eine bedeutende Verschiebung des Mittelbalkens hervorbringt. — Ein anderer Ersatz für die gewöhnliche stauroskopische

Calcitplatte ist die *Calderon'sche* Doppelplatte. Dieselbe besteht aus zwei Theilen von Kalkspathrhomboëdern, welche zu einem künstlichen Zwilling aneinanderged kittet und zu einer planparallelen Platte geschliffen sind, die mit einem Ocular verbunden zu sein pflegt. Liegt die Trennungsnah der beiden Individuen parallel dem Hauptschnitt des einen der gekreuzten Nicols, so bleiben beide Hälften in allen den Fällen, wenn sonst die Calcit-Interferenzfigur durch ein zwischengeschobenes Object ungestört hervortreten würde, gleichmässig dunkelgrau, so dass die Trennungslinie überhaupt nicht sichtbar ist. Bei allen übrigen Stellungen des Objects tritt unverzüglich eine — der Störung der Interferenzfigur entsprechende — Aenderung in der Beschattung der beiden Plattenhälften hervor, die eine wird dunkel, die andere hell, oder beide erscheinen gleich hell. — Zum Ersatz von *Calderon's* Doppelplatte proponirte *Traube* zwei streifenförmige Viertelundulationsglimmerlamellen in der Weise nebeneinander zu legen, dass die optischen Axenebenen in beiden einen Winkel von 70° bilden.

Anstatt das Maximum der Dunkelheit oder die normale Calcit-Interferenzfigur u. s. w. zum Anhalt zu nehmen, kann man zur genaueren Bestimmung der Schwingungsrichtung auch auf eine bestimmte Farbe einstellen. Die letztere wird z. B. hervor gebracht, indem man in einen Schlitz des Tubus oberhalb des Objectivs eine parallel zur Hauptaxe geschliffene Quarzplatte von solcher Dicke und in einer 45° -Stellung ihrer Hauptaxe gegen die gekreuzten Nicols einschreibt, dass das Gesichtsfeld des Mikroskops gleichmässig mit dem charakteristischen hellbläulichen Violett oder Purpurvioletts versehen erscheint. Diese Farbe bleibt nur unverändert, wenn auf dem Objecttisch in einen Theil des Gesichtsfeldes entweder ein isotroper Schnitt eingeführt wird, oder ein doppeltbrechender, welcher so gerichtet ist, dass seine Elasticitätsaxen mit den Nicolhauptschnitten zusammenfallen. In jeder anderen Stellung wird das doppeltbrechende Blättchen durch den Quarz eine von jenem Violett abweichende Farbe erhalten. Dreht man bis Blättchen und Gesichtsfeld gleichmässig gefärbt sind, so ist in diesem Moment jene Uebereinstimmung in der Richtung vorhanden. — Zu demselben Zweck kann auch irgend eine andere Platte eines doppeltbrechenden Minerals verwandt werden, dessen Interferenzfarbe empfindlich und leicht veränderlich ist, z. B. ein Glimmerblättchen oder Gypsblättchen, welches das Roth erster Ordnung zeigt. — An sich farblose Mineralien taugen natürlich für diese Prüfungen am besten.

Noch ein anderes Mittel, die Lage der Elasticitätsaxen in einem doppeltbrechenden Blättchen möglichst scharf zu bestimmen, ist die sog. *Bertrand'sche* Doppelquarzplatte. Dieselbe besteht aus zwei rechts- und zwei linksdrehenden Platten von senkrecht zur Axe geschnittenem Quarz (alle 4 gleich dick, etwa 2,5 mm), welche, je einen Quadranten darstellend, so zusammengekittet sind, dass die beiden rechten über Kreuz und die beiden linken über Kreuz liegen, also stets eine rechte Platte sich mit zwei linken berührt. Wird dann diese Combination so in das Ocular zwischen die erste und zweite Linse eingefügt, dass die als rechtwinkelig sich schneidende Linien erscheinenden Berührungsflächen der vier Stücke dem Fadenkreuz, d. h. den gekreuzten Nicolhauptschnitten genau parallel gehen, so sind die 4 Quadranten durchaus gleich gefärbt, bei der angegebenen Dicke ganz schwach bläulich. Die gleiche Färbung bleibt nach der Einschaltung eines doppeltbrechenden Mineralblättchens auf dem Objecttisch nur dann bestehen, wenn die in demselben liegenden Elasticitätsaxen genau parallel sind den Nicolhauptschnitten, also den Trennungslinien der Quadranten. Die kleinste Abweichung von dieser Richtung macht sich sofort in äusserst empfindlicher Weise dadurch kund, dass zwar die gegenüberliegenden gleichen Quadranten der Platte noch gleich, die anliegenden (rechten und linken) aber verschieden gefärbt sind. — Ueber eine andere empfindliche Quarzdoppelplatte vgl. *Stöber*, Z. f. Krystall. XXIX. 1898. 22.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, dass als optische Wirkungen eines Objects zwischen gekreuzten Nicols einander entsprechen: Einerseits Dunkelheit des Objects ohne weiteren Apparat, ungestörtes Hervortreten der Calcit-Interferenzfigur

bei der stauroskopischen Platte, normales Auftreten der Interferenzfigur bei der Platte von *Brexina*, gleichmässige Dunkelheit der Platte von *Calderon*, Unverändertbleiben der Polarisationsfarbe einer Quarzplatte, übereinstimmende Färbung der vier Felder einer *Bertrand'schen* Doppelquarzplatte. Alle diese Erscheinungen treten hervor bei Schnitten, in denen überhaupt keine Doppelbrechung erfolgt, sowie bei solchen doppeltbrechenden, welche so gerichtet sind, dass je eine ihrer Elasticitätsaxen mit einem Nicolhauptschnitt zusammenfällt. Andererseits sind unter einander gleichbedeutend: Chromatische Polarisation des Objects ohne weiteren Apparat, Störung der Calcit-Interferenzfigur, Verschiebung des Mittelbalkens in der Platte von *Brexina*, Aenderung in der Beschattung der Hälften in der Platte von *Calderon*, Aenderung der Polarisationsfarbe einer Quarzplatte, abweichende Färbung zweier anliegender Felder bei einer *Bertrand'schen* Doppelquarzplatte. Diese Erscheinungen verweisen allemal darauf, dass das untersuchte Object überhaupt doppeltbrechend und ferner derartig gelegen ist, dass keine seiner Elasticitätsaxen mit einem Nicolhauptschnitt zusammenfällt.

Bestimmung des optischen Charakters im parallelen polarisirten Licht. Nachdem in einem doppeltbrechenden Blättchen durch die angegebenen Methoden die Lage der beiden optischen Elasticitätsaxen mit Bezug auf die kristallographischen Axen überhaupt festgestellt ist, kann es sich weiter um den sog. optischen Charakter desselben, d. h. um die Frage handeln, welche davon die Axe der grösseren und welche die der kleineren Elasticität ist. Dies wird ermittelt durch Vergleichung mit einem anderen Mineralblättchen, in welchem der relative Werth dieser beiden Richtungen, der optische Charakter, bekannt ist.

Man kann sich dazu z. B. einer parallel zur Hauptaxe geschnittenen Quarzplatte bedienen, welche bei gekreuzten Nicols in den Schlitz des Tubus so eingeschoben wird, dass ihre Hauptaxe mit den Nicolhauptschnitten 45° bildet und so dick ist, dass sie dann für sich das empfindliche Purpurviolett zeigt. In dem Quarz mit optisch positivem Charakter liegt die Axe der kleinsten Elasticität c parallel der in bekannter Richtung verlaufenden Hauptaxe. Nun wird auf dem drehbaren Objecttisch das zu untersuchende Blättchen in eine solche Stellung gebracht, dass seine Elasticitätsaxen ebenfalls 45° mit den gekreuzten Nicols bilden, wobei dann natürlich in beiden Medien die Elasticitätsaxen überhaupt sich decken oder im Allgemeinen parallel gehen. Sind es nun gleichwerthige Axen, welche zusammenfallen, so muss das Mineralblättchen (in Folge der Vergrösserung des Gangunterschiedes der Strahlen) wie eine Verdickung der Quarzplatte wirken, und die Interferenzfarbe der letzteren muss daher steigen, durch Violett nach Blau und Grün der II. Ordnung. Decken sich aber ungleichwerthige Elasticitätsaxen, so wirkt das Blättchen wie eine Verdünnung der Quarzplatte und ihre Interferenzfarbe muss durch Roth und Orange nach Gelb der I. Ordnung fallen.

Statt der Quarzplatte kann man auch in derselben Weise ein dünnes Glimmerblättchen einschieben, welches zweckmässig als ein oblonges Rechteck geschnitten ist, dessen Längsseite parallel geht der optischen Axenebene des Glimmers; letztere ist bei dem Glimmer die Axe der kleinsten Elasticität c , und wird zu den gekreuzten Nicols in die 45° -Stellung gebracht. Nun wird das Untersuchungsobject wieder so eingefügt, dass seine Elasticitätsaxen mit denen des Glimmers parallel gehen und wenn dann die Axe der kleinsten Elasticität mit jener bekannten kleinsten des Glimmers sich deckt, so muss die Interferenzfarbe des letzteren steigen; zeigt der Glimmer in der Diagonalstellung das Roth der I. Ordnung, so muss in diesem Falle sich dasselbe durch Violett in Blau der II. Ordnung verwandeln. Fällt umgekehrt die

Interferenzfarbe des Glimmers, von Roth durch Orange in Hellgelb der I. Ordnung, so beweist dies wieder, dass die grösste Elasticitätsaxe des Untersuchungsobjects parallel geht mit der kleinsten (der längeren Kante) des Glimmerblättchens.

Endlich kann man sich auch für solche Feststellungen bei stark doppeltbrechenden Medien eines Quarzkeils bedienen, an welchem eine Fläche genau parallel der Hauptaxe geschliffen ist, während die andere damit einen sehr kleinen Winkel bildet und die Schneide des sich verjüngenden Keils rechtwinkelig auf der Hauptaxe des Quarzes liegt. Die der Hauptaxe parallele lange Kante des Keils ist die Axe der kleinsten Elasticität c . Um die dünnste Schneide weniger zerbrechlich zu machen, ist der Keil auf eine Glasplatte aufgekittet. Dieser Quarzkeil wird, am besten zwischen Ocular und Analysator, bei gekreuzten Nicols eingeschoben und zwar so, dass seine Hauptaxe (lange Kante) 45° gegen die Nicolhauptschnitte steht. Wenn man nun den Quarzkeil in der Richtung von der Schneide nach dem Rücken zu vorwärts bewegt, so erblickt man in Folge der steigenden Dicke die ganze Reihe der Newton'schen Farben streifenartig nebeneinander, von dem Eisengrau und Lavendelgrau der ersten Ordnung bis in die zweite oder dritte Ordnung hinein. Das zu untersuchende Blättchen auf dem Objecttisch wird theilweise auch ins Gesichtsfeld gebracht und zwar wiederum in solcher Lage, dass seine Elasticitätsaxen 45° gegen die Nicolhauptschnitte geneigt sind. Dadurch muss die Farbe des Quarzkeils an der Stelle, wo das Blättchen darunter liegt, geändert werden und zwar tritt dann, wenn die Axe der kleinsten Elasticität des Blättchens parallel der Kante des Quarzkeils verläuft, dort eine Farbe höherer Ordnung auf, welche in dem Quarzkeil selbst erst an einer dickeren Stelle vorhanden ist. Sofern dagegen die durch das Blättchen hervorgebrachte örtliche Farbenänderung des Quarzkeils umgekehrt einer Farbe niederer Ordnung entspricht, wie sie bei dem Quarzkeil an einer dünneren Stelle erscheint, alsdann ist es in dem Blättchen die Axe der grössten Elasticität, welche der Keilkante parallel geht.

Bei einigen einaxigen Mineralien (z. B. Melilith) hat man sowohl ganz schwach positiv als ganz schwach negativ sich verhaltende Varietäten beobachtet, auch Zwischenlieder, welche überhaupt keine Doppelbrechung zeigen.

Bei der Bestimmung der Brechungsquotienten nach der Methode von *Chaulnes* (S. 209) gibt bei einaxigen Krystallen eine senkrecht auf die Hauptaxe geschnittene Platte darnach nur den Brechungsquotienten ω für den ordentlichen Strahl. An einer parallel mit der Hauptaxe geschnittenen Mineralplatte kann man aber die Brechungsquotienten für beide Strahlen, sowohl ω als ε bestimmen, und zwar werden diese unterschieden durch den unterhalb des Objecttisches angebrachten polarisirenden Nicol (unter Weglassung des Analysators). Steht die in der Mineralplatte liegende Hauptaxe senkrecht auf der Schwingungsrichtung dieses Nicols, so ist der gefundene Brechungsquotient wiederum ω , er muss also mit dem in einer basischen Platte ermittelten übereinstimmen. Wird darauf das Blättchen in seiner Horizontalebene um 90° gedreht, so dass seine Hauptaxe jetzt parallel mit dem Nicolhauptschnitt geht, so wird der Brechungsquotient ε für den anderen Strahl erhalten. — Bei zwei-axigen rhombischen Krystallen sind zur Bestimmung der drei Brechungsquotienten nach der *Chaulnes'schen* Methode mindestens zwei planparallele Platten erforderlich, von denen jede, einem Pinakoid entsprechend, senkrecht auf einer optischen Elasticitätsaxe steht; dieselben werden wiederum nach Einfügung blos des polarisirenden Nicols untersucht. Jede derselben liefert, wenn eine darin liegende Elasticitätsaxe einmal dem Nicolhauptschnitt parallel geht, das anderemal darauf senkrecht steht, zwei Hauptbrechungsquotienten. Diese reduciren sich insgesamt auf drei, da einer derselben auf zwei Platten übereinstimmend gefunden wird: die eine Platte liefert z. B. α und β , die andere α und γ oder β und γ .

Der mittlere durchschnittliche Brechungsquotient ist bei den einaxigen Mineralien $= \frac{\varepsilon + 2\omega}{3}$, bei den zwei-axigen $= \frac{\alpha + \beta + \gamma}{3}$ oder β , wenn nur dieses bestimmt war.

Je höher die Brechungsquotienten sind, desto stärker reliefartig und mit desto dunklerer Umrandung treten in den Dünnschliffen die Mineralien im gewöhnlichen Licht hervor, desto mehr runzelig sieht ihre Oberfläche aus. Das Maass dieser Erscheinungen lässt also schon ungefähr auf die Höhe oder Niedrigkeit der Brechungsquotienten schliessen. Derjenige des Canadabalsams ist $= 1,549$.

Bei doppeltbrechenden Mineralien ist aber nicht nur die relative Höhe der Brechungsquotienten selbst, sondern auch ihr gegenseitiger Unterschied, d. h. das Maass oder die Stärke der Doppelbrechung, die Differenz zwischen ω und ε , sowie zwischen γ und α sehr charakteristisch und für die Diagnose geeignet, indem damit die Intensität der Interferenzfarben zusammenhängt (vgl. S. 220). Aus der Höhe oder Niedrigkeit der letzteren innerhalb der Newton'schen Farbenscala kann man bei bekannter Dicke auf die Stärke oder Schwäche der Doppelbrechung schliessen und umgekehrt¹⁾.

Damit das Roth der ersten Ordnung entsteht, muss ein Blättchen von Chlorit ($\gamma - \alpha = 0,004$) die relativ sehr beträchtliche Dicke von 0,551 mm besitzen, während dasselbe Roth sich beim Andalusit ($\gamma - \alpha = 0,044$) schon bei einer Dicke von 0,05 mm, beim Muscovit ($\gamma - \alpha = 0,042$) selbst bei 0,013 mm, beim Rutil ($\omega - \varepsilon = 0,287$) bereits gar bei einem Blättchen von nur 0,00192 mm Dicke zeigen würde.

Mineralien (z. B. Zoisit, Melilith, Vesuvian), welche nur eine ausserordentlich schwache Doppelbrechung besitzen (und vielleicht für eine Farbe +, für eine andere — sind), zeigen zwischen gekreuzten Nicols nicht das Eisengrau im Anfang der I. Ordnung, sondern ein ganz eigenthümliches intensives Stahlgrau oder selbst Berlinerblau, welches von jedem anderen Blau der Farbenscala verschieden ist (sog. Ultra-Blau).

§ 107. Untersuchungen im convergenten polarisirten Licht. Diese Untersuchungen dienen allgemein dazu: 1) die einaxigen von den zweiaxigen Krystallen zu unterscheiden; 2) wiederum den relativen Werth der Elasticitätsachsen, den sog. optischen Charakter festzustellen; 3) die Dispersionen zu bestimmen; 4) den Winkel der optischen Axen zu messen; 5) kann dadurch auch für ein einfachbrechendes Blättchen ermittelt werden, ob es von einem überhaupt isotropen oder von einem einaxigen Mineral her stammt.

Interferenzbilder im convergenten polarisirten Licht. Etwas dickere planparallele Platten von doppeltbrechenden Krystallen, welche bei den optisch-einaxigen senkrecht auf die Hauptaxe, bei den zweiaxigen senkrecht auf eine der optischen Axen oder auf die Bisectrix geschnitten sind, offenbaren, namentlich wenn die Schwingungsebenen von Polarisator und Analysator gekreuzt sind, im Nörremberg'schen oder einem anderen für solchen Zweck eingerichteten Polarisationsinstrument im convergenten Licht sehr schöne bunte Farbenringe, was darin begründet ist, dass die aus der Platte austretenden Lichtstrahlen, im oberen Nicol

¹⁾ *Michel Lévy*, welchem man eine grosse Menge von Bestimmungen auf diesem Gebiet und den Nachweis ihrer Bedeutsamkeit verdankt, hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, wie dadurch in manchen Fällen zwei Mineralien, deren sonstige optische Eigenschaften ähnlich sind, unterschieden werden können. So haben der Enstatit und der Hypersthen eine zweimal geringere Doppelbrechung als die monoklinen Glieder der Pyroxengruppe; ebenso unterscheiden sich der Zoisit vom Epidot, der Korund vom Turmalin u. s. w. — Eine bewundernswerth hergestellte polychromatische Tafel, auf welcher man aus der bekannten Dicke eines Minerals und der Höhe der Newton'schen Farben für dasselbe direct das Maass der Doppelbrechung und umgekehrt ablesen kann, enthält das Werk »Les minéraux des roches«, Paris 1888 von *Michel Lévy* und *Lacroix*.

auf eine Schwingungsebene reducirt, gegenseitig zur Interferenz gelangen. Die Art der an jedem Punkt sichtbaren Farbe hängt wesentlich von der Wegdifferenz der interferirenden Strahlen, somit von der Dicke der Lamelle und von der Richtung ab, in welcher die Strahlen hindurchgehen.

Bringt man nämlich, bei gekreuzten Polarisationssebenen, eine optisch-einaxige und normal auf die Hauptaxe gespaltene oder geschnittene Platte von geeigneter Dicke in den Polarisationsapparat, so sieht man im convergenten weissen Tageslicht im Analysator ein System kreisrunder, concentrischer, bunter Farberinge, welches von einem schwarzen, schattigen Kreuz durchsetzt wird, wie es Fig. 307 zeigt, in welcher die concentrischen Ringe als regenbogenähnlich farbige Curven vorgestellt werden müssen, während das schwarze Kreuz zwar in der Mitte ganz dunkel und ziemlich scharf begrenzt, nach aussen zu aber immer weniger dunkel und gleichsam vertuscht erscheint.



Fig. 307.

Die Dunkelheit des Centrums wird dadurch erzeugt, dass diejenigen Strahlen, welche vom Polarisator her senkrecht auf die Platte fallen, also parallel der optischen Axe durchgehen, als ordentliche Strahlen in dem Analysator durch Totalreflexion vernichtet werden. Die Balken des Kreuzes sind den Schwingungsrichtungen des Polarisators und Analysators (dem Fadenkreuz) parallel. Dreht man die Platte in ihrer Ebene, so bleibt die Interferenzfigur in ihrer Erscheinung ganz unverändert, da jene gekreuzten Richtungen dabei dieselben bleiben, und in der Platte rings um die optische Axe alle radialen Richtungen gleich sind. — Dreht man aber den Analysator allmählich, bis die beiderseitigen Polarisationssebenen parallel geworden sind, so ändert sich die Phase des Bildes, indem das schwarze Kreuz verschwindet und statt seiner ein weisses Kreuz erscheint, die farbigen Ringe aber die Complementärfarbe der vorherigen annehmen, etwa so, wie es Fig. 308 zeigt.



Fig. 308.

Bei gleich dicken Platten verschiedener Substanzen hängt der Durchmesser der Ringe von der Stärke der Doppelbrechung ab: die Ringe werden desto enger, je bedeutender die Differenz zwischen ω und ε ist: der Kalkspath liefert viel engere Ringe als eine ebenso dicke Quarzplatte. Mit der Entfernung vom Centrum nimmt der Abstand der Ringe von einander ab.

Je dünner die untersuchte Platte ist, desto weiter fallen übrigens die Ringe auseinander, und so kommt es, dass man bei einer gewissen Dünne (durchschnittlich unter 1 mm) nur noch den centralen Theil der Interferenzfigur sieht und schon der erste Farbenring ausserhalb des Gesichtsfeldes liegt. Die im vorhergehenden Paragraph besprochenen Polarisationserscheinungen dünner Blättchen doppeltbrechender Mineralien im parallelen Licht sind eben weiter nichts, als der innerste Theil der Interferenzfiguren. — Betrachtet man die Ringe im homogenen Licht, z. B. durch ein rein roth gefärbtes Glas, so vermehrt sich ihre Anzahl sehr bedeutend, während sie zugleich dunkel oder anders gefärbt erscheinen.

Steht in dem Krystalschnitt die optische Axe nicht genau senkrecht, so erscheint das Interferenzbild aus dem Centrum des Gesichtsfeldes gerückt, bei stärkerer Neigung vielleicht so weit, dass nur ein Theil desselben, ein Arm des Kreuzes und ein Theil der Farberinge sichtbar ist. Bei der Drehung des Schnittes beschreibt alsdann dies Interferenzbild einen Kreis, wobei aber stets der sichtbare Theil des Kreuzes oder Kreuzarmes die gleiche Form und die gleiche Orientirung parallel dem Fadenkreuz beibehält.

Platten, in beliebiger Richtung aus einem überhaupt nur einfachbrechenden (regulären oder amorphen) Mineral entnommen, können natürlich im convergenten polarisirten Licht eine solche Interferenzfigur nicht aufweisen, sondern bleiben zwischen gekreuzten Nicols dunkel, zwischen parallelen hell, weil hier eine Zerlegung oder Aenderung der Schwingungsebene der aus dem Polarisator austretenden Strahlen in keinem Falle erfolgen kann. Durch diesen Gegensatz kann man also erkennen, ob eine im parallelen polarisirten Licht isotrope Krystalllamelle regulär oder die Basis eines tetragonalen oder hexagonalen Individuums ist.

Schneidet man von einem optisch-zweiaxigen Krystall eine planparallele Platte von geeigneter Dicke senkrecht auf eine optische Axe, so erblickt man bei derselben Untersuchung im convergenten Licht zwischen gekreuztem Polarisator und Analysator ein System von elliptischen oder ovalen bunten Farbenringen, welches von einem schwarzen schattigen Streifen oder Balken durchsetzt



Fig. 309.

wird, etwa so, wie es Fig. 309 zeigt, in welcher die concentrischen Ringe abermals buntfarbig zu denken sind; der schwarze Streifen, welcher in der Axenebene liegt, erscheint zwar in der Mitte schmal und scharf begrenzt, verbreitert und vertuscht sich aber nach aussen immer mehr. Dieses Ringsystem bildet sich also um die eine der optischen Axen. Dreht man die Platte in der Horizontalebene, so

dreht sich auch der Streifen, aber in umgekehrter Richtung. Der Streifen ist stets dann gerade gestreckt und halbirt das Gesichtsfeld dann, wenn die Axenebene mit einem der Nicolhauptschnitte zusammenfällt; in allen anderen Positionen zeigt er eine schwach hyperbolische Krümmung. Steht die optische Axe nicht genau senkrecht auf der Schnittfläche, so erscheint das Axenbild an der Seite oder am Rande und beschreibt beim Drehen des Präparats einen Kreis.

In dem Nörremberg'schen Polarisations-Instrument ermöglicht es die Grösse des Gesichtsfeldes, dass man in solchen optisch-zweiaxigen Platten, deren Axenebene rechtwinkelig auf ihnen steht, die um beide Axen gebildeten Ringsysteme zugleich beobachten kann, selbst wenn der Winkel der optischen Axen recht gross ist. Wird also eine solche senkrecht auf die spitze Bisectrix geschnittene oder gespaltene Platte (z. B. von optisch-zweiaxigem Glimmer) zwischen beide Linsensysteme so eingelegt, dass ihre Axenebene der Polarisationssebene entweder des Polarisators oder des Analysators parallel ist, so erblickt man ein Bild, wie es

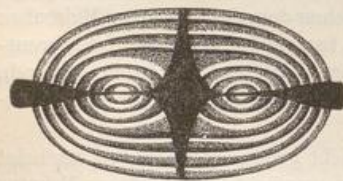


Fig. 310.

etwa Fig. 340 zeigt. Beide Ringsysteme, deren Mittelpunkte den Austritten der optischen Axen entsprechen, erscheinen mit symmetrischer Figur und Lage neben einander zugleich, umgeben von lemniscatischen Farbenringen, und getrennt durch einen dunkeln Zwischenraum, während sich der die Axenaustrittspunkte verbindende schattige Streifen in der Mitte beider Systeme schmal und scharf begrenzt zeigt, weiter

hinaus aber verbreitert und vertuscht. Es ist also auch hier gewissermassen ein schwarzes Kreuz vorhanden, wie in den optisch-einaxigen Krystallen, jedoch mit

dem Unterschied, dass zwei Arme desselben sehr breit und kurz erscheinen, während die beiden anderen Arme sehr schmal beginnen und sich erst weiterhin ausbreiten. Das Kreuz ist daher, wenn auch symmetrisch, so doch nicht regelmässig, wie in den einaxigen Krystallen.

Die beiden dunkeln Balken entstehen natürlich dadurch, dass hier in diesen Richtungen die vom Polarisator kommenden Strahlen eine Zerlegung nicht erfahren und als ordentliche Strahlen in dem Analysator absorbiert werden. — Doch ist hervorzuheben, dass jene erwähnte Symmetrie der Figur und Lage nur dann stattfindet, wenn die beiden optischen Axen gleich geneigt gegen die Lamelle sind, wie dies in den Krystallen des rhombischen Systems und in denjenigen Krystallen des monoklinen Systems der Fall ist, deren Axenebene nicht parallel der Symmetrieebene ist. — Ist der Winkel der optischen Axen sehr klein, so nähert sich bei dieser Stellung die Interferenzfigur dem Bilde, welches ein optisch-einaxiger Krystall liefert.

Dreht man hierauf die Platte in ihrer eigenen Ebene so weit, bis ihre Axenebene mitten zwischen den Polarisationssebenen des Polarisators und Analysators zu liegen kommt, also mit jeder derselben den Winkel von 45° bildet, so verändert sich bei dieser Diagonalstellung die Erscheinung, und man erblickt ein Bild wie Fig. 311, in welchem beide Ringsysteme nebst den Lemniscaten vollständig zu übersehen sind, und jedes derselben von einem hyperbolischen schwarzen Streifen quer durchsetzt wird. Die Scheitel beider Hyperbeln erscheinen schmal und scharf begrenzt in der Mitte der Ringsysteme in je einem Axenausstritt, die gleichseitigen Arme oder Aeste derselben nach aussen verbreitert und vertuscht.



Fig. 311.

Die Grösse des Winkels der beiden optischen Axen ist maassgebend für die gegenseitige Entfernung der beiden Axenpunkte bei der Parallelstellung sowie der Hyperbelpole bei der Diagonalstellung; die Dicke des Blättchens hat darauf keinen Einfluss.

Steht aber die Bisectrix nicht genau senkrecht auf dem Schnitt, so zeigt das Gesamt-Interferenzbild zunächst eine excentrische Stellung; bei grösserer Abweichung erscheinen Theilbilder, ähnlich den für einaxige Krystalle angeführten. Allemal ist jedoch das Bild als das einer optisch-zweiaxigen Substanz charakterisirt durch das Drehen und die Krümmung der dunkeln Balken, sowie durch das Schliessen des Kreuzes und sein Auseinandergehen in Hyperbeln bei der Drehung des Präparats.

Da nun die meisten optisch-zweiaxigen Lamellen, deren Axenebene rechtwinkelig auf ihnen steht, diese gleichzeitige Wahrnehmung beider Ringsysteme gestatten, so gewährt das convergente polarisirte Licht ein vorzügliches Hilfsmittel zur Erkennung des optisch-zweiaxigen Charakters.

Um nun in dem mit Nicols versehenen Mikroskop an dem eingestellten dünnen Krystallblättchen die von demselben erzeugte Interferenzfigur sichtbar zu machen, wie sie bei dickeren Platten in dem für mikroskopische Untersuchungen nicht eingerichteten Nörremberg'schen Polarisationsinstrument erblickt wird, mit anderen Worten, um das Mikroskop in Stand zu setzen, vermittels desselben auch Beobachtungen im convergenten polarisirten Licht auszuführen, wird das Ocular entfernt und auf den

unteren Nicol eine starke Sammellinse (Condensor) aufgesetzt; das Objectiv muss recht stark gewählt werden. So sind es also, wie im Nörremberg'schen Polarisationsapparat stark divergente Strahlenbündel, welche aus dem Präparat austreten und in der Focalebene des Objectivs zu einem Luftbilde vereinigt werden. Die Interferenzfigur erscheint zwar klar und scharf, aber sehr verkleinert und in relativ beträchtlicher Entfernung. Zur Vergrößerung der Bilder dient eine über dem Objectiv im Tubus eingeschaltete schwache Linse, die *Bertrand'sche* Linse, welche etwas gehoben oder gesenkt werden kann, da die scharfe Einstellung des Interferenzbildes bei den verschiedenen Objectiven variiert. Belässt man das Ocular, so wird die Interferenzfigur durch eine über den Analysator gehaltene Loupe erblickt. — Um den Uebergang aus dem parallelen in das convergente polarisirte Licht so vorzunehmen, dass zur Aufsetzung des Condensors auf den Polarisator weder der letztere zurückgeschlagen noch das Object von der Stelle bewegt zu werden braucht, construirte *Wülfing* eine Vorrichtung, welche im N. Jahrb. f. Min. 1889. II. 499 beschrieben ist. Eine andere wurde von *R. Brunnee* (Voigt & Hochgesang) in Göttingen ausgeführt.

Bestimmung des optischen Charakters im convergenten polarisirten Licht. Die folgenden Untersuchungen können ebenfalls sowohl in einem Nörremberg'schen Polarisationsinstrument, als in einem für convergentes polarisirtes Licht eingerichteten Mikroskop vorgenommen werden, sofern letzteres die Axenbilder hinlänglich scharf und gross zeigt.

1. Bei einaxigen Krystallen. Um zu entscheiden, ob die Doppelbrechung einer einaxigen Lamelle positiv oder negativ ist, kann man sich eines sehr dünnen Blattes von optisch-zweiachsigem Glimmer bedienen, einer sog. Viertelundulationslamelle, d. h. einer von derjenigen Dicke, dass die durch Doppelbrechung eines senkrecht auffallenden Lichtstrahls entstehenden zwei Strahlen einen Gangunterschied von $\frac{1}{4}$ Wellenlänge ($\frac{1}{4}\lambda$) über eine beliebige Anzahl ganzer Wellenlängen erhalten. Dieses Viertelundulationsglimmerblatt wird bei der Untersuchung im convergenten Licht oberhalb der zu prüfenden Lamelle entweder unmittelbar unter den Analysator eingeschoben, oder in den Schlitz am unteren Ende des Tubus eingefügt, aber stets in solcher Lage, dass dessen (durch einen Pfeil markirte) Axenebene die beiden Polarisations Ebenen unter 45° schneidet. Durch Einschaltung dieses Glimmerblatts trennt sich das schwarze

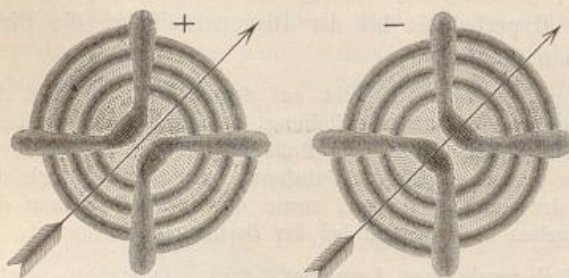


Fig. 312.

Kreuz der Interferenzfigur in zwei Hyperbeln, deren Scheiteltangenten der Axenebene des Glimmers entweder parallel sind, oder dieselbe rechtwinkelig durchschneiden wie Fig. 312 zeigt. Im ersteren Falle hat die geprüfte Lamelle positive, im zweiten Falle negative Doppelbrechung. Bei den positiven Krystallen steht also die Verbindungslinie zwischen den beiden, als graue

Punkte erscheinenden Hyperbelscheiteln gekreuzt (+) auf der Axenebene des Glimmerblatts, bei den negativen sind beide Linien parallel (=). Bei den ersteren erscheinen auch die concentrischen Ringe der Interferenzfigur erweitert in denjenigen Quadranten, durch welchen die Trace der optischen Axenebene des Glimmers nicht geht, bei den letzteren ist solches der Fall in den Quadranten, welche durch diese Trace halbiert werden. Doch sind diese Ringe oft überhaupt nicht sehr deutlich zu bemerken, und bei Substanzen von schwacher Doppelbrechung erscheinen auch wohl die grauen Punkte unbestimmt.

Man kann auch für eine basische einaxige Lamelle den Charakter der Doppelbrechung vermittle einer anderen basischen Platte bestimmen, deren Charakter bekannt ist. Wenn letztere durch Auflegung auf die zu untersuchende mit ihr combinirt wird und sich alsdann im convergenten polarisirten Licht die Ringe der Combination verengern und vermehren, so haben beide Platten (welche eben wie eine einzige verdickte wirken) dasselbe Zeichen; erweitern und vermindern sich aber die Ringe, wird also scheinbar eine Verdünnung der bekannten Platte hervorgebracht, so ist das Zeichen der Doppelbrechung für beide Platten entgegengesetzt. Als Hilfsplatte von bekanntem Charakter dient gewöhnlich der negative Kalkspath¹⁾.

2. Bei zweiaxigen Krystallen. Um über den positiven oder negativen Charakter der Doppelbrechung (in Betreff der spitzen Bisectrix) zu entscheiden, dazu kann man, wenigstens in denjenigen Fällen, wo die Lamelle im convergenten Licht beide Systeme von Farbenringen zeigt, auf ähnliche Weise gelangen, wie bei den optisch-einaxigen Krystallen, indem man nämlich ein Viertelundulationsglimmerblatt zwischen die zu prüfende Lamelle und den Analysator so einschaltet, dass die Axenebene des Glimmers mitten zwischen beiden Polarisationssebenen liegt, dieselben also wieder unter 45° schneidet. In der zu untersuchenden Platte liegen die Elasticitätsachsen parallel diesen Nicolhauptsnitten. Das unregelmässige schwarze Kreuz zerfällt dann abermals in zwei (unregelmässige) hyperbolische Schweife, deren Scheiteltangenten parallel oder rechtwinkelig mit der Axenebene des Glimmerblattes sind, je nachdem die Lamelle positive oder negative Doppelbrechung besitzt. Bei der auch hier erfolgenden Störung der Interferenzfigur der Platte sind in den abwechselnden Quadranten die Ringe verengt oder erweitert (Fig. 313). Wenn die optische Axenebene

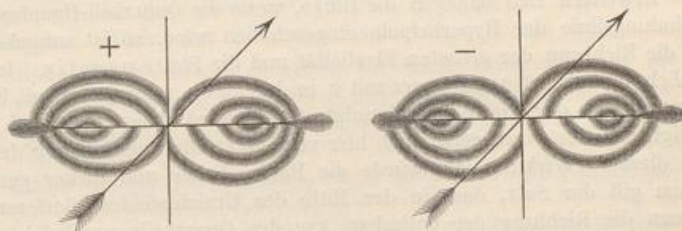


Fig. 313.

des Glimmers durch die Quadranten der verengerten Ringe geht, so ist die geprüfte Platte positiv, also ihre spitze Bisectrix Axe der kleinsten Elasticität; geht sie durch die Quadranten der erweiterten Ringe, so ist die Doppelbrechung negativ, d. h. die spitze Bisectrix ist die Axe der grössten Elasticität.

Im vorstehenden Falle ist angenommen, dass die zweiaxige Krystallplatte senkrecht zur spitzen Bisectrix geschnitten vorlag, indem ja nur dann zu erwarten ist, dass sie überhaupt in Luft die beiden Axenausstritte zeigen wird. Handelt es sich um eine senkrecht zur stumpfen Bisectrix geschnittene Platte, so würde das — allerdings meist nur in Oel zu beobachtende — Interferenzbild durch das Viertelundulationsglimmerblatt gerade die entgegengesetzte Veränderung erfahren, d. h. die oben für positiv angeführten Erscheinungen entsprechen negativem Charakter und umgekehrt.

1) Rinne schlug (N. Jahrb. f. Min. 1894. II. 24) vor, sich des Gypsblättchens vom Roth I. Ord. zu bedienen, welches man auch im parallelen polarisirten Licht anwendet. Wird dasselbe so eingeschaltet, dass seine kleinste Elasticitätsaxe c zu den Nicols unter 45° steht, indem dieselbe den rechten oberen (positiven) Quadranten des Gesichtsfeldes halbirt, so wird das schwarze Kreuz der Interferenzfigur durch ein rothes ersetzt, die Ringe zerfallen in Ringstücke und zwar erweitern sich bei optisch positiven Krystallen diejenigen im positiven Quadranten, bei negativen die im negativen (linken oberen) Quadranten. Namentlich charakteristisch ist, dass an der Kreuzungsstelle der beiden Kreuzarme die Quadranten abwechselnd in blauen und gelben Tönen gefärbt erscheinen: liegt das Blau im + Quadranten, so ist die Doppelbrechung positiv, liegt das Blau im — Quadranten, so ist die Doppelbrechung negativ.

Zur Ermittlung der relativen Grösse der optischen Elasticität kann man ferner jenen Quarzkeil zu Hülfe nehmen, dessen man sich auch bedient, um im parallelen polarisirten Licht die Bestimmung des optischen Charakters vorzunehmen (S. 225); an demselben ist bekanntlich eine Fläche genau parallel der Hauptaxe geschliffen, während die andere damit einen sehr kleinen Winkel bildet; die lange Kante des Keils (entsprechend der Hauptaxe) ist die Axe der kleinsten Elasticität, die Schneide des Keils liegt rechtwinkelig auf der Hauptaxe und mit ihr fällt die Axe der grössten Elasticität zusammen. Die zu prüfende, senkrecht auf die Bisectrix geschnittene Platte wird bei gekreuzten Nicols in der Diagonalstellung (so dass ihre Hauptschnitte 45° mit den Nicolhauptschnitten bilden, und die Hyperbeln auftreten) in den Apparat gebracht. Wird nun zwischen den Analysator und die Platte der Quarzkeil einmal so, dass seine Hauptaxe parallel der optischen Axenebene der Platte, das anderemal so, dass dieselbe senkrecht zu der letzteren geht, langsam eingeschoben, so tritt in dem einen oder anderen Falle eine Erweiterung der centralen Ringe ein. Erfolgt dieselbe in dem ersteren Falle — also wenn der Quarzkeil mit seiner langen Kante im Sinne der Verbindungslinie der beiden Hyperbelpole oder der stumpfen Bisectrix eingeführt wird —, so muss diese letztere das entgegengesetzte Zeichen haben, wie der positive Quarz, demnach negativ sein, während die spitze Bisectrix (auf welche die Angaben bezogen zu werden pflegen) die Richtung der kleinsten Elasticität und die Platte positiv ist. In diesem Falle deckt sich nämlich a im Quarz mit b in der Platte, und c im Quarz mit a in der Platte; der in der Platte beschleunigte Strahl wird daher im Quarz verzögert und der in jener verzögerte wird im Quarz beschleunigt; die Keilgestalt des bewegten Quarzes hat also dasselbe optische Ergebniss, als ob die Platte dünner und dünner gemacht würde. — Erweitern sich dagegen die Ringe, wenn die Quarzkeil-Hauptaxe senkrecht zur Verbindungslinie der Hyperbelpole eingeschoben wird, so ist umgekehrt die spitze Bisectrix die Richtung der grössten Elasticität und die Platte negativ. In diesem Falle fällt nämlich umgekehrt a im Quarz mit a in der Platte, c im Quarz mit b in der Platte zusammen; der in der Platte beschleunigte Strahl wird daher nun auch im Quarz beschleunigt, der dort verzögerte auch hier verzögert; die Einschubung des Quarzes hat also jetzt dieselbe Wirkung, als würde die Platte dicker und dicker gemacht. — Im Allgemeinen gilt der Satz, dass in der Mitte des Gesichtsfeldes Interferenzcurven auftreten, wenn die Richtung der optischen Axe des Quarzkeils parallel ist der Richtung der grösseren Elasticität der Platte¹⁾.

§ 408. **Winkel der optischen Axen.** Die Interferenzfiguren optisch-zwei-axiger Krystalle dienen auch zur Bestimmung des Winkels der optischen Axen; für ihn ist ein Maass der Abstand der Axenaustrittspunkte, wie sie bei der Diagonalstellung einer senkrecht auf die (spitze) Bisectrix geschnittenen Platte als Hyperbelpole erscheinen (Fig. 344). Der für die Messung benutzte, sog. Axenwinkelapparat ist ein Instrument, welches wie ein horizontal liegendes Nörremberg'sches Polarisationsinstrument construirt ist, und ein Fadenkreuz im Ocular besitzt, in welchem zuerst der Centralpunkt des einen, dann derjenige des anderen Axenbildes auf den Kreuzpunkt eingestellt wird; die zu untersuchende Platte steht

1) Benutzt man nach dem Vorschlag von Rinne das S. 234 erwähnte Gypsblättchen vom Roth I. Ordn., welches unter 45° eingeschoben wird, so erleidet in dem diagonal gestellten Interferenzbild um die spitze Bisectrix eines zwei-axigen Krystalls die bestimmte Interferenzfarbe, welche das in der Mitte des Gesichtsfeldes befindliche grössere Feld besitzt, eine Veränderung. Erscheint in der Mitte des Gesichtsfeldes dann der höhere Polarisationsston, wenn die leicht zu erkennende Ebene der optischen Axen senkrecht auf der Axe c des Gypsblättchens steht, so ist die Doppelbrechung positiv; erscheint der höhere Polarisationsston, wenn die optische Axenebene parallel geht mit der Axe c des Gypses, so ist die Doppelbrechung negativ. Wird die Bestimmung an einer Platte senkrecht zur stumpfen Bisectrix vorgenommen, so kehren sich natürlich für die spitze Bisectrix die Zeichen der Doppelbrechung um.

mit einem Theilkreis in Verbindung, an welchem die zwischen beiden Einstellungen erfolgte Drehung abgelesen wird. Ausserdem besitzt das Instrument eine Einrichtung, die Platte zu centriren und zu justiren. Je nachdem das Instrument mit Licht von abweichender Farbe beleuchtet wird, erhält man in Folge der Dispersion der optischen Axen verschiedene Ablesungen für beide Einstellungen, d. h. einen grösseren oder kleineren optischen Axenwinkel. — Der hier ermittelte Werth ist aber nur der scheinbare Winkel der optischen Axen in Luft. In der Platte

P (Fig. 314), welche senkrecht auf die spitze Bisectrix *M* geschnitten ist, wird der wahre spitze Winkel, welchen die optischen Axen thatsächlich innerhalb des Krystallmediums mit einander bilden, nach dem Vorgang von *Des Cloix* mit $2Va$ bezeichnet, während der durch die stumpfe Bisectrix *S* halbirte stumpfe wirkliche Axenwinkel dann $2Vo$ ist (*a* von aigu, spitz, *o* von obtus, stumpf). Beim Austritt in die Luft wird indessen jeder Lichtstrahl, welcher die Platte in der Richtung der optischen Axe passiert hat, von dem Einfallslot *M* abgelenkt und bildet nun mit demselben den Winkel *E*. Daher ist $2Ea$ die Bezeichnung für den, durch directe Messung an einer senkrecht auf die Bisectrix geschnittenen Platte erhaltenen scheinbaren Axenwinkel in Luft, welcher immer grösser ist, als der wahre.

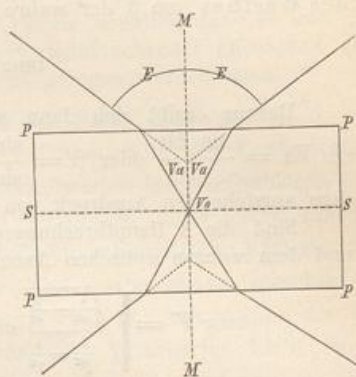


Fig. 314.

Dieser wahre Winkel der optischen Axen wird aus dem scheinbaren berechnet vermittels der Formel $\sin Va = \frac{1}{\beta} \sin Ea$, worin β den Brechungsquotient des in der Richtung einer optischen Axe sich fortpflanzenden Strahls bedeutet, welcher senkrecht zu derselben mit einer der Axe der mittleren Elasticität entsprechenden Fortpflanzungsgeschwindigkeit schwingt.

Ist die scheinbare Divergenz der optischen Axen sehr gross, erreicht oder überschreitet Va den Winkel der totalen Reflexion, so fallen die Ringsysteme vollständig ausserhalb des Gesichtsfeldes, und dann muss man zu anderen Hilfsmitteln seine Zuflucht nehmen, z. B. die Lamelle in einem stärker brechenden Medium, wie in Oel (statt in Luft) untersuchen, welches die totale Reflexion an der Grenze zwischen Platte und Luft aufhebt. Das Oel befindet sich in einem durchsichtigen Gefäss, welches in den Axenwinkelapparat eingeschaltet wird; die in ihm gemessenen scheinbaren Axenwinkel werden als *Ha* und *Ho* bezeichnet (von huile, Oel). Da beim Austritt des Lichtes in Oel keine so starke Brechung stattfindet, wie bei der in Luft, so ist der scheinbare Axenwinkel in Oel *Ha* allemal kleiner als der scheinbare in Luft *Ea*. In solchen Oelen können auch sehr häufig die Axenpunkte auf Platten wahrgenommen werden, welche senkrecht zur stumpfen Bisectrix der wahren optischen Axen liegen.

Zeigt sich in Folge eines übergrossen optischen Axenwinkels auch bei den gewöhnlich gebrauchten Oelen kein Axenbild, so kann man als umgebendes Medium eine Kaliumquecksilberjodidlösung anwenden, welche bei einem spec. Gew. von ca. 3 einen Brechungsquotienten von ca. 1,7 besitzt. Andere so verwendbare Substanzen sind Schwefelkohlenstoff ($n = \text{ca. } 1,63$), Naphthalinmonobromid. — Sehr stumpfe Axenwinkel können auch vermittels des Apparats von *Adams* und *Schneider* gemessen werden,

bei welchem eine Mineralplatte zwischen zwei halbkugelige drehbare Linsen eingefügt wird; dadurch wird der scheinbare Axenwinkel in Glas bestimmt.

Ist der Brechungsquotient n des Oels (oder der anderen Flüssigkeit) bekannt, so gilt die Formel

$$\sin Va = \frac{n}{\beta} \sin Ha;$$

kann man an zwei Platten aus demselben Individuum, senkrecht auf die erste und zweite Mittellinie, sowohl Ha als auch Ho bestimmen, so lässt sich ohne Kenntniss des Werthes von β der wahre Winkel der optischen Axen ermitteln nach der Formel

$$\tan V = \frac{\sin Ha}{\sin Ho}.$$

Daraus ergibt sich dann aber auch der Werth von β ; denn nach Obigem ist $\sin Va = \frac{\sin Ea}{\beta}$ oder $\beta = \frac{\sin Ea}{\sin Va}$, wobei man Ea direct beobachten und Va aus dem vorstehenden Ausdruck von $\tan V$ berechnen kann.

Sind die 3 Hauptbrechungsquotienten α , β , γ bekannt, so gilt zwischen ihnen und dem wahren optischen Axenwinkel $2V$ die Gleichung

$$\tan V = \sqrt{\frac{\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\beta^2}}{\frac{1}{\beta^2} - \frac{1}{\gamma^2}}} \quad \text{oder} \quad \tan V = \frac{\gamma}{\alpha} \sqrt{\frac{\alpha + \beta}{\beta + \gamma} \cdot \frac{\beta - \alpha}{\gamma - \beta}}.$$

Schon auf S. 214 wurde hervorgehoben, dass für verschiedene Farben die optischen Axenwinkel etwas verschiedenen Werth haben, und es handelt sich daher bei ganz sorgfältigen Bestimmungen darum, diese Werthe für die einzelnen Farben zu gewinnen. Das dabei zur Verwendung kommende möglichst monochromatische Licht wird durch gefärbte Flammen geliefert; die Flamme eines Bunsen'schen Gasbrenners wird mittels Lithiumsalz (Li^2SO^4) einfarbig roth, Natriumsalz (Kochsalz, $NaCl$) einfarbig gelb, Thalliumsalz (Tl^2SO^4) einfarbig grün, schwefelsaures Kupferoxyd-Ammoniak einfarbig blau gefärbt. Fast monochromatisches Roth gibt Licht, welches durch Kupferoxydulglas (auch durch eine Lösung von Eosin und Methylenblau) durchgeht. Chlornatrium kann durch Bromnatrium ersetzt werden, das nicht decrepitiert und grössere Helligkeit bewirkt¹⁾.

Man kann auch die Bestimmung des Winkels der optischen Axen für eine zur Bisectrix senkrechte Platte in dem Mikroskop vornehmen, wenn dasselbe durch Einschaltung eines Condensors und einer *Bertrand'schen* Linse (vgl. S. 230) auf convergentes polarisirtes Licht eingerichtet ist. Der Abstand der Axenaustritte, wie sie bei der Diagonalstellung der Platte als Hyperbelpole erscheinen, wird gemessen durch ein festes Ocularmikrometer, oder durch ein bewegliches Schraubenmikrometer (dessen Faden man erst mit dem einen, dann mit dem anderen Hyperbelpol in Verbindung bringt, worauf an der Mikrometerschraube die Distanz abgemessen wird), oder durch eine auf Papier entworfene Projection mittels einer Camera lucida. Aus der gefundenen Lineargrösse $2D$ des Abstandes der beiden Pole erhält man den scheinbaren Winkel der optischen Axen in Luft $2E$ durch die Gleichung $\sin E = \frac{D}{K}$, worin K einen Factor darstellt, der für ein bestimmtes, auf convergentes Licht eingerichtetes Mikroskop constant ist, und für dieses betreffende Instrument vorher festgestellt werden muss,

¹⁾ Ueber eine zweckmässige Lampe für monochromatisches Licht s. *Laspeyres*, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 1882. 97. Ueber einen Spectralapparat zur Herstellung von intensivem monochromatischem Licht *Wülfing*, N. Jahrb. f. Min. Beilage. XII. 1899. 343.

dann aber auch für alle weiteren Untersuchungen mit demselben eingesetzt werden darf. Man erhält diesen Werth K , indem zunächst in einem eigentlichen Axenwinkelapparat der Axenwinkel in Luft $2E$ für irgend eine beliebige, aber genau senkrecht zur Bisectrix geschnittene Platte bestimmt wird; alsdann wird für diese Platte in dem Mikroskop der Abstand der Hyperbelpole $2D$ gemessen. Man hat dann für das letztere Instrument $K = \frac{D}{\sin E}$, worin D und $\sin E$ bekannt sind. — Zum möglichst scharfen

und deutlichen Hervortreten des Interferenzbildes trägt eine zweckmässige Einstellung des Condensors und der *Bertrand'schen* Linse bei. Oberhalb und unterhalb des Präparats — zwischen dasselbe und das Objectiv, sowie zwischen dasselbe und den Condensor — kann man auch einen Tropfen stark lichtbrechender Flüssigkeit einfügen, deren Brechungsquotient natürlich in Betracht gezogen werden muss.

Dispersionserscheinungen. Allemal gilt der Satz, dass der Grad von Symmetrie, welcher einer Krystallfläche eigen ist, sich auch in der Configuration und den Dispersionserscheinungen des dadurch entstehenden Interferenzbildes ausspricht, und dass die Symmetrieebenen für die Krystallfläche auch solche für das Interferenzbild sind. Die für alle zweiaxigen Krystalle charakteristische Erscheinung, dass die optischen Axen für jede Lichtart oder Farbe eine etwas verschiedene Lage haben, die Dispersion der optischen Axen, wird bei Anwendung des gewöhnlichen weissen Lichtes in einem auf convergentes polarisirtes Licht eingerichteten Instrument überhaupt an der besonderen Figur und Lage gewisser isochromatischer Farbenzonen erkannt, wobei zunächst die Farben Roth und Blau berücksichtigt zu werden pflegen.

Wenn die den optischen Axenwinkel Halbirenden für alle Farben genau zusammenfallen, also nur eine Dispersion der optischen Axen stattfindet, so muss bei beiden Hyperbeln sowohl die Lebhaftigkeit als die Reihenfolge der Farben von innen nach aussen ganz genau übereinstimmen. Besitzt dagegen der Krystall auch noch eine Dispersion der Bisectricen, so können die Farbensäume bei beiden Hyperbeln nicht mehr gleich sein und gerade diese Ungleichheit bietet ein sehr vortreffliches und empfindliches Mittel zur Erkennung einer solchen Dispersion der Elasticitätsaxen, d. h. für das Ausgeschlossen sein des rhombischen Systems. Specielleres siehe bei der Charakteristik der zweiaxigen Krystallsysteme.

§ 109. Optische Charakteristik der regulären Krystalle und amorphen Mineralien. Lamellen von durchsichtigen regulären Krystallen üben, in beliebiger Richtung denselben entnommen, auf das polarisirte Licht in der Regel gar keine Wirkung aus, weil sie nach allen Richtungen gleiche Elasticität und Fortpflanzungsgeschwindigkeit, daher auch nur einfache Lichtbrechung aufweisen. Diese isotropen Medien zeigen weder im parallelen noch im convergenten polarisirten Licht Interferenzfarben, speciell in dem letzteren auch keine Interferenzfigur, bleiben im parallelen bei gekreuzten Nicols während voller Horizontaldrehung stets völlig dunkel, stören niemals das schwarze Kreuz im Stauroskop u. s. w. Auf dieselbe Weise verhalten sich Lamellen durchsichtiger amorpher Mineralien. Die beiden wird man in Schnitten daran zu unterscheiden vermögen, dass die amorphen Substanzen weder einer krystallographischen Begrenzung noch einer Spaltbarkeit fähig sind, weshalb sie nur von ganz unregelmässigen Sprüngen durchzogen sein können; während die regulären Individuen ihre selbständige polygonale Formentwicklung

nur selten verleugnen und ihre vorhandene Spaltbarkeit sich in geradlinig verlaufenden Trennungen äussert.

§ 110. **Optische Charakteristik tetragonaler und hexagonaler Krystalle.** Dünne Lamellen dieser einaxigen Medien, welche man unter dem Mikroskop im parallelen polarisirten Licht untersucht, erscheinen, wenn sie senkrecht auf die Hauptaxe geschnitten sind, zwischen gekreuzten Nicols dunkel und verbleiben auch so bei Drehung in der Horizontalebene. Gehören sie aber Durchschnitten an, welche nicht senkrecht auf die Hauptaxe liegen, so werden sie bei gekreuzten und parallelen Nicols in den meisten Stellungen farbig; nur wenn die (ihrer Richtung nach leicht an den Contouren der Durchschnitte zu erkennende) Hauptaxe c mit dem optischen Hauptschnitt eines Nicols parallel geht, erweisen sie sich zwischen gekreuzten Nicols dunkel, zwischen parallelen hell, was bei einer vollen Horizontal-drehung viermal vorkommt. Die basischen Schnitte stören die stauroskopische Calcit-Interferenzfigur überhaupt nicht; die parallel oder schief gegen c geführten nur dann nicht, wenn die in der Lamelle liegende Hauptaxe mit einem Nicol-hauptschnitt zusammenfällt.

Auf allen Prismenflächen beider Systeme erscheint demnach gerade (d. h. den Prismenkanten parallele) Auslöschung, die Flächen der Pyramiden zeigen die eine Auslöschung parallel zur horizontalen Kante, auf den Flächen der Rhomboëder verlaufen die Auslöschungsrichtungen parallel den Diagonalen.

Im convergenten polarisirten Licht zeigen senkrecht auf die Hauptaxe geschliffene oder gespaltene Platten das System von kreisrunden farbigen Ringen mit dem schwarzen Kreuz, dessen Arme den Nicolhauptschnitten parallel gehen; diese Interferenzfigur bleibt bei einer Horizontal-drehung constant; das Dasein derselben unterscheidet diese einfachbrechenden Schnitte doppeltbrechender Substanzen von den Schnitten solcher, welche überhaupt nur einfachbrechend sind.

Alle anderen Schnitte weisen keine Interferenzfigur von solcher Symmetrie, Ausbildung und Constanz auf; auf parallel der Hauptaxe gehenden sieht man möglicherweise gestreckte hyperbolische Curven, die symmetrisch zur Hauptaxe liegen; liegen die Schnitte nicht besonders schief gegen die Hauptaxe, so tritt seitlich im Gesichtsfeld die Interferenzfigur der Basis hervor, welche sich bei Drehung am Rande des Schnittes fortbewegt, indem die Kreuzarme sich gewissermassen parallel mit sich selbst verschieben.

Ob das unter dem Mikroskop untersuchte Mineral dem tetragonalen oder hexagonalen System angehört, das kann man auf rein optischem Wege nicht, gewöhnlich aber dadurch ermitteln, ob es — neben den davon herstammenden doppeltbrechenden Durchschnitten — quadratisch oder hexagonal begrenzte Schnitte sind, welche sich als einfachbrechend erweisen. Die tetragonalen Individuen liefern als basische Schnitte auch wohl selten Oktogone, die hexagonalen Dreiecke oder Neunecke. Treten in den basischen Schnitten Risse, welche der Spaltbarkeit entsprechen, hervor, so sind es in den tetragonalen zwei zu einander rechtwinkelige gleichwerthige Systeme, in den hexagonalen drei, ebenfalls gleichwerthige Systeme.

Die anisotropen mehr oder weniger parallel der Hauptaxe geführten Längsschnitte sind sowohl im tetragonalen als im holoëdrisch-hexagonalen System zumeist oblong rechtwinkelig (entsprechend der Combination $\infty P.0P$) oder ungleichwinkelig sechsseitig (Combination $\infty P.P$, meistens nach ∞P in die Länge gezogen), nur sehr selten ungleichwinkelig achtseitig (Combination $\infty P.P.0P$). Polarisirende Quadrate sind hier Längsschnitte durch die tetragonale oder hexagonale Combination $\infty P.0P$, wobei die Krystalle ebenso dick als hoch sind.

§ 144. **Optische Charakteristik rhombischer Krystalle.** Prüft man dünne, dem rhombischen System angehörige Durchschnitte in dem mit Nicols versehenen Mikroskop bei parallelem polarisirtem Licht, so werden dieselben, da die Elasticitätsaxen sämmtlich mit den krystallographischen zusammenfallen, jedesmal dann zwischen gekreuzten Nicols dunkel werden, sobald irgend eine der rechtwinkelig auf einander stossenden Umrisslinien, welche ja einer krystallographischen Axe parallel sind, mit einem Nicolhauptschnitt coincidirt. Diese gerade Auslöschung tritt bei einer vollen Horizontalrotation viermal ein. In diesem Falle erscheint auch das schwarze Kreuz im Stauroskop unverändert. Sehr selten ist es selbstredend, dass der Schnitt des rhombischen Minerals gerade genau senkrecht auf einer optischen Axe steht, wobei er alsdann selbst bei einer vollen Drehung stets zwischen gekreuzten Nicols hell bleibt (vgl. S. 220). In allen übrigen Fällen, mit Ausnahme dieser beiden, erscheint der Schnitt zwischen gekreuzten und parallelen Nicols farbig und stört er die Interferenzfigur im Stauroskop.

Die Prismen- und die Pinakoidflächen zeigen also allemal gerade Auslöschung; der Querschnitt eines rhombischen Prismas besitzt seine Auslöschung parallel der längeren und kürzeren Diagonale. — In den Schnitten aus einer der drei Hauptzonen $OP : \infty P\infty$, $OP : \infty P\infty$, $\infty P\infty : \infty P\infty$ liegt die Auslöschung parallel zu denjenigen Begrenzungslinien oder Spalttrissen, welche einer krystallographischen Axe (Zonenaxe) parallel gehen. — Eine pinakoidale Spaltbarkeit kann parallele, eine prismatische Spaltbarkeit muss entweder parallele oder sich durchkreuzende Spalttrisse hervortreten lassen: zu den parallelen Spalttrissen liegt hier die Auslöschung stets parallel oder senkrecht, für die sich schneidenden halbirt sie den Winkel.

Ueber die im convergenten polarisirten Licht hervortretenden Interferenzbilder senkrecht auf die spitze Bisectrix in Parallel- und Diagonalstellung (auch senkrecht auf einer optischen Axe) vgl. S. 228. Ist das rhombische Individuum spaltbar nach einem der zwei Pinakoide, welche rechtwinkelig auf der optischen Axenebene stehen, so wird die Normale der Spaltungslamelle entweder mit der spitzen oder mit der stumpfen Bisectrix zusammenfallen, und so wird man im ersteren Falle die beiden Ringsysteme im convergenten Licht deutlich erblicken, sobald der scheinbare (das heisst der in der Luft gemessene) Neigungswinkel der beiden optischen Axen ($2E$, im Gegensatz zu $2V$, dem wahren Axenwinkel) nicht grösser ist, als 120° . — Ist aber der Krystall nur spaltbar nach demjenigen Pinakoid, welches der Axenebene parallel liegt, so ist man meist genöthigt, zwei Platten zu schleifen, welche den beiden anderen Pinakoiden parallel sind, und von denen die eine, auf welcher die spitze Bisectrix senkrecht steht, die Beobachtung der beiden Ringsysteme jedenfalls gewährleistet. Nur wenn der Krystall nach einem dieser Pinakoide tafelförmig ausgedehnt ist, wird man die Schleifung der entsprechenden Lamelle entbehren können. — Ist endlich der Krystall nach gar keinem der Pinakoide spaltbar oder tafelförmig ausgedehnt, so muss man vielleicht drei Platten schleifen, welche den drei Pinakoiden parallel sind, und wird dann in derjenigen Platte, auf welcher die Axenebene und die spitze Bisectrix normal sind, die beiden Ringsysteme beobachten können.

In dem Falle, dass in einem gegebenen Schnitt eines rhombischen Minerals das Interferenzbild nicht im Centrum des Gesichtsfeldes erscheint, steht derselbe natürlich nicht senkrecht auf der Bisectrix. Wenn einer der Balken aber dann noch bei

Parallelstellung das Gesichtsfeld symmetrisch halbt, so geht der Schnitt dann wenigstens parallel einer Krystallaxe; tritt letzteres nicht ein, so ist der Schnitt ein solcher, dass er alle drei Axen in endlichen Abständen trifft.

In den Krystallen des rhombischen Systems offenbart sich die Dispersion der optischen Axen derart symmetrisch, dass die den verschiedenen Farben entsprechenden Axen in der gleichen Ebene liegen und mit der Bisectrix beiderseits gleiche Winkel bilden. Wenn nun bei Parallelstellung der Platte die innersten Ringe der beiden elliptischen Ringsysteme das Roth nach innen, das Blau nach aussen zeigen, oder wenn in der Diagonalstellung der Platte die Scheitel der beiden Hyperbeln auf der concaven Seite roth, auf der convexen Seite blau gesäumt erscheinen, so bilden die rothen Axen einen kleineren Winkel, als die blauen oder violetten Axen, was durch das Symbol $\rho < \nu$ ausgedrückt wird (Fig. 345). Wenn dagegen die Lage der rothen und der blauen Farbensäume die entgegengesetzte ist, so wird $\rho > \nu$, oder so würde der Axenwinkel für die rothen Strahlen grösser sein, als für die blauen Strahlen.

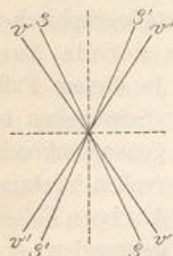


Fig. 345.

Bei rhombischen (wie überhaupt bei zweiachsig) Krystallen kann die Dispersion so stark sein, dass die Axenebenen für zwei Farben rechtwinkelig gekreuzt sind; alsdann ändern sich die 3 Hauptbrechungsquotienten mit der Farbe so ungleich, dass der vorher kleinste der mittlere wird und umgekehrt (für eine gewisse Zwischenfarbe muss also der Krystall optisch einaxig werden). Bei dem rhombischen Brookit ist z. B. die Axenebene für Roth und Gelb OP , für Grün dagegen $\infty P\infty$, für alle Farben die Brachydiagonale a spitze Bisectrix. Bei dem Goethit ist die Axenebene für Roth $\infty P\infty$, für Gelb und Grün OP , spitze Bisectrix für alle Farben die Makrodiagonale b . Bei dem rhombischen Lithiophil-Triphylin von Grafton liegen die optischen Axen für Grün ($2V = 21^\circ 35'$) in OP , für Roth ($2V = 15^\circ 3'$) in $\infty P\infty$; für das dazwischen liegende Gelb ist $2V = 0$, fallen die beiden optischen Axen zusammen, ist das Mineral einaxig.

§ 412. Optische Charakteristik monokliner Krystalle. Monokline Mineralien zeichnen sich im parallelen polarisirten Licht dadurch aus, dass dieselben theils Schnitte liefern, in denen die Auslöschungen parallel und senkrecht zu den Symmetrierichtungen liegen (wie es im rhombischen System allerwegen der Fall), theils Schnitte, in denen die Auslöschung mit der Richtung der krystallographischen Axen nicht zusammenfällt (wie es im triklinen System durchgängig vorkommt). Wie das monokline System morphologisch in der Mitte steht zwischen dem rhombischen und triklinen, so vereinigt es gewissermassen in sich das in solcher optischer Hinsicht für beide Systeme Charakteristische.

Durchschnitte monokliner Mineralien, welche im parallelen polarisirten Licht untersucht werden, kann man im Gegensatz zu den rhombischen daran erkennen, dass bei der Horizontalldrehung des Durchschnitts dann Dunkelheit zwischen gekreuzten Nicols (im Stauroskop Herstellung des schwarzen Kalkspathkreuzes) eintritt, wenn irgend eine der Umrisslinien, welche einer krystallographischen Axe parallel geht, irgend einen schiefen Winkel mit einem Nicolhauptschnitt macht. Diese sog. schiefe Auslöschung beweist ja, dass nicht mehr, wie im rhombischen System, alle Elasticitätsaxen mit den krystallographischen coincidiren.

Die Lage der Elasticitätsachsen im monoklinen System erfordert es nun aber, dass zwischen gekreuzten Nicols Dunkelheit eintritt (und das Kreuz im Stauroskop ungestört erscheint), sobald die Orthodiagonale mit einem Nicolhauptschnitt zusammenfällt. Die Orthodomen, das Orthopinakoid, die Basis bieten also hier gerade Auslöschung dar, welche parallel und senkrecht steht zu den monotomen, diagonal zu den prismatischen Spaltrissen; der Querschnitt eines Prismas löscht wie im rhombischen System parallel den Diagonalen aus, wenn die Schlifffläche der Symmetrie-Axe parallel ist. Bloss in dieser orthodiagonalen Zone, in welcher allein auch Umrisse und Spaltbarkeit symmetrische Figuren bilden, liegen die Auslöschungen parallel und senkrecht zu den Symmetrierichtungen.

Auf dem Klinopinakoid erscheint stets schiefe Auslöschung, ebenfalls auf Schnitten aus der Zone $OP : \infty P \infty$ und $\infty P \infty : \infty P \infty$. In der prismatischen Zone hat die Auslöschungsschiefe je nach der Lage der Zone zu den optischen Axen und je nach der Orientirung der letzteren entweder ein Maximum auf dem Klinopinakoid und sie nimmt stetig ab, je mehr man sich dem Orthopinakoid nähert, auf welchem sie Null wird; oder sie nimmt vom Klinopinakoid aus nach der Querfläche anfangs zu bis zu einem Maximum, und dann erst ab bis zum Werth Null. — Das Maass der Auslöschungsschiefe auf Schnitten genau parallel dem Klinopinakoid, d. h. der Neigungswinkel einer Elasticitätsaxe zur Verticalaxe, ist für die verschiedenen monoklinen Mineralien sehr charakteristisch; dieser Winkel ist natürlich gleich demjenigen, welchen die andere Elasticitätsaxe mit der Normalen auf das Orthopinakoid bildet. Auf anderen schief auslöschenden Schnitten wechselt die Schiefe je nach der Richtung.

Was das Verhalten monokliner Krystalle im convergenten polarisirten Licht anbetrifft, so war von der dreifach abweichenden Lage der optischen Axenebene bereits S. 215 die Rede. Bei der Dispersion der optischen Axen wird die relative Grösse des Axenwinkels ($\rho > v$ oder $\rho < v$) an denselben Erscheinungen erkannt, wie bei der Interferenzfigur des rhombischen Systems (S. 238). Eine Dispersion der Elasticitätsachsen kann natürlich an der Orthodiagonale niemals eintreten, dagegen werden die in der Symmetrieebene liegenden beiden Elasticitätsachsen mehr oder weniger dispergirt. — Bei dem S. 215 erwähnten Fall 4 (optische Axenebene parallel der Symmetrieebene) liegen die optischen Axen für alle Farben zwar in derselben Ebene, aber die Bisectrix ist für jede Farbe eine andere, indem die Bisectricen längs der Richtung des Klinopinakoids zerstreut erscheinen (Geneigte Dispersion, Dispersion inclinée *Des Cloix* *yeux*'s). Fig. 316 zeigt (in $\infty P \infty$) V , die Halbirungslinie des Winkels vov' , als spitze Bisectrix für die blauen Strahlen; R , halbirend den Winkel $\rho\rho'$, als solche für die rothen Strahlen. Eine gemeinschaftliche Bisectrix für alle Wellenlängen existirt also nicht mehr. Bei Anwendung von weissem Licht ist in dem Interferenzbild die Vertheilung der Farben in den inneren Ringen und an den Hyperbelsäumen zwar noch symmetrisch zur Axenebene (d. h. zur Ebene der Bisectricen, der Symmetrieebene), aber nicht mehr zu einer darauf senkrechten Ebene; d. h. beide Augen der Lemniscaten sind rechts und links von der Symmetrieebene gleich, aber das vordere ist vom hinteren verschieden (4 in Fig. 317).

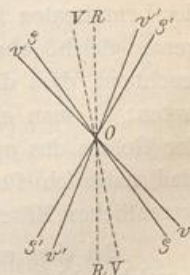


Fig. 316.

In den Fällen 2a und 2b (S. 245) — Orthodiagonale eine der beiden Bisectricen — kann nur die optische Normale und jedesmal diejenige Bisectrix dispergirt werden, welche nicht die Orthodiagonale ist.

— In dem Falle 2a (Orthodiagonale spitze Bisectrix) müssen sich, in der Richtung der Axe b , also senkrecht auf das Klinopinakoid gesehen, die auf letzterem senkrecht stehenden Ebenen der optischen Axen für die verschiedenen Farben fächerförmig durchkreuzen: die Axenebene für rothes Licht und die für blaues Licht zeigen zu einander eine Verschiebung über Kreuz (Gedrehte oder gekreuzte Dispersion, D. tournante oder croisée Des Cl., 2a in Fig. 347). Weil die Interferenzfigur in der einzigen Symmetrieebene liegt, existirt überhaupt keine Ebene mehr, mit Bezug auf welche sie symmetrisch wäre. Dagegen ist der Austrittspunkt der spitzen orthodiagonalen Bisectrix b wenigstens noch insofern ein Punkt der Symmetrie, als, wenn man einen Punkt der Interferenzfigur mit jenem centralen Punkte derselben durch eine Linie verbindet und diese über jenen hinaus um sich selbst verlängert, die beiden Endpunkte dieser Linie gleiche Farben aufweisen. — Im Falle 2b (Orthodiagonale stumpfe Bisectrix) müssen gleichfalls die Ebenen der optischen Axen für alle Farben durch die Axe b gehen, aber man spricht hier von der horizontalen Dispersion (D. horizontale Des Cl.), weil in der Richtung senkrecht auf die Axe b oder senkrecht auf das Orthopinakoid gesehen, die Ebenen der optischen Axen für verschiedene Farben horizontal über einander zu liegen scheinen (2b in Fig. 347). Die Farbenvertheilung ist hier noch, aber auch nur, symmetrisch zu dem Klinopinakoid, auf welchem ja in diesem Falle alle Axenebenen der verschiedenen Farben normal sind; in beiden Augen der Lemniscaten ist rechts und links von der Symmetrieebene die Farbenvertheilung genau gleich, aber jedes Auge ist vorn anders gefärbt als hinten. — Es ist einleuchtend, dass die gekreuzte und die horizontale Dispersion stets zusammen auftreten: ob man einer Substanz die eine oder andere zuschreibt, hängt lediglich von der Grösse des optischen Axenwinkels ab. — Alle diese Dispersionerscheinungen sind natürlich für Krystalle des rhombischen Systems ausgeschlossen, worin ein wesentliches Mittel der Diagnose beruht.

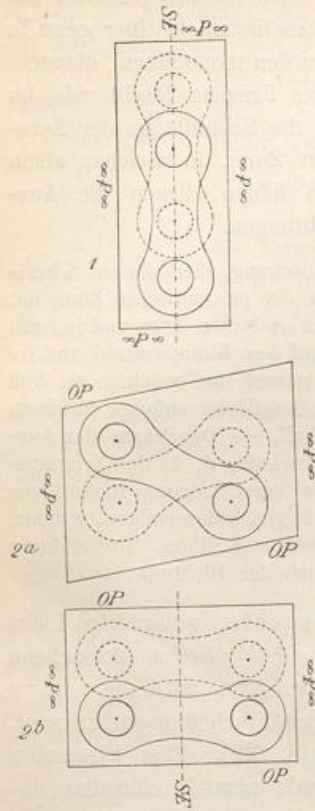


Fig. 317.

Bei einer sehr starken Dispersion der Bisectricen kann es geschehen, dass Schnitte, welche nicht ganz genau senkrecht auf der optischen Axenebene stehen, zwischen gekreuzten Nicols beim Drehen überhaupt in keiner Stellung auslöschen.

Besitzt der monokline Krystall, dessen optische Axenebene parallel $\infty P \infty$ geht, deutliche klinopinakoidale Spaltbarkeit, so lässt sich in einer Spaltungslamelle desselben die Lage der beiden Bisectricen leicht bestimmen. Man braucht nämlich die Lamelle nur im parallelen polarisirten Licht zwischen gekreuzten Nicols einmal in

ihrer eigenen Ebene herumzudrehen und diejenigen beiden Richtungen zu bemerken, nach welchen sie das Maximum der Verdunkelung zeigt; diese beiden, auf einander rechtwinkligen Richtungen sind es, in welche die Bisectricen fallen, und man wird finden, dass solche keine symmetrische Lage zu der Verticalaxe und Klinodiagonale haben; woraus denn folgt, dass auch die optischen Axen unsymmetrisch gegen diese beiden krystallographischen Axen liegen. Eine Spaltungslamelle von Gyps lässt dies sehr gut erkennen. Schleift man aus einem dickeren Krystall zwei Lamellen, welche auf der einen und auf der anderen Bisectrix rechtwinklig sind, so wird wenigstens die eine derselben im convergenten pol. Licht die beiden Ringsysteme beobachten lassen. — Hätte man gefunden, dass eine der beiden Bisectricen ungefähr rechtwinklig auf der Fläche des Orthopinakoids, oder der Basis, oder eines Hemidomas ist, und besitzt der Krystall nach derselben Fläche entweder eine tafelförmige Gestalt oder eine zweite Spaltbarkeit, so wird man im convergenten Licht entweder unmittelbar durch den Krystall, oder durch eine Spaltungslamelle beide Ringsysteme, jedoch mit unsymmetrischer Figur und Lage wahrnehmen. Dies zeigen z. B. manche durch das Orthopinakoid tafelige oder säulenförmige Diopsidkrystalle.

Besitzt der monokline Krystall im Falle 2a klinopinakoidale Spaltbarkeit, oder ist er tafelförmig nach dem Klinopinakoid, so sieht man durch eine Spaltungslamelle oder auch unmittelbar durch den Krystall selbst im convergenten pol. Licht meist beide Ringsysteme zugleich. — Zeigt ein prismatisches Spaltblättchen Axenaustritt, so steht er schief gegen die beiden Halbirungslinien des Gesichtsfeldes.

§ 143. **Optische Charakteristik trikliner Krystalle.** In dem triklinen System gibt es gar keine Fläche mit gerader Auslöschung; die Auslöschung liegt in allen Zonen im Allgemeinen schief gegen die Umrisslinien und die Spaltungsrisse. Bei den Durchschnitten durch triklone Krystalle ist die Interferenzfigur im Stauroskop stets gestört, wenn eine der krystallographischen Axen mit einem Nicolhauptschnitt parallel geht. Für jede Farbe haben die optischen Axen eine abweichende Lage in verschiedenen Ebenen und zugleich eine andere Mittellinie, es findet demnach hier eine Dispersion sowohl der Axen als der Axenebenen als der Mittellinien statt. Im convergenten polarisirten Licht ist daher die Interferenzfigur in Schnitten senkrecht gegen eine Bisectrix nicht nur von der entsprechenden eines rhombischen, sondern auch von derjenigen eines monoklinen Krystalls verschieden; die Farbenvertheilung ist hier unsymmetrisch sowohl mit Bezug auf die Projectionslinie der Axenebene, als hinsichtlich einer dazu Senkrechten, als auch unsymmetrisch zum Mittelpunkt des ganzen Axenbildes.

Anm. Bei den bisher angeführten Untersuchungen ist als Object gewöhnlich eine durch Schleifung oder Spaltung aus dem Mineral hergestellte dünne planparallele Lamelle vorausgesetzt worden. Zur Erkennung der Doppelbrechung, der Interferenzfigur, des optischen Charakters und des Pleochroismus, zur Aufsuchung der Auslöschungsrichtungen u. s. w. kann man aber auch, trotz ihrer Dicke und des Vorhandenseins von Flächen, Kanten und Ecken, kleinere ganze Krystalle, deren Bruchstücke, oder geschliffene Edelsteine verwenden, wenn für dieselben die Totalreflexion dadurch beseitigt wird, dass sie in ein Medium von nahezu gleicher Brechung getaucht sind. Man befestigt den Krystall als solchen in der zu untersuchenden Stellung mit Canada-balsam oder Wachs auf einem Objectträger, stülpt den Abschnitt einer Glasröhre darüber und füllt letztere mit Methylenjodid oder Kaliumquecksilberjodid. Eine Verdünnung mit Benzol erniedrigt den hohen Brechungsquotienten des ersteren (ca. 1,75), eine solche mit Wasser den des letzteren (ca. 1,72) bis zu dem des Minerals selbst. Auch Oele, Monobromnaphthalin können zur Verwendung kommen. Alsdann wird die Untersuchung im parallelen oder convergenten polarisirten Licht vorgenommen (*K. Klein*,

Sitzgsber. Berl. Akad. 1890. 347. 709; 1894. 435; 1895. 91. 1154. *Fuess* construierte dazu einen »Universaldrehapparat«.

§ 114. **Polarisationsercheinungen bei Zwillingen und Aggregationsformen.** Sämtliche Zwillingsbildungen doppeltbrechender Mineralien mit geneigten Axensystemen geben im parallelen polarisirten Licht ihre Zusammensetzung aus mehreren Individuen entweder durch Farbengegensätze oder durch

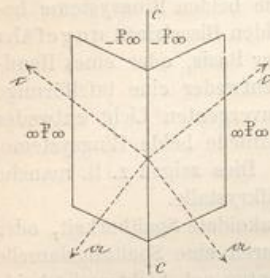


Fig. 318.



Fig. 319.

Unterschiede der Helligkeit zu erkennen, wofern die Platte nicht parallel zur Verwachsungsebene gerichtet ist. Ist der Schnitt senkrecht zur Verwachsungsebene, so liegen die Auslöschungsrichtungen der einzelnen Individuen symmetrisch zu der Zwillingsnaht, z. B. in dem klinopinakoidalen Schnitt des Gypszwillings, Fig. 318. Polysynthetische Zwillinge mit lamellarer Ausbildung der Individuen liefern im polarisirten Licht gestreifte Schnitte, in denen die abwechselnden Lamellen übereinstimmende Auslöschung zeigen; Fig. 319 ist ein basischer Schnitt durch einen so nach $\infty P \infty$ verzwilligten Plagioklas. Nach zwei Gesetzen gleichzeitig ausgebildete Zwillingsverwachsungen ergeben Schnitte mit gitterartiger oder parquettirter Zeichnung.

Ist die Schnittfläche genau oder nahezu parallel der Verwachsungsebene der Individuen und geht jeder transmittierte Lichtstrahl durch beide hindurch, so kann im parallelen polarisirten Licht zwischen gekreuzten Nicols in keiner Stellung völlige Dunkelheit eintreten. Wo bei schiefen Schnitten die Individuen an ihrer Grenze theilweise übereinandergreifen, fallen die Grenzen manchmal undeutlich aus. Unterscheiden sich die Individuen nur durch Grade der Helligkeit, so werden Farbengegensätze durch Einschaltung eines Gyps- oder Quarzblättchens hervorgebracht. — Im convergenten pol. Licht treten hier Axenbilder selbstverständlich nur dann hervor, wenn die einzelnen verzwilligten Individuen gross genug sind, um solche zu zeigen.

Alle Zwillinge des regulären Systems und die parallelaxigen des tetragonalen und hexagonalen können natürlich im polarisirten Licht überhaupt nicht optisch als solche erkannt werden.

Da, wo in den Aggregaten die feinen Individuen nicht parallel, sondern nach verschiedenen Richtungen gelagert sind, müssen die einzelnen derselben, sofern sie nicht isotrop sind, im polarisirten Licht gegenseitig verschieden gefärbt erscheinen. Bei dieser verschwommenen und schillernden, oft fleckig marmorirten sog. Aggregatpolarisation kann bei einer Horizontalrotation selbstverständlich niemals der Fall eintreten, dass das ganze Aggregat zwischen gekreuzten Nicols gleichmässig dunkel wird.

Durch das Centrum geführte dünne Schnitte von radialfaserig oder -strahlig struirten Kugeln (oder Halbkugeln) zeigen, wenn das Aggregat homogen und jede Faser mit der anderen aequivalent ist, im parallelen polarisirten Licht oft zwischen gekreuzten Nicols ein dunkles (bisweilen blaugesäumtes) rechtwinkeliges Kreuz, dessen Arme von dem Mittelpunkt der Faserung ausgehen und meist in der Richtung der Polarisationsebenen der Nicols liegen.

Diese letztere Erscheinung entsteht folgendermassen: In der durch das Centrum gehenden Platte, welche so dünn ist, dass sie nur aus einer ihrer Ebene parallelen Schicht von Fasern besteht, sind die letzteren alle radial und zugleich horizontal gerichtet. Gehören die Fasern nun einem einaxigen Mineral an, dessen Längsrichtung parallel der optischen Axe geht, oder einem zweiaxigen, dessen Längsrichtung ebenfalls irgend eine optische Elasticitätsaxe ist, so müssen gleichzeitig vier, um 90° verschieden gelegene Büschel ganz (oder fast ganz) paralleler Fasern — nämlich solche, deren Prismenaxen mit den Nicolhauptschnitten parallel gehen — gerade auslöschen und zusammen ein dunkles Kreuz bilden. Bei der Drehung des Präparats gelangen immer andere Fasern dazu, und dabei verbleibt das Kreuz natürlich an seiner Stelle; nur scheinbar bewegt es sich in umgekehrter Richtung mit derselben Geschwindigkeit, mit welcher das Präparat gedreht wird. In den durch das Kreuz gebildeten vier Quadranten liegen diejenigen Fasern, deren Elasticitätsachsen schief gegen die Nicolhauptschnitte gerichtet sind und hier ist je längs dem mittleren Radius die Helligkeit am grössten; das dunkle Kreuz kann daher auch nicht sehr scharf begrenzt sein, es verschwimmt allmählich in die hellen Quadranten. Bei parallelen Nicols gewahrt man ein unvollkommenes bräunliches Kreuz, dessen fleckenartige Aeste zwischen den verschwundenen Balken des ersteren liegen. Vermittels eines Gypsblättchens oder eines Quarzkeils kann man auch hier den optischen Charakter der Fasern bestimmen, wie an den Interferenzfiguren einaxiger Platten im convergenten Licht. — Sollten solche centralen Schnitte durch radiaifaserige homogene Kugeln vorliegen, welche aus monoklinen oder triklinen Individuen bestehen, so würden die dunkeln, wiederum unter einander rechtwinkligen Kreuzarme im Allgemeinen gegen die Nicolhauptschnitte mehr oder weniger schief geneigt sein, entsprechend dem Winkel, welchen die Elasticitätsaxe mit der Längsaxe der Fasern und der darauf stehenden Normalen bildet.

§ 145. **Wirkung der Temperaturerhöhung auf die optischen Eigenschaften.** Bei den im Folgenden erwähnten Erscheinungen wird vorausgesetzt, dass sie ohne chemische Veränderung der Substanz und ohne abnormen Wechsel der Molecularstructur erfolgen¹⁾.

1) Reguläre isotrope Krystalle bleiben isotrop bei jeder Temperatur und es kann bei ihnen nur der Brechungsquotient sich verändern; durch Temperaturerhöhung wird derselbe bei Steinsalz, Sylvin, Fluorit, Kalialaun kleiner, bei Diamant, Zinkblende grösser. — Reguläre Krystalle mit Circularpolarisation können dabei ihr Drehungsvermögen ändern; z. B. wird letzteres bei dem tetartoëdrischen Natriumchlorat verstärkt.

2) Optisch-einaxige (tetragonale und hexagonale) Krystalle behalten diesen Charakter bei jeder Temperatur; die einzige Veränderung beschränkt sich hier auf die Werthe der Brechungsquotienten ω und ε , also auf die Stärke der Doppelbrechung. Nach *Fixeau* vermindern sich für den Quarz bei der Erwärmung beide Quotienten (jedoch ε in etwas höherem Grade als ω), weshalb denn die Stärke der Doppelbrechung abnimmt; im Kalkspath dagegen wächst ε mit der Temperatur sehr bedeutend, während ω kleiner wird, so dass hier die Doppelbrechung zunimmt; auch am Vesuvian, Beryll, Apatit ist eine Steigerung der Differenz von ω und ε constatirt.

3) Bei den optisch-zweiaxigen rhombischen Krystallen erfahren die 3 Hauptbrechungsquotienten α , β , γ durch die Erwärmung ungleiche Aenderungen, und damit ändert sich auch die Grösse des optischen Axenwinkels; jede der 3 optischen Elasticitätsachsen muss aber bei jeder Temperatur fortfahren, mit einer der 3 krystallographischen Axen zusammenzufallen, die Ebene der optischen Axen muss also immer

¹⁾ Ueber Constructionen von Erhitzungsapparaten vgl.: *H. Vogelsang*, Poggendorff's Annal. CXXXVII. 58; *R. Brünneé*, N. Jahrb. f. Min. 1890. II. 87; *K. Klein (R. Fuess)*, ebendas. 1894. I. 65 und 68; *R. Fuess*, ebendas. Beilage. VII. 406.

eine Symmetrie-Ebene bleiben. Für die Veränderung der Brechungsquotienten und des optischen Axenwinkels diene als Beispiel der Baryt:

	α	β	γ	2 V für Roth
Bei 20°	1,63609	1,63742	1,64795	37° 28'
50°	1,63575	1,63678	1,64726	38° 43'
100°	1,63512	1,63612	1,64643	40° 15'
200°	1,63344	1,63474	1,64426	44° 18' (204°)

4) Bei den optisch-zweiaxigen monoklinen Krystallen ändert sich nicht nur α , β , γ und der Winkel der optischen Axen, sondern meist auch die Ebene, in welcher die optischen Axen liegen, und damit kann sich auch die Lage derjenigen beiden optischen Elasticitätsachsen ändern, welche nicht mit der einzigen orthodiagonalen Symmetrie-Axe zusammenfallen; letztere muss aber immer ihren Charakter als Elasticitätsaxe bewahren, und das dreiaxige Elasticitäts-Ellipsoid vermag sich gewissermassen um dieselbe zu drehen.

Beim Glauberit liegen die optischen Axen anfangs senkrecht auf $\infty R \infty$ (horizontale Dispersion, $\nu < \rho$); bei Erwärmung verkleinert sich der Axenwinkel, wird bei verschiedenen Temperaturen für die verschiedenen Farben = 0, und dann gehen die optischen Axen in der Ebene $\infty R \infty$ wieder auseinander (mit geneigter Dispersion und $\nu > \rho$); die Lage der optischen Elasticitätsachsen verändert sich nicht merklich zwischen 0° und 100° Temperatur (*Laspeyres*).

	für Blau	Grün	Gelb	Roth
Bei 5° opt. Axenwinkel =	8° 54'	11° 42'	14° 8'	16° 6'
> 22° >	= 0° (bei 18°)	8° 14'	11° 8'	13° 30'
> 36° >	= 8° 42'	0°	8° 9'	11° 1'
> 46° >	= 11° 8'	7° 8'	0°	8° 40'
> 58° >	= 13° 2'	10° 32'	7° 14'	0°
> 85° >	= 10° 47'	15° 15'	13° 14'	10° 47'

Beim Gyps liegen in gewöhnlicher Temperatur die opt. Axen im Klinopinakoid und bilden 95° (geneigte Dispersion); mit steigender Temperatur vermindert sich dieser Winkel, indem sie sich mit ungleicher Geschwindigkeit einander nähern: bei 47° beträgt er nur = 76°, bei 95° nur = 39°; bei 116° beträgt er für die rothen Strahlen = 0°, für diese ist also der Gyps einaxig geworden. Bei dieser Temperatur sind aber die optischen Axen für die blauen Strahlen, für welche schon früher Einaxigkeit eingetreten ist, in einer auf $\infty R \infty$ senkrechten Ebene auseinandergegangen; bei 120° gehen auch diejenigen für die rothen Strahlen in dieser Ebene auseinander (die Dispersion wird horizontal). — Der Syngenit wird bei Temperaturerhöhung einaxig und zwar erfolgt dies für Roth bei 143°, Gelb bei 160°, Blau bei 181,5°. — Im Adular vom St. Gotthard verkleinert sich ebenfalls der Axenwinkel bei der Erwärmung, wird hierauf Null und bei 200° Temperatur haben die wieder auseinandergegangenen Axen eine zu deren anfänglicher Ebene senkrechte Lage angenommen; bei der Abkühlung kehrt alles wieder in rückläufiger Reihenfolge zum ursprünglichen Zustand zurück; nach einer bis zur Rothgluth fortgesetzten Erhitzung bleibt aber die erfolgte Veränderung bei der Erkaltung permanent.

Krystalle, welche starke Dispersion der optischen Axen zeigen, sind auch oft gerade ausgezeichnet durch beträchtliche Veränderlichkeit des Axenwinkels mit der Temperatur.

5) Bei den optisch-zweiaxigen triklinen Krystallen kann sich nicht nur verändern α , β , γ , der Winkel und die Ebene der optischen Axen, sondern auch die Lage aller dreier optischer Elasticitätsachsen.

Bei gewissen Krystallen bringt die Erhitzung eine Veränderung der Molecular-structur und damit eine gänzliche Veränderung der optischen Charaktere hervor; so z. B. werden die (künstlichen) grünlichgelben rhombischen Krystalle des Antimonjodids

*Sbj*³, auf ca. 444° erhitzt, roth und einaxig hexagonal. Hierher gehören auch die Veränderungen, welche durch Erhitzung am Leucit, Boracit, Tridymit vor sich gehen.

Tritt bei der Temperaturerhöhung aber eine Veränderung des chemischen Bestandes ein, so können die optischen Eigenschaften in hohem Grade andere werden, wie die Zeolithe zeigen, welche bei dieser Gelegenheit Wasser verlieren.

§ 116. **Optische Anomalieen.** Schon seit langer Zeit ist es bekannt, dass gewisse Mineralien optisch untersucht nicht dasjenige Verhalten zeigen, welches man mit Rücksicht auf ihre Formausbildung und ihre morphologische Zugehörigkeit zu dem einen oder anderen Krystallsystem bei ihnen voraussetzen sollte. So gibt es eine Reihe von Mineralien, welche sich nach Winkelwerthen und charakteristischer Entwicklung der Gestalt als Mitglieder des regulären Systems bekunden, gleichwohl aber deutliche Erscheinungen der Doppelbrechung und Polarisation aufweisen. Formell zum tetragonalen oder hexagonalen System gehörige Individuen kommen vor, welche dennoch in der Richtung der Hauptaxe eine Doppelbrechung offenbaren und sich als zweiaxig ergeben; formell rhombische Krystalle sind anomal, indem die optischen Elasticitätsachsen nicht alle in die krystallographischen Symmetrieebenen fallen. Vielfach jedoch zeigt sich, dass die abnormen Erscheinungen nur von gewissen Vorkommnissen eines und desselben Minerals dargeboten werden, andere dagegen sich ganz normal verhalten, oder dass die Anomalie sich nur auf gewisse Stellen einer Krystallplatte beschränkt. Manchmal ruft sie im polarisirten Licht eine Theilung in einzelne Felder und Sectoren hervor. — Umgekehrt sind auch Fälle bekannt, wo Substanzen von geringerer Symmetrie ein optisches Verhalten zeigen, wie es Individuen von höherer zukommt.

Für das optisch anomale Verhalten hat man im Lauf der Zeit mit mehr oder weniger Glück verschiedene Deutungsversuche gemacht¹⁾.

Anomalieen durch innere Spannungen. Dieselben werden durch mechanischen Druck oder Zug, schnelle Kühlung, einseitige Erwärmung hervorgebracht; ferner durch die Gegenwart von isomorphen Beimischungen.

Brewster hat zuerst beobachtet, dass die optischen Eigenschaften von Krystallen gestört werden, wenn ein mechanischer Druck auf sie ausgeübt wird. Steinsalz, Flussspath und Diamant werden doppelbrechend, optisch einaxige Krystalle wie Kalkspath und Quarz werden zweiaxig. Durch Erhitzen können dieselben Veränderungen hervorgerufen werden. Später sind diese Versuche von *Reusch* und *Marbach*, von *Moigno* und *Soleil*, *Pfaff*, *Klocke*, *Bücking* u. A. weiter geführt worden²⁾.

1) Eine übersichtliche und kritische Zusammenstellung aller damaligen Forschungen nebst vielen neuen Untersuchungen enthält die ausgezeichnete, von der F. Jablonowski'schen Ges. d. Wiss. gekrönte Preisschrift von *R. Brauns*, »Die optischen Anomalien der Krystalle«, Leipzig 1894.

2) Wie künstliche amorphe Körper, Leim, gelatinöse Substanzen, Harze oft entweder schon in Folge der beim Eintrocknen entstehenden Spannungen doppelbrechend sind, oder durch geringen Druck und Zug doppelbrechend werden, so zeigen auch mineralische Harze, Opale und andere amorphe Medien manchmal energische Doppelbrechung. — *Klocke* stellte aus Gelatine- und Gallerte, welche im gespannten Zustand zum Eintrocknen gebracht wurde, Platten her, welche sowohl im parallelen als auch im convergenten polarisirten Licht alle optischen Eigenschaften der von optisch anomalen Krystallen herrührenden Platten besitzen und erweisen, dass ein gleichförmig comprimierter (oder dilatirter) isotroper Körper die Eigenschaften eines ein- oder zweiaxigen Krystalls annehmen kann (Ber. d. naturf. Ges. z. Freiburg VIII. 1884. 4). Auch *Ben-Saude* nahm wahr, dass Gelatine, wenn sie in reguläre Formen, z. B. in solche von 202 gegossen wird, in den nach der Festwerdung angefertigten Schnitten eine nahezu vollständige Nachahmung der Doppelbrechungserscheinungen gewisser regulärer Krystalle erkennen lässt. — Fäden, welche aus zähflüssigem Gummi gezogen werden, sind stark doppelbrechend und zwar bei arabischem Gummi in Bezug auf die Längsrichtung positiv, bei Kirschbaumgummi negativ. Mischt man

Ein Steinsalzwürfel kann durch bloß mit den Fingern ausgeübten Druck doppelbrechend gemacht werden; jedoch erfolgt alsdann keine dauernde Veränderung, sondern bei dem Nachlassen des Drucks wird der Würfel wieder isotrop. Wird derselbe aber in einer Presse stärker zusammengedrückt, so bleibt er dauernd doppelbrechend und zwar negativ einaxig. Sylvin wird durch Druck parallel einer Würfelnormale positiv, durch Druck parallel einer Oktaëdernormale negativ einaxig, gerade umgekehrt wie Flussspath. — *Reusch*, welcher schwach doppelbrechende Alaune untersuchte und diese Eigenschaft auf innere, beim Wachsthum der Krystalle hervorgebrachte Contractionen und Spannungen zurückführte, konnte durch eine geeignete Pressung, welche jener Spannung entgegenwirkte, die Doppelbrechung für die Dauer des Drucks wieder aufheben. In den Alaunkrystallen macht sich die Doppelbrechung in der Weise geltend, als sei die Substanz des Krystalls innerhalb derjenigen Ebenen gespannt, parallel denen der schichtenartige Aufbau erfolgte. — Einfach brechende reguläre Mineralien wie Steinsalz werden bisweilen bei der Erzeugung der Schlagfigur (S. 191) um dieselbe herum doppelbrechend, in Folge des hier ausgeübten Drucks. — *Jannettax* brachte in ein leeres Selterswasser-Syphon feingepulverten regulären einfachbrechenden Kali-Alaun und füllte darauf die Flasche mit kohlensäurehaltigem Wasser. Nach Auflösung des Salzes an der Sonne wurde die Flasche an einen kühlen Ort gebracht, wo sich bald Alaunkryställchen ausschieden, welche unter dem Druck der Kohlensäure eine Doppelbrechung erlangt hatten, ohne sich von dem gewöhnlichen Alaun chemisch oder geometrisch zu unterscheiden. — Reguläre geschmeidige Krystalle von Chlorsilber, Bromsilber und Jodobromid, mit dem Messer zu dünnen Plättchen zusammengedrückt, zeigen nach *v. Lasaulx* im parallelen polarisirten Licht unregelmässige Systeme dunkler Hyperbeln und Aufhellung einzelner Stellen; schneidet man von einem Chlorsilber-Würfel (aus Schneeberg) ein Scheibchen ab, so zeigt sich dies ebenfalls doppelbrechend. — In einfachbrechender Zinkblende kann man durch gelinden Druck sehr leicht doppelbrechende, nach O verlaufende Streifen hervorrufen, welche den Charakter von Gleitflächen besitzen.

Brewster leitete die Polarisationserscheinungen, welche sich stellenweise im regulären Diamant, im amorphen Bernstein finden, von comprimierten Gasen ab, welche dort in Höhlungen eingeschlossen sind und durch Druck in der Molecularstruktur der umgebenden Substanz Spannungen hervorrufen. Nach *Sorby* gehen aber die Interferenzerscheinungen im Diamant nicht von Hohlräumen, sondern von eingebetteten fremden Krystallen aus, welche rings um sich die gleichmässige Contraction des Diamants verhinderten. Auch *Jannettax* bemerkte in einem übrigens isotropen Diamant um einen fremden kleinen Einschluss einen hellen doppelbrechenden Hof, während von den Ecken des Einschlusses dunkle Banden ausstrahlten. *Klocke* macht darauf aufmerksam, dass im parallelen polarisirten Licht auftretende, bei der Drehung der Platte bewegliche schwarze Streifen für die Spannungsdoppelbrechung, wie sie z. B. um fremde Körper in isotropen Medien vorkommt, charakteristisch sind.

Bei allen diesen Verhältnissen ist es insbesondere zu beachten, dass es ausser den die abnormen Erscheinungen aufweisenden Individuen auch allemal solche äusserlich gleiche Krystalle derselben Substanz gibt, welche sich als ganz normal einfachbrechend erweisen. *Ben-Saude* erhielt aus einer theilweisen Auflösung von durchaus

beide Colloide in dünnflüssigem Zustand und lässt dann wieder bis zu demjenigen Consistenzgrade eintrocknen, bei dem sich aus der Masse bequem Fäden ziehen lassen, so kann man je nach dem Mischungsverhältniss alle Abstufungen im Grade und Sinne der Doppelbrechung und auch bei Zug und Druck optisch ganz neutrale Fäden herstellen (*Ambrohn*).

Ein von zwei Seiten her gleichmässig zusammengepresster Würfel aus Glas gewinnt dieselben optischen Eigenschaften, wie ein negativer optisch einaxiger Krystall, dessen optische Axe in der Druckrichtung liegt. Durch eine ebensolche Spannung in einer bestimmten Richtung wird das Glas umgekehrt positiv doppelbrechend. Wird eine kreisförmige Platte von Glas auf ihrer cylindrischen Randfläche mit einer sehr festen Schnur umwunden und diese sehr stark angezogen, so erscheint im parallelen polarisirten Licht eine ähnliche Interferenzfigur wie in den basischen Platten einaxiger Krystalle im convergenten Licht.

isotropem Steinsalz 4—3 Mm. grosse prächtig doppeltbrechende Steinsalzwürfelchen neben anderen, die sich im pol. L. ganz oder fast ganz unwirksam zeigten. Aus der Lösung eines doppeltbrechenden Krystalls schieden sich nach einander stark und weniger stark doppeltbrechende Krystalle ab. Es gelang ihm ferner, einen doppeltbrechenden Steinsalzkry stall in einer Kochsalzlösung so weiter wachsen zu lassen, dass einfachbrechende Substanz, ganz regelmässig orientirt, sich darum ansetzte. Die Doppelbrechung könne daher auch hier nur als eine auf gestörter Molecularstructur beruhende Anomalie erklärt werden (N. Jahrb. f. Min. 1883. I. 163).

Rücksichtlich des Zustandekommens der auf Spannungen begründeten optischen Anomalie regulärer Krystalle legt *K. Klein* in seinen Untersuchungen über die Doppelbrechung des regulären Granats (N. Jahrb. f. Min. 1883. I. 87; 1895. II. 68) besonderes Gewicht auf die Beziehungen zwischen der anomalen optischen Beschaffenheit und den Begrenzungselementen, der äusseren Form des Krystalls. Er constatirte, dass, wenn hier überhaupt Doppelbrechung auftritt, die Oktaëder sich bezüglich derselben anders verhalten, als die reinen Rhombendodekaëder, diese wieder anders als die reinen Ikositetraëder oder die Achtundvierzigflächner, und in den Combinationen dieser Formen kommen die für die letzteren charakteristischen optischen Structuren mit einander in Conflict. In einem und demselben Krystall finden sich isotrope und in optischem Sinne rhombische und triklone Schichten. Da auch nahezu und vollständig isotrope Krystalle vorkommen, so spreche dies dafür, dass die bei jenen anderen beobachtete optische Wirksamkeit nicht aus ursprünglicher Anlage resultirt, sondern secundären Umständen ihre Entstehung verdankt, insofern bei dem Act der Krystallisation, in einem kurzen Zeitmoment beim Festwerden nicht nur eine Contraction der Masse, ähnlich den Colloiden stattfindet (wofür vielfach Trennungsklüfte Zeugniß ablegen), sondern auch die Gestalt des vorhandenen Körpers selbst einen Einfluss auf diese Contraction geltend macht; indem der letztere auf einer gegebenen Fläche, nach Art ihrer Umgrenzungselemente, nach dem auf sie wirkenden Druck, nach Temperatur und Concentration der Lösung verschieden ist, wird er auch abweichende Wirkung äussern. Ueberwiegt der Einfluss der Begrenzungselemente (Kanten), so bildet sich eine Feldertheilung, präponderirt die Wirkung normal zur Fläche, so bleibt letztere einheitlich. — Auch nach *Ben-Saude* sind die Begrenzungselemente in erster Linie beim Zustandekommen der optischen Structur maassgebend; er that für den Analcim dar, dass die Form der einzelnen optischen Theile, deren für die Combination ($\infty 00.202$) 30, für 202 allein 24 vorhanden sind, mit den Veränderungen der äusseren Begrenzungen des Krystalls in zusammenhängender Weise sich verändert; verschwinden Flächen, so fallen Theile fort, treten Kanten auf, so erscheinen optische Grenzen. Von jeder Fläche aus geht nach der Mitte des Krystalls gewissermassen eine Pyramide, welche als Basis dieselbe Fläche hat und soviel Seiten besitzt, als Kanten die Fläche begrenzen. Jeder äusseren Kante am Krystall entspricht im Inneren eine optische Grenze, jeder Fläche ein optisches Feld. Schnitte parallel der Basis solcher Pyramiden aus der Oberfläche des Krystalls genommen, erscheinen annähernd einheitlich und unwirksam. Auch die Platten von Gelatinekörpern, welche in hohlen Krystallformen langsam zur Erstarrung gelangt waren, erwiesen sich bezüglich ihres Zerfalls in Sectoren mit einer Structur versehen, welche von den Begrenzungsflächen abhängig ist, und welche natürlich hier in dieser amorphen Substanz nicht durch krystallographisch verschiedene Richtungen bewirkt sein kann (N. Jahrb. f. Min. 1882. I. 41). — *Weinschenk* gewahrte übrigens an Grossularen des Gross-Venedigerstocks, dass auch da, wo in den körnigen Aggregaten Krystallform völlig fehlt, die doppeltbrechenden Sectoren genau in derselben Weise gegen einander abgegrenzt sind, wie es bei den wohlausgebildeten Krystallen der Klüfte und Drusen der Fall ist.

Für tetragonale und hexagonale Krystalle ist durch viele Untersuchungen festgestellt worden, dass dieselben, in der Richtung ihrer optischen Axe (also senkrecht auf die Basis) einem Druck unterworfen, stärkere oder schwächere Doppelbrechung gewinnen, aber immer optisch einaxig verbleiben. Wirkt der Druck senkrecht auf

die optische Axe (also parallel der Basis), so verändert sich die einaxige Interferenzfigur, die kreisförmigen Farbenringe verlängern sich elliptisch, das schwarze Kreuz geht in der Mitte in zwei Hyperbeln auseinander und es entsteht das Interferenzbild eines zweiaxigen Krystalls mit kleinem, aber bei Zunahme des Drucks sich (wenn auch nicht proportional) vergrößerndem Axenwinkel. Dabei gehen bei positiven Krystallen die beiden Axen in einer Ebene auseinander, welche der Druckrichtung parallel ist; es bleibt die frühere optische Axe die Schwingungsrichtung der kleinsten Lichtgeschwindigkeit und spitze Bisectrix, aus dem positiven einaxigen entsteht demnach ein ebenfalls positiver zweiaxiger Krystall. Bei den negativen Krystallen gehen die beiden optischen Axen umgekehrt in einer zur Druckrichtung senkrechten Ebene auseinander; die frühere optische Axe bleibt die der grössten Lichtgeschwindigkeit und der Krystall wird also auch negativ zweiaxig. Aus *Bücking's* Untersuchungen über die Modification der optischen Verhältnisse der Krystalle unter dem Einfluss eines messbaren äusseren Drucks vermittelst eines Schraubenpressapparats (Z. f. Kryst. VII. 1883. 558) geht hervor, dass bei einaxigen Krystallen die Grösse des durch den Druck entstehenden optischen Axenwinkels nicht von Anfang an proportional dem Druck zu- oder abnimmt, auch dass für die verschiedenen einaxigen Mineralien durch einen gleich hohen Druck ein verschiedener Axenwinkel entstand; bleibende Aenderungen konnte auch *Bücking* ebensowenig wie seine Vorgänger beobachten. — *Klocke* gibt an, dass eine das normale Axenbild zeigende Platte von (optisch positivem) Eis schon bei einfachem Druck zwischen den Fingern die Zweiaxigkeit in einer sehr deutlichen Weise offenbart; beim Nachlassen des Drucks vereinigen sich die Hyperbeln wieder zu dem schwarzen Kreuz (N. Jahrb. f. Min. 1879. 280). — *Wilk. Klein* fand, indem er einaxige Krystalle ungleichmässig einseitig erwärmte, dass das dunkle Kreuz der basischen Platten in eine Hyperbel gespalten wird, und zwar steht die Hyperbelaxe bei den positiven parallel, bei den negativen senkrecht zu der Richtung, in welcher die Wärme zugeführt wurde (Z. f. Kryst. IX. 1884. 38). — Von Belang ist die Wahrnehmung *Des Cloiseaux's*, dass der Winkel der optischen Axen bei den an sich einaxigen Substanzen, welche nur durch gelegentliche Structur-Anomalieen zweiaxig erscheinen, bei der Temperaturerhöhung keine merklichen Veränderungen zeigt, während er bei wirklich zweiaxigen Krystallen dann meist bedeutenden Veränderungen unterworfen ist. Der tetragonale Apophyllit besitzt z. B. trotz der bisweilen vorkommenden Zweiaxigkeit dann beim Erwärmen einen unveränderten Axenwinkel.

Wenn *R. Brauns* die bemerkenswerthe Beobachtung gemacht hat, dass optische Anomalieen durch isomorphe Beimischung entstehen, so stellt er diesen Vorgang deshalb mit Recht den durch innere Spannungen erzeugten Erscheinungen an die Seite, weil es scheint, dass hier die isomorphe Mischung insofern die Ursache der optischen Abnormität sei, als deren Componenten nicht gleichzeitig in den Zustand des Festwerdens übergehen und dadurch unter Störung der Gleichgewichtslage Spannungen hervorgerufen werden, welche bei den einheitlichen Substanzen nicht beobachtet sind. Auch müssen Spannungen entstehen, wenn die Molecularvolumina von übereinander gelagerten isomorphen Schichten nicht genau gleich gross sind. Während bei den verschiedenen Alaunen, bei Bleinitrat und Baryumnitrat chemisch reine Krystalle vollkommen optisch isotrop sind, kommt die anomale Doppelbrechung nur bei solchen vor, denen ein isomorphes Salz beigemischt ist (N. Jahrb. f. Min. 1883. II. 102; 1885. I. 96). Alle Krystalle von reinem Kali-Thonerde-Alaun z. B. wurden als isotrop befunden, ebenso alle von reinem Ammoniak-Thonerde-Alaun; solche dagegen, die aus Lösungen entstanden waren, welche beide Substanzen gemischt enthielten, waren nach Maassgabe der Betheiligung der isomorphen Verbindung doppeltbrechend, am stärksten die aus einer, gleiche Gewichtstheile Kali- und Ammoniak-Alaun enthaltenden Lösung angeschossenen. Bei Bleinitrat und Baryumnitrat genügte schon eine verhältnissmässig geringe gegenseitige Beimischung, um Krystalle zu erhalten, welche stärker als die am stärksten activen gemischten Alaune doppeltbrechend ausfielen, während die reinen Salze ganz isotrop waren. Aus einer gemischten Lösung

wurden umgekehrt wieder isotrope Krystalle erhalten, wenn eine Entfernung des zugemischten isomorphen Salzes erfolgte. Die isomorphen Anwachsschichten, welche sich aus gemischten Lösungen über einem isotropen Alaunkrystall von einfacher Substanz absetzten, zeigten ebenfalls Doppelbrechung, sowie dass das Zerfallen in Sektoren durchaus abhängig war von der Form der Krystalle. Es kann nach diesen Untersuchungen keinem Zweifel unterliegen, dass das Auftreten der Doppelbrechung in den geprüften Krystallen mit dem Vorhandensein einer isomorphen Beimischung in einem ursächlichen Verhältniss steht. Durch die schichtweise wechselnde Zusammensetzung, welche ein aus einigermassen verschieden löslichen Componenten bestehender Mischkrystall besitzen muss, wird auch das bisweilen beobachtete, von der Mitte nach dem Rande zu erfolgende Zunehmen der Intensität der Doppelbrechung erklärt. Auf Grund der Wahrnehmung, dass die doppelbrechenden Mischkrystalle von Ammoniak- und Kali-Alaun einen entgegengesetzten optischen Charakter besitzen als solche von Ammoniak- und Eisen-Alaun, gelang es, aus einer Lösung, welche diese drei Substanzen zusammen enthielt, dennoch isotrope Krystalle darzustellen, indem jene sich in ihrer Wirkung gewissermassen gegenseitig aufhoben¹⁾.

Für die durch isomorphe Beimischung anomalen Krystalle ist auch zufolge *R. Brauns* die Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung charakteristisch. In den hierher gehörigen regulären Krystallen geht von jeder Fläche eine Pyramide in das Innere, deren optisches Verhalten von der geometrischen Symmetrie dieser Fläche in auffallender Weise abhängt; in den betreffenden Anwachskegeln treten gewisse Druck- oder Zugkräfte auf, welche in deren Bezirk das optische Verhalten ändern. Die Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat sind einfachbrechend nach den Würfflächen, doppelbrechend einaxig positiv nach den Oktaëderflächen, doppelbrechend zweiaxig negativ nach den Flächen des Pentagondodekaëders. — *R. Brauns* findet eine solche Uebereinstimmung zwischen dem optischen Verhalten des Granats und der von ihm künstlich dargestellten doppelbrechenden Alaunkrystalle, dass er geneigt ist, die Erscheinungen bei dem ersteren auch nur durch die verschiedene chemische Zusammensetzung, d. h. durch den Conflict isomorpher Mischungen zu erklären. Nach seiner Ansicht sind auch die optischen Anomalieen bei Häüyn, Sodalith, Chabasit, Turmalin, Apatit, Pyromorphit und Mimetesit, Vesuvian, Apophyllit, Topas wahrscheinlich auf isomorphe Beimischung zurückzuführen.

Anomalieen durch Dimorphie der Substanz. In diesem Falle hat die eine Modification der Substanz die äussere Form geliefert, während die andere Modification jetzt die innere Raumerfüllung bildet, so dass eine Discordanz zwischen morphologischer Ausbildung und optischem Verhalten besteht. Durch Aenderung der Temperatur kann aber in manchen Fällen die letztere zweite Modification innerhalb des bestehenden äusseren Rahmens in die erste ursprüngliche wieder übergeführt werden, und alsdann stehen Form und optische Reactionen wiederum im Einklang. So sind diese Anomalieen insofern von beschränkterer Art, als sie nur für bestimmte Temperaturen zur Geltung kommen. Im Allgemeinen ist die neue jetzt vorliegende Modification gegen die Form der alten gesetzmässig orientirt. In den bekannten Fällen besitzt die jetzige Modification niedrigere Symmetrie als die erste ursprüngliche, deren Gestalt, wenn auch bisweilen etwas deformirt, erhalten ist. Hier liegt demnach eine Art von Paramorphose vor. Solche Substanzen, welche durch Aenderung von Temperatur und Druck beliebig oft aus der einen in eine andere Modification übergeführt und rückgewandelt werden können, sind

¹⁾ Die Ergebnisse aus diesen Wahrnehmungen lassen sich nicht in dem Sinne umkehren, dass überhaupt isomorphe Mischungen optische Anomalieen im Gefolge haben müssen.

von *O. Lehmann* enantiotrope genannt worden. Ist mit der Umwandlung eine nur geringe Volumenänderung verbunden, so entstehen Spannungen, die sich durch Sprünge oder Verschiebungen nach Gleitflächen theilweise ausgleichen.

Mallard hat 1882 die bemerkenswerthe Beobachtung gemacht, dass der unter gewöhnlichen Umständen bei äusserlich vollkommen regulärer Form dennoch aus doppeltbrechenden rhombischen Theilen bestehende Boracit bei einer bestimmten höheren Temperatur (ca. 265°C.) plötzlich, und zwar für alle Farben, in der That einfachbrechend wird, in noch höherer Temperatur auch isotrop bleibt, wogegen dann aber bei verminderter Temperatur nahezu dieselbe frühere Feldertheilung mit ihrer optischen Zweiaxigkeit wieder zurückkehrt. Es ist daher wohl anzunehmen, dass anfänglich eine Entstehung der regulären Form unter entsprechender Anordnung der Moleküle erfolgte, welche aber bei sinkender Temperatur nicht bestehen blieb; es änderte sich die Gleichgewichtslage unter Ausbildung einer neuen, der rhombischen, mit welcher Zwillingsbildung Hand in Hand ging; durch höhere Erwärmung kann dann wieder die der Form ursprünglich entsprechende reguläre Anordnung der Theilchen erreicht werden. Bei sechsseitigen Blättchen von Tridymit, welche anfänglich als wirklich dem hexagonalen System zugehörig aufgefasst, dann aber bei optischer Untersuchung als ein zwillingsmässig verschränktes Aggregat rhombischer Theilchen erkannt wurden, verschwinden schon bei mässigem Erhitzen (ca. 130°) die Zwillingsgrenzen, und die der äusseren Form entsprechende einfache Brechung stellt sich ein. Hierher gehört ferner der Leucit, in dessen Schnitten die sehr complicirte lamellare polysynthetische Verwilligung rhombischer Individuen bei beginnender Rothgluth plötzlich verschwindet; bei sinkender Temperatur kehren die Lamellen und Felder, oft in geänderter Vertheilung wieder zurück (*K. Klein*). Die auf den Krystallflächen vorhandenen Streifen und Knicke gehen ebenfalls in hoher Temperatur verloren. — Bei dem äusserlich regulär geformten Perowskit, welcher in seiner inneren Structur grosse Aehnlichkeit mit Boracit darbietet, ist es aber bis jetzt noch nicht gelungen, in hoher Temperatur die rhombischen verzwilligten Lamellensysteme verschwinden zu lassen.

Anomalieen durch Ueber- oder Nebeneinanderlagerung von verschieden orientirten Lamellen. Lamellen eines minder symmetrischen Systems können wohl so mit einander verwachsen, dass in den aufeinanderfolgenden Lamellen nahezu gleichartige Richtungen vertauscht und gleichnamige optische Elasticitätsachsen gekreuzt erscheinen. Durch solche Ueberlagerung wird eine Compensation ungleichnamiger optischer Elasticitätsachsen bewirkt und die Krystalle nähern sich auch in ihrem optischen Verhalten demjenigen höher symmetrischer Individuen.

E. Reusch hat gezeigt, dass man, wenn zweiaxige Glimmerblättchen mit gekreuzten optischen Axenebenen über einander geschichtet werden, die Interferenzerscheinungen einaxiger Krystalle (mit oder ohne Circularpolarisation) nachahmen kann. Das Verhalten solcher Glimmercombinationen im parallelen und convergenten polarisirten Licht entspricht, weil die ungleichnamigen optischen Elasticitätsachsen sich völlig compensiren, durchaus demjenigen einaxiger Krystalle, wenn die Blättchen unendlich dünn und nach bestimmten Gesetzen regelmässig gekreuzt sind. Ist dies aber nicht der Fall, sind die Lamellen vielmehr verschieden dick und nicht im regelmässigen Wechsel gekreuzt, so verhalten sich die Combinationen verschieden, an manchen Stellen scheinen sie einaxig, an anderen geben sie gestörte Interferenzbilder und gleichen mehr oder weniger zweiaxigen Krystallen. Beim Pennin kann man so nach *Tschermak* in fast ununterbrochener Reihenfolge die Entwicklung der Einaxigkeit aus der Verwachsung zweiaxiger Lamellen verfolgen. — Wird auf ein Kalkspathspaltungsstück R ein zweites gleich dickes in einer um 180° abweichenden Stellung gelegt, so dass also ein künstlicher Zwilling mit R als Zwillingsebene gebildet wird, so erfährt der durch diese

Doppelplatte gerade hindurchgehende Strahl keine Doppelbrechung; Platten von ungleicher Dicke schwächen die Doppelbrechung. — In der Natur wird das Zustandekommen der Mimesie (§ 64) dadurch unterstützt, dass die den Aufbau bedingenden minder symmetrischen Theile eine Molecularstructur und eine Form besitzen, welche der äusseren höher symmetrischen Krystallgestalt sehr nahe steht.

Zeigen Krystalle an einzelnen Stellen vollkommene Einaxigkeit, an anderen Zwei-axigkeit mit wechselndem Axenwinkel und variirender Lage der Axenebene, so muss nach *Mallard* bei ihnen auf eine Zusammensetzung aus dünnen, einander unter schiefen Winkeln innig und zwillingsartig durchkreuzenden Lamellen von geringerer oder keiner Symmetrie geschlossen werden, auch wenn die mikroskopische Beobachtung solche nicht nachweisen kann. Damit hänge es alsdann auch zusammen, dass Krystalltheile bei einer schwächeren Vergrösserung optisch völlig homogen erscheinen, sich aber bei stärkerer in ein regelmässiges Aggregat höchst feiner Zwillingslamellen von niedriger Symmetrie auflösen, so dass das Zusammenauftreten von optisch sich ungleich verhaltenden Stellen bei einer äusserlich scheinbar einfachen Krystallform zurückgeführt würde auf eine abweichend grosse Entwicklung der einzelnen zwillingsverwachsenen Theile. Zeigt ein Krystall von regulärer Form Doppelbrechung, so sei dies unter allen Umständen ein sicherer Beweis dafür, dass er nur scheinbar regulär, aber in Wirklichkeit aus Theilchen von einer geringeren Symmetrie aufgebaut ist, deren Grad optisch ermittelt werden muss. Als Beispiel dieser Anschauungen *Mallard's* mag der Granat dienen, dessen Krystalle bald einfachbrechend sind, bald doppeltbrechend mit verschiedenem Verhalten. Ein *mOn* bestehe aus 48 zwei-axigen triklinen Individuen, deren spitze Bisectrix schief steht zu jeder Fläche. Bei einem *mOm*, welches aus 24 zwei-axigen Individuen zu bestehen scheine mit der spitzen Bisectrix senkrecht zu je einer Fläche, sei jedes dieser Individuen schon ein Zwillingsgebilde jener triklinen Primitivformen. Ebenso verhalte es sich bei den 12 zwei-axigen Individuen, aus denen ∞O , bei den 8 ein-axigen, aus denen *O* zusammengesetzt erscheine (eine optische Axe senkrecht auf jeder Oктаederfläche). Je inniger und feiner die Zwillingsverwachsung, desto höher die optische Symmetrie. In den isotropen Granaten sei die Zwillingsverwachsung eine so feine, dass die darin befindlichen Molecülschichten in ihrer optischen Wirkung sich vollkommen compensiren und demzufolge auf das polarisirte Licht gar nicht wirken. Der Analcim und Flussspath sei aus 3 tetragonalen oder vielmehr aus 12 rhombischen, der Alaun aus 8 hexagonalen Individuen aufgebaut. Diese Hypothese *Mallard's* ist von Einigen ganz oder theilweise anerkannt, von Anderen in ihrer Allgemeinheit mit guten Gründen eingehend bestritten worden¹⁾. Vgl. darüber das S. 245 citirte Werk von *Brauns*, der selbst ein Gegner derselben ist.

Abweichungen von den normalen optischen Verhältnissen können auch durch unvollkommenen Parallelismus der krystallographischen Axen bei solchen Krystallen entstehen, welche aus zahlreichen Subindividuen aufgebaut sind.

1) Dass der bei gewöhnlicher Temperatur aus rhombischen Individuen bestehende Boracit bei 265° plötzlich isotrop wird (S. 250), will *Mallard* nicht durch Rückkehr zu der regulären Modification, sondern dadurch erklären, dass in dieser höheren Temperatur die Zwillingsverwachsung eine so innige und reichliche wird, dass der Krystall einfachbrechend erscheint.

Mit obigen Vorstellungen verknüpft sich bei *Mallard* eine eigenthümliche Anschauung über die Dimorphie. Nach ihm hat jede chemische Verbindung stets nur eine einzige Krystallform und die dimorphen höher symmetrischen Modificationen entstehen durch zwillingsartige Verwachsung der einzelnen minder symmetrischen Molecülschichten; so betrachtet er den isländischen Doppelspath nur als ein Aggregat kleinster, in verschiedenem Sinne gekreuzter Krystalllamellen von nicht höherer Symmetrie als derjenigen des Aragonits; gegen diese Supposition erhebt der Gegensatz der specifischen Gewichte zwischen Kalkspath und Aragonit sofort Einspruch. Auch der Umstand, dass die verschiedenen Modificationen eines und desselben Salzes oft sehr deutlich verschiedene Löslichkeit besitzen, dürfte schon allein die Annahme ausschliessen, dass die höher symmetrische Modification aus zwillingsartig verwachsenen Molecülschichten einer minder symmetrischen aufgebaut sei.

Bei einaxigen Krystallen zeigen die basischen Platten örtlich Defigurationen der farbigen Ringe, namentlich stellt der innerste centrale Ring nicht mehr eine ganz stetige Curve dar, wie dies bei wirklich zweiaxigen Lamellen der Fall ist, sondern besteht aus zwei einander nicht genau correspondirenden Kreisbogen.

Bei den vorstehenden Erklärungen handelt es sich darum, dass die Krystalle sich nicht oder nicht mehr im krystallogischen Gleichgewicht befinden. Wenn bei Erhaltung der äusseren Form eine innere chemische Veränderung der Substanz eingetreten ist und im Gefolge derselben das optische Verhalten ein anderes wird, so kann dies nicht als eine optische Anomalie bezeichnet werden. So verändert sich bei wasserhaltigen Mineralien (z. B. Zeolithen) die optische Beschaffenheit durch Wasserentziehung; oder es steht der reguläre Haüyn innerlich zu einem Haufwerk natrolithischer Fäserchen um und zeigt in Folge dessen Aggregatpolarisation.

§ 417. **Circularpolarisation.** Die Circularpolarisation besteht darin, dass in gewissen Krystallen die Schwingungsebene des polarisirten Lichtes gedreht wird, und zwar für Strahlen von verschiedener Wellenlänge um verschieden grosse Winkel. Die Aetherschwingungen erfolgen daher hier nicht wie sonst lediglich in bestimmten Ebenen, sondern es wird ihnen eine rotirende kreisförmige Bewegung verliehen. Die Eigenschaft wurde zuerst 1814 von *Arago* am Quarz entdeckt, 1817 von *Fresnel* erklärt. Am Quarz, bei welchem in Folge seiner tetartoëdrischen Ausbildung überhaupt enantiomorphe, rechts und links gebildete Krystalle zu unterscheiden sind, gibt sie sich in der Richtung der Hauptaxe, also in den basischen Krystallplatten im convergenten polarisirten weissen Tageslicht besonders durch folgende Erscheinungen zu erkennen:

1) Die kreisrunden Farbenringe des Interferenzbildes erscheinen zwar wie in jeder anderen optisch-einaxigen Platte, allein das schwarze Kreuz ist in seinem centralen Theile völlig unsichtbar und nur nach aussen hin mehr oder weniger zu bemerken. Ferner erweist sich das von dem innersten Ringe umschlossene kreisrunde Feld nicht mehr weiss, sondern gleichmässig gefärbt; und zwar hängt die Art der Farbe von der Dicke der Platte ab, weshalb sie in gleichdicken Platten dieselbe, in ungleichdicken Platten verschieden ist. Die Farbe ist diejenige, welche die Platte auch im parallelen Licht zeigen würde.

Blos ganz dünne Platten lassen noch den mittleren Theil des Kreuzes erkennen; sobald ihre Dicke 0,35 Millimeter erreicht hat, so fehlt dieser Theil gänzlich in dem Bilde der isochromatischen Ringe.

2) Dreht man den Analysator nach rechts oder nach links, so verändert sich die Farbe des centralen Feldes und es findet zugleich eine Theilung der farbigen Ringe in vier Bogen, sowie eine Erweiterung oder eine Verengung derselben statt. Stammt die Quarzplatte von einem rechtsgebildeten Krystall, so verändert sich bei einer Drehung des Analysators nach rechts die Farbe in dem Sinne von Roth durch Gelb, Blau nach Violett und es erweitern sich die Ringe. Rührt die Platte von einem linksgebildeten Krystall, so verändert sich die Farbe des Mittelfeldes bei derselben Analysatordrehung nach rechts in dem umgekehrten Sinne von Violett durch Blau, Gelb nach Roth und die Ringe verengen sich. Die übereinstimmenden Erscheinungen wie eben für die rechten Krystalle würden hier durch eine umgekehrte Drehung des Analysators nach links erhalten. Platten aus rechten Krystallen drehen daher auch die Polarisationsebene nach rechts (d. h. im Sinne des Uhrzeigers), solche aus linken dieselbe nach links.

3) Legt man zwei gleichdicke aber enantiomorphe Platten über einander, so zeigen sie im Polarisationsapparat als verzerrtes Interferenzbild die sog. *Airy'schen* Spiralen, wie dies auch bisweilen von Platten natürlicher Quarzwillinge (sog. brasilianisches Gesetz) dargeboten wird.

Um den Sinn der Circularpolarisation zu bestimmen, kann man auch zwischen die Platte und den Analysator ein Viertelundulationsglimmerblatt (S. 230) so einschalten, dass dessen optische Axenebene mit den beiden gekreuzten Nicolhauptschnitten 45° bildet; alsdann erscheint im Interferenzbild eine Spirale, welche vom Centrum ausgeht und nach rechts oder nach links gewunden ist; der Sinn der Drehung entspricht dem Sinne der Circularpolarisation.

Im parallelen weissen Tageslicht wird bei keiner Stellung der Nicols zu einander Dunkelheit der Quarzplatte hervorgebracht; dass dann die Platte stets farbig hell erscheint, kommt davon her, dass für die verschiedenen Farben des weissen Lichtes das Drehungsvermögen ein abweichendes ist, und somit bei jeder Nicolstellung immer nur eine Farbe ausgelöscht werden kann, die übrigen verbleibenden daher eine Mischfarbe erzeugen. Beobachtet man aber im homogenfarbigen Licht, z. B. im rothen, indem man rothes Glas vor das Auge hält, so tritt Dunkelheit ein, nachdem man den Analysator aus der Kreuzstellung heraus um einen gewissen Winkel gedreht hat, welcher von der Dicke der Quarzplatte abhängig ist; im Natriumlicht erfolgt bei einer 1 Mm. dicken Quarzplatte Dunkelheit bei einer Drehung um 22° , bei einer doppelt so dicken Platte Dunkelheit bei einer Drehung um 44° . Bei andersfarbigem Licht (oder bei einer Substanz von anderem Drehungsvermögen) muss zur Erzeugung der Dunkelheit um andere Winkel gedreht werden.

Wegen der Erklärung aller dieser Erscheinungen muss auf die Lehrbücher der Physik überhaupt, oder der Optik insbesondere verwiesen werden. Die Eigenschaft der Circularpolarisation wird, soweit bis jetzt bekannt, von Krystallen nur in Richtungen gezeigt, in denen sonst keine Doppelbrechung erfolgt, also einerseits von regulären, anderseits von tetragonalen und hexagonalen Krystallen in basischen Platten dargeboten; an rhombischen, monoklinen, triklinen Krystallen ist die Erscheinung noch nicht nachgewiesen. Nach *Des Cloiseaux* weist unter den Mineralien der Zinnober gleichfalls alle Wirkungen der Circularpolarisation auf (und zwar mit etwa 15mal so grossem Drehungsvermögen als der Quarz), wie sie denn auch bei einer Anzahl von künstlichen Krystallen und bei manchen Flüssigkeiten vorkommt. Die natürlichen und künstlichen Krystalle, welche Circularpolarisation zeigen, sind formell enantiomorph entwickelt, besitzen daher keinerlei geometrische Symmetrieebene. Dennoch decken sich beide Erscheinungen insofern nicht vollkommen, als es auch enantiomorphe Substanzen gibt, z. B. die regulär-tetartoëdrischen Nitrate von Blei, Baryum, Strontium, welche weder als Krystalle noch in Lösungen die Polarisationssebene des Lichtes drehen (*L. Wulff*, Z. f. Kryst. IV. 1880. 441). Auch ist z. B. an den zur trapezoëdrischen Hemiëdrie des hexagonalen Systems gerechneten Substanzen ein optisches Drehungsvermögen nicht nachgewiesen worden.

Interessante Beobachtungen über die Erzeugung der Circularpolarisation in zwei-axigem Glimmer stammen von *Reusch*. Schichtet man eine grössere Anzahl (12—36) Blättchen zwei-axigen Glimmers von möglichst gleicher, sehr geringer Dicke derart aufeinander, dass die (zur Fläche der Blättchen etwa senkrecht stehende) optische Axenebene jedes neu hinzugefügten Blättchens gegen die des darunter liegenden um 120° im Sinne des Uhrzeigers (nach rechts) gedreht ist, so dreht diese Glimmercombination die Polarisationssebene eines senkrecht hindurchgehenden Strahls ebenfalls nach rechts: sie verhält sich im Polarisationsapparat ähnlich wie eine senkrecht zur Axe geschnittene Platte rechtsdrehenden Quarzes. Wurde im entgegengesetzten Sinne wendeltreppenähnlich aufgeschichtet, so ist die Combination linksdrehend. — *Sohncke* sieht die Ursache für das optische Drehungsvermögen von Krystallen und das Auftreten derselben in enantiomorphen Formen in einer inneren Structur derselben, welche einer

solchen Glimmercombination analog ist (Entwickel. einer Theorie d. Krystallstructur. 1879. § 41).

§ 148. **Pleochroismus.** Man versteht darunter die Eigenschaft pellucider Krystalle, im durchfallenden Licht nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Farbe oder eine abweichende Intensität derselben Farbe zu zeigen. Die Farbe eines solchen Krystalls kommt davon her, dass von dem auffallenden weissen Licht nur die Strahlen, welche eben seine Farbe bilden, durchgelassen, die anderen absorbiert oder verschluckt werden¹⁾. Da in den regulären Krystallen (sowie in den amorphen Körpern) diese Absorption nach allen Richtungen hin gleich ist, so können dieselben auch keinen Pleochroismus aufweisen. In den doppeltbrechenden Krystallen ist aber diese Absorption gewisser Lichtstrahlen nach den Hauptrichtungen ungleich, und für sie ist daher die Erscheinung des Pleochroismus nothwendig, welche sich in den optisch-einaxigen als Dichroismus, in den optisch-zwei-axigen als Trichroismus äussert. Diese Absorption steht im engsten Zusammenhang mit der Doppelbrechung. Wie die beiden einen doppeltbrechenden einaxigen Krystall durchlaufenden Strahlen einen abweichenden Brechungsquotienten besitzen, so erleiden sie auch eine verschiedene Absorption, und wie ferner der Brechungsquotient für den ordinären Strahl constant ist, der für den extraordinären aber mit der Richtung zur Hauptaxe wechselt, so ist auch der Absorptionscoefficient für den ersteren constant, während er für den letzteren mit der Richtung variirt. In der Richtung, in welcher keine Doppelbrechung erfolgt, tritt daher auch keine Absorptionsverschiedenheit zweier Strahlen auf. Manche Krystalle, z. B. Turmaline, Berylle, Cordierite weisen die nach verschiedenen Richtungen stattfindenden Farbendifferenzen schon dem freien Auge im gewöhnlichen Tageslicht auf.

Die Schwingungsrichtungen, welche für eine bestimmte Farbe der grössten, mittleren und kleinsten Absorption entsprechen (die Axen der Absorption, wie man sie mit *Laspeyres* nennen könnte), sind in den dichroitischen Krystallen parallel und rechtwinkelig der Hauptaxe; unter den trichroitischen Krystallen entspricht in dem rhombischen System die verschiedene Absorption den drei Hauptelasticitätsaxen, welche bekanntlich hier mit den drei krystallographischen Axen zusammenfallen, weshalb denn hier rechtwinkelig auf den drei Hauptschnitten die Farbenverschiedenheit erscheint. Nach den Untersuchungen von *Laspeyres* (Z. f. Kryst. IV. 1880. 454) und *Ramsay* (ebendas. XIII. 1888. 97) fällt in monoklinen Krystallen zwar noch eine Absorptionsaxe mit derjenigen Hauptelasticitätsaxe zusammen, welche hier krystallographische Symmetrieaxe ist, wogegen die beiden anderen

¹⁾ Das Sonnenlicht, welches durch eine Platte z. B. von Granat gegangen ist, liefert bei der Untersuchung mit dem Prisma ein Spectrum, welches zahlreiche Unterbrechungen in der Form dunkler Bänder zeigt, zum Beweis, dass eine Anzahl verschiedener Lichtarten beim Durchgang durch die Platte völlig absorbiert worden ist, während die übrigbleibenden nach dem Austreten eine Mischfarbe erzeugen.

Wenn nun ein tetragonaler Zirkonkrystall in der Richtung der Hauptaxe durchblickt, rothbraun, senkrecht darauf durchblickt, spargelgrün erscheint, so kommt dies daher, dass die ordentlichen Strahlen, welche senkrecht zur Hauptaxe schwingen, absorbiert werden, mit Ausnahme derjenigen, welche eben zusammen das Braun liefern, während die ausserordentlichen, welche parallel der Hauptaxe schwingen, absorbiert werden bis auf solche, welche zusammen das Grün erzeugen.

Absorptionsaxen, welche in der Symmetrieebene liegen, nicht mit den beiden übrigen optischen Hauptelasticitätsaxen zusammenzufallen brauchen. Im triklinen System braucht zwischen den drei Hauptabsorptionsrichtungen und den Hauptelasticitätsaxen überhaupt keine Coincidenz stattzufinden.

Haidinger hat zur Untersuchung der Erscheinungen ein besonderes Instrument, das Dichroskop, angegeben; dasselbe besteht im Wesentlichen aus einem länglichen Kalkspath-Rhomboëder, steckend in einer Hülse, welche an dem Ocularende eine vergrößernde Linse, an dem Objectivende eine Metallplatte mit kleiner quadratischer Oeffnung besitzt, die beim Durchblicken doppelt erscheint. Mittelst desselben kann man die nach verschiedenen Richtungen austretenden Farben in die beiden Strahlen *O* und *E* neben- und auseinander legen.

Durchblickt man mit vorgehaltenem Dichroskop einen optisch-einaxigen Krystall in der Richtung der optischen Axe, also senkrecht auf die Basis, so wird man zwei gleichgefärbte Quadratbilder wahrnehmen, da in dieser Direction keine Doppelbrechung stattfindet und die beiden Bilder von gleich (und zwar in der Ebene senkrecht zur Hauptaxe) schwingenden Strahlen (*O*) herrühren. Man nennt diesen Farbenton Farbe der Basis; sie ist also lediglich bedingt durch die Absorption, welche der ordentliche Strahl erfährt. Rechtwinkelig auf eine prismatische Fläche des Krystalls aber zerlegt das Dichroskop den Farbenton in zwei senkrecht auf einander polarisirte Strahlen verschiedener Färbung oder Intensität, von welchen der das eine Quadratbild erzeugende (*O*) wieder der Farbe der Basis entspricht, also parallel derselben schwingt, der andere aber, parallel der Hauptaxe schwingend (*E*), in dem zweiten Bilde die sog. Farbe der Axe zur Anschauung bringt. Nur wenn eine Diagonale des Kalkspathprismas mit der optischen Krystallaxe einen Winkel von 45° bildet, erscheinen die beiden Bilder gleichgefärbt. — Mit der Neigung der Schwingungsrichtung gegen die Hauptaxe geht die Farbe des ausserordentlichen Strahls allmählich in die Farbe des ordentlichen über. — Neuere Vervollkommnungen des *Haidinger'schen* Dichroskops haben Wesen und Zweck des sinnreichen kleinen Apparats nicht erheblich verändert.

Bei Objecten, welche in dünngeschliffenen Blättchen unter dem Mikroskop untersucht werden, pflegt man aber, wie zuerst *Tschermak* 1869 vorschlug, den Pleochroismus dadurch zu beobachten, dass man nur den unteren Nicol feststehend einfügt und eine Horizontalumdrehung des Präparats vornimmt. Jene Farbengegensätze, welche man an den beiden Quadratbildchen des *Haidinger'schen* Dichroskops nebeneinander erhält, treten hier bei der Drehung nacheinander hervor. Indem man einmal die eine und einmal die andere Elasticitätsaxe des Krystalldurchschnitts mit dem Hauptschnitt des polarisirenden Nicols parallel stellt, werden in der Krystallplatte hintereinander die beiden, ihren Schwingungsrichtungen entsprechenden Absorptionsrichtungen hervorgerufen.

Liegt eine optisch-einaxige, senkrecht auf die Hauptaxe geschnittene Platte vor, so wird man bei der Drehung überhaupt keinen Farbengegensatz gewahren, da in dem Blättchen keine Doppelbrechung stattfindet und der Farbenton wieder bloß bedingt wird von derjenigen Absorption, welche der ordentliche, in der Ebene senkrecht zur Hauptaxe schwingende Strahl *O* erfährt; man erhält also als constanten Farbenton die Farbe der Basis. Eine parallel der Hauptaxe vertical geschnittene Platte wird sich aber als dichroitisch erweisen; richtet man die darin gelegene krystallographische Hauptaxe *c* senkrecht auf den Nicolhauptschnitt, so erscheint die Platte mit derjenigen Farbe, welche der Absorption des ordentlichen Strahls (welcher wieder parallel der Basis schwingt) entspricht; man wird also hier abermals genau dieselbe Farbe vor sich haben, welche auch eine basische Platte überhaupt zeigt. Wird dagegen in der vertical geschnittenen einaxigen Platte die Hauptaxe *c* parallel mit dem Nicolhauptschnitt

gestellt, so offenbart sich die abweichende Absorption, welche dem ausserordentlichen (parallel der Hauptaxe schwingenden) Strahl E zukommt; letztere entspricht somit der Farbe der Axe. Um den Dichroismus einaxiger Krystalle zu prüfen, genügt daher eine parallel der Hauptaxe geschnittene Platte, indem sie beide Farben ergibt. Bildet die Hauptaxe c 45° mit dem Hauptschnitt des Nicols, so erscheint eine Farbe, welche zwischen derjenigen der Basis und der Axe gelegen ist.

Pennin zeigt z. B. dem unbewaffneten Auge parallel der Hauptaxe eine schön grüne (Basis-) Farbe, senkrecht dazu erscheint er braunroth; die dichroskopische Untersuchung zerlegt diesen letzteren Farbenton in die Basisfarbe Grün (O) und die Axenfarbe Orangeroth (E). Andere ausgezeichnet dichroitische Krystalle sind Apatit, Turmalin, Zirkon, Rutil, Sapphir in gewissen Varietäten. Bei dem hexagonalen Turmalin wird der ordentliche, senkrecht zur Hauptaxe schwingende Strahl ganz oder fast ganz absorbiert, der ausserordentliche, parallel derselben schwingende z. B. mit lichtgraulich-blauer Farbe durchgelassen; steht in den Verticalschnitten die Hauptaxe c senkrecht auf dem Nicolhauptschnitt, so erscheint der Turmalin fast schwarz oder dunkelrothbraun. Da bei diesem negativ doppelbrechenden Mineral $a = c$, und c senkrecht auf c ist (vgl. S. 212), so kann man dies Verhalten auch durch die Angabe ausdrücken: a lichtgraulichblau, c fast vollkommen dunkel. Die grössere Stärke der Absorption wird auf die übliche Weise zum Ausdruck gebracht: es ist also bei dem Turmalin in dieser Hinsicht $O > E$ und $c > a$.

Im Allgemeinen besteht die *Babinet'sche* Regel noch immer zu Recht, dass dem Strahl mit stärkerer Geschwindigkeit (dem schwächer gebrochenen) eine geringere Absorption zukommt, als dem langsameren (stärker gebrochenen).

Bei den trichroitischen rhombischen Krystallen erfolgt die Farbenverschiedenheit nach den drei krystallographischen Axen oder was dasselbe sagt, nach den drei optischen Elasticitätsaxen. Man muss daher hier drei Axenfarben unterscheiden, d. h. die Farben, welche durch die Absorption der nach den drei Elasticitätsaxen schwingenden weissen Lichtstrahlen entstehen; je zwei und zwei Axenfarben liefern zusammen gemischt die drei Flächenfarben, die man beim Durchblicken rechtwinkelig auf je ein Pinakoid im gewöhnlichen Tageslicht mit freiem Auge wahrnimmt. Schneidet man aus einem rhombischen Krystall ein rechtwinkeliges Parallelepiped (Fig. 320), in

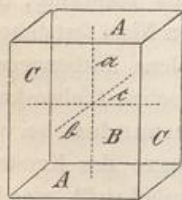


Fig. 320.

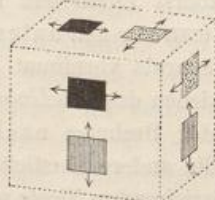


Fig. 321.

welchem z. B. $a > b > c$ die drei Elasticitätsaxen (mit den krystallographischen c , a und b zusammenfallend), A , B , C die darauf senkrechten Pinakoidflächen darstellen, so ist, wie die Zerlegung im Dichroskop darthut, die Farbe der Fläche A gemischt aus den beiden Axenfarben b und c , die Flächenfarbe B gemischt aus a und c , die Flächenfarbe C gemischt aus a und b . So ist z. B. bei dem Cordierit a blassgelb, b graublau, c dunkelblau und daher in Folge der betreffenden Mischung A blau, B blassblau, C gelblichweiss. Die Axenfarbe a erscheint auf den Flächen B und C , b auf A und C , c auf A und B , wie Fig. 321 zeigt, in welcher a durch ein gestricheltes, b durch ein punkirtes, c durch ein schwarzes Feld nebst den Schwingungen dargestellt ist. Mit Rücksicht auf die Stärke der Absorption ist daher bei dem Cordierit $c > b > a$, oder bezogen auf die hier mit den Elasticitätsaxen zusammenfallenden krystallographischen Axen: Makrodiagonale $b >$ Brachydiagonale $a >$ Verticalaxe c . Bei optisch zweiaxigen Körpern genügen also zwei Platten zur Bestimmung der drei Farben, welche Schwingungen parallel den drei Elasticitätsaxen entsprechen. — Die drei Flächenfarben des Diaspors sind pflaumenblau, violblau, spargelgrün. — Da ein Krystall in jeder Richtung, welche nicht mit einem der drei Hauptschnitte zusammenfällt, eine zwischen derjenigen der drei Axenfarben liegende Absorption besitzt, so existiren also in ihm eigentlich alle auf diese Weise möglichen Farbentinten,

und es sind daher die Ausdrücke Dichroismus und Trichroismus strenggenommen nicht ganz richtig.

Bei Angaben über den Pleochroismus sollte immer die Dicke der untersuchten Platte hervorgehoben werden, da diese auf den Grad des Pleochroismus, sowie auf die Art der Farbe von Einfluss ist.

Sénarmont gelang es zuerst, Krystalle einer an sich farblosen Substanz künstlich mit Pleochroismus auszustatten, indem er dieselben aus einer gefärbten Lösung gefärbt entstehen liess, z. B. Krystalle von salpetersaurem Strontium durch beigemischte Lösung von Fernambukholz.

Wird eine senkrecht auf eine optische Axe geschnittene Platte eines Krystalls mit kräftigem Pleochroismus dicht vor das Auge gehalten und gegen den hellen Himmel gerichtet, so gewahrt man beim Durchblicken mit freiem Auge auf farbigem Grunde zwei dunkle Büschel (*Haidinger's* idiophane Axenbilder, Polarisationsbüschel, epoptische Figuren), welche gewissermassen eine veränderte Form von Axenbildern sind; sie besitzen die Lage der im convergenten polarisirten Licht erscheinenden dunkeln Hyperbeln, erweisen sich indessen viel breiter, sind symmetrisch zur Ebene der optischen Axen gerichtet und durch einen hellen Zwischenraum getrennt. Eine Spaltungslamelle von Epidot (parallel OP , senkrecht auf eine opt. Axe) zeigt so zwei braune Büschel auf grünem Grunde, eine orientirte Platte von brasilianischem Andalusit braunrothe Büschel auf blassgrünem Grunde, eine solche von Cordierit wohl dunkelblaue Büschel auf hellblauem Grunde (vgl. *Bertin*, Z. f. Kryst. III. 1879. 448, auch ebendas. 645. 646). Bei basischen Platten einaxiger Krystalle erscheint wohl ein abweichend gefärbter Fleck.

§ 149. **Farbenwandlung, Asterismus, Lichtfiguren und Irisiren.** Einige krystallinische Mineralien zeigen nach gewissen Richtungen sehr lebhaft, buntfarbige oder schillernde Lichtreflexe, welche in den angrenzenden Richtungen schwächer werden, und weiterhin gänzlich verschwinden; man hat diese Erscheinung mit dem Namen Farbenwandlung belegt, während sie vielleicht richtiger Farbenschiller genannt werden könnte. Sie kommt z. B. auf den brachypinakoidalen Spaltungsflächen buntfarbig am Labradorit und fast kupferroth am Hypersthen vor. Varietäten des Adulars und des Chrysoberylls lassen gleichfalls nach bestimmten Richtungen einen bläulichen Lichtschein wahrnehmen.

H. Vogelsang hat gezeigt, dass der blaue Lichtschein der Substanz des Labradorits eigenthümlich angehört und wahrscheinlich als ein Polarisationsphänomen zu erklären ist, hervorgebracht vermöge des Durchgangs gebrochener Strahlen aus einer Zwillinglamelle in eine andere, deren Schwingungsebenen mit jener nicht zusammenfallen; während die gelben und rothen Reflexe durch zahlreiche interponirte schwarze Mikrolithen und gelblichrothe Lamellen, die grünen und violetten Reflexe aber durch eine Vereinigung der letzteren mit dem blauen Lichtschein erzeugt werden (*Archives Néerlandaises*, tome III. 1868). Die Mikrolithen (längsgerichtet parallel der Kante $P:M$) und die Lamellen (eingelagert parallel M) gehören wahrscheinlich dem Titaneisen und Eisenglanz an. *Th. Scheerer* that dar, dass die Erscheinung am Hypersthen durch zahlreiche braune bis schwarze Lamellen und nadelförmige Gebilde eines fremden Minerals bedingt ist, welche metallartigen Glanz besitzen. Dieselben liegen wenigstens grösstentheils mit ihren platten Tafelflächen parallel der vollkommensten Spaltbarkeit ($\infty P \infty$) und sind mit ihrer Längserstreckung meist senkrecht zur Verticalaxe; eine geringere Menge hat ihre Hauptausdehnung parallel mit letzterer oder ist mit ihren längeren Kanten ca. 30° gegen die Verticalaxe geneigt. Diese Interpositionen bestehen wohl am wahrscheinlichsten aus primärem Titaneisen, nicht, wie früher vermuthet wurde, aus Diallag oder Brookit oder Pseudobrookit.

Mit dieser Farbenwandlung sehr nahe verwandt ist das Schillern des sogenannten Sonnensteins, welches nach *Scheerer* durch eine ähnliche Interponirung vieler

sehr dünner lichtgelber, orangefarbiger, blutrother und schwarzer Eisenglanzschüppchen (nach *Kenngott* durch Goethitschuppen) verursacht wird; wie denn überhaupt eine solche Interponirung mehrfach vorkommt und derartige Lichtphänomene zur Folge hat. *E. Reusch* erklärte die Schillererscheinung gewisser Krystalle aus sehr feinen, die ganze Masse des Krystalls durchsetzenden Spaltungs- oder Absonderungs-Klüften, welche gegen die äussere Fläche geneigt sind, und bewies die Richtigkeit dieser Ansicht durch Experiment und Rechnung. An Feldspathen entspricht ein ausgezeichneter eigenthümlicher Farbenschiller oder Lichtschein einer feinen Theilbarkeit parallel einem steilen positiven Querdome von der Form $7P\infty$ oder $8P\infty$. — *Judd* fasst die Schillererscheinungen (»Schillerization«), wie sie beim Labradorit, Hypersthen, Bronzit, Diallag u. s. w. vorkommen, als Resultat eines secundären Vorgangs auf: in grosser Erdtiefe habe der dort herrschende Druck dem circulirenden Wasser eine solche gesteigerte Lösungsfähigkeit verliehen, dass, ähnlich den künstlichen Aetzfiguren, Höhlungen von der Form negativer Krystalle längs gewissen krystallographischen Ebenen (den »Ebenen chemischer Schwäche«) entstanden und in diese Höhlungen nun gewisse Substanzen, die aus dem Mineral selbst oder aus benachbarten Mineralien ausgelaugt wurden, theilweise abgesetzt seien, ein Process, mit welchem sich ein schillernder Glanz auf den Flächen verknüpfe (vgl. darüber *F. Zirkel*, Lehrb. d. Petrogr. I. 1893. 164).

Was das bunte Farbenspiel des edlen Opals betrifft, so hat *Brewster* angegeben, dass in seiner Masse eine Menge mikroskopischer Poren lagenweise nach drei verschiedenen Richtungen vertheilt, und dass die Verschiedenheit der Farben von der abweichenden Grösse dieser Poren abhängig sei. *Behrens* konnte indessen von solchen Poren nichts wahrnehmen, und sucht die Ursache des Farbenspiels in eingebetteten, sehr dünnen und oft gekrümmten reflectirenden Opal-Lamellen von etwas anderer Brechbarkeit (Sitzungsber. d. Wien. Akad., Bd. 64, Decbr. 1874). *Tschermak* möchte die Erscheinung von der Gegenwart feiner Sprünge und Risse herleiten.

An die Farbenwandlung schliesst sich ferner auch, wegen seiner Abhängigkeit von der Krystallform oder Textur, der Asterismus an. So nennt man nämlich den eigenthümlichen, nach bestimmten Richtungen orientirten Lichtschein, welchen gewisse Mineralien im reflectirten oder transmittirten Licht erkennen lassen, und namentlich manche Sapphirkristalle (die sogenannten Sternsapphire) in der Form eines sechsstrahligen Sternes zeigen, wenn man durch eine basische Platte des rhomboëdrischen Minerals eine Lichtflamme betrachtet, oder auf den halbkugelig über die Hauptaxe geschliffenen Sapphir blickt. *Volger* hat ausgeführt, dass in diesem Falle die Erscheinung in einer vielfach wiederholten, lamellaren Zwillingsbildung begründet sei, während nach *Tschermak* der Effect höchst wahrscheinlich von ungemein feinen röhrenförmigen Hohlräumen herrührt, welche parallel den Seiten des sechsflächigen Prismas auftreten. Auch gehört hierher der schielende Lichtstreifen, welchen die feinfaserigen Varietäten des Chrysotils, Faserkalks, Fasergypses u. a. Mineralien quer über die Fasern, und der kreisförmige Lichtschein, welchen sie zeigen, wenn sie halbkugelig geschliffen werden.

Dieselben Erscheinungen wiederholen sich in der unter dem Namen Katzenauge bekannten, von parallelen Amiantfasern durchwachsenen (oder vielleicht auch bisweilen blos feinfaserigen) Varietät des Quarzes. In allen diesen Fällen sind sie in der faserigen Textur der betreffenden Mineralien begründet. Ihre Theorie ist nahe dieselbe, wie die der sogenannten Höfe oder Halos. Vgl. *Volger* über Asterismus. Sitzungsber. d. Wien. Akad. Bd. 49. 1856. 103; *Babinet*, Comptes rendus, 1837. 762,

G. Rose fand den sehr ausgezeichneten sechsstrahligen Asterismus eines zwei-axigen Glimmers von South-Burgess in Canada, welcher beim Betrachten einer Kerzenflamme durch das Glimmerblatt hervortritt, veranlasst durch die Interponirung zahlloser kleiner, breitsäulenförmiger Krystalle, deren Axen sich meist unter 60° schneiden, und welche nach *Des Cloix* ebenfalls Glimmer sind, womit sich *Rose* später einverstanden erklärte, während er früher geneigt war, sie für Disthen zu halten. *Tschermak* stellt indessen, wohl mit Recht, die Glimmernatur dieser Einlagerungen in Abrede. Der von Tafeln braunen Phlogopit-Glimmers aus Ontario dargebotene scharfe Asterismus (6 hellere, 6 schwächere Strahlen) wird durch ein Gitter farbloser nadelförmiger Rutilprismen bedingt, welche den Flächen ∞P , $\infty P\infty$, ∞P_3 , $\infty P\infty$ des Glimmers parallel eingelagert sind. In anderen Glimmern erzeugen haarförmige Gebilde von Turmalin durch ihre regelmässige Anordnung den Asterismus. Nach *H. Vogelsang* zeigen Dünnschliffe des Labradorits, welche der Fläche $\infty P\infty$ parallel sind, wenn man eine Kerzenflamme durch sie betrachtet, einen vielstrahligen Stern, in welchem besonders zwei Strahlen sehr hell sind; auch er erklärt diesen Asterismus durch die Wirkung der sehr zahlreich interponirten Mikrolithen.

Hält man eine künstlich geätzte Krystallfläche (§ 92), welche mit kleinen ebenflächigen Eindrücken bedeckt ist, nahe vor das Auge, und betrachtet darauf das Bild einer etwas entfernter befindlichen Flamme, so gewahrt man sich kreuzende Lichtstreifen, oder mehrstrahlige Sterne. Diese eigenthümlichen orientirten Reflexe werden die *Brewster'schen* Lichtfiguren genannt. Jede Wandung des Aetzeindrucks erzeugt einen Reflex, und da die Eindrücke unter einander parallel sind, so erscheint die Lichtfigur mit so viel Aesten, als Flächen an den Vertiefungen vorhanden sind. Da letztere ferner in ihrer Symmetrie mit derjenigen der geätzten Fläche übereinzustimmen pflegen, so entspricht auch die Gestalt der Lichtfigur selbst dieser Symmetrie. Krumme Lichtbögen erscheinen, wenn bei den Aetzeindrücken stumpf zu einander geneigte Flächen zu einer Krümmung verschwimmen.

Anstatt an den geätzten Krystallflächen selbst, kann man die Lichtfiguren gleichfalls an davon angefertigten Hausenblase-Abdrücken wahrnehmen, welche vermöge ihrer Durchsichtigkeit auch die Betrachtung derselben im durchfallenden Licht gestatten. In ähnlicher Weise ergeben auch feindrusig ausgebildete natürliche Krystallflächen verschiedengestaltete, aber gesetzmässig orientirte Lichtreflexe. — Ueber die Lichtfiguren vgl. *Brewster*, Edinburgh Transactions Bd. 14. 1837 und Philos. Magaz. 1853; *v. Kobell*, Sitzgsber. d. bayer. Akad. 1863. 60; *Haushofer*, Asterismus u. Lichtfig. des Calcits, München 1865; *Fr. Solger*, N. Jahrb. f. Min. Beilageb. XIII. 1904. 469.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass es sich bei den Phänomenen des Farbenschillers, des Asterismus, der Lichtfiguren um Lichtreflexe an kleinen Flächen handelt, welche einerseits innerlich an eingelagerten festen fremden Körpern oder an Hohlräumen oder an Grenzflächen von Zwillingslamellen oder an den das Mineral zusammensetzenden Fasern auftreten, anderseits aber in Folge einer eigenthümlichen Beschaffenheit der Oberfläche dort vorhanden sind.

Die von *Stokes* als Fluorescenz bezeichnete Farbererscheinung kommt im Mineralreich nur selten vor, obgleich sie zuerst und besonders auffallend am Flussspath (Fluorit) beobachtet wurde. Sie besteht darin, dass das Innere des Körpers unter dem Einfluss der Bestrahlung Licht von einer anderen Farbe aussendet als die Oberfläche, indem der bei der Absorption scheinbar verloren gehende Lichttheil in Licht von einer anderen (meist grösseren) Wellenlänge umgesetzt wird.

Lässt man in Flussspath von Cumberland, welcher im durchfallenden Licht meergrün, im auffallenden schön blau erscheint, im dunkeln Raum durch eine Sammellinse einen Lichtkegel eintreten, so leuchtet dieser in dem oberen Theile der Substanz mit prächtig blauer Farbe. Geht dieses Licht auch durch einen zweiten Flussspath, so wird in letzterem das Blau nicht mehr erregt. Mancher sicilische Bernstein kann blau, Erdöl grün fluoresciren. Kalkspath fluorescirt bei hinreichend starker Bestrahlung durch Sonnen- oder elektrisches Licht mit schön ziegelrother Farbe; am stärksten wird die Fluorescenz durch die grünen Strahlen erregt, rothe Strahlen sind wirkungslos.

Das Irisiren endlich ist eine Erscheinung, welche lediglich durch das Dasein feinsten Klüfte und Risse bedingt wird, längs welcher sich sehr zarte Blättchen abgelöst haben, die das Licht zur Interferenz bringen, und daher, wie dünne Lamellen überhaupt, halbkreisförmig oder bogenförmig verlaufende, concentrische regenbogenähnliche Farbenzonen erzeugen. Sie entstehen besonders leicht in gut spaltbaren krystallinischen Mineralien parallel den oft perlmutterglänzenden Spaltungsflächen, können aber auch nach anderen Richtungen und ebenso in Mineralien von gar keiner oder von schwieriger Spaltbarkeit hervorgebracht werden.

6. Glanz, Farbe und Pellucidität der Mineralien überhaupt.

§ 120. **Allgemeine Bemerkungen über diese Eigenschaften.** Glanz, Farbe und Pellucidität sind drei optische Eigenschaften, welche für die krystallinen und amorphen Mineralien zugleich betrachtet werden können, und wegen ihrer leichten und sicheren Wahrnehmbarkeit einen grossen Werth besitzen, weshalb sie durchaus nicht vernachlässigt werden dürfen, wenn sie auch keine schärfere, mathematisch-physikalische Bestimmung zulassen, wie dies mit den meisten bisher betrachteten Eigenschaften der Fall war.

Unter dem Glanz der Körper versteht man die, durch die spiegelnde Reflexion des Lichtes von ihren mehr oder weniger glatten Oberflächen, in Verbindung mit zerstreutem Licht hervorgebrachte Erscheinung, sofern man dabei von der Farbe abstrahirt.

Dove hat gezeigt, dass auch das von den Körpern zerstreute Licht bei der Erzeugung des Glanzes mit im Spiele ist. Schon die qualitativen Unterschiede des Metallglanzes, Glasglanzes u. s. w. deuten darauf hin, dass die Mitwirkung eines von den Körpern ausgehenden Lichtes erfordert wird, und dass das bloß äusserlich gespiegelte Licht zur Hervorbringung des Glanzes nicht ausreicht.

Unter der Farbe der Körper versteht man dagegen diejenige eigenthümliche Erscheinung, welche das von ihnen reflectirte oder transmittirte Licht, abgesehen von Glanz und Helligkeit, zu verursachen pflegt.

Die Pellucidität endlich ist die Fähigkeit eines Körpers, das Licht zu transmittiren; das Gegentheil dieser Eigenschaft lässt sich als Opacität bezeichnen.

Die qualitativen Verschiedenheiten, welche in Betreff des Glanzes und der Farbe stattfinden, lassen sich nicht durch Begriffe, sondern nur durch unmittelbare Wahrnehmung zum Bewusstsein bringen, weil die Modalität, das So oder Anders ihrer Erscheinung lediglich in der Art und Weise der durch sie erregten sinnlichen Affection begründet ist. Daher kann man die mancherlei Varietäten des Glanzes und der Farbe nur empirisch kennen lernen, indem man sie wiederholt an solchen Körpern beobachtet, an denen sie besonders ausgezeichnet vorkommen.

§ 121. **Metallischer und nicht-metallischer Habitus.** Man gelangt nun leicht zur Anerkennung zweier Hauptverschiedenheiten des Eindrucks, welche sich