

Pflanzenresten gibt schliesslich die verschiedenen Braun- und Schwarzkohlen, in welchen oft noch direct oder nach geschicktem Präpariren die pflanzliche Textur zu erkennen ist.

Das versteinerte Holz ist meistens verkieselt, aus Opal oder Quarz bestehend. Im ersteren Falle ist die ursprüngliche Textur so deutlich erkennbar, dass der Dünnschliff unter dem Mikroskop denselben Anblick gewährt, wie ein wohlgerathener Schnitt aus dem frischen Holze, und doch ist alles vollständig durch Opal ersetzt und von der Holzsubstanz nichts mehr vorhanden.

Man unterscheidet öfter zwischen *recent* und *fossil*, indem jener Ausdruck auf die wenig veränderten Reste jetzt noch lebender Organismen dieser auf die stärker veränderten Ueberbleibsel ausgestorbener Wesen angewandt wird.

Das Mineral, aus welchem die Versteinerung besteht, ist in vielen Fällen unbestimmt körnig, schuppig, dicht u. s. f. Manchmal gibt sich eine besondere Form des neu eintretenden Minerals kund, wie die »Kieselringe« des Chalcedons und Opals bei manchen Verkieselungen. Häufig hat das versteinerbildende Mineral seine Textur von dem organischen Ueberreste entlehnt. Hierher gehört das schalige Gefüge vieler Muschelversteinerungen, die radiallyfaserige Textur der Belemniten und als ein besonders auffallendes Beispiel die Orientirung der Kalkspathindividuen in jenen Versteinerungen, welche von Echiniden, Seesternen, Crinoiden herrühren. Jeder Stachel des Seeigels, jedes Stengelglied der Seelilie, jede Platte ihres Kelches etc. ist ein Kalkspathindividuum, dessen Hauptaxe entweder der Längsaxe des Stachels etc. parallel ist oder überhaupt eine bestimmte Stellung zu der Körperaxe einnimmt. Vergl. Hessel, Einfluss des organischen Körpers auf den unorganischen. Marburg 1826. Ebner, Sitzungsber. Ak. Wien, Bd. 95 (I), pag. 55.

Früher wurde schon erwähnt, dass manche krystallinische, selbstständige Bildungen Aehnlichkeit mit Versteinerungen besitzen. Die dendritischen oder die moosförmigen Bildungen sind früher eingemale als Pflanzenreste gedeutet worden.

Die erwähnten Minerale Kalkspath, Aragonit, Opal, Quarz, Kohle bilden hauptsächlich das Material für Versteinerungen, bisweilen aber treten Gyps, Baryt, Cölestin etc. an ihre Stelle. Wenn Minerale, die ein schweres Metall enthalten, wie Eisenkies, Brauneisenerz, Zinkspath, Rotheisenerz, Eisenspath, in der Form von Versteinerungen auftreten, so spricht man von Vererzung. Sowohl Thier- als Pflanzenreste finden sich öfter durch Eisenkies vererzt. Literatur über die Minerale der Versteinerungen in dem vorerwähnten Werke von Blum über die Pseudomorphosen des Mineralreiches.

## II. Mineralphysik.

**79. Elasticität. Cohärenz.** Aeussere Einwirkungen vermögen die Gestalt der starren Körper vorübergehend zu verändern. Dabei setzen die letzteren jedoch einen Widerstand entgegen, dessen Grösse als Maass der Elasticität gilt.

Werden die Körper in die Form von Stäbchen gebracht, so lässt sich durch Anhängung von Gewichten ein Zug, durch Auflegung von Gewichten ein Druck auf dieselben ausüben und die Verlängerung oder Verkürzung messen. Stäbchen.

die in horizontaler Stellung an einem Ende geklemmt werden, erfahren durch Gewichte, die am freien Ende senkrecht zur Längsaxe wirken, eine Biegung, ebenso Stäbchen, die an beiden Enden gestützt und in der Mitte belastet werden, und ebenso kreisrunde Scheibchen, die an den Endpunkten eines Durchmessers unterstützt und auf dem dazu senkrechten Durchmesser belastet werden. Die Biegung wird hier durch die Senkung der Mitte des Stäbchens oder Scheibchens gemessen. Auch die Drehung, welche das freie Ende eines einseitig geklemmten Stäbchens erfährt, lässt sich durch Gewichte hervorbringen. Je grösser das Gewicht ist, welches nöthig erscheint, um eine bestimmte Verlängerung oder Biegung oder Drehung vorübergehend hervorzurufen, desto grösser ist die Elasticität des untersuchten Körpers.

Die erforderlichen Gewichtsmengen werden als Elasticitätscoefficienten bezeichnet, oft aber werden die reciproken Werthe jener Mengen so benannt.

Um an Stäbchen von 1 Quadratmillimeter Durchschnitt eine Dehnung hervorzubringen, welche 0.001 der Länge beträgt, wären erforderlich für

Blei . . . . .	1.727 Kilogramm
Gold . . . . .	5.585     »
Silber . . . . .	7.141     »
Fensterglas . . . . .	7.917     »
Stahldraht . . . . .	18.809     »

Werden solche Stäbchen aus krystallisirten Mineralen geschnitten, und zwar aus tesseralen Krystallen in der Richtung der Würfelkante, aus anderen in der Richtung der aufrechten Axe, so wären für die gleiche Dehnung erforderlich:

für Alaun . . . . .	1.793 Kilogramm
» Steinsalz . . . . .	4.199     »
» Baryt . . . . .	5.385     »
» Calcit . . . . .	5.838     »
» Quarz . . . . .	10.300     »
» Fluorit . . . . .	14.700     »
» Pyrit . . . . .	35.310     »

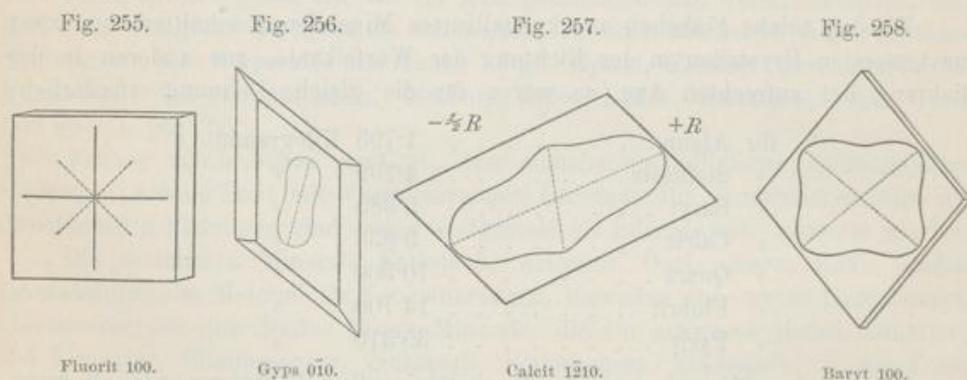
In amorphen Mineralen ist die Elasticität in allen Richtungen gleich gross, in Krystallen ist sie zwar in den krystallographisch gleichen Richtungen gleich, in ungleichen Richtungen aber häufig verschieden.

Stäbchen, welche aus einem Fluoritkrystall parallel den Würfelkanten geschnitten werden, zeigen alle dieselbe Elasticität. Alle erleiden, wenn ihr quadratischer Querschnitt 1 Quadratmillimeter und ihre Länge 4 Centimeter beträgt, eine vorübergehende Biegung von 0.1 Millimeter, wenn das in der Mitte des Stäbchens wirkende Gewicht 92 Gramm beträgt. Stäbchen von gleichen Dimensionen parallel der Diagonale der Würfelflächen geschnitten, verhalten sich alle gleich, sie erfahren aber jene Biegung von 0.1 Millimeter schon bei einer Belastung von 63 Gramm. Die Elasticität in der Richtung der Würfelkanten ist also 1.46mal so gross als in der Richtung der Diagonalen. In den Zwischenrichtungen ergeben sich mittlere Werthe.

Werden jene Gewichte durch Längen ausgedrückt und werden diese Längen als Linien von der Mitte der gezeichneten Krystallfläche aus in den angegebenen Richtungen gezogen, so ergibt sich eine Darstellung wie in Fig. 255. Denkt man sich auch die Werthe für die Zwischenrichtungen eingetragen und die Enden der Linien durch eine Curve verbunden, so erhält man die Elasticitätscurve oder Elasticitätsfigur<sup>1)</sup> auf der Krystallfläche, z. B. auf der Würfelfläche des Fluorits, Fig. 259.

Der Charakter der Elasticitätsfigur hängt mit der Symmetrie der bezüglichen Fläche zusammen. Dabei kommt jedoch in Betracht, dass die Elasticität für eine Richtung mit jener für die Gegenrichtung gleich ist. Dies folgt schon aus dem Dehnungsversuch, da sich die Dehnung gleich bleibt, ob der Zug an dem einen oder dem anderen Ende des Stäbchens wirkt. Demnach gibt es keine völlig unsymmetrischen und keine monosymmetrischen Elasticitätsfiguren.

Auf asymmetrischen Flächen ist die Elasticitätsfigur dimetrisch wie in Fig. 256, indem jeder Radius der Figur mit dem um  $180^\circ$  abliegenden Radius gleich ist. Die Maximaldurchmesser sind punktiert angegeben. Dem entsprechend würden trikline Krystalle auf allen Flächen eine dimetrische Figur ergeben, ebenso die monoklinen auf allen Flächen, die nicht senkrecht zur Symmetrieebene liegen.

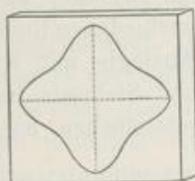


Monosymmetrischen und disymmetrischen Flächen entspricht eine disymmetrische Elasticitätscurve, z. B. in Fig. 258. Monokline Krystalle geben für die zur Symmetrieebene senkrechten Flächen, rhombische Krystalle für alle Endflächen und alle Prismenflächen disymmetrische Figuren. Tetragonale und hexagonale Krystalle geben für alle zur Hauptachse parallelen Flächen disymmetrische Figuren, ebenso rhomboëdrische Krystalle für die Flächen aller Rhomboëder und die des Protoprisma, während für die Flächen des Deuteroprisma eine dimetrische Figur gilt. Fig. 257.

<sup>1)</sup> Die Ableitung der Elasticitätscurve geschieht häufig auch in der Weise, dass die Grösse der Biegung bei gleicher Belastung durch proportionale Längen ausgedrückt wird. Die obige Darstellung entspricht aber einer analogen Behandlung der Elasticität und der Härte des Krystalls.

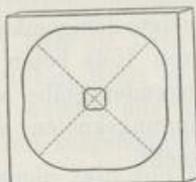
Tetrasymmetrischen Flächen entspricht eine Figur von tetrasymmetrischem Charakter, wie Fig. 259 (Würfelfläche des Fluorits) und Fig. 260 (Würfelfläche des Alauns). Für letztere gilt zufolge der geringen Elasticität des Alauns die innere kleine Figur. Der Deutlichkeit wegen ist dieselbe auch in achtfacher Vergrößerung wiederholt.

Fig. 259.



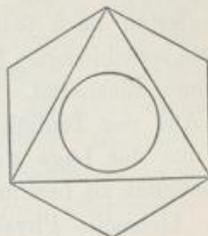
Fluorit 100.

Fig. 260.



Alaun 100.

Fig. 261.



Fluorit 111.

Trisymmetrische und hexasymmetrische Flächen werden sich gleich verhalten. Hier sollte man hexasymmetrische Curven erwarten. Da jedoch aus der Theorie der Elasticität folgt, dass die Elasticitätsfigur höchstens zwei Maximal- und zwei Minimaldurchmesser haben kann, so erübrigt für die Curve nur ein Kreis. Die Endflächen der hexagonalen und rhomboëdrischen Krystalle, die Oktaëderflächen der tesserale Krystalle haben einen Kreis als Elasticitätsfigur. Fig. 261.

Für hemiëdrische Krystalle kommt bisweilen in Betracht, dass die Elasticitätsfigur jeder Fläche sich mit der ihrer Gegenfläche combinirt, wie aus dem Biegungsversuche folgt. Der Würfelfläche eines tetraëdrischen Krystalls (vergl. Fig. 157 auf pag. 77) kommt sonach keine disymmetrische, sondern eine tetrasymmetrische Figur zu.

In anderen Fällen ist zu berücksichtigen, dass die Elasticität im selben Krystall in allen parallelen Richtungen dieselbe sein muss, wengleich diesen Richtungen auf verschiedenen Flächen eine kristallographisch verschiedene Bedeutung zukommt.

An pyritoëdrischen Krystallen (vergl. Fig. 160 auf pag. 77) ist die Würfelfläche disymmetrisch. Wird aber die vordere Würfelfläche 100 mit der Seitenfläche 010 verglichen, so ergibt sich, dass die Verticalrichtung der ersteren Fläche kristallographisch gleich ist der Horizontalrichtung auf der zweiten Fläche und umgekehrt. Da jedoch die Verticalrichtungen für beide Flächen in elastischer Beziehung gleich sind, so folgt, dass auf jeder dieser Würfelflächen die verticale und die horizontale Richtung elastisch gleichwerthig sind, und dies führt auf eine tetrasymmetrische Figur. In der That geben die Versuche am Pyrit für die Würfelfläche eine Figur, welche der am Fluorit ähnlich ist.

Hemimorphe Krystalle werden sich wie die beiderseits gleichartig ausgebildeten verhalten. Damit stimmen die Versuche am Turmalin überein.

Savart bestimmte die Elasticität einiger Krystalle durch Beobachtung der Tonhöhe und der Klangfiguren an Platten, welche in verschiedenen Richtungen aus denselben geschnitten wurden. Platten von Bergkrystall gaben verschiedene

Töne, je nachdem sie parallel  $R$  oder  $-R$  oder parallel den Prismenflächen u. s. w. geschnitten waren. Der Unterschied ging bis auf eine Quinte. Von den Platten, welche der Hauptaxe parallel geschnitten waren, zeigten sich immer je drei unter einander gleich, welchen eine um  $120^\circ$  verschiedene Lage entsprach. Platten aus Calcit gaben ähnliche Resultate, indem sich jene Platten gleich verhielten, welche gemäss der Symmetrie des Rhomboëders krystallographisch gleichen Flächen parallel waren. Gypsplatten befolgten monokline Symmetrie. Amorphe Körper lieferten nach jeder Richtung gleiche Platten. Holz, welches nach drei Richtungen verschiedenen Bau hat, zeigte demgemäss nach verschiedenen Richtungen verschiedene Elasticität. Platten von Holz boten daher Analogie mit Krystallplatten. Aus der Tonhöhe schwingender Stäbe von Eis und Steinsalz hat auch Reusch, aus der Lage der Schwingungsknoten auf Steinsalzzstäbchen hat Groth deren Elasticität zu bestimmen gesucht.

Lit. Liebisch, Physikal. Krystallographie, pag. 558. Savart, Pogg. Ann. Bd. 16, pag. 206. Angström, ebendas. Bd. 86, pag. 206. Neumann, ebendas. Bd. 31, pag. 177. Groth, ebendas. Bd. 157, pag. 115. Reusch, ebendas. Neue Reihe, Bd. 9, pag. 329. Beckenkamp, Zeitschr. f. Kryst. Bd. 10, pag. 41 und Bd. 12, pag. 419.

**80.** Wenn Minerale solchen mechanischen Angriffen ausgesetzt werden, welche ihre Gestalt bleibend ändern, so zeigen sie sich in ihrem Verhalten oft ungleich und man sagt daher, dass ihre Cohärenz oder ihre Tenacität verschieden sei.

Versucht man, dünne Blättchen oder Stäbchen zu biegen, so werden einige, wie z. B. Glimmer, Asbest, nach der Einwirkung wieder in ihre frühere Lage zurückspringen, also grosse elastische Vollkommenheit zeigen, während andere Minerale, wie Chlorit, Gyps oder Talk, in der neuen Lage verharren, sich also biegsam erweisen.

Beim Schaben, Theilen und Kratzen der Minerale beobachtet man gewöhnlich unter knisterndem Geräusch ein Fortspringen der Splitter und des Pulvers, ferner ein häufiges Ausbrechen des Schnittes und freiwilliges Fortsetzen der entstandenen Sprünge. Minerale dieses Verhaltens sind spröde, z. B. Flusspath, Feldspath, während man als milde solche bezeichnet, deren Pulver nicht heftig wegspringt, sondern beim Schaben auf der Klinge liegen bleibt, wie z. B. Speckstein, Graphit. Entstehen gar keine Sprünge, bilden sich gar keine Splitter, kein Pulver, sondern gibt das Mineral dem eindringenden Messer oder der Spitze vollständig nach, so wird das Mineral geschmeidig genannt, wie das Gold, Silber, der Silberglanz. Die hierher gehörigen Minerale sind meistens auch dehnbar oder ductil, da sie sich zu dünnen Blechen hämmern oder zu Draht ausziehen lassen. Wenn ein Mineral sich entweder gar nicht, oder nur sehr schwierig zerschlagen lässt, so wird es zähe genannt, wie z. B. Eisen und alle dehnbaren Metalle; ferner in geringerem Grade Nephrit, Chalcedon und mehrere wirrfaserige Minerale.

**81.** Die Festigkeit der Körper, d. i. der Widerstand gegen Trennung, äussert sich am einfachsten bei Anwendung eines durch Gewichte hervorgebrachten Zuges bis zum endlichen Zerreißen. Sohncke prüfte die Zugfestigkeit des Steinsalzkristalls und fand, dass, wofern ein Stäbchen, das senkrecht zur Würfelfläche

genommen war, durch ein Gewicht von 1 Kilogramm zerrissen wurde, ein gleiches zur Oktaëderfläche senkrecht Stäbchen das Doppelte und ein zur Fläche des Rhombendodekaëders senkrecht 2·6mal so viel bedurfte, um zu zerreißen; die Zerreißungsflächen waren immer die Würfelflächen, nach welchen auch die Spaltung erfolgt (Pogg. Ann. Bd. 137, pag. 177).

Die Festigkeit, welche die Minerale beim Zerdrücken erkennen lassen (rückwirkende Festigkeit), hat nur bei den Krystallen und amorphen Körpern eine bestimmte Grösse, während sie bei den krystallinischen Aggregaten von der Art der Verbindung abhängt, in welcher sich die Individuen befinden. Dasselbe Mineral zeigt grössere rückwirkende Festigkeit, wenn es dicht ist, als wenn es körnig erscheint. Würfel von Kalkstein, welche alle aus demselben Minerale, nämlich Kalkspath bestehen, wurden durch aufgelegte Gewichte zerdrückt, wobei für je einen Quadratmillimeter die folgende Zahl von Kilogrammen erforderlich war:

Dichter, dunkelfarbiger Kalkstein . .	14·03
Körniger, weisser Kalkstein . . . .	10·41
Harter, erdig aussehender Kalkstein .	3·06
Weicher, erdig aussehender Kalkstein	1·05

Ebenso verhält es sich mit den krystallinischen Mineralgemengen. Ein dichter Porphyr erforderte 24·78 Kilogr., während ein körniger Granit, welcher aus denselben Mineralen besteht, 17·31 und ein anderer Granit 10·1 Kilogr. erforderte. Die rückwirkende Festigkeit kommt bei der Schätzung des Werthes der Baumaterialie in Betracht.

**82. Spaltbarkeit.** Bei der Betrachtung der Krystallformen ist schon wiederholt auf die Eigenschaft vieler Krystalle, nach ebenen Flächen spaltbar zu sein, aufmerksam gemacht worden. Die Spaltflächen werden entweder absichtlich durch Anwendung eines Messers, eines Meissels etc. hervorgerufen, oder sie erzeugen sich ohne unsere Absicht durch Druck oder Erschütterung, welchen die Krystalle oder Individuen ausgesetzt sind. Zuweilen kommen die Minerale schon zerspalten in unsere Hände, wie z. B. mancher Glimmer, Gyps, Bleiglanz, so dass dieselben so aussehen, als ob sie aus Blättern oder Würfeln zusammengesetzt wären, die ohne Anstrengung auseinander genommen werden könnten. Unveränderte Individuen und Krystalle hingegen zeigen die Blätterung nicht und sind frei von Sprüngen. Die Spaltfläche bildet sich also an dem unveränderten Individuum erst im Augenblicke des mechanischen Eingriffes, und die Spaltung kann hierauf zu der einmal erhaltenen Fläche parallel wiederholt werden. Geht die Spaltung gut von statten, so erhält man den Eindruck, dass dieselbe immer weiter fortgesetzt werden könne und dass uns nur unsere mechanischen Hilfsmittel hindern, dieselbe bis ins unendlich Kleine zu verfolgen. Die Theorie sagt uns jedoch, dass dieselbe nur soweit getrieben werden kann, bis das erhaltene Blättchen eine einzige Molekelschicht enthält oder bis die einzelnen Molekel von einander getrennt werden.

Den Ebenen der Spaltbarkeit entsprechen Maxima, den dazu senkrechten Richtungen aber Minima der Cohäsion, was durch die genannten Erscheinungen beim Zerreißen bestätigt wird.

Die Spaltflächen liegen immer bestimmten Krystallflächen parallel. Wird ein Krystall gespalten, so sind die Spaltflächen entweder solchen Flächen parallel, die auch äusserlich am Krystall wahrgenommen werden, oder solchen, die am selben Krystall möglich sind. Bleiglanzwürfel sind parallel den äusseren Flächen spaltbar. Oktaëder von Bleiglanz spalten nach Flächen, welche die Ecken des Oktaëders abstumpfen und welche als dem Hexaëder entsprechend am selben Krystall möglich sind.

An einem krystallinischen Individuum ohne Flächenausbildung erfährt man durch Spaltung die Lage möglicher Krystallflächen, und man kann in solchem Falle durch die Beobachtung der Spaltflächen öfter das Krystallsystem oder sogar eine einfache Combination erkennen. Gleichen Krystallflächen sind auch gleiche Spaltungsflächen parallel, daher verrathen Spaltflächen, welche nicht in gleichem Grade eben sind, die Ungleichheit der zu ihnen parallelen Krystallflächen. Man kann demzufolge die Spaltbarkeit zur Classification der Krystallflächen benutzen oder die Richtigkeit der Auffassung einer Krystallform durch die Spaltbarkeit controliren.

Durch Spalten lässt sich zuweilen eine geschlossene Form, eine Spaltungsform erhalten. Dieselbe kommt in ihrer Beschaffenheit einem Krystalle gleich, doch wird sie meistens verzerrt aussehen. Bleiglanz liefert verzerrte Würfel, bei einiger Sorgfalt wird man ziemlich ebenmässige Würfel erhalten. Calcit gibt rhomboëdrische Spaltungsstücke oder auch Rhomboëder. Aus Flusspath kann man Oktaëder oder auch scheinbare Tetraëder erhalten. Blende, welche nach dem Rhombendodekaëder spaltbar ist, liefert nur bei grosser Sorgfalt die letztere Form, sonst aber verschiedene Gestalten, die weniger als zwölf Flächen haben. Glimmer, der blos nach einer einzigen Fläche spaltbar ist, gibt keine Spaltungsform. Die monokline Hornblende, welche nach dem aufrechten Prisma spült, gibt, weil dieses eine offene Form, auch keine eigentliche Spaltungsform.

Wenn die erhaltenen Spaltflächen so glatt und eben sind, dass sie das Licht ausgezeichnet oder vollkommen reflectiren, so wird die Spaltbarkeit als höchst vollkommen bezeichnet, wie am Gyps und Glimmer, oder als sehr vollkommen, wie am Baryt oder Calcit, oder als vollkommen, wie am Augit, Fluorit, dagegen als unvollkommen, wenn die erhaltenen Flächen nicht eben erscheinen, wie am Granat und Vesuvian. Bisweilen lassen sich noch Spuren einer Spaltbarkeit erkennen, wie am Turmalin, dessen Spaltung sehr unvollkommen genannt wird. Die erhaltenen Flächen erscheinen in manchen Fällen fein gerieft, indem äusserst schmale Flächentheile unter ein- und ausspringenden Winkeln zusammentreffen. Dies rührt von wiederholter Zwillingsbildung her und ist vorzüglich am Plagioklas (triklinen Feldspath) zu beobachten. Zähre Minerale lassen sich schwieriger, spröde hingegen leichter spalten. Geschmeidigkeit und Biagsamkeit ist auch oft beim Spalten hinderlich, wie man beim krystallinischen Eisen und beim Chlorit wahrnimmt.

**83.** Die Spaltflächen liegen im tesserale System den primären Flächen parallel. Man beobachtet am häufigsten die Spaltbarkeit parallel dem Würfel (100), wie beim Steinsalz und Bleiglanz, seltener jene nach dem Rhombendodekaëder (110), wie bei der Blende, und nach dem Oktaëder (111), wie am Rothkupfererz.

Der Analogie wegen pflegt man auch in den übrigen Krystallsystemen dort, wo verschiedene Deutungen möglich sind, die Spaltebenen als primäre Flächen anzunehmen, doch ist dies zugleich eine Forderung der Theorie, welche schon Haüy dazu führte, die Spaltungsform als Grundform zu betrachten, und welche nach dem heutigen Ausdrücke die primären Molecularebenen, besonders die Endflächen, als Ebenen der grössten Cohäsion hinstellt [22].

Im tetragonalen System findet sich öfter die Spaltbarkeit nach der Endfläche (001), wie am Uranit, ferner nach einem aufrechten Prisma, welches als (100) oder als (110) aufgefasst wird, wie am Zinnerz, Rutil, Skapolith. Seltener ist die Spaltbarkeit nach (101), z. B. am Scheelit.

Das hexagonale System zeigt wieder als häufigste Spaltbarkeit die nach der Basis (0001), wie am Beryll, und nach einem Prisma, welches als Protoprisma (1010) aufgefasst wird, wie am Apatit, Nephelin. Nach der hexagonalen Pyramide bemerkt man selten eine Spaltbarkeit (Pyromorphit). Die rhomboëdrische Hemiëdrie bringt eine eigenthümliche Spaltbarkeit, nämlich jene parallel dem Rhomboëder mit sich. (Calcit, Dolomit.)

Im rhombischen Systeme beobachtet man am häufigsten Spaltbarkeit nach einer der drei Endflächen, wie z. B. am Topas, Diaspor. Selten zeigt sich Spaltbarkeit nach allen drei Endflächen, wie beim Anhydrit. Eine grössere Anzahl von Mineralen ist nach einem Prisma spaltbar, welches entweder als aufrechtes oder als Längs- oder als Querprisma genommen werden kann. Bronzit, Weissbleierz, Baryt sind Beispiele. Selten ist die Spaltbarkeit nach einer Pyramide, welche man als (111) annehmen wird, wie am Schwefel.

Von den monoklinen Krystallen bieten viele die Spaltbarkeit nach der Symmetrieebene (010) dar, wie der Gyps, der Orthoklas. Spaltungen senkrecht zur Symmetrieebene kommen auch häufig vor. Man wird ihre Richtungen als (100) oder (001) betrachten; beim Gyps wird sie als (100) genommen, während man sie beim Orthoklas als (001) bezeichnet. Ein Spaltungs-Prisma, welches parallel zur Symmetrieebene gestreckt ist, wird entweder als aufrechtes Prisma (110), wie bei Hornblende und Augit, oder als Längsprisma (011), oder als Grundpyramide (111) betrachtet, wie beim Gyps, an welchem die letztere Spaltbarkeit faserig erscheint.

Im triklinen Systeme werden die Spaltebenen vor Allem als Endflächen gedeutet, wie z. B. bei den Plagioklasen, welche in der Form Aehnlichkeit mit dem Orthoklas und die entsprechende Spaltbarkeit zeigen. Die beiden Ebenen der deutlicheren Spaltbarkeit werden hier als (010) und (001) aufgefasst, während eine dritte, weniger deutliche als Prismenfläche (110) genommen wird, da sie eine ähnliche Lage besitzt, wie die Fläche des aufrechten Prisma beim Orthoklas.

Haüy hat in seinen Krystallbildern die Flächen deutlichster Spaltbarkeit mit *P*, *M*, *T* bezeichnet (pri-mi-tif), was zugleich an die angenommene Grundform erinnert. Ein Beispiel ist Fig. 76 auf pag. 49.

Die Minerale derselben Art haben gleiche Spaltbarkeit. Diese anfangs überraschende Constanz, wie sie besonders schön am Kalkspath zu beobachten ist, hat schon die älteren Mineralogen auf den Bau der Krystalle aufmerksam gemacht und Haüy zur Begründung der Krystallographie angeregt. Die verschiedensten Rhomboëder und Skalenoëder, die sechsseitigen Säulen und Tafeln, alle die

verschieden combinirten Krystalle des Kalkspathes lassen sich in gleicher Weise nach einem Rhomboëder von  $105^\circ$  Flächenwinkel spalten, dessen Hauptaxe parallel der Hauptaxe der ganzen Form ist. Aber auch die Individuen des körnigen und stengeligen Kalkspathes geben beim Spalten dasselbe Rhomboëder, und in vielen Versteinerungen lässt sich dieselbe Spaltbarkeit verfolgen. Wie in diesem Beispiele verhält sich die Spaltbarkeit in allen anderen Mineralgattungen, daher sie ein ganz vorzügliches Merkmal ist, welches nicht bloß für Krystalle, sondern für alle krystallinischen Ausbildungen gilt und nur bei dem dichten Zustande eine Grenze findet, welche schliesslich noch durch die mikroskopische Beobachtung überschritten werden kann.

Obgleich nun aber durch sehr viele Fälle gezeigt ist, dass die Spaltbarkeit bei derselben Mineralart constant sei, kommen doch wieder solche Fälle vor, welche als Abweichungen von dieser Regel erscheinen. Diese scheinbaren Ausnahmen werden durch eine schalige Zusammensetzung hervorgebracht, welche ihren Grund in einer Zwillingbildung oder in der schichtenförmigen Einlagerung eines fremden Minerals hat. Magnetisenerz, welches keine Spaltbarkeit besitzt, umfasst Varietäten, welche eine schalige Zusammensetzung parallel den Oktaëderflächen darbieten. Zur Gattung Pyroxen gehört eine Art (Diallag), welche eine ausgezeichnete schalige Zusammensetzung parallel der Querfläche zeigt, während andere Arten, wie der Salit, eine schalige Zusammensetzung nach der Endfläche zeigen. Durch Zersetzung des Minerals wird die schalige Zusammensetzung öfter noch deutlicher wie beim Diallag und Bronzit, worauf die Verwechslung mit Spaltbarkeit noch leichter möglich ist. Da jedoch die schalige Zusammensetzung bei einer bestimmten Dicke ihr Ende erreicht, während die Spaltung sich ins Unmerkliche fortsetzt, so lässt sich der Zweifel in den meisten Fällen lösen.

**84. Druckzwillinge.** Manche Krystalle biegsamer Minerale, wie Chlorit, Gyps, zeigen unregelmässige, durch Druck entstandene Verbiegungen. Auch spröde Krystalle, wie solche von Quarz, Epidot, erscheinen bisweilen durch den Gebirgsdruck verbogen. Werden diese letzteren genauer geprüft, so zeigt sich, dass sie fein zersprungen und dass die Sprünge wieder ausgeheilt sind. Derlei Deformationen sind unregelmässige.

Manche krystallisirte Minerale zeigen bei Anwendung von Druck solche Verschiebungen der Theilchen, welchen zufolge dieselben in eine neue Gleichgewichtslage kommen, die einer Zwillingstellung entspricht. Hier ist die Deformation eine regelmässige. Die Flächen, nach welchen die Verschiebung erfolgt, nennt Reusch Gleitflächen.

Die Verschiebung mit Umstellung der Theilchen wurde zuerst am Kalkspath beobachtet. Wie Pfaff und Reusch gezeigt haben, entstehen in einem Kalkspathindividuum durch Druck dünne Lamellen, welche parallel der Fläche  $-\frac{1}{2}R$  lagern und sich gegen die Hauptmasse des Individuums in Zwillingstellung befinden, nach dem Gesetze, dass  $-\frac{1}{2}R$  die Zwillingsebene. Siehe Fig. 262.

So wie hier einzelne Schichten in Zwillingstellung gerathen, so kann durch Verschiebung vieler aufeinanderfolgender Schichten ein vollständiger Zwilling erzeugt werden, wie H. Baumhauer gefunden hat. Wenn ein Spaltungsstück

klaren Kalkspathes mit einer stumpfen Kante auf eine feste Unterlage gestützt wird, während die dazu parallele stumpfe Kante zu oberst erscheint, und wenn die Schneide einer Messerklinge senkrecht gegen die letztere Kante in das Mineral gedrückt wird, so dringt die Klinge so ein wie in einen geschmeidigen Körper. Die Sprödigkeit des Kalkspathes scheint verschwunden. Die vordringende Klinge schiebt fortwährend neue Schichten zur Seite, und zwar in beistehender Figur nach rechts, daher dort bald ein einspringender Winkel sichtbar wird, Fig. 263, bis endlich ein grosser Theil des Spaltungsstückes sich derart verschoben hat, dass das Ende rechts als ein richtiger Zwilling erscheint, Fig. 264. Man kann auf diese Weise und nach dem Wegspalten des Theiles links von dem Einschnitte vollständige künstliche Zwillinge erhalten. So wie der Kalkspath verhält sich nach den Beobachtungen des Autors auch der rhomboëdrische Natriumsalpeter. Dass auch in anderen Mineralen, wie im Anhydrit (rhombisch), Diopsid (monoklin), bei Anwendung von Druck solche Verschiebungen hervorgebracht werden und dass

Fig. 262.

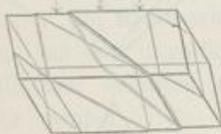


Fig. 263.

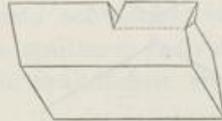
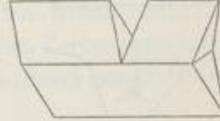


Fig. 264.



Zwillinglamellen entstehen, wurde von Mügge beobachtet. Krystalle, welche derlei durch Druck entstandene Lamellen enthalten, kommen gleichfalls in der Natur vor. Sie zeigen eine schalige Zusammensetzung. Diallag, Salit sind Beispiele dafür.

Später wird erwähnt werden, dass auch bisweilen durch Erwärmung Zwillinglamellen entstehen und verschwinden.

**85. Schlagfiguren.** Durch Druck oder Schlag werden in vielen krystallisirten Mineralen ebenflächige Trennungen hervorgebracht, deren Lage von jener der Spaltflächen verschieden ist. Drückt man Krystalle oder Spaltungsstücke von Steinsalz in einer Schraubenpresse, so erhält man leicht Risse parallel einer Fläche des Rhombendodekaëders, während die Spaltbarkeit nach den Würfelflächen verläuft. Auch durch Schlagen können solche Risse hervorgebracht werden. Die Glimmer lassen sich zwar durch Drücken oder Schlagen immer nur parallel der Endfläche spalten, doch zeigen grössere Individuen von Glimmer, welche durch die wellige Oberfläche den erlittenen Druck verrathen, häufig Trennungen schief zur Spaltung, die man schon öfter für Krystallflächen gehalten hat.

Man kann jene regelmässigen Risse in kleinem Maassstabe durch ein von innen nach aussen wirkendes Zersprengen hervorbringen, wenn man nach dem Vorschlage von Reusch einen zugespitzten Stahlstift (Körner der Metallarbeiter oder auch eine Gravirnadel der Lithographen) auf die zu prüfende Krystall- oder Spaltungsfläche setzt und hierauf durch einen leichten Schlag die Spitze eindringen macht. Die entstehenden Sprünge treten oft zu mehreren auf, welche sich in dem Schlagpunkte kreuzen und Sternchen bilden. Die so entstehenden Figuren werden Schlagfiguren genannt.

Am Steinsalze ist die Schlagfigur ein vierstrahliger Stern, aus zwei sich kreuzenden Rissen bestehend, welche gegenüber dem Quadrate der Würfelfläche diagonal gestellt sind. Fig. 265 *a*. Da die Risse ausserdem auf der geprüften Würfelfläche senkrecht stehen, so liegen sie den Flächen des Rhombendodekaeders parallel, wie dies schon früher bei jenen durch Druck entstandenen Sprüngen bemerkt wurde. Auf der Oktaederfläche ist die Schlagfigur dreistrahlig, indem Risse normal zu den Kanten  $(111):(100)$  entstehen, welche wiederum zu Flächen  $(110)$  parallel sind. Fig. 265 *b*.

Fig. 265.

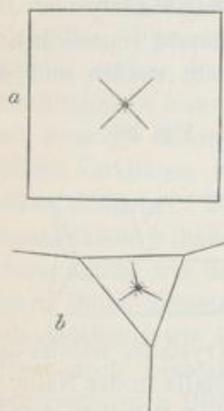


Fig. 266.

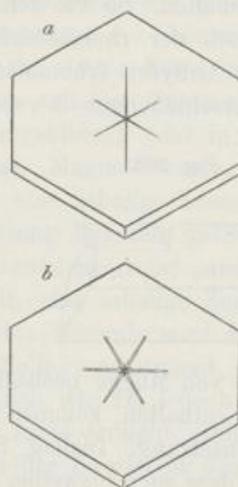
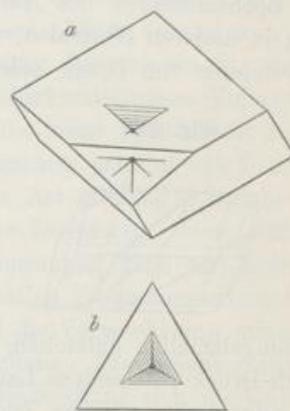


Fig. 267.



Glimmerblättchen liefern als Schlagfigur einen sechsstrahligen Stern, aus drei sich kreuzenden Rissen bestehend, wovon einer einfach ist und der Symmetrieebene des monoklinen Minerals parallel liegt, während die beiden anderen schief gegen die Endfläche treppenartig verlaufen und mehreren Flächen entsprechen, welche in der Zone zwischen Endfläche  $001$  und dem aufrechten Prisma  $110$  liegen. Fig. 266 *a*. M. Bauer fand ferner, dass beim Drücken mit einem abgestumpften Stifte in den Glimmerplatten Risse entstehen, welche zusammen auch einen sechsstrahligen Stern geben, aber von den Rissen der Schlagfigur um je  $30^\circ$  abweichen. Die Risse dieser Druckfigur liegen einem Querprisma  $(102)$  und zwei Pyramidenflächen  $(133)$  parallel, genau so, wie dies an den in der Natur vorkommenden Trennungen am Glimmer zu sehen ist. Fig. 266 *b*.

Am Calcit erhält man auf den Spaltflächen eine monosymmetrische Schlagfigur, welche aus zwei den Rhomboederkanten parallelen Sprüngen und einem zwischenliegenden System feiner Zwillinglamellen nach  $-\frac{1}{2}R$  besteht, Fig. 267 *a*. Hier hat man gleichzeitig Trennung und Verschiebung der Theilchen in die Zwillingstellung. Auf der Prismenfläche erhält man eine fünfstrahlige Schlagfigur mit Trennungen parallel  $OR$ ,  $R$  und  $\infty P2$ . Auf der Endfläche ist die Schlagfigur dreistrahlig mit Rissen parallel dem verwendeten Prisma und feinen Zwillinglamellen zwischen denselben. Fig. 267 *b*. Die Figuren entsprechen hier

wie überall dem Charakter der Flächen, da die Rhomboëderfläche und Prismenfläche monosymmetrisch, die Basis trisymmetrisch ist.

Am Gyps erhielt Reusch sowohl durch Schlag als durch Verschiebung bestimmte Trennungsflächen.

Die Versuche bezüglich der Schlagfiguren haben ein begrenztes Gebiet, da sie nur an den weicheren Mineralen mit Erfolg ausgeführt werden können.

Literatur über die Erscheinungen bei Anwendung von Druck und Schlag: Reusch, Poggendorff's Ann. Bd. 132, pag. 441, Bd. 136, pag. 130. M. Bauer, Jahrb. für Min. 1882, Bd. I, pag. 138. H. Baumhauer, Zeitschr. für Krystallogr. Bd. 3, pag. 588. Aut. ebendas. Bd. 2, pag. 14, und Mineralog. Mitth. Bd. 4, pag. 99. Mügge, Jahrb. für Min. 1882, Bd. I, pag. 32, und ff. Bde. Liebisch, Nachrichten d. Ges. der Wissensch. zu Göttingen. 1887, pag. 435. Cesàro, Bull. soc. Min. Bd. 13, pag. 192.

**86. Bruch.** Durch Zerschneiden oder Zerschlagen der Minerale werden entweder ebene Flächen erhalten, welche als Spaltflächen früher besprochen wurden, oder es entstehen unebene Flächen, welche man den Bruch nennt. Je vollkommener die Spaltbarkeit, desto schwieriger ist es, den Bruch wahrzunehmen, während an den unvollkommen spaltbaren Individuen beim Zerschneiden vorwiegend Bruchflächen erhalten und die Spaltflächen erst bei aufmerksamer Beobachtung erkannt werden.

Betrachtet man in erster Linie die Krümmung der Bruchflächen, so zeigt sich, dass die Mehrzahl der Minerale Bruchflächen mit muschelähnlichen Vertiefungen und Erhabenheiten liefert, welche der muschelige Bruch genannt werden und wobei flach- und tiefmuscheliger, gross- und kleinemuscheliger Bruch, wohl auch vollkommen und unvollkommen muscheliger Bruch unterschieden werden. Die Ausdrücke ebener und unebener Bruch sind ohne weiteres verständlich. Bezüglich der anderen Eigenschaften der Bruchflächen unterscheidet man ausser dem glatten Bruche noch den splittrigen, wofern an der Bruchfläche kleine, halbabgelöste Splitter haften, wie beim Feuerstein, ferner den hakigen, wofern die Bruchfläche viele feine, hakenförmige Theilchen zeigt, wie dies nur bei den dehnbaren Mineralen vorkommt, endlich den erdigen bei matter, staubiger Bruchfläche, wie beim Thon und der Kreide.

**87. Härte.** Die Grösse der Cohärenz macht sich in sehr bestimmter Weise geltend, wenn die Körper auf ebenen Flächen geritzt oder wenn sie geschabt werden. Der Widerstand, welchen ein Körper der Trennung seiner Theilchen beim Ritzen oder Schaben entgegengesetzt, wird seine Härte genannt. Die Prüfung durch Ritzen wird in den Fällen, welche keine grosse Genauigkeit beanspruchen, mit freier Hand ausgeführt, indem eine Spitze von Stahl oder das scharfe Eck eines Minerals mit mässigem Drucke über die ebene Fläche des zu prüfenden Minerals geführt wird. Hierauf hat man sich zu überzeugen, ob ein Ritz entstanden ist oder ob nicht vielleicht die gebrauchte Spitze ein Pulver hinterlassen hat, weil dieselbe weicher ist als die zu prüfende Fläche. Ist die letztere nicht genug eben, so kann man bei der Härteprüfung leicht getäuscht werden, weil

durch die bewegte Spitze Theilchen der Oberfläche abgerissen werden und ein merkliches Pulver entsteht, obwohl die Fläche härter ist als die verwendete Spitze. Körnige, blätterige und faserige Minerale sind für diese Härteversuche wenig geeignet, weil die prüfende Spitze zwischen die einzelnen Individuen eindringt und sie voneinander reisst, anstatt sie zu ritzen. Erdige Minerale können gar nicht auf diese Weise geprüft werden. In solchen Fällen gewinnt man jedoch ein ziemlich sicheres Urtheil durch den Polirversuch, indem das Pulver des zu untersuchenden Minerals unter gelindem Drucke auf einer glatten Fläche von bekannter Härte verrieben wird, wobei die Fläche feine Ritze annimmt, wenn sie weicher ist als das in Frage stehende Mineral.

Man kann über die Härte eines Minerals auch durch Schaben desselben mit einem Messer ein beiläufiges Urtheil gewinnen. Das Resultat wird aber genauer, wenn man, wie dies zuerst Werner gethan, das Mineral auf eine Feile streicht, wobei das weichere mehr Pulver abgeben wird als das härtere. Wird die Feile auf einer Tischplatte oder auf einem Resonanzkästchen befestigt, so erzeugt sich beim Streichen auch ein Ton, welcher bei Anwendung des härteren Minerals heller sein wird als beim Streichen mit einem weicheren. Zum Zwecke des Vergleiches muss man aber beiläufig gleich grosse und gleich geformte Stückchen der Minerale verwenden. Für Körper, welche härter sind als die Feile, ist die Methode natürlich nicht mehr anwendbar.

Um die Härte eines Minerals in bestimmter Weise angeben zu können, wird ein Mineral aufgesucht, welches dem untersuchten Mineral in der Härte gleicht. Ausdrücke, wie Kalkspathhärte, Quarzhärte geben die gefundene Gleichheit an. Wird die Härte durch Ritzen bestimmt, so ist zu berücksichtigen, dass die Spitze oder das scharfe Eck auf einer Fläche von gleicher Härte blos einen sehr schwachen Ritz hervorbringt. Kehrt man jetzt den Versuch um, d. h. nimmt man jetzt von dem geritzten Mineral ein spitzes Eck und prüft damit eine ebene Fläche des anderen Minerals, so wird man wieder ein schwaches Ritzen beobachten.

Man könnte zum Zwecke der Härtevergleichung eine grössere Reihe von Mineralen angeben, welche so aufeinander folgen, dass das vorangehende immer von dem folgenden geritzt wird, dass also die Härte mit jedem Gliede der Reihe steigt, worauf die Härte jedes Minerals durch die Nennung eines Minerals aus dieser Reihe oder Skale charakterisirt würde. Eine vielgliedrige Skale wäre jedoch bei der geringen Genauigkeit, welche die gewöhnlichen Versuche an sich tragen, unpraktisch. Mohs hat daher mit richtiger Würdigung des vorliegenden Zweckes eine blos zehngliedrige Skale aufgestellt, deren man sich allgemein bedient:

Härtegrad 1 = Talk	Härtegrad 6 = Orthoklas
> 2 = Steinsalz	> 7 = Quarz
> 3 = Kalkspath	> 8 = Topas
> 4 = Flusspath	> 9 = Korund
> 5 = Apatit	> 10 = Diamant.

Um die Härte durch Ritzen zu prüfen und nach dieser Skale angeben zu können, hält man Stücke der genannten Minerale bereit, an welchen sowohl ebene Flächen als scharfe Ecken auftreten. Beim Versuche beginnt man immer in der

Weise, dass man, um die weicheren Glieder der Skale mehr zu schonen, mit dem zu prüfenden Mineral jenes Glied der Skale zu ritzen versucht, welches muthmasslich etwas härter ist, worauf man in der Skale abwärts geht. Für die Versuche mit der Feile hat man Stückchen von geringer Grösse in Bereitschaft. Findet man die Härte genau gleich der eines Gliedes der Skale, so kann man dies durch Angabe der Nummer dieses Gliedes ausdrücken, z. B.  $H = 4$  anstatt Härte des Flusspathes. Zeigt es sich, dass die gefundene Härte nicht genau gleich ist einem der aufgestellten Härtegrade, sondern zwischen zweien liegt, so kann man zur Ziffer des unteren Härtegrades ein halb hinzufügen. So heisst 3.5 ein Härtegrad, welcher zwischen dem des Kalkspathes und des Flusspathes liegt. Alle die Ziffern für die Härtegrade haben blos den Sinn von Nummern. Sie geben wohl die Steigerung der Härte an, doch sind die Unterschiede der Härte zwischen den einzelnen Stufen ungleich. Breithaupt wollte deshalb in die Skale zwei fernere Glieder einschalten; der Vorschlag fand jedoch keinen Anklang, weil die Mohs'sche Skale dem praktischen Bedürfnisse vollkommen genügt.

88. Zur genaueren Bestimmung der Härte dient ein Apparat, welcher zuerst von Seebeck construirt wurde und den man Sklerometer genannt hat.

Fig. 268.

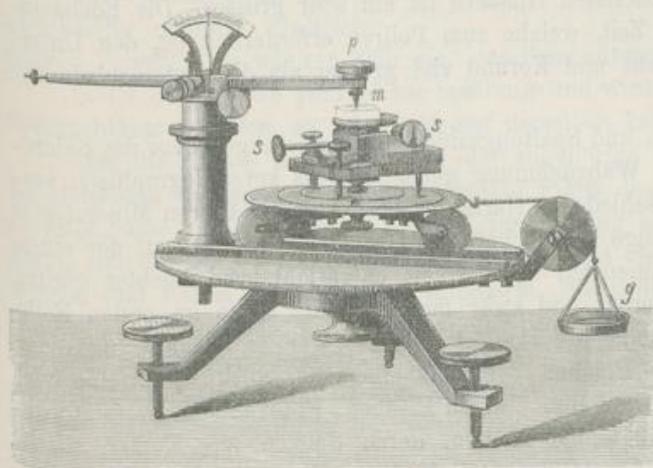


Fig. 269.

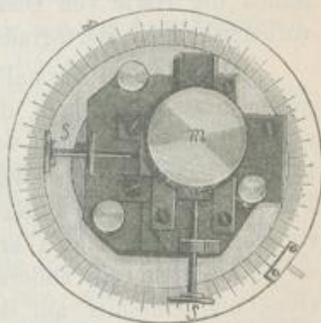


Fig. 268 und 269. Ein gleicharmiger Hebel trägt an einem Ende oberhalb eine Schale zur Aufnahme von Gewichten und unterhalb derselben eine abwärts gerichtete Spitze von Stahl oder Diamant. Die zu prüfende Mineralplatte wird auf der Unterlage  $m$  horizontal befestigt und bei dem Versuche durch Schiebung des Wagens  $w$  unter der Spitze vorbeigezogen, indem man ein constantes Gewicht bei  $g$  wirken lässt. Bei jeder Wiederholung des Versuches wird die Spitze durch Vermehrung der Gewichte auf  $p$  stärker belastet, bis endlich ein Ritz entsteht. Auf diese Weise lässt sich das Gewicht bestimmen, welches nöthig ist, um einen Ritz hervorzubringen; die Härte lässt sich also durch Gewicht ausdrücken. Bei der Untersuchung von Krystallplatten werden dieselben zuerst so eingestellt, dass

die Ritzung parallel einer Krystallkante geschieht. Ein Vollkreis erlaubt nach Beendigung des ersten Versuches die Krystallplatte um einen bestimmten Winkel zu drehen und so die Richtung anzugeben, nach welcher in der neuen Versuchsreihe die Ritzung erfolgt. Um die Krystallplatte parallel verschieben und den gleichen Versuch an mehreren Stellen wiederholen zu können, ist eine durch die Schrauben *s* verstellbare Schlittenvorrichtung angebracht.

Die Beobachtungen mit dem Sklerometer gestatten vor Allem eine Beurtheilung der in der Mohs'schen Skale angenommenen Härtestufen. In dieser Beziehung sind die von Calvert und Johnson erhaltenen Resultate hervorzuheben. Sie verglichen die beobachteten Härten mit jener des Gusseisens, welche sie = 1000 setzten. Ihre Zahlen liefern folgenden Vergleich mit den Härtegraden nach Mohs:

	Sklerometer	Härtegrad		Sklerometer	Härtegrad
Stabeisen . . .	948	5	Gold . . .	167	zwischen 3 u. 2·5
Platin . . .	375	zwischen 4·5 u. 4	Wismut . . .	52	2·5
Kupfer . . .	301	> 3 u. 2·5	Zinn . . .	27	2
Silber . . .	208	> 3 u. 2·5	Blei . . .	16	1·5

Man sieht hieraus, dass der Unterschied der Härte zwischen den Anfangsgliedern der Härteskale viel geringer ist als zwischen den höheren Gliedern. Der Unterschied zwischen den höchsten Gliedern ist ein sehr grosser. Die Edelsteinschleifer schätzen nach der Zeit, welche zum Poliren erforderlich ist, den Unterschied der Härte von Diamant und Korund viel grösser als die Unterschiede der vorhergehenden Härtegrade.

An manchen Krystallen und Spaltungsstücken wurde, lange bevor das Sklerometer in Gebrauch kam, die Wahrnehmung gemacht, dass krystallographisch verschiedene Flächen einen verschiedenen Härtegrad besitzen. Die älteren Mineralogen kannten schon die merkwürdige Eigenschaft des Disthens (Cyanits), auf der einen Fläche, welche der vollkommensten Spaltbarkeit entspricht, viel leichter geritzt zu werden als auf den anderen, und zwar fand man die Härte im ersten Falle = 5, während sie andererseits bis 7 steigt. Ebenso war es bekannt, dass der Gyps und Glimmer auf den Flächen der vollkommensten Spaltbarkeit eine viel geringere Härte darbieten als auf den übrigen Flächen. Frankenheim verfolgte die Sache weiter, indem er mit feinen Nadeln, deren Spitzen aus Kupfer, Stahl, Sapphir etc. bestanden, die Krystallflächen mit freier Hand zu ritzen versuchte. Dabei zeigte sich, was ehedem schon Huyghens am Kalkspath wahrgenommen hatte, dass auch öfter auf derselben Krystallfläche verschiedene Härtegrade auftreten, je nach der Richtung des Ritzens.

Von Seebeck, welcher das Sklerometer angab, ferner von Franz, Grailich und Pekarek, endlich von F. Exner sind seither viele Beobachtungen in dieser Richtung angestellt worden. Dieselben lassen den Zusammenhang erkennen, der zwischen dem Auftreten verschiedener Härtegrade auf den Krystallflächen (Flächenhärte) und der Spaltbarkeit besteht. Die allgemeinen Resultate sind folgende:

1. Härteunterschiede kommen blos an solchen Krystallen vor, welche eine Spaltbarkeit besitzen. An diesen zeigen jene Flächen, welche der Spaltbarkeit

parallel sind, die geringste, und jene Flächen, welche zur Spaltbarkeit senkrecht sind, die grösste Härte.

2. Ist eine Fläche zur Spaltrichtung senkrecht, so zeigt diese Fläche parallel zur Spaltung die geringste, senkrecht zur Spaltung die grösste Härte. Diese beiden Sätze harmoniren damit, dass parallel der Spaltebene ein Maximum, senkrecht dazu ein Minimum der Cohäsion existirt [82].

3. Ist eine Fläche schief zur Spaltebene, so ergibt sich sogar ein Unterschied der Härte auf derselben Linie, indem sich die grössere Härte zeigt, wenn die Spitze sich von dem stumpfen Spaltungswinkel gegen den scharfen zu bewegt (Richtung  $ac$  in Fig. 270), die geringere Härte hingegen, wenn die Spitze sich von der scharfen Kante gegen die stumpfe zu bewegt. (Richtung  $ab$ .)

4. Werden beim Ritzen gleichzeitig mehrere Spaltrichtungen getroffen, so addiren sich die denselben entsprechenden Widerstände.

5. Ist eine Fläche parallel zur Spaltung und wird sie von gar keiner ferneren Spaltrichtung getroffen, so zeigt sich auf derselben kein Härteunterschied.

Um die Grösse der Härte und die zugehörige Richtung auf die gedachte Krystallfläche auftragen zu können, drückte Franz das Gewicht durch Länge aus, so zwar, dass in der Richtung, welche zur Bildung eines Ritzes 3 Gramm erforderte, eine dreimal so lange Linie aufgetragen wird als in einer anderen Richtung, welche zum Ritzen bloß 1 Gramm erforderte. Wenn die Linien alle von demselben Punkte her strahlenförmig ausgezogen und ihre Endpunkte mit einander verbunden werden, so entsteht eine Härtecurve. Sie ist ein Kreis, wenn keine Härteunterschiede auftreten, sie ist eine Ellipse, wofern eine einzige, zur untersuchten Fläche senkrechte Spaltbarkeit existirt, sie ist eine gelappte Figur, wofern die Fläche von mehreren Spaltrichtungen getroffen wird. In diesem Falle ist die Symmetrie der Härtefigur dieselbe wie jene der geritzten Fläche.

Der monokline Glimmerkrystall in Fig. 271 zeigt bloß nach der Fläche 001 vollkommene Spaltbarkeit, demgemäss ist die Härtecurve auf der Seitenfläche 010 eine Ellipse, welche durch ihre längere Axe anzeigt, dass die Härte senkrecht zur Spaltung am grössten ist. Auf der Endfläche 001 ist die Härtefigur ein Kreis, weil hier kein Unterschied zu beobachten ist.

An dem Barytkrystall in Fig. 272 herrscht eine vollkommene Spaltbarkeit parallel dem horizontalen Prisma, ebenso eine parallel der Querfläche, die hier als Rhombus erscheint. Dementsprechend ist die Härtefigur auf der letzteren Fläche vierlappig, indem parallel zu den Prismenflächen Minimalrichtungen existiren. In der aufrechten Diagonale ergeben sich zwei Maxima, doch ist hier

Fig. 271.

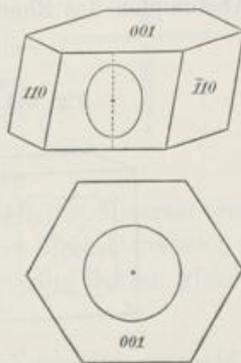
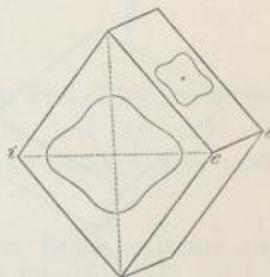


Fig. 270.



Fig. 272.



die Härte geringer als in den horizontalen Richtungen. Auf den Prismenflächen ist die Härtefigur auch vierlappig, Fig. 272, doch sollten die gegen die Kante  $ee$  gekehrten Lappen kürzer sein, weil nach diesen Richtungen die ritzende Spitze sich von der scharfen Spaltungskante gegen die stumpfe bewegt. Die Beobachtungen aber geben keinen deutlichen Unterschied.

Der Kalkspath, Fig. 273, zeigt die geringste Härte auf den Rhomboëderflächen, nach welchen er spaltbar ist. Die Härtecurve dieser Fläche ist vierlappig, der schwächste Lappen ist gegen den Pol des Rhomboëders gekehrt. Auf der Endfläche, die man durch Abstumpfen des Rhomboëderpoles erhält, ist die Härtefigur dreilappig.

Fig. 273.

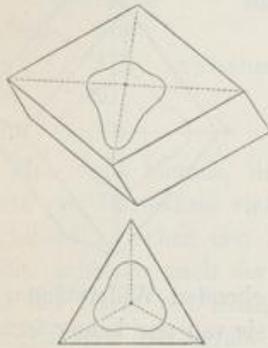


Fig. 274.

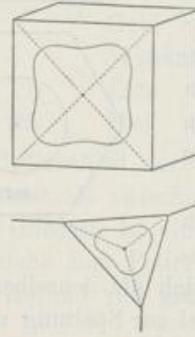
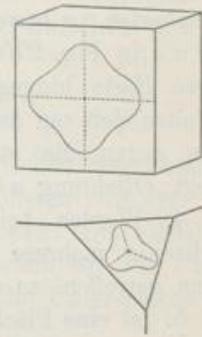


Fig. 275.



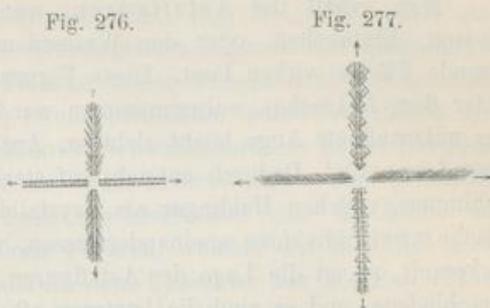
Das Steinsalz hat vollkommene Spaltbarkeit parallel den Würfelflächen. Demnach ist die Härtefigur auf diesen Flächen vierlappig, indem die Maxima der Härte den Diagonalen parallel sind, Fig. 274. Schleift man eine Oktaëderfläche an, so zeigt sich auf dieser dreieckigen Fläche die Härte am grössten beim Ritzen gegen die Würfelkanten zu, in entgegengesetzter Richtung am geringsten.

An dem Flusspath, Fig. 275, welcher eine andere Spaltbarkeit besitzt, indem er nach den Oktaëderflächen spält, sind die Härteverhältnisse andere. Auf 100 ist die Härte senkrecht zu den Kanten am grössten, und auf einer Oktaëderfläche findet man die grösste Härte, wenn man senkrecht gegen die Combinationenkante vom Oktaëder und Würfel ritzt.

Die Verschiedenheit der Härte prägt sich oft in der mikroskopischen Beschaffenheit der erhaltenen Ritze aus. Auf der Querfläche des Baryts (vergl. Fig. 272) erscheinen die Ritze in den horizontalen Richtungen, welche die grösste Härte darbieten, fast wie einfache Rinnen, in den beiden senkrechten Richtungen aber mit feinen Sprüngen besetzt. Fig. 276. Auf den Spaltflächen des Calcits erscheinen die nach den horizontalen Richtungen erhaltenen Ritze gleich und mit einem einseitigen Bart besetzt. Fig. 277. Dem Härtemaximum nach abwärts entspricht eine Rinne mit zarter monosymmetrischer Zeichnung, das Ritzen nach aufwärts liefert hingegen eine mit losgesprengten Täfelchen besetzte Rinne.

Pfaff hat anstatt der Methode des einfachen Ritzens eine andere versucht, indem er aus der Menge des bei wiederholtem Ritzten gebildeten Pulvers die Tiefe der erhaltenen Rinne berechnete und daraus auf die Härte schloss.

Das Auftreten von merklichen Härteunterschieden an demselben Krystall ist für die Bestimmung des Härtegrades keine willkommene Erscheinung, denn die Angabe der Härte soll eine einfache sein, wenn sie als Merkmal beim Bestimmen der Minerale dient. Bei den Mineralen mit vollkommener Spaltbarkeit wird daher für letzteren Zweck die mittlere Härte angegeben, welche am besten an den dichten Varietäten des bezüglichen Minerals ermittelt wird. Pfaff gab hiefür ein bohrendes Instrument an, das er Mesoklerometer nannte, und bestimmte aus der Zahl der Umdrehungen, welche zum Bohren gleich tiefer Löcher nöthig sind, die mittlere Härte.



In neuerer Zeit wurde der Vorschlag gemacht, den Druck, welcher zur Hervorbringung einer Deformation auf einer glatten Krystallfläche durch ein belastetes hartes Kügelchen erforderlich ist, als Maass der Härte zu betrachten. Für den so gemessenen Widerstand dürfte jedoch nicht der Ausdruck Härte gebraucht, sondern es müsste eine andere, eine neue Bezeichnung eingeführt werden.

Literatur: Frankenheim, De crystallorum cohaesione. Vratislav. 1829, ausserdem in Baumgartner's Zeitschr. f. Physik, Bd. 9, pag. 94 und 194. Seebeck, Programm des Cöln. Realgymnasiums. Berlin 1833. Franz, Pogg. Ann. Bd. 80, pag. 37. Grailich und Pekarek, Sitzungsber. der Wiener Akad. Bd. 13, pag. 410 (1854). Exner, Unters. über die Härte an Krystallflächen. Wien 1873. Pfaff, Sitzungsber. der bayr. Akad., 1883, pag. 55, und 1884, pag. 255. Hertz, Verhandl. der Berliner phys. Ges. 1882, pag. 67.

**89. Aetzung.** Die Art der Cohärenz in krystallinischen Mineralen gibt sich in eigenthümlicher Weise zu erkennen, wenn glatte Flächen derselben durch auflösende Flüssigkeiten oder Dämpfe eine schwache Einwirkung erfahren. In diesem Falle bilden sich Aetzfiguren, d. i. Vertiefungen, welche nach vorsichtiger Ausführung des Versuches oft scharfe Umrisse darbieten und von ebenen Flächen, Aetzflächen nach Becke, begrenzt erscheinen. Die Form und Lage der Figur entspricht bei Krystallen der Symmetrie der geätzten Fläche, daher sie ein vorzügliches Mittel ergibt, das Krystallsystem und die holoëdrische, hemiëdrische, tetartoëdrische oder hemimorphe Classe zu erkennen, in welche der untersuchte Krystall gehört. Wofern die ursprüngliche Form des Krystalles keine charakteristischen Flächen zeigt, welche die genaue Einreihung ermöglichen, ist die Beobachtung der Aetzungsformen besonders zu empfehlen.

Die Regelmässigkeit der Aetzfiguren folgt aus der bestimmten Orientirung der Cohäsion. Die Form und das Auftreten dieser Figuren hängt jedoch nicht direct mit der Spaltbarkeit zusammen. Auch solche Minerale, die keine Spaltbarkeit erkennen lassen, zeigen oft die schönsten Aetzfiguren.

Man erhält die Aetzfiguren, wenn man die Flüssigkeit durch Uebergiessen, Eintauchen, oder den Wasserdampf durch Anhauchen etc. auf die zu ätzende Fläche wirken lässt. Diese Figuren sind oft sehr klein, so dass sie erst unter dem Mikroskop wahrgenommen werden können, zuweilen sind sie auch für das unbewaffnete Auge leicht sichtbar. Auf derselben Krystallfläche liegen sie alle einander parallel. Dadurch entsteht auf stark geätzten Krystallflächen ein orientirter Schimmer, welchen Haidinger als Krystalldamast bezeichnete. Wenn in derselben Fläche zwei Individuen aneinanderstossen, was bei Zwillingungsverwachsungen häufig vorkommt, so ist die Lage der Aetzfiguren auf den beiden Individuen häufig eine verschiedene, und es sind die letzteren oft schon durch den genannten Schimmer unterscheidbar. Aetzmittel von verschiedener chemischer Zusammensetzung bringen verschiedene Figuren hervor, auch wirkt dasselbe Aetzmittel je nach der Con-

Fig. 278.

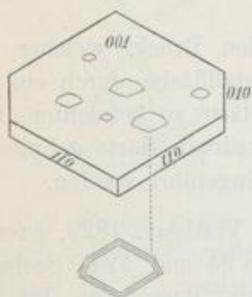


Fig. 279.

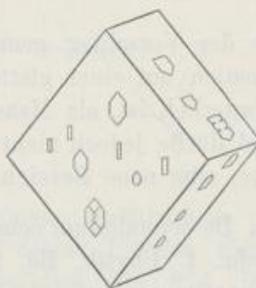
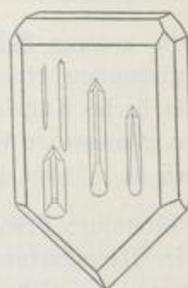


Fig. 280.



centration verschieden. Die Beobachtung der Aetzfiguren geschieht mittels des Mikroskopes entweder direct an der geätzten Fläche oder an Abdrücken, welche mittels Hausenblase oder Gelatine erhalten werden.

Als Beispiele mögen folgende Beobachtungen von Aetzfiguren dienen: Der Muscovit (Kaliglimmer), welcher früher für ein rhombisches Mineral gehalten wurde, zeigt nach dem Aetzen mit Flussäure auf der Fläche vollkommener Spaltbarkeit 001 monosymmetrische Figuren, die meist von krummen Linien eingeschlossen sind, Fig. 278, jedoch bilden sich auch solche mit geradlinigen Umrissen, wovon eine unterhalb vergrössert dargestellt ist. Durch diese Beobachtung ist das monokline System des Minerals angedeutet, welches auch durch andere Beobachtungen bestätigt wird. Krystalle von Baryt, welche zuerst mit einer heissen Lösung von kohlen saurem Natron und nachher mit Salzsäure behandelt werden, zeigen auf den Rhombenflächen, Fig. 279, vierseitige oder sechseckige, disymmetrische Figuren, auf den Flächen des horizontalen Prisma, welche einen monosymmetrischen Charakter haben, dementsprechend auch monosymmetrische Aetzfiguren. Die hemimorphen Krystalle des Kieselzinkerzes, Fig. 280, geben auf den Quer- und Längsflächen Figuren, welche oben und unten ungleich sind, was

wiederum dem Charakter dieser Flächen, welche zufolge des Hemimorphismus monosymmetrisch sind, entspricht. Da die Aetzfigur vertieft ist, so liegt ihre Spitze in Bezug auf das spitze Ende des Krystalls umgekehrt. Spaltungsstücke von Calcit geben beim Aetzen mit Salzsäure auf den Rhomboëderflächen Figuren, welche oft von krummen Linien eingeschlossen sind, Fig. 281, aber stets eine monosymmetrische Form haben. Die oft vorkommenden Figuren mit geradlinigen Umrissen haben die Form *b*, welche Flächen dreier verschiedener Skalenoëder und eines Rhomboëders nebst der dem Grundrhomboëder parallelen Fläche aufweisen. Geschieht die Aetzung mit verdünnter Schwefelsäure, so haben die Aetzfiguren eine etwas verschiedene Form, nämlich die unter *c*, welche aber gleichfalls monosymmetrisch ist. Wird an das Spaltungsrhomboëder eine Endfläche angeschliffen und diese geätzt, so erhält man Figuren, welche, wie in *c* und *d* erkennbar, trisymmetrisch sind, was wiederum dem Charakter der geätzten Fläche entspricht. Anders als der Calcit verhält sich der Dolomit, dessen durch Salzsäure hervorgerufene, asymmetrische Aetzfiguren auf *R* in der Fig. 284 dargestellt sind. Sie entsprechen der rhomboëdrischen Tetartoëdrie. Aetzt man Quarzkrystalle mit Flußsäure, so bedecken sich die Flächen mit feinen Figuren, welche durch die Form oder durch ihre Lage den asymmetrischen Charakter aller Flächen darthun und zugleich den Unterschied der beiden Rhomboëder  $+R$  und  $-R$  hervorheben. Die Fig. 282 zeigt das Verhalten eines linken Krystalls. Ein rechter,

Fig. 282.

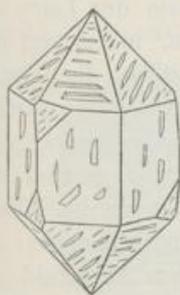


Fig. 281.

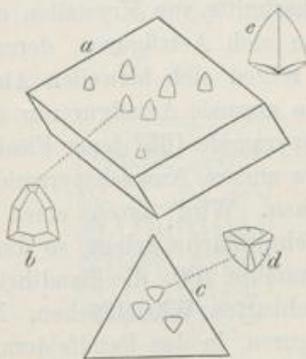


Fig. 283.



Fig. 283, zeigt dieselben Figuren in der anderen Stellung. Durch Aetzen mit einer warmen Lösung von Kaliumcarbonat oder Natriumcarbonat erhält man ähnliche Figuren, welche nach Molengraaff's Vergleichung den an natürlichen Quarzkrystallen beobachteten Aetzfiguren ungefähr entsprechen. Würfel von Steinsalz, welche feuchter Luft ausgesetzt waren, zeigen häufig vierseitige Vertiefungen, deren Umrisse den Würfelkanten parallel sind und deren Flächen einem Tetrakis-hexaëder entsprechen. Diese Erscheinung wurde schon von Mohs beobachtet. Aehnliche Figuren geben die Spaltungswürfel des gediegenen Eisens bei der Behandlung mit Säuren.

Die beim Aetzen entstehenden Vertiefungen schliessen bisweilen in solcher Weise aneinander, dass die zwischenliegenden Erhabenheiten eine selbständige

charakteristische Form annehmen und als Aetzhügel erscheinen, die sich wie Subindividuen verhalten. Becke, welcher die Aetzhügel zuerst constatirte, beobachtete am Bleiglanz beim Aetzen mit Salzsäure auf den Würfflächen zuerst Vertiefungen und nach längerer Einwirkung der Säure die Bildung achtseitiger Pyramiden, wie sie Fig. 285 auf 001 vergrößert darstellt. An der Blende fand er bei gleicher Behandlung auf den positiven Tetraëderflächen dreiseitige trisymmetrische Vertiefungen, Fig. 286, auf den Flächen des Rhombendodekaëders

Fig. 284.

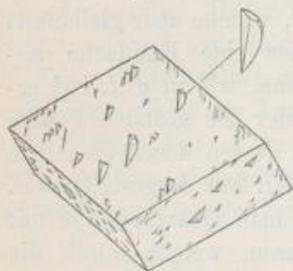


Fig. 285.

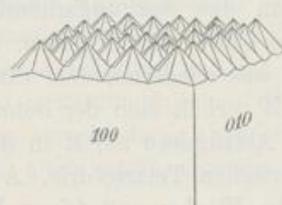
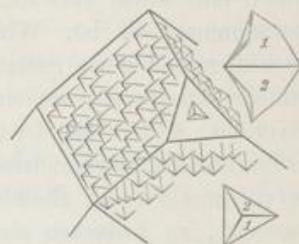


Fig. 286.



dagegen monosymmetrische Aetzhügel. Die Flächen beider haben aber, wie die Ziffern andeuten, dieselbe Lage, welche einem Trigondodekaëder entspricht.

Eine wichtige Anwendung der Aetzmethode ist jene bei der Prüfung des Baues mimetischer Krystalle, z. B. der des Boracits und des Perowskits.

Wenn künstliche Durchschnitte von Krystallen oder Individuen dem Aetzen unterzogen werden, so bilden sich Aetzfiguren, deren Symmetrie der Lage des Schnittes entspricht; jedoch zeigen sich bisweilen Abnormitäten, indem auf den Schnitten oder Spaltflächen die normale Aetzfigur nur dort auftritt, wo die Schnitt- oder Spaltebene die Anwachspyramide [65] jener Fläche trifft, zu der sie parallel ist, während überall dort, wo andere Anwachspyramiden durchschnitten werden, verzerrte Aetzfiguren entstehen. Wird durch einen Fluoritwürfel parallel der vorderen Würffläche eine Schnittfläche gelegt, so durchschneidet sie im Mittelfelde die vordere Anwachspyramide 100, die Randtheile aber durchschneiden die Anwachspyramiden der benachbarten Würfflächen. Nur auf dem Mittelfeld erscheinen die normalen Aetzfiguren, in den Randfeldern hingegen etwas rhombisch verzerrte und reihenförmig angeordnete Figuren. Dies spricht dafür, dass die Aetzfiguren vielfach durch unendlich kleine Lücken des Krystallbaues bedingt werden.

Durch die Aetzung wird auf Schnittflächen der Zwillingbau, der netzförmige Bau, die parallele Verwachsung oder Schichtung sehr deutlich. Ein Beispiel geben viele Meteoreisen. An Schnittflächen, die polirt und nachher mit einer Säure geätzt wurden, tritt der Aufbau, welcher parallel den Oktaëderflächen gelagerte Lamellen zeigt, sehr deutlich hervor. (S. Meteoreisen im Anhang.)

90. Die verschiedenen Flächen und Kanten desselben Krystalls werden durch auflösende Mittel ungleich stark angegriffen. So zeigt sich am Calcit auf  $R$  ein rascheres Fortschreiten der Aetzung als auf  $OR$ . Beim Eintauchen eines Aragonit-

krystalls in verdünnte Säure beobachtet man eine raschere Aetzung der Prismenflächen gegenüber der Längsfläche 010. An den Quarzkrystallen mit sechsfächiger Endigung werden die abwechselnden Polkanten sehr stark, die anderen wenig angegriffen u. s. w. Auch bilden sich öfter an den Kanten der Krystalle, die ja beiderseits dem Einflusse des lösenden Mediums ausgesetzt sind, Abstumpfungen, welche bei sorgfältiger Ausführung des Versuches als ebene Flächen auftreten: Präerosionsflächen, nach Hamberg. Die Lage derselben entspricht nach den bisherigen Messungen dem Parametergesetze, wenngleich die Indices öfter grössere Zahlen sind. Am Quarz wurden solche Flächen nach der Aetzung mit Flussäure zuerst von Leydolt erkannt. Es sind die in Fig. 287 mit 1, 2, 3 bezeichneten Abstumpfungen. Rhomboëder *R* von Calcit verwandeln sich durch starkes Aetzen mit Salzsäure oder Salpetersäure in die Fig. 288 gezeichnete Combination eines Skalenoëders mit einem Rhomboëder.

Fig. 287.

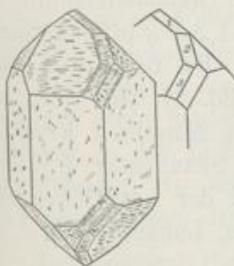


Fig. 288.

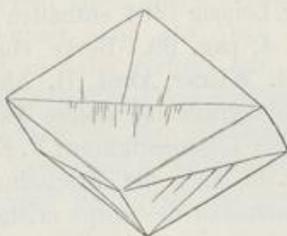


Fig. 289.

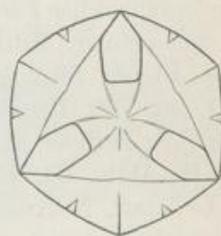


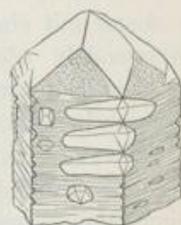
Fig. 290.



Fig. 291.



Fig. 292.



Interessant sind die Versuche mit Kugeln, welche aus Krystallindividuen geschnitten werden, weil hier keine vorhandenen Krystallflächen ein specielles Resultat bedingen, sondern alle die möglichen Corrosionsflächen gleichzeitig zum Vorschein kommen. Eine Calcitkugel verwandelt sich bei starker Aetzung in eine Combination, welche die Fig. 289 von oben gesehen darstellt. Es sind mehrere Skalenoëder, verwendete Rhomboëder und eine verwendete Pyramide zu erkennen, doch erscheinen die Flächen meist gekrümmt.

An den natürlichen Krystallen werden oft solche Flächen beobachtet, welche die grösste Aehnlichkeit mit Präerosionsflächen haben. Die Quarzkrystalle von Palombaja auf Elba, welche G. v. Rath beschrieb, die von Groth beschriebenen Amethyste aus Brasilien bieten Flächen dar, welche diesen Charakter an sich

tragen. Oft erscheinen Krystallflächen mannigfach corrodirt, wie jene an dem Adularkrystall, dessen Oberansicht in Fig. 290 dargestellt ist. Andere Krystalle zeigen Aetzfiguren und Prärosionsflächen zugleich, wie der corrodirt Beryllkrystall in Fig. 291, welcher auf der Endfläche tiefe Aetzfiguren, an den Ecken Prärosionsflächen wahrnehmen lässt. Manche Krystalle sehen wie zernagt und zerfressen aus. Dann treten ebene und gekrümmte Corrosionsflächen, auch Höhlungen auf wie an dem corrodirten Quarzkrystall in Fig. 292.

Literatur: Die merkwürdigen Aetzfiguren des schaligen Meteoreisens wurden 1808 von Widmannstädten in Wien entdeckt. Schreibers, Beitr. zur Gesch. meteorischer Stein- und Metallmassen. Wien, 1820, pag. 70. Später machte Daniell seine Beobachtungen über die Aetzung von Eisen, Kalkspath etc. bekannt. Schweigger's Jour. Bd. 19, pag. 38. Leydolt beschrieb 1855 die Erscheinungen an geätzten Achaten, später die am Aragonit und Quarz. Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 15, pag. 59, und Bd. 19, pag. 10. H. Baumbauer veröffentlichte seit 1874 seine hieher gehörigen Arbeiten, die in dem Werke: Die Resultate der Aetzmethode in der krystallographischen Forschung, Leipzig 1894, enthalten sind, d. Autor in Tschermak's Min. und petrogr. Mitth. Bd. 4, pag. 99. Becke ebendas. Bd. 5, pag. 457 und ff. Bde. Ebner, Sitzungsber. d. Wiener Akad. II. Abth., Bd. 87, pag. 368, und Bd. 91, pag. 760. Hamberg, Molengraaff und andere Aut. in d. Zeitschr. f. Kryst., in den Ber. der Berliner Akad. Ueber Lösungsfiguren: F. Exner, Sitzungsber. d. Wiener Akad. II. Abth., Bd. 69, pag. 6, über die Erscheinungen der Aetzflächen etc., auch Lavizzari, Nouveaux phénomènes des corps cristallisées, Lugano 1865.

**91. Verstäubung.** Manche wasserhaltige Minerale verlieren, wenn sie der trockenen Luft ausgesetzt sind, das enthaltene Wasser theilweise oder ganz, wobei sie sich zuerst mit einer trüben Rinde bedecken und schliesslich in eine lockere Masse verwandeln oder zu Pulver zerfallen. Dieser Vorgang soll hier als Verstäubung bezeichnet werden.<sup>1)</sup> Der Beginn der Erscheinung zeigt sich an den Krystallen oft in der Art, dass einzelne unregelmässig vertheilte trübe Pünktchen oder Flecken auftreten, die sich allmählig vergrössern. Der Umriss derselben ist zwar meistens krummlinig und nähert sich oft einem Kreise oder einer Ellipse, jedoch entspricht derselbe einer abgerundeten Aetzfigur, und nach Entfernung der verstäubten Partikelchen findet sich darunter ein Aetzgrübchen. Die Lage und die schärfere Form der Verstäubungsfiguren auf der Krystallfläche harmonirt daher immer mit der Symmetrie der letzteren. Beispiele für das Auftreten dieser Erscheinung liefern Krystalle von Borax, Zinkvitriol etc. Man hat nur selten Gelegenheit, die Verstäubungsfiguren an Mineralen zu beobachten, weil die bezüglichen Minerale nicht häufig in ausgebildeten Krystallen gefunden werden.

Pape in Pogg. Ann., Bd. 124, pag. 329, Bd. 125, pag. 513, Sohneke in d. Zeitschr. f. Kryst. Bd. 4, pag. 225. Blasius ebenda. Bd. 10, pag. 221.

<sup>1)</sup> Man bezeichnet ihn gewöhnlich als Verwitterung. Da jedoch dieser Ausdruck bereits für die chemische Veränderung der Minerale durch die Atmosphärlin in Verwendung gekommen ist, so wurde für die obgenannte Erscheinung ein anderes Wort gebraucht.

**92. Lichtreflexion.** Ebene glatte Flächen reflectiren das Licht in der Weise, dass 1. der einfallende und der zurückgeworfene Strahl in einer Ebene (Einfallsebene) liegen, welche auf der spiegelnden Fläche senkrecht ist, und dass 2. beide Strahlen mit einer im Reflexionspunkte auf der spiegelnden Fläche senkrecht gedachten Linie (Einfallsloth) gleiche Winkel bilden. Die Gesetze der Reflexion finden Anwendung bei der Messung der Krystallwinkel mittels des Reflexionsgoniometers, von welchem früher die Rede war.

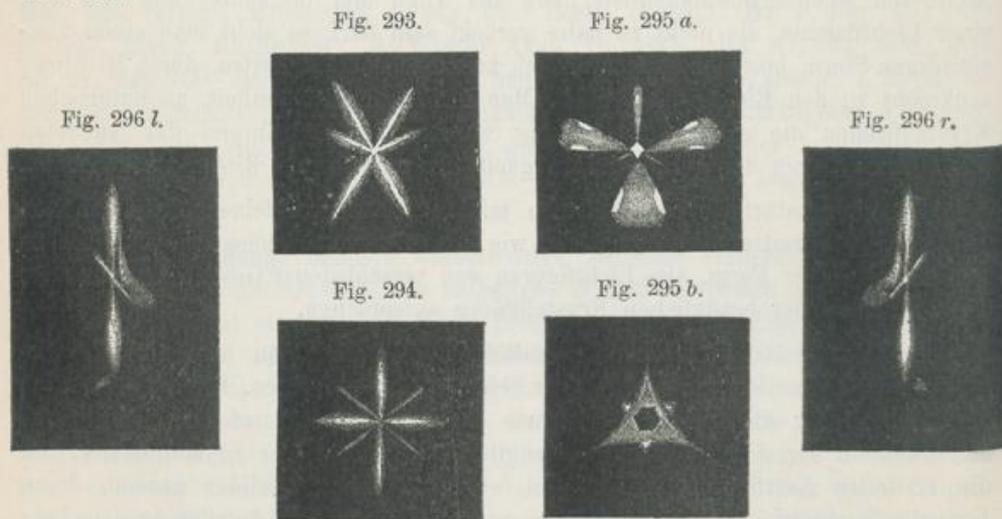
Flächen, welche zwar glatt sind, aber feine Riefen oder Leisten tragen, zeigen verschiedene Abänderungen der Reflexion. Geht ein einziger Zug paralleler Riefen, d. i. rinnenförmiger Vertiefungen, über eine Fläche, so wird man eine Lichtflamme gut reflectirt sehen, wenn die Einfallsebene der Riefung parallel ist, dagegen wird das Lichtbild verzerrt und in die Länge gezogen erscheinen, wenn die Fläche eine andere Lage hat, und zwar erscheint das Lichtbild senkrecht zur Riefung verlängert. Durch diesen Umstand wird gar manche Messung am Reflexionsgoniometer gehindert. Wenn eine Fläche nach zwei Richtungen gerieft erscheint, so wird die Reflexion noch mehr verändert. Hält man eine Krystallfläche von solcher Beschaffenheit nahe ans Auge und betrachtet nun das Bild einer Lichtflamme, die nicht zu nahe gerückt sein darf, so sieht man einen vierstrahligen Stern, bestehend aus zwei sich kreuzenden Lichtstreifen, deren Richtung senkrecht zu den Riefensystemen ist. Man hat häufig Gelegenheit, an natürlichen Krystallflächen die erstere Erscheinung wahrzunehmen, während das Auftreten des Sternes wegen der geringen Häufigkeit der mehrfachen Riefung seltener ist.

Ist eine natürliche Krystallfläche mit regelmässigen, feinen Erhabenheiten (Subindividuen) bedeckt, so erzeugt sie, wie Brewster zuerst beobachtet hat, Reflexe von mannigfacher Form, also Lichtfiguren von verschiedener Gestalt, welche stets der Symmetrie der bezüglichen Krystallfläche entsprechen.

An den geätzten Flächen krystallisirter Minerale kann man ähnliche Erscheinungen, zuweilen sogar in grosser Schönheit wahrnehmen. Brewster benützte die Beobachtung dieser durch orientirte Reflexion hervorgerufenen Lichtfiguren zum Studium der durch Aetzung erzeugten Veränderung der Krystallflächen. Da die vertieften Aetzfiguren von kleinen, ebenen Flächen gebildet werden, deren Lage der Symmetrie der geätzten Fläche entspricht, und da die Aetzfiguren derselben Fläche einander parallel sind, so müssen bei der Beobachtung des Reflexes einer Flamme mit genähertem Auge Lichtfiguren wahrgenommen werden, deren Gestalt ebenfalls der genannten Symmetrie gehorcht. Jede Fläche der Aetzfigur erzeugt einen Reflex, daher besitzt die Lichtfigur so viele Aeste, als die durch Aetzung entstandenen Vertiefungen Seiten haben. Da beim Aetzen jene kleinen Flächen, welche unter stumpfen Winkeln zusammenstossen, häufig zu krummen Flächen verschmelzen, so zeigen die Lichtfiguren auch öfter krumme Formen, das Auge erblickt Lichtbögen oder Figuren, die aus bogenförmigen Elementen zusammengesetzt sind. Die Lichtfiguren werden entweder direct an der geätzten Krystallfläche oder an den durchsichtigen Abdrücken, welche mit Hausenblase erhalten werden, beobachtet. An diesen letzteren sowie an geätzten, durchsichtigen Krystall-Lamellen erhält man auch im durchfallenden Lichte die entsprechenden Figuren.

Die nachstehenden Beispiele von Lichtfiguren beziehen sich auf die früher bei der Aetzung angeführten Krystallflächen und haben Stellungen, welche jenen der dort bezeichneten Aetzfiguren entsprechen.

Der Muscovit zeigt auf 001 eine sechsstrahlige Lichtfigur von monosymmetrischer Form, Fig. 293, jeder Strahl ist senkrecht zu einer Seite der Aetzfigur. Der Baryt lässt auf jener Endfläche, nach welcher er spaltbar ist, nach der Aetzung eine achtstrahlige Lichtfigur erkennen, Fig. 294, welche man leicht mit der Gestalt der Aetzfigur in Zusammenhang bringt. Der Calcit bietet auf der Fläche *R* nach der Aetzung mit Salzsäure eine monosymmetrische Lichtfigur, welche an manche Blumen erinnert, Fig. 295 *a*. Jede stumpfe Kante der Aetzfigur liefert zwei Flammenbilder, welche durch einen Bogen verbunden sind. Die geätzte Endfläche liefert eine trisymmetrische Lichtfigur, Fig. 295 *b*, welche wiederum der in Fig. 281 *d* abgebildeten Aetzfigur entspricht. Der Quarz gibt auf der mit Flusssäure geätzten *R*-Fläche eine asymmetrische Lichtfigur, und zwar liefert ein linker Krystall die erste, ein rechter Krystall die zweite Figur in 296, die geätzte Steinsalzfläche gibt einen rechtwinkligen, vierstrahligen Stern mit gleichen Strahlen.



**93.** Eine den Lichtfiguren verwandte Erscheinung ist der Asterismus. Mancher Sapphir zeigt einen sechsstrahligen Stern, wenn man durch eine zur Hauptaxe dieses rhomboëdrisch krystallisirten Minerals senkrechte Platte eine Lichtflamme betrachtet. Auch beim Daraufsehen auf den Sapphir erblickt man den Stern, und zwar besonders deutlich, wofern der Stein halbkugelig über die Hauptaxe geschnitten ist. Dieser Effect, welchen schon A. Quist im Jahre 1768 beschrieb, rührt höchstwahrscheinlich von ungemein feinen, röhrenförmigen Hohlräumen her, welche parallel den Seiten des sechsseitigen Prisma auftreten. Mancher Glimmer lässt nach G. Rose ebenfalls einen sechsstrahligen Stern wahrnehmen, wenn man durch denselben gegen eine Lichtflamme sieht. Hier kann man sich aber durch mikroskopische Untersuchung überzeugen, dass feine stabförmige oder leistenförmige Einschlüsse, wahrscheinlich von Rutil, welche in drei Richtungen

lagern, die sich unter  $60^\circ$  schneiden, in grosser Anzahl darin auftreten. S. Fig. 249. Senkrecht zu diesen Richtungen erblickt man die Lichtstreifen, und es bleibt kein Zweifel, dass die Einschlüsse das Phänomen veranlassen.

Jeder Zug von parallelen, stabförmigen Einschlüssen bringt in der dazu senkrechten Richtung eine Verzerrung des Lichtbildes hervor. Daher sieht man in Mineralen, welche blos ein System von feinen gestreckten Einschlüssen enthalten, blos einen Lichtstreifen. Ebenso verhalten sich parallelfaserige Minerale. Wird eine Platte senkrecht gegen die Fasern geschnitten, so bemerkt man beim Durchsehen gegen die Lichtflamme einen Lichthof oder Halo. Faserige Minerale, welche über die Fasern rundlich oder halbkugelig geschliffen sind, zeigen einen wogenden Lichtschein, wie man dies am Fasergyps, am Katzenauge und am brasilianischen Chrysoberyll wahrnehmen kann.

Das Schillern, welches an manchen Krystallen auftritt, ist ebenfalls eine Reflexionserscheinung. Im Sonnenstein und im rothen Carnallit sind es parallel gelagerte Schüppchen von Eisenglanz oder Göthit, im Bronzit und Diallag feine Täfelchen von Mineralen oder Ausfüllungen von negativen Krystallen; im Adular, Mondstein, im Apatit sind es parallele, tafelförmige oder prismatische Hohlräume (negative Krystalle), welche das Schillern verursachen. Somit ist unter dem Ausdrucke Schillern eine Lichtreflexion an kleinen Flächen zu verstehen, welche in krystallisirten Körpern parallel gelagert sind.

Literatur über Lichtfiguren: Brewster in d. Edinburgh Transactions Bd. 14 (1837) und im Philosophical Magazine 1853. F. v. Kobell, Sitzungsber. d. bayr. Akademie, 1863, pag. 60. Haushofer, Asterismus und Lichtfiguren des Calcits, München 1865. — Ueber Asterismus: Haüy, *Traité de Minéralogie*, 2. ed. 1822. II., pag. 90. Babinet, *Comptes rend.* 1837, pag. 762, und *Pogg. Ann.* Bd. 41. Volger, *Sitzungsber. d. Wiener Akad.* 1856, Bd. 19, pag. 103. G. Rose, *Monatsberichte der Berliner Akad.* 1862, pag. 614, und 1869, pag. 344. Grüel, *Pogg. Ann.* Bd. 120, pag. 511. Autor. *Zeitschr. für Krystallogr.* Bd. II, pag. 36. — Ueber das Schillern: Scheerer, 1845. *Pogg. Ann.* Bd. 64, pag. 153. Reusch ebendas. 1862, Bd. 116, pag. 392, und 118, pag. 256. Bd. 120, pag. 95. Judd, *Quarterly Journ. of the geol. Soc.*, Bd. 41, pag. 354.

94. Eine besondere Art der Reflexion wird öfter beobachtet, wenn der Strahl sich in einem dichteren Medium bewegt und die Grenze gegen das dünnere Medium erreicht. Hält man bei geeigneter Beleuchtung ein mit Wasser gefülltes Glas so, dass man von unten her auf die Grenzfläche des Wassers gegen die Luft blickt, so findet man leicht eine Richtung, in welcher diese Fläche wie Silber glänzt.

Der Effect rührt daher, dass das einfallende Licht total reflectirt wird und kein Theil desselben in die Luft übergeht. Von letzterem kann man sich überzeugen, wenn man das Wasser in der jetzigen Stellung belässt und hierauf von oben her gegen das einfallende Licht hinsieht. Die Grenzfläche erscheint nun schwarz und undurchsichtig.

Die totale Reflexion erzeugt die grellen, blitzenden Lichteffecte geschliffener Edelsteine, besonders des Diamants. In optischen Instrumenten spielt sie zuweilen

eine Rolle. Für die mikroskopische Beobachtung ist ihre Kenntniss ebenfalls von Wichtigkeit. Die schwarzen Ringe, welche die Gas- und Dampfbläschen unter dem Mikroskope zeigen [68], sind eine hierhergehörige Erscheinung, ausserdem kommen noch manche andere Wirkungen der totalen Reflexion vor, welche leicht missdeutet werden können. Da feine Sprünge in den Dünnschliffen von Gesteinen und Krystallen in bestimmten Lagen schwarz erscheinen, so werden dieselben von dem Anfänger für undurchsichtige Körper gehalten. Sind die Sprünge krumm, so glaubt man öfter haarförmige Einschlüsse zu sehen, liegen die Sprünge den Gleitflächen parallel, so bemerkt man schwarze Striche, welche wie krystallisirte Einschlüsse aussehen. Ein Beispiel liefern die Druckflächen im Glimmer, wenn derselbe in Dünnschliffen beobachtet wird.

**95. Glanz.** Das Licht wird umso vollständiger nach derselben Richtung zurückgeworfen, je glatter und ebener die Oberfläche ist, welche die Reflexion bewirkt. Minerale mit glatter Oberfläche zeigen demnach einen Glanz, der aber verschiedene Grade haben kann, welche man mit den Worten stark glänzend, glänzend und wenig glänzend bezeichnet. Ist nur noch ein höchst geringer Glanz bemerklich, so ist die Oberfläche schimmernd, wie die Bruchfläche des dichten Kalksteins oder Alabasters. Die Abwesenheit jeden Glanzes wird durch das Wort matt ausgedrückt. Erdige Minerale, wie Kreide oder Kaolin, sind Beispiele dafür.

Das Licht erleidet bei der Reflexion mancherlei Veränderung, auch mischt sich solches bei, welches in das Mineral eingedrungen und von dort wieder zurückgekehrt ist. Das Zusammenwirken dieser Lichtarten ergibt verschiedene Arten des Glanzes, von welchen man folgende unterscheidet:

**Metallglanz,** der stärkste Glanz, wie er an glatten Metallflächen zu beobachten ist. Man bezeichnet als Abstufungen den vollkommenen und den unvollkommenen Metallglanz.

**Diamantglanz,** ein sehr lebhafter Glanz, wie er am Diamant, an der Zinkblende vorkommt. Er nähert sich zuweilen schon dem Metallglanz und wird dann als metallartiger Diamantglanz bezeichnet.

**Glasglanz,** die gewöhnlichste Art des Glanzes, welchen das gemeine Glas, der Quarz, der Baryt zeigen.

**Fettglanz,** der Glanz eines mit fettem Oele bestrichenen Körpers, wie er auf Bruchflächen des Schwefels zu sehen ist. Minerale, welche viele krystallinische Einschlüsse enthalten oder Gemische aus amorphen und krystallinischen Theilchen sind, haben häufig diesen Glanz. Beispiele sind der Eläolith, der Pechstein.

**Perlmutterglanz,** nach dem eigenthümlichen Glanze der Perlmutter. Minerale, welche aus durchsichtigen Blättchen bestehen, die sich nicht vollkommen berühren, zeigen Perlmutterglanz, wie der Talk. Eine Glimmertafel, welche vordem Glasglanz zeigte, wird durch Druck und Biegung, welche ein Aufblättern erzeugen, perlmutterglänzend. Auf den Flächen vollkommener Spaltbarkeit zeigt sich Perlmutterglanz, wofern schon eine Trennung der Schichten eingetreten ist, so am Glimmer, am Gyps. Hat das perlmutterglänzende Mineral

zugleich eine Farbe, so entsteht der metallartige Perlmutterglanz, wie z. B. an manchem braunen Glimmer.

Seidenglanz, an feinfaserigen Mineralen, wie am Fasergyps, Asbest vorkommend, wie die vorige Art des Glanzes von der Textur des Minerals herführend.

Lit. Haidinger i. d. Sitzungsber. d. Wiener Akad. 1848, November 9, pag. 137, Brücke, ebendas. Bd. 43 (1861). Wundt, Heidelberger Jahrb. Bd. 54 (1861). Dove, Pogg. Ann. Bd. 83, pag. 169.

**96. Durchsichtigkeit.** Ein Mineral, welches in dicken Schichten so klar ist, dass man eine Schrift durch dasselbe erkennen kann, wird durchsichtig genannt. Wenn aber die Färbung eines Minerals intensiv ist, so wird eine dickere Schichte desselben die Schriftzeichen nicht mehr erkennen lassen und das Mineral wird undurchsichtig erscheinen. So z. B. ist eine dünne Platte von Augit oder Epidot grün und durchsichtig, eine dickere dunkelgrün, ein mässig dicker Krystall schwarzgrün und undurchsichtig. Verschieden von den undurchsichtigen sind die trüben Minerale. Wenn eine an sich durchsichtige Masse in Folge ihres Gefüges oder durch beigemengte Theilchen oder durch feine Hohlräume, welche eine Reflexion an ihrer Begrenzung veranlassen, getrübt ist, so wird sie auch in dünnen Schichten keine Klarheit zeigen, sondern sich bloß durchscheinend erweisen, wie z. B. der Chalcedon, der Milchquarz, Feuerstein. Wenn bloß an den scharfen Kanten etwas Licht hindurchgeht, nennt man sie kantendurchscheinend. Wenn feine Risse die Ursache der Trübung sind, so wird das Mineral zuweilen durch Flüssigkeiten durchscheinend, wie der Hydrophan, welcher im Wasser auffallend durchscheinend gemacht werden kann.

Die Minerale, welche einen deutlichen Metallglanz besitzen, lassen auch in solchen dünnen Schichten, wie sie durch Schleifen erzeugt werden können, gar kein Licht hindurch. Körper von dieser Eigenschaft nennt man opak. Echter Metallglanz und Opacität sind mit einander enge verbunden.

In ganz ausserordentlich dünnen Schichten lassen auch die Metalle eine geringe Menge Licht hindurch, wie dies an den Metallhäutchen von Gold, Platin, Silber zu sehen ist, welche bei bestimmten chemischen Operationen erhalten werden können.

**97. Lichtbrechung.** Von dem Lichte, welches an die Grenze zweier Medien gelangt, wird im Allgemeinen bloß ein Theil reflectirt. Ein anderer Theil dringt in das neue Medium ein, in welchem, wofern es durchsichtig ist, der Lichtstrahl weiter verfolgt werden kann. Fällt der einfallende Strahl schief auf die Grenzfläche, so erfährt derselbe bekanntlich eine Ablenkung von seiner früheren Richtung, er wird gebrochen. Der Winkel, welchen der einfallende Strahl mit dem Einfallslot bildet, heisst Einfallswinkel  $e$ , der Winkel des gebrochenen Strahles mit dem Einfallslot aber Brechungswinkel oder Refractionswinkel  $r$ . Anfänglich kannte man bloß das Verhalten durchsichtiger Flüssigkeiten und des Glases bei der Brechung. Für solche Körper gelten die von Snell aufgefundenen Gesetze:

1. Der gebrochene Strahl liegt in der Einfallsebene. 2. Der Einfallswinkel und der Brechungswinkel haben für denselben Körper ein constantes Verhältnis ihrer Sinus, welches Brechungsexponent oder Brechungsquotient  $n$  heisst.

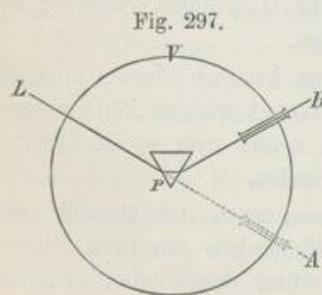
$$\frac{\sin e}{\sin r} = n$$

Der Brechungsquotient ist immer so aufzufassen, dass er für Licht gilt, welches aus dem leeren Raume in den bezüglichen Körper gelangt. Beim Eintritt in Luft erfolgt eine äusserst schwache Brechung. Brechungsqu. für Luft 1.000294. Für alle flüssigen und starren Körper ist er bedeutend grösser als 1, z. B. bei 19° C. für:

Wasser	= 1.3336	Steinsalz	= 1.5448
Schwefelkohlenstoff	= 1.6272	Diamant	= 2.4195

Der Theorie nach rührt die Ablenkung des Lichtstrahls beim Eintritt in ein dichteres Medium von dem Widerstande des letzteren her, welcher die Geschwindigkeit des Lichtes verringert. In der That ergibt sich aus den Versuchen von Foucault, dass das Licht im Wasser eine Geschwindigkeit hat, welche bloß  $\frac{3}{4}$  von derjenigen in Luft beträgt. Da der Brechungsquotient des Wassers fast genau  $\frac{4}{3}$  ist, so erkennt man hier ein Beispiel für den allgemeinen Satz: dass die Lichtgeschwindigkeiten sich umgekehrt verhalten wie die Brechungsquotienten.

98. Die Bestimmung des Brechungsquotienten wird an einem starren Körper in der Weise ausgeführt, dass der letztere in die Form eines Prisma gebracht,



dieses mit der scharfen Kante gegen einen Limbus senkrecht gestellt und nun die Minimalablenkung beobachtet wird, welche das Prisma auf einfallendes Licht ausübt. Man kann dazu eines der beiden Goniometer Fig. 16 und 17 benutzen. Ist  $V$  der Limbus oder Theilkreis, Fig. 297, so erscheint das senkrecht dazu gestellte Prisma als ein Dreieck  $P$ . Hat man nun mit Zuhilfenahme eines Fernrohres die Richtung des einfallenden Lichtes  $LA$  bestimmt, so findet man durch Probiren die Stellung, in welcher das Prisma die geringste Ablenkung hervorbringt. Nun wird mit Hilfe des Fernrohres die Richtung des gebrochenen Strahles  $PB$  bestimmt und so der Betrag per Minimumablenkung  $a = AB$  gefunden. Kennt man den brechenden Winkel  $w$  des Prismas, so ergibt sich der Brechungsexponent aus:

$$n = \frac{\sin \frac{1}{2}(a + w)}{\sin \frac{1}{2}w}$$

Hat man den Brechungsquotienten einer Flüssigkeit zu bestimmen, so wendet man ein hohles Glasprisma mit planparallelen Wänden an, in welches die zu untersuchende Flüssigkeit gegossen wird, und verfährt, wie zuvor angegeben wurde.

Auch durch die Beobachtung der Totalreflexion kann der Brechungsexponent an vielen Mineralen ermittelt werden.

Ein Lichtstrahl  $D$ , der im Innern einer Flüssigkeit gegen die Oberfläche unter dem Winkel  $r$  einfällt, wird in die Luft mit einem grösseren Winkel  $e$  austreten, Fig. 298, während gleichzeitig ein Theil seines Lichtes nach  $T$  reflectirt wird. Denkt man sich beide Winkel,  $r$  und  $e$ , grösser werdend bis  $e = 90^\circ$ , so würde das austretende Licht die Oberfläche streifen, während  $r$  einen bestimmten Werth  $t$  erreicht, welcher die Grenze oder den Anfang der totalen Reflexion angibt. Wird  $r$  noch grösser als die Zahl  $t$ , so tritt kein Licht mehr durch die Oberfläche in die Luft, sondern alles einfallende Licht wird im Innern total reflectirt.

Fig. 298.

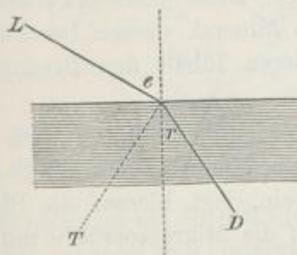


Fig. 299 a.

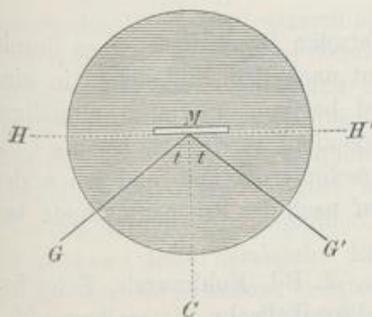
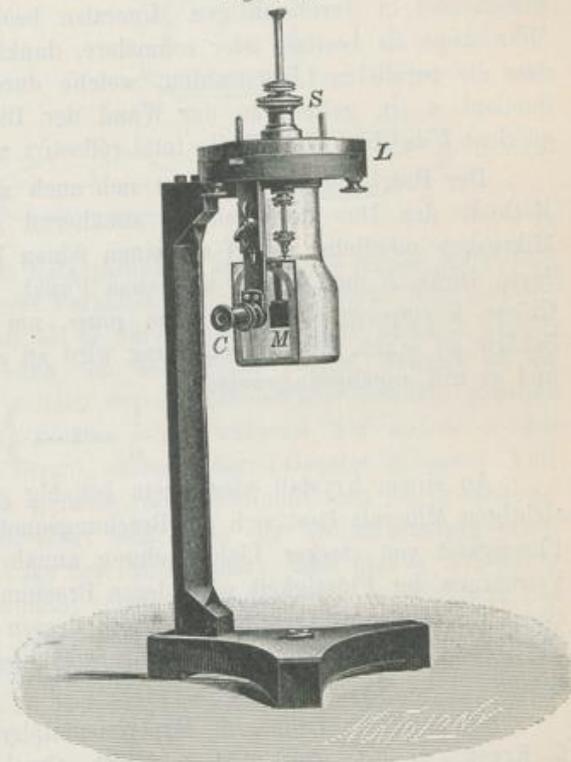


Fig. 299 b.



Verwendet man als Flüssigkeit ein Medium von hohem Brechungsverhältnis, so wird ein eingetauchtes, glattes Mineral, das einen geringeren Brechungsquotient besitzt, wie Luft wirken und Totalreflexion hervorrufen. Ein rundes Glasgefäss mit matter, durchscheinender Wand, welches die Fig. 299 von oben gesehen darstellt, wird mit Schwefelkohlenstoff, Methylenjodid oder einer anderen stark brechenden Flüssigkeit gefüllt, ferner die glatte Fläche des Minerals  $M$  in der Mitte des Gefässes vertical gestellt. Ringsum kann Licht durch die Wand auf jene Fläche einfallen. Von  $G$  und von  $G'$  angefangen, also in den Räumen  $G M H$  und  $G' M H'$  beobachtet man totale Reflexion. Die Hälfte des Winkels  $G M G'$  ist demnach  $= t$ . Kennt man den Brechungsexponenten der benützten Flüssigkeit, z. B. des Schwefelkohlenstoffs  $s$ , so berechnet sich der Brechungsexponent des angewandten Minerals  $n$  aus:

$$n = s \sin t.$$

Anstatt von  $G$  und  $G'$  aus auf die Fläche  $M$  zu visiren, kann man auch in einer fixen Richtung, z. B.  $CM$  beobachten, hingegen das Mineral  $M$ , welches an einem horizontalen Limbus  $L$  hängend befestigt ist, in der einen und der anderen Richtung drehen und die Stellungen bestimmen, bei welchen die Grenze der totalen Reflexion am Verticalfaden des Fernrohres erscheint. Dem entspricht das Totalreflectometer von Kohlrausch, Fig. 299*b*. Andere Totalreflectometer wurden von Liebisch, Pulfrich, Abbe, Czapski angegeben.

Ein anderer Fall, in welchem die totale Reflexion in Betracht kommt, wurde schon früher [68] erwähnt. Die kleinen, kugelförmigen Blasen, welche häufig als Einschlüsse in durchsichtigen Mineralen beobachtet werden, erscheinen in dem Mikroskope als breitere oder schmälere, dunkle Ringe. Diese entstehen dadurch, dass die parallelen Lichtstrahlen, welche durch das Mineral, dessen Brechungsquotient  $n$  ist, gehen, an der Wand der Blase, deren Inhalt den Brechungsquotient  $b$  besitzt, zum Theile total reflectirt werden.

Der Brechungsquotient lässt sich auch an durchsichtigen Platten nach der Methode des Duc de Chaulnes annähernd genau bestimmen. Man stellt ein Mikroskop möglichst scharf auf einen feinen Punkt ein, legt hierauf die Platte, deren Dicke  $E$  man kennt, auf jenen Punkt, worauf die Mikroskopröhre um die Grösse  $h$  emporgeschoben werden muss, um den Punkt wieder mit derselben Schärfe zu sehen. Die Verschiebung wird an einer Mikrometerschraube abgelesen und es gilt annäherungsweise:

$$\frac{1}{n} = 1 - \frac{h}{E}$$

An einem Krystall oder einem beliebig geformten Bruchstück eines durchsichtigen Minerals lässt sich der Brechungsquotient nach dem Eintauchen in eine Flüssigkeit von starker Lichtbrechung annähernd bestimmen. Durch allmähliches Verdünnen der Flüssigkeit wird deren Brechungsquotient verringert, bis die Umrisse des Mineralen verschwinden, weil dessen Brechungsquotient und jener der Flüssigkeit nun gleich sind. Letzterer wird hierauf nach der Prismenmethode bestimmt.

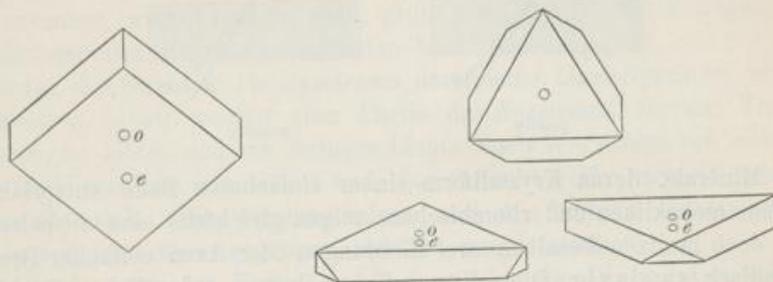
Lit. Wüllner, Lehrb. d. Experimentalphysik, 2. Bd. Kohlrausch, Zeitschr. f. Kryst., 4. Bd., pag. 451 und 621. Groth, Physikalische Krystallographie, pag. 654 ff.

**99.** Während alle amorphen sowie die tesseral krystallisirten Minerale die bisher betrachtete einfache Lichtbrechung zeigen, verursachen die übrigen krystallisirten Minerale im Allgemeinen eine Spaltung des eintretenden Lichtstrahles in zwei Theile, sie lassen eine doppelte Lichtbrechung erkennen, welche Erscheinung bekanntlich am Kalkspath, dessen Doppelbrechung eine sehr starke ist, zuerst von Erasmus Bartholin beobachtet wurde.<sup>1)</sup> Die einfach brechenden Körper nennt man isotrop, die doppelt brechenden anisotrop.

<sup>1)</sup> Experimenta crystalli islandici disdiaclastici quibus mira et insolita refractio detegitur. Havniae 1669.

Ein durchsichtiges Spaltungsstück von Kalkspath (isländischem Doppelspath) auf ein weisses Papier gelegt, worauf ein schwarzer Punkt, lässt diesen doppelt erscheinen. Die durch einen Nadelstich in einem Papierblatt erzeugte helle Oeffnung erscheint, durch jenes Spaltungsstück gesehen, als ein doppeltes Lichtbild. Das eintretende Lichtbündel wird also in zwei Strahlen zerlegt. Fig. 300.

Fig. 300.



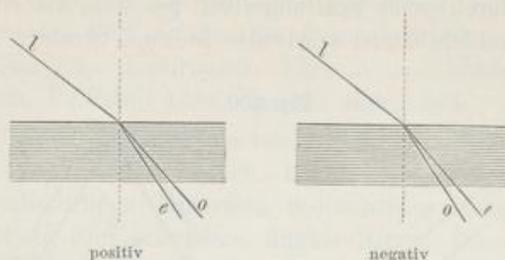
Dreht man nun die doppelt brechende Kalkspathplatte so, dass sie immer das Papier berührt, so zeigt sich ein verschiedenes Verhalten in beiden Strahlen. Während der eine an derselben Stelle verharrt, als ob er durch eine Glasplatte gesehen würde, wandert der andere bei der Drehung um den ersten herum. Daraus ist zu schliessen, dass der eine Strahl  $o$ , welcher der ordentliche oder ordinäre genannt wird, dem gewöhnlichen Brechungsgesetze folgt, während der andere  $e$ , der ausserordentliche oder extraordinäre Strahl, einem anderen Gesetze gehorcht. Verfolgt man den Weg beider Strahlen genauer, oder bestimmt man die Brechungsquotienten beider, also  $\omega$  und  $\varepsilon$ , so zeigt sich, dass der ordinäre Strahl einen grösseren Brechungsquotienten hat als der extraordinäre, dass also  $\omega > \varepsilon$ , ferner dass der letztere Brechungsquotient nicht constant, sondern mit der Richtung des einfallenden Lichtes variabel ist. Für gelbes Licht ist nämlich  $\omega = 1.6585$ , während der Brechungsquotient des extraordinären Strahles von diesem Betrage bis zu  $\varepsilon = 1.4864$  herabgeht. Endlich bemerkt man, dass der extraordinäre Strahl oft aus der Einfallsebene heraustritt.

Schleift man an einem Spaltungsrhomboëder von Kalkspath die beiden Polecken weg, so dass die angeschliffenen Flächen zur Hauptaxe senkrecht sind, und blickt man geradeaus durch eine solche Basisplatte gegen die helle Oeffnung im Papierblatte, so bemerkt man blos ein einziges Lichtbild, dagegen erscheinen wiederum zwei Lichtbilder, wofern man schief hindurchsieht. Der Kalkspath besitzt also eine Richtung oder Axe einfacher Brechung, welche der krystallographischen Hauptaxe parallel ist, in allen übrigen Richtungen aber zeigt er doppelte Lichtbrechung.

So wie der Kalkspath verhalten sich alle durchsichtigen Minerale, deren Individuen einen wirteligen Bau besitzen, also jene, welche dem tetragonalen oder dem hexagonalen Systeme angehören. Sie sind optisch einaxig. Dabei zeigt sich nur der Unterschied, dass zwar viele dem Kalkspath entsprechend  $\omega > \varepsilon$  haben, dass aber in anderen, wie z. B. im Quarz  $\omega < \varepsilon$  ist. Die Doppelbrechung mit

$\omega < \varepsilon$  wird positiv oder attractiv, die andere mit  $\omega > \varepsilon$  wird negativ oder repulsiv genannt. Fig. 301.

Fig. 301.



Die Minerale, deren Krystallform einem einfacheren Baue entspricht, also die triklinen, monoklinen und rhombischen, zeigen gleichfalls eine doppelte Lichtbrechung, doch besitzen dieselben zwei Richtungen oder Axen einfacher Brechung. Sie sind optisch zweiachsig. Diese Körper liefern keinen ordentlichen Strahl, denn beide Strahlen haben variable Brechungsquotienten, sind also ausserordentliche Strahlen. Dennoch unterscheidet man in Folge einer Analogie, die später zu besprechen ist [123], auch hier positive und negative Krystalle.

Nur wenige der doppelt brechenden Minerale erlauben die Prüfung mittels ebener Platten, wie der Kalkspath, denn nur wenige vermögen die beiden Strahlen so weit von einander zu trennen, wie es in diesem Minerale geschieht. Schleift man jedoch Prismen und beobachtet durch dieselben einen Lichtspalt, wie es bei der Bestimmung des Brechungsquotienten geschieht, so kann man die doppelte Brechung an allen Körpern ausser den tesselalen und amorphen durch die Verdoppelung des Lichtbildes erkennen, und so die beiden Brechungsquotienten für bestimmte Richtungen ermitteln, oder auch die einfache Brechung nach den optischen Axen constatiren. Letzteres geschieht jedoch einfacher nach dem später zu besprechenden Verfahren im polarisirten Lichte.

Die entstandene doppelte Brechung kann auch wieder aufgehoben werden. Legt man auf ein Spaltungsstück von Calcit ein zweites von gleicher Dicke, jedoch in einer um  $180^\circ$  verschiedenen Stellung, bildet man also einen künstlichen Zwilling nach dem Gesetze: Zwillingsene die Fläche  $R$ , so wird ein Punkt bei gerader Durchsicht durch diese Doppelplatte einfach erscheinen. Sind die beiden Platten von ungleicher Dicke, so wird die Doppelbrechung wenigstens geschwächt. Man sieht zwei Punkte, aber nahe beisammen.

Die Brechungsquotienten der doppelt brechenden Körper werden so wie jene der einfach brechenden an Prismen mittels des Goniometers bestimmt, doch lässt sich, wie Kohlrausch gezeigt hat, auch eine andere Methode mit Erfolg anwenden. Da jedem Brechungsquotienten eine bestimmte Grenze der totalen Reflexion entspricht, so geben Platten von doppelt brechenden Mineralen auch eine zweifache Grenze der totalen Reflexion, wofern der Strahl so auffällt, dass der gebrochene Strahl sich verdoppelt. Man kann daher mittels des Totalreflectometers an vielen Mineralen, selbst an undurchsichtigen, die Brechungsquotienten bestimmen.

**100. Farbenzerstreuung.** Ein Strahlenbündel weissen Sonnenlichtes, welches durch ein Glasprisma geleitet worden, erscheint nicht nur von seiner früheren Richtung abgelenkt, sondern auch in Farben aufgelöst. Auf einem weissen Schirm aufgefangen, liefert es ein Spectrum, in welchem die rothen Strahlen am schwächsten, die violetten am stärksten abgelenkt erscheinen. Werden die einzelnen Strahlen des Spectrums mit einem ferneren Prisma untersucht, so zeigt sich, dass dieselben verschiedene Brechbarkeit besitzen, indem dem Roth der geringste Brechungsquotient zukommt, worauf orange, gelb, grün, blau, indigo, violett folgen, welches letztere den grössten Brechungsquotienten hat.

Werden die Strahlen des Spectrums durch eine Linse vereinigt, so entsteht wieder weisses Licht, werden aber Theile des Spectrums vor der Vereinigung weggelassen, so bildet sich ein farbiges Licht. Nach Wegnahme von roth entsteht grün, nach Wegnahme von violett und blau entsteht gelb, nach Wegnahme des Grün entsteht roth. Die weggenommene und die hernach entstandene Farbe würden einander zu weiss ergänzen, sie sind complementär.

Die Zerstreuung des Lichtes in Farben oder die Dispersion spielt auch bei der doppelten Lichtbrechung eine wichtige Rolle. Ein Kalkspathprisma, dessen Kante parallel der Hauptaxe, liefert zwei Spectra von gleicher Farbenfolge, und dementsprechend verhalten sich alle übrigen doppelt brechenden Körper. Der Betrag der Dispersion wird mittels des Reflexionsgoniometers bestimmt, nach Soret lässt sich auch das Totalreflectometer dazu benutzen.

Wenn man ein ausgedehntes Spectrum des Sonnenlichtes betrachtet, so bemerkt man eine Anzahl schwarzer Linien (Fraunhofer'sche Linien) darin. Es fehlen also im Sonnenspectrum einige Lichtarten. Das Spectrum glühender Körper, z. B. des glühenden Platins, ist frei von solchen Linien, es zeigt alle Lichtarten. Das Licht einer Alkoholflamme, deren Docht mit Kochsalz eingerieben ist, gibt ein Spectrum, welches blos aus einer gelben Doppellinie besteht und daneben einige Linien enthält, welche vom verbrennenden Alkohol herrühren. Der Dampf des Kochsalzes gibt also einfaches gelbes Licht, er erzeugt monochromatisches Licht. Lithiumsalze geben ziemlich einfaches rothes, Thalliumsalze einfaches grünes Licht.

**101. Absorption.** Das weisse Licht wird von vielen Körpern beim Durchgange in der Weise verändert, dass ein oder mehrere Bestandtheile desselben verlöscht werden, während der Rest als farbiges Licht hindurch geht. Die verschiedenen Medien vermögen also bestimmte Lichtarten zu verschlucken oder zu absorbiren, während sie andere durchlassen. Das Sonnenlicht, welches durch Kobaltglas gegangen ist, zeigt bei der Untersuchung mit dem Prisma ein Spectrum, in welchem alle Farben ausser roth und blau geschwächt erscheinen. Bei grösserer Dicke des Kobaltglases bleiben nur roth und blau übrig. Das rothe Glas, welches durch Kupferoxydul gefärbt ist, liefert ein Spectrum, in welchem alle Farben ausser roth fehlen. Das durchfallende Licht ist fast monochromatisch. Platten, welche aus manchem Granat oder Zirkon geschnitten sind, liefern bei demselben Versuche ein Spectrum, welches viele Unterbrechungen in der Form dunkler Bänder zeigt. Es sind also beim Durchgange durch diese Platten eine Anzahl

verschiedener Lichtarten vollständig absorbirt worden. Die Mehrzahl der farbigen Minerale geben bei dieser Behandlung Spectra, in welchen die verschiedenen Theile sehr ungleichartig geschwächt oder ausgelöscht erscheinen. In allen diesen Fällen bleiben verschiedene Lichtarten übrig, welche nach dem Austreten eine Mischfarbe erzeugen.

Literatur: Theoretisches: M. Voigt, Wiedem. Annalen, Bd. 23, pag. 577. S. ferner: Pleochroismus.

**102. Farben.** Da bei der Beobachtung im auffallenden Lichte, wofern der Glanz nicht stört, Strahlen wahrgenommen werden, welche in das Mineral eingedrungen und daraus wieder zurückgekehrt sind, so werden sich dabei im Allgemeinen dieselben Farben zeigen wie im durchgehenden Lichte. Dieselben lassen sich aber, weil sie meistens Mischfarben sind, nicht nach den Spectralfarben classificiren. Bei ziemlich gleichförmiger Absorption aller Lichtarten wird grau, schliesslich schwarz entstehen, welche also hier nebst weiss auch zu den Farben gezählt werden.

Die eigentlichen Farben zeigen drei verschiedene Hauptcharaktere, je nachdem sie an opaken Körpern auftreten, also metallische Farben sind, oder an trübe Medien gebunden sind, oder an durchsichtigen Medien vorkommen (Deckfarben und Lasurfarben der Maler). So ist goldgelb eine metallische Farbe, während ockergelb für trübe, weingelb für durchsichtige Körper gilt. Man pflegt aber nur die metallischen Farben schärfer von den übrigen zu trennen.

Von den metallischen Farben unterscheidet man:

Rothe: kupferroth; gelbe: bronzegelb, messinggelb, goldgelb, speisegelb; braune: tombackbraun; weisse: silberweiss, zinnweiss; graue: bleigrau mit den Abarten reinbleigrau, weisslich-, röthlich-, schwärzlich-bleigrau; schwarze: eisenschwarz.

Die nicht metallischen Farben werden nach dem Vorgange von Werner unter die acht Abtheilungen weiss, grau, schwarz, blau, grün, gelb, roth und braun gebracht und wird die reinste Farbe als Charakterfarbe hervorgehoben.

Weiss: schneeweiss, röthlichweiss, gelblichweiss, grünlichweiss, bläulichweiss, graulichweiss.

Grau: aschgrau, grünlichgrau, bläulichgrau, röthlichgrau, gelblichgrau, rauchgrau oder bräunlichgrau, schwärzlichgrau.

Schwarz: graulichschwarz, sammtschwarz, bräunlichschwarz oder pechschwarz, röthlichschwarz, grünlichschwarz oder rabenschwarz, bläulichschwarz.

Blau: schwärzlichblau, lasurblau, violblau, lavendelblau, pflaumenblau, berlinerblau, smalteblau, indigoblau, himmelblau.

Grün: spangrün, seladongrün, berggrün, lauchgrün, smaragdgrün, apfelgrün, pistaciengrün, schwärzlichgrün, olivengrün, grasgrün, spargelgrün, ölgrün, zeisigrün.

Gelb: schwefelgelb, strohgelb, wachsgelb, honiggelb, citrongelb, ockergelb, weingelb, isabellgelb, erbsengelb, pomeranzengelb.

Roth: morgenroth, hyacinthroth, ziegelroth, scharlachroth, blutroth, fleischroth, carminroth, cochenilleroth, rosenroth, carmoisinroth, pfirsichblüthroth, colombinroth, kirschroth, bräunlichroth.

Braun: röthlichbraun, nelkenbraun, haarbraun, kastanienbraun, gelblichbraun, holzbraun, leberbraun, schwärzlichbraun.

Die Abstufung oder Sättigung der Farbe wird durch die Worte hoch, tief, licht, dunkel, blass ausgedrückt, welche man der Farbenanzeige beifügt. Um die Farben, welche durch spezifische Bezeichnungen angegeben werden, wie ölgrün, isabellgelb, colombinroth, kennen zu lernen, ist es nöthig, eine Farbenskala, am besten durch ausgewählte Mineralstücke dargestellt, zu studiren. Derjenige, welcher Andeutungen von Farbenblindheit an sich wahrnimmt, wird bei der Bestimmung der Farbe besonders vorsichtig sein müssen und eine Farbenskala sowie das Urtheil Anderer zu benützen haben.

Ueber Farben: Haidinger, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 8. Brücke, Physiologie der Farben. Leipzig 1866.

**103.** Da die farbigen Medien nicht alle Lichtarten, welche sie absorbiren, in gleicher Weise vernichten, so tritt zuweilen die Erscheinung ein, dass ein Medium in dünneren Schichten eine andere Farbe hat als in dickeren, wie z. B. mancher Granat.

An Krystallen bemerkt man zuweilen zwei oder mehrere Farben an demselben Individuum, was von der isomorphen Schichtung [65] herrührt. Beispiele liefern manche Krystalle von Flusspath, welche entweder Schichten verschiedenartiger Färbung erkennen lassen oder an welchen die Würfecken anders gefärbt sind wie der übrige Krystall. Der ungleiche Ansatz der isomorphen Schichten bedingt bei säulenförmigen Krystallen, welche vorzugsweise nach einer Richtung wachsen, die Bildung heller oder dunkler Köpfe, wie am Beryll, Diopsid vom Zillerthal, Turmalin von Elba (Mohrenköpfe).

Krystallinische Minerale können entweder zufolge ihrer Bildung oder in Folge späterer Veränderungen verschiedene Farbenzeichnungen haben, die man als punkirt, gefleckt, wolkig, geflammt, geadert, gestreift, gebändert, wellig, ringförmig, festungsartig, breccienartig u. s. w. bezeichnet.

**104.** Manche Minerale kommen jederzeit mit derselben bestimmten Farbe vor und sind niemals farblos. Sie werden eigenfarbig oder idiochromatisch genannt. Beispiele sind Gold, Bleiglanz, Kupferlasur. Andere Minerale hingegen finden sich bei sonst gleichen Eigenschaften in verschiedenen Farben und kommen auch farblos vor. Ihre Farbe ist also nichts Eigenthümliches, daher solche in Farben auftretende Minerale gefärbt oder allochromatisch genannt werden. Ihre Farbe ist nicht mit der Substanz untrennbar verbunden, sondern rührt von einem beigemischtem Pigment her. Beispiele sind der Flusspath, welcher in vielerlei Farben vorkommt, der Baryt, der Quarz. Das Pigment ist zuweilen durch das Mikroskop zu erkennen, wie z. B. das Rotheisenerz in dem Heulandit, zuweilen aber höchst fein vertheilt, wie im Flusspath.

Ein Uebergang zwischen der farbigen und gefärbten Beschaffenheit wird durch manche isomorphe Mischung [65] hervorgebracht, indem farblose und farbige

Mineralarten zu einem gleichartig aussehenden Individuum zusammenkrystallisiren, welches eine mittlere Farbe zeigt; so z. B. mischt sich der farblose Spinell mit dem schwarzen, opaken Magnetisenerz und liefert den Pleonast, welcher in dünnen Schichten braun erscheint.

Das Pigment einiger gefärbter Minerale ist so zart, dass es am Lichte verbleicht wird und die Minerale verblassen. So verliert mancher Topas, Rosenquarz, Chrysopras allmählig die Farbe. Einige der eigenfarbigen Minerale verändern, dem Lichte ausgesetzt, an der Oberfläche ihre Farbe, wie z. B. das Realgar und Rothgiltigerz. Die chemische Veränderung, welche hier stattfindet, greift dann allmählig tiefer. Endlich tritt auch zuweilen der Fall ein, dass farblose oder blass gefärbte Minerale zufolge der Einwirkung der Luft und Feuchtigkeit von der Oberfläche aus verändert werden und eine dunklere Farbe annehmen, sich verfärben, wie der Eisenspath, Manganspath und Braunspath.

**105. Strich.** Farblose Minerale liefern beim Zerreiben weisses Pulver, gefärbte geben ein weisses oder schmutzigweisses Pulver, weil das neu entstandene Weiss die Farbe des Pigments ganz oder theilweise verdeckt. So liefert blaues Steinsalz ebenso wie das farblose ein weisses Pulver. Eigenfarbige Minerale von satter Farbe zeigen auch in Pulverform einen entschiedenen Farbenton, und zwar wird derselbe bei durchsichtigen Mineralen wegen des beigemischten Weiss heller sein, als die ursprüngliche Farbe des Minerals, während bei trüben Mineralen die beiden Farben sich wenig oder gar nicht unterscheiden. So gibt der an sich durchsichtige, cochenillerothe Zinnober ein scharlachrothes Pulver, der durchsichtige, lasurblaue Azurit ein smalteblaues Pulver, während die trübe, apfelgrüne Abänderung des Malachits ein gleichfarbiges Pulver liefert. Die opaken Minerale sind in Pulverform häufig schwarz oder dunkel, weil der Metallglanz fehlt und die Absorption allein wirkt. Der speisgelbe Schwefelkies gibt ein bräunlich-schwarzes, der zinnweisse Speiskobalt ein graulichschwarzes Pulver.

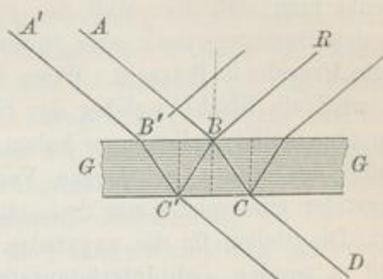
Die Farbe des Pulvers wird von den Mineralogen der Strich genannt, weil man sich durch Streichen des Minerals auf einer weissen rauhen Fläche, z. B. einer Platte von Porzellan-Biscuit, am leichtesten eine kleine Menge des Pulvers auf geeignetem Hintergrunde verschafft. Da die eigenfarbigen Minerale einen Strich von bestimmter Farbe zeigen, welche zu den Eigenthümlichkeiten des Minerals gehört, so ist der Strich in diesem Falle ein wichtiges Kennzeichen.

Beim Ritzen mit einer stumpfen Spitze wird man den Strich weniger deutlich erkennen, manche Minerale liefern aber dabei eine glänzende Rinne und man sagt, sie seien im Striche glänzend.

**106. Interferenz.** Glimmerblättchen von ausserordentlich geringer Dicke zeigen im auffallenden Lichte prachtvolle Farben, welche denen gleichen, die man an dünnen Seifenblasen sieht. Eben solche Farben treten häufig an den feinen Spaltungsrissen von Kalkspath, Orthoklas und anderen Mineralen auf. In bunter Folge zeigen sich dieselben an den feinen Sprüngen im Bergkrystall und an anderen wasserhellen Mineralen. Die Erscheinung heisst das Irisiren.

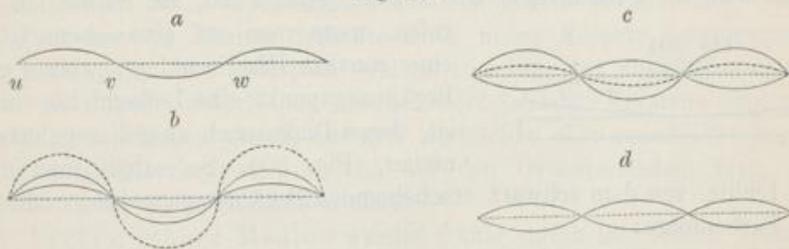
Um sich zuerst über die Entstehung der Farben an dünnen Blättchen Rechenschaft zu geben, betrachtet man den Weg des reflectirten Lichtes. Von den parallelen Strahlen, welche auf das Blättchen  $GG$  fallen, Fig. 302, hat einer den Weg  $ABR$  zurückgelegt, indem er an der Oberfläche reflectirt wird, während stets ein zweiter in Folge der inneren Reflexion den Weg  $A'B'CBR$  nimmt, also zuletzt mit dem vorigen gleichen Lauf hat. Die Wegdifferenz  $B'C'B$  in dem anders brechenden Medium, welche dem einen der beiden Strahlen zukommt, ist die Ursache, dass die beiden gleichlaufenden Strahlen auf einander einwirken (interferiren).

Fig. 302.



Von dieser Einwirkung erhält man eine anschauliche Vorstellung, wenn man die Undulations-Theorie zu Hilfe nimmt, gemäss welcher das Licht als die schwingende Bewegung eines unwägbaren Mediums, des Aethers, aufgefasst wird. Die Aethertheilchen oder Aethermolekel schwingen senkrecht zu der Richtung des Lichtstrahles, und ihre Bewegung pflanzt sich wellenförmig in dieser Richtung fort. Die Aethermolekel, welche sich im Ruhezustande auf der Linie des Strahles neben einander befanden, haben in dem Lichtstrahl eine solche Bewegung, dass ihre Verbindungslinie in jedem Augenblicke eine Wellenlinie darstellt. Die Distanz  $uw$ , welche für jede Lichtart eine bestimmte Grösse hat, Fig. 303 a, heisst Wellenlänge. Die Strecke  $uv$  ist sonach eine halbe Wellenlänge.

Fig. 303.



Wenn Lichtstrahlen gleicher Art denselben Lauf haben, so werden sie auf einander einwirken, indem sich ihre Bewegungen summiren. Haben die Schwingungen beider dieselbe Richtung, wie in Fig. b, so entsteht eine verstärkte Bewegung, die Helligkeit des Strahles nimmt zu; haben die Schwingungen entgegengesetzte Richtung wie in Fig. c, so wird eine Schwächung eintreten. In dem Falle als beide Strahlen von gleicher Intensität sind, jedoch der eine um eine halbe Wellenlänge verspätet erscheint, wie in Fig. d, sind die Schwingungen genau entgegengesetzt, sie heben sich daher auf. Durch das Zusammentreffen zweier solcher Strahlen in gleichem Laufe entsteht Dunkelheit. Dasselbe geschieht aber auch, wenn die Verspätung des einen Strahles drei, fünf, überhaupt eine ungerade Zahl von halben Wellenlängen beträgt.

Diese Verspätung kann dadurch eintreten, dass der eine Strahl einen längeren Weg durchläuft als der andere, oder auch dadurch, dass der eine seine Bewegung in einem widerstehenden Medium verzögert. In einem sehr dünnen Glimmerblättchen oder der dünnen Schichte einer Seifenblase wirken beide Umstände zusammen. Denkt man sich aber statt des Blättchens  $GG$  eine dünne Luftschichte, wie sie in den Spaltungsrissen oder Sprüngen vorhanden ist, so kommt vorzugsweise die erste Ursache in Betracht. Wenn das Blättchen oder die Luftschichte keilförmig ist, so wird ein Strahl, welcher der Schärfe des Keiles nahe liegt, eine Verzögerung um eine halbe Wellenlänge haben, ein anderer, welcher schon durch eine dickere Stelle des Keiles geht, eine Verzögerung von zwei halben Wellenlängen, ein folgender eine solche von drei, ein anderer von vier halben Wellenlängen und so fort. Die Stellen für die ungeraden Zahlen werden immer eine Auslöschung geben, und es werden sich Interferenzstreifen zeigen. Hat die Luftschichte eine solche Form, dass ihre Dicke rings um einen Punkt allmähig zunimmt, so entstehen um diesen Punkt Interferenzringe.

Wenn Tageslicht angewandt wird, so geschieht an den bestimmten Punkten die Auslöschung nur in einer bestimmten Lichtart oder Farbe, die anderen Farben bleiben übrig und geben für jede solche Stelle eine bestimmte Mischfarbe. Im auffallenden Tageslichte haben daher parallelflächige Blättchen und Luftschichten eine einzige Mischfarbe, andere von wechselnder Dicke hingegen zeigen Farbstreifen oder verschiedene Farbenzeichnungen. Im durchfallenden Lichte zeigen sich ebenfalls Farben, sie sind complementär zu den vorigen, doch viel blasser. Dieselben erklären sich daraus, dass (Fig. 302) immer ein Strahl den Weg  $ABCD$ , ein anderer den Weg  $A'B'C'BCD$  nimmt, worauf beide denselben Lauf haben, aber eine Wegdifferenz aufweisen, die zweimal die Strecke  $BC$  beträgt.

Man kann die Farbenringe, wie Newton gezeigt hat, am leichtesten hervorrufen, wenn man auf eine ebene Glasplatte eine convexe Glaslinse legt, worauf um den Berührungspunkt eine Luftschichte vorhanden ist, deren Dicke nach aussen regelmässig zunimmt, Fig. 304. So erhält man im auf-

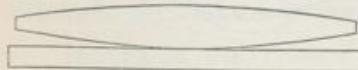
fallenden Lichte, von dem schwarz erscheinenden Berührungspunkte gezählt, nachstehende Farbenfolge:

1. Ordnung: schwarz, bläulichgrau, weiss, strohgelb, braungelb, orange, roth.
2. Ordnung: purpur, violett, indigo, himmelblau, hellgrün, gelb, orange, roth.
3. Ordnung: purpur, violett, indigo, blau, meergrün, grün, gelbgrün, isabellgelb, blass fleischroth.
4. Ordnung: carmoisin, bläulichgrün, grün, graugrün, blass fleischroth.
5. Ordnung: schwachgrün, weiss, schwachroth.

Die folgenden Ringe haben schwach blaugrüne und blass fleischrothe Farben und verblassen immer mehr. Eine keilförmige Luftschichte gibt nicht Ringe, sondern Farbstreifen von derselben Farbenfolge. (Vergl. Fig. 1, Tafel I.)

**107.** Die Farben dünner Blättchen kommen an den Mineralen in verschiedenen Formen vor. Ausser dem Irisiren feiner Sprünge an durchsichtigen

Fig. 304.



Mineralen gehört vor Allem das Farbenspiel hieher, welches am Edelopal zu beobachten ist. Man sieht die prächtigen Farben in jeder Richtung, in welcher man auf den Stein blickt. Brewster nahm an, dass die Erscheinung von höchst feinen Poren herrühre, welche in der Masse des Opals regelmässig vertheilt sind, doch konnte Behrens bei der mikroskopischen Untersuchung nichts davon wahrnehmen und glaubte die Farben von feinen Opal-Lamellen ableiten zu können, welche eine etwas andere Brechbarkeit haben, als die Umgebung. Die Farben können aber nur von Lamellen herrühren, welche unregelmässig vertheilt sind und einen Brechungsquotienten haben, welcher von jenem der Umgebung sehr verschieden ist. Man wird sie daher am sichersten von feinen Sprüngen abzuleiten haben, umso mehr, da das Vorkommen feiner Risse im Opal eine bekannte Erscheinung ist.

Ein anderes hierhergehöriges Phänomen ist die Farbenwandlung, als welche man das Auftreten schöner Farben in krystallographisch bestimmter Richtung bezeichnet. An manchem Labradorit und Orthoklas erblickt man auf bestimmten Flächen entweder leuchtende Farben oder doch einen bläulichen Lichtschein, an manchem Chrysoberyll immer nur den letzteren. Brewster erklärte die Erscheinung durch die Annahme feiner viereckiger Hohlräume, Bonsdorff und Vogelsang glaubten sie von Einschlüssen herleiten zu können. In diesem Falle scheint es, dass Brewster der richtigen Auffassung am nächsten gekommen sei und die Farben von äusserst feinen Hohlräumen, welche von Krystallebenen begrenzt sind, also von negativen Krystallen, herrühren.

Die Anlauffarben sind ebenfalls Farben dünner Blättchen, und zwar solcher dünner Schichten, die sich an der Oberfläche mancher Minerale abgesetzt haben. Das Wismut, der Eisenglanz von Elba, mancher Magnetit sind oft mit schönen Farben angelaufen. Das Anlaufen des Stahles gehört auch hieher. In allen diesen Fällen ist es der Beginn einer chemischen Veränderung, welche die Bildung einer äusserst dünnen Schichte eines neuen Körpers hervorgerufen hat. Von dem Eisenspath, dem Kalkspath, welche zuweilen zart angelaufen sind, weiss man, dass die dünne Schichte aus Brauneisenerz besteht. Krystalle sind zuweilen auf den gleichen Flächen gleich, auf den ungleichen aber verschieden angelaufen, wie manche Bleiglantzkrystalle, welche auf den Oktaëderflächen blau, auf den Würfelflächen aber nicht angelaufen sind.

Die Farben trüber Medien wurden früher durch Interferenz, später durch eine eigenthümliche auswählende Reflexion erklärt. Die feinen Partikelchen, welche die zarte Trübung eines durchsichtigen Körpers veranlassen, werfen Licht von kleinerer Wellenlänge (roth, gelb) zurück, während sie lange Lichtwellen (blau) ohne Reflexion durchlassen, ähnlich wie Pfähle, die im Grunde eines Teiches stecken, kleine Wasserwellen zum Theil zurückwerfen, die langen Wellen unverändert vorüberziehen lassen. Derlei Medien erscheinen im auffallenden Lichte bläulich, namentlich deutlich auf dunklem Grunde, im durchfallenden aber gelblich bis bräunlich. Der bläuliche Rauch der Cigarren ist im durchfallenden Lichte bräunlich, die Strahlen der untergehenden Sonne, welche einen langen Weg durch die zartgetrübte Atmosphäre zurückgelegt haben, besitzen eine rothe Farbe. Das Blau des Himmels ist die Farbe der zartgetrübten Luft auf dem dunklen Grunde des Weltraumes; bei stärkerer Trübung durch grössere Wasserkügelchen und

Bläschen verschwindet es. An Mineralen werden die Farben trüber Medien häufig beobachtet. Der bläuliche Opal, Chalcedon, sind im durchfallenden Lichte gelblich oder röthlich, die trüben Krystalle von Feldspath, Nephelin etc. zeigen bei der Untersuchung im Dünnschliffe im durchfallenden Lichte eine bräunliche Farbe. Bei farbigen Mineralen mischen sich die durch Trübung entstandenen blassen Farbentöne mit der eigentlichen Farbe.

Ueber Farbenspiel: Brewster, Optics. Behrens, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 64, December 1871. Farbenwandlung: Brewster, Optics. Hessel. Kastner's Archiv f. ges. Naturlehre, Bd. 10, pag. 273. Vogelsang, Archives Néerlandaises, Tome III (1868). Reusch, Poggendorff's Ann., Bd. 116, pag. 392, Bd. 118, pag. 256, Bd. 120, pag. 95. Anlauffarben: Hausmann, Neues Jahrb. f. Min., 1848, pag. 326. Farben trüber Medien: Brücke, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 9, pag. 530 (1852). Tyndall, Das Licht. Lampa, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 100, Abth. II a, pag. 730 (1891).

**108. Polarisation.** Das Licht erlangt durch eine bestimmte Art der Reflexion seitliche Eigenschaften. Der Strahl verhält sich nachher nicht mehr rings um seine Fortpflanzungsrichtung gleich, wie im ursprünglichen Zustande, sondern in einer bestimmten Ebene anders, als in der dazu senkrechten, er ist polarisirt.

Fig. 305.

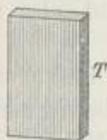
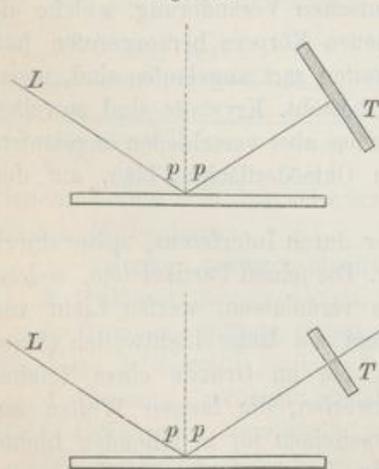


Fig. 306.



Die Einfallsebene, welche bei diesem Versuche vertical ist, wird Polarisationsebene genannt. Man sagt demnach: wenn die Turmalinplatte so steht, dass ihre Hauptaxe zur Polarisationsebene senkrecht ist, so lässt sie das polarisirte Licht hindurch, wenn aber ihre Hauptaxe zur Polarisationsebene parallel ist, verlöscht sie den polarisirten Strahl, Fig. 306.

Nimmt man eine Platte von farbigem Turmalin, welche parallel zur Hauptaxe des Krystalls geschnitten ist, Fig. 305, und betrachtet durch dieselbe eine weisse Wolke, ein Lampenlicht etc., so zeigt sich keine Aenderung, wenn man die Platte vor den Augen nach links oder nach rechts dreht. Untersucht man jedoch Licht, welches von einer horizontalen Glastafel oder von einer Tischplatte reflectirt wird, so bemerkt man bei der Drehung der vor das Auge geschobenen Turmalinplatte einen auffallenden Wechsel der Helligkeit. Die Glastafel oder die Tischplatte erscheint hell und glänzend, wenn die Hauptaxe des Turmalins horizontal ist, hingegen verdunkelt, wenn die Platte so gedreht wurde, dass die Hauptaxe vertical zu stehen kommt. Das reflectirte Licht hat also von  $90^\circ$  zu  $90^\circ$  wechselnde Beschaffenheit, es ist polarisirtes Licht.

Um die Sache anschaulicher zu machen, darf man sich den Turmalin wie ein Gitter vorstellen, dessen Stäbe zur Hauptaxe parallel sind. Den polarisirten Strahl denkt man sich aus Theilchen bestehend, welche parallel zu der reflectirenden Ebene hin- und herschwingen. In dem genannten Experimente ist die Schwingung des polarisirten Strahles horizontal, die Theilchen können also ihre Bewegung durch das Gitter hindurch fortsetzen, wenn dessen Stäbe auch horizontal sind, dagegen nicht, wofern diese vertical sind.

Wenn man bei einem zweiten Versuche die spiegelnde Glastafel vertical stellt und den reflectirten Strahl untersucht, so findet man Helligkeit, wofern die Hauptaxe des Turmalins vertical ist, hingegen Verdunkelung, wenn dieselbe horizontal ist. Das Verhältnis zwischen der Polarisationsebene und der Stellung des Turmalins bei der Verdunkelung bleibt immer dasselbe.

Bei mehrfacher Wiederholung solcher Versuche findet man, dass beim Einfallen des Lichtes unter einem bestimmten Winkel das reflectirte Licht vom Turmalin bei geeigneter Stellung nicht bloß verdunkelt, sondern total ausgelöscht wird. Der reflectirte Strahl ist jetzt vollständig polarisirt. Der zugehörige Einfallswinkel wird Polarisationswinkel genannt. Für gewöhnliches Glas beträgt derselbe  $56^\circ$ , für Wasser  $53^\circ$ , für Fluorit  $55^\circ$ , für Blende  $67^\circ$ . Nach dem von Brewster gefundenen Gesetze berechnet sich dieser Winkel  $p$ , wofern der Brechungsquotient des reflectirenden Mediums  $n$  bekannt ist, aus der Formel  $\tan p = n$ , woraus folgt, dass die vollständige Polarisation eintritt, sobald der reflectirte und der gebrochene Strahl auf einander senkrecht sind. Doppeltbrechende Medien haben demnach zwei Polarisationswinkel.

Wenn man das Licht, welches von metallglänzenden Flächen wiederkehrt, mit dem Turmalin untersucht, so findet man kaum Spuren von der Verdunkelung. Die Körper mit Metallglanz verhalten sich also verschieden von den nicht metallischen.

**109.** Das Licht wird nicht nur bei einer bestimmten Reflexion polarisirt, sondern auch bei einer bestimmten Art der Brechung. Hat man eine Glastafel gegen das einfallende Licht so gestellt, dass der reflectirte Strahl vollständig polarisirt ist, so gibt auch das gebrochene, durch das Glas kommende Licht bei der Untersuchung mit dem Turmalin einen Wechsel, und zwar gibt es Helligkeit, wenn die Hauptaxe des Turmalins zur Einfallsebene parallel ist, und Dunkelheit, wenn sie dazu senkrecht ist. Der durch Brechung polarisirte Strahl ist also um  $90^\circ$  anders polarisirt, wie der reflectirte. Dies übersetzt man sich in die früher gebrauchte Sprache wie folgt: Wenn ein Lichtstrahl unter dem geeigneten Winkel auf einen glatten durchsichtigen Körper fällt, so theilen sich viele seiner Schwingungen in solche, welche zur reflectirenden Ebene parallel sind und den reflectirten Strahl bilden, und in solche, welche in einer zur vorigen senkrechten Ebene stattfinden und in den gebrochenen Strahl übergehen.

Eine einzige Glasplatte gibt bei diesem Versuche noch keine vollständige Auslöschung des durchgehenden Strahles; dieser ist noch nicht vollständig polarisirt, jedoch erhält man durch Wiederholung der Erscheinung, indem das Licht durch eine grössere Anzahl parallel gelagerter Glasplatten, durch einen Glassatz, ge-

brochen wird, das gewünschte Resultat. Ein Paket von Glastafeln ist also ein geeignetes Mittel, polarisirtes Licht zu erhalten.

110. In dem früher beschriebenen Versuche wird vollkommen polarisirtes Licht, welches von einer horizontalen Glasplatte kommt, von einem Turmalin, dessen Hauptaxe vertical ist, ausgelöscht. Sobald man aber den Turmalin in derselben Ebene ein wenig dreht, so dass nun seine Hauptaxe nicht mehr vertical ist, so fängt derselbe an, etwas heller zu werden, er lässt also etwas Licht hindurch. Die Helligkeit nimmt mit der Drehung zu, bis endlich bei der Horizontalstellung des Turmalins die grösste Helligkeit auftritt, Fig. 307.

Fig. 307.

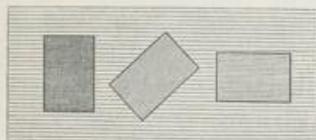


Fig. 309.

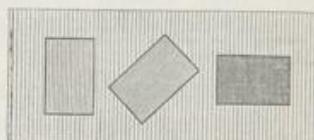


Fig. 308.

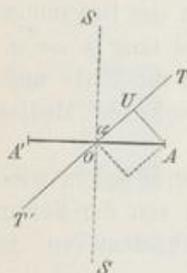


Fig. 311.

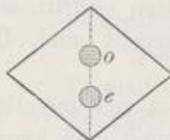
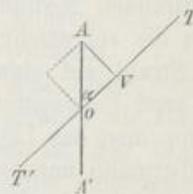


Fig. 310.



Wie es kommt, dass der Turmalin, welcher nur solche Schwingungen durchlässt, die parallel zu seiner Hauptaxe gerichtet sind, doch auch demjenigen Lichte einen beschränkten Durchgang gestattet, welches schief gegen seine Hauptaxe schwingt, wird aus Folgendem erklärlich.

Ist in Fig. 308  $TT'$  die Richtung dieser Hauptaxe und wird angenommen, dass die Schwingungen des polarisirten Lichtes horizontal stattfinden, nämlich zwischen  $A$  und  $A'$  durch  $O$  hindurch, so werden die Schwingungen nicht in dieser Form durch den Turmalin gelangen können, wohl aber nach einer bestimmten Anpassung an diese Stellung der Turmalinplatte. Wie jede Bewegung kann auch die Schwingung zwischen  $O$  und  $A$  in zwei Componenten zerlegt gedacht werden. Fällt man von  $A$  aus eine Senkrechte auf  $TT'$  und ist deren Fusspunkt  $U$ , so erscheint jetzt  $OA$  als Diagonale eines Kräfteparallelogrammes und  $OU$  als die eine Componente, welche den Schwingungen parallel  $TT'$  entspricht, die also durchgelassen werden, während  $AU$  als die andere Componente zu betrachten ist, welche den zu  $TT'$  senkrechten Schwingungen entspricht und durch Absorption vernichtet wird. Die neue Schwingung  $OU$  ist kürzer als die ursprüngliche  $OA$ , dementsprechend ist die Helligkeit geringer. Das Verhältnis von  $OU$  zu  $OA$  ist aber wie  $\sin \alpha:1$ .

Das Licht, welches aus dem schief gestellten Turmalin kommt, schwingt demnach nicht mehr in der früheren Richtung, sondern seine Polarisationssebene ist geändert, das Licht ist unpolarisirt worden. Daraus ist zu ersehen, dass das polarisirte Licht durch Zerlegung in Componenten seine Schwingungsebene zu ändern vermag, wofern das neue Medium nur bestimmte Schwingungen gestattet.

Benutzt man zu dem Versuche vollständig polarisirtes Licht, welches von einer verticalen Glasplatte kommt, so wird ein Turmalin, dessen Hauptaxe vertical ist, Helligkeit zeigen. Dreht man jetzt den Turmalin, so wird seine Helligkeit abnehmen und endlich Dunkelheit eintreten, sobald die Hauptaxe in horizontale Stellung kommt, Fig. 309. Die Erklärung ist ähnlich wie vorhin. Die beiden Componenten sind jetzt  $OV$ , welche den durchgehenden Schwingungen entspricht, und  $AV$ , welche jene Schwingungen repräsentirt, die verlöscht werden.  $OV$  und  $OA$  verhalten sich wie  $\cos \alpha : 1$ . Fig. 310.

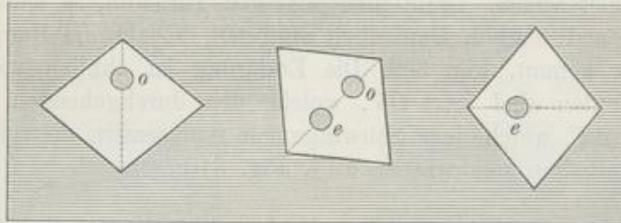
III. Die beiden Strahlen, welche ein doppelbrechender Körper liefert, sind vollständig polarisirt, und zwar im einfachsten Falle senkrecht gegen einander. Schiebt man, wie bei einem früheren Versuch [99], den Doppelpath zwischen das Auge und ein durchbohrtes Papierblatt, so erblickt man zwei Strahlenbündel,  $o$  und  $e$ , beide in einer Ebene liegend, welche dem geometrischen Hauptschnitt des Rhomboëders parallel ist oder damit zusammenfällt, Fig. 311, worin der geometrische Hauptschnitt punktirt ist. Werden die Strahlenbündel mittels eines Turmalins geprüft, so wird der ordentliche Strahl  $o$  hell erscheinen, sobald die Hauptaxe des Turmalins zum Hauptschnitte des Doppelpathes senkrecht ist. Der ausserordentliche Strahl ist jetzt verlöscht. Wird nun der Turmalin gedreht, bis seine Hauptaxe zu jenem Hauptschnitt parallel ist, so erscheint der ausserordentliche Strahl hell, während der ordentliche verlöscht ist. Nach der früheren Ausdruckweise wird man sagen, der ordentliche Strahl schwingt senkrecht zum Hauptschnitt, der ausserordentliche parallel zu demselben.

Wird eine Platte von Doppelpath, welche senkrecht zur Hauptaxe geschnitten ist, angewandt, so zeigt sich der einfache Strahl, welcher beim senkrechten Durchsehen beobachtet wird, nicht polarisirt, die beiden Strahlen aber, welche man beim schiefen Durchsehen erhält (vgl. Fig. 300), erweisen sich wiederum polarisirt, und zwar in dem Sinne, dass man sagen würde: der ordentliche Strahl schwingt senkrecht, der ausserordentliche schwingt parallel zu einer durch den Strahl und die Hauptaxe gelegten Ebene. Jede derartige Ebene wird ein optischer Hauptschnitt genannt.

So wie die beiden Strahlen des Kalkspathes sind auch die Strahlen polarisirt, welche die übrigen Krystalle von wirteligem Bau liefern. Platten, die aus einem Krystall von einfacherem Baue genommen sind, liefern im allgemeinen zwei ausserordentliche Strahlen. Auch diese bestehen aus polarisirtem Lichte, und zwar ist unter gleichen Umständen wiederum der eine senkrecht gegen den andern polarisirt. Man hat daher auch in diesen Platten, wofern das Licht vertical einfällt, zwei bestimmte zu einander senkrechte Schwingungsrichtungen anzunehmen.

112. Polarisirtes Licht zeigt beim Durchgange durch einen Doppelspath zum Theile andere Erscheinungen als gewöhnliches Licht. Lässt man vollständig polarisirtes Licht, welches von einer horizontalen Glasplatte kommt, durch die Oeffnung eines Papierblattes gehen und bringt zwischen dieses und das Auge ein Spaltungsstück von Doppelspath, und zwar so, dass der Hauptschnitt vertical steht, so sieht man bloß einen einzigen Strahl, es ist der ordentliche, Fig. 312.

Fig. 312.



Das in den Doppelspath eintretende Licht schwingt horizontal, kann sich also hier nur als ordentlicher Strahl fortpflanzen, die zweite Art der Schwingung, nämlich die verticale, existirt nicht. Das polarisirte Licht wird demnach hier einfach gebrochen. Dreht man jetzt den Doppelspath um einen Winkel  $\alpha$ , so taucht auch der ausserordentliche Strahl auf und nimmt bei fernerer Drehung an Helligkeit zu, während sich der ordentliche verdunkelt. Nach der Drehung um  $45^\circ$  haben beide gleiche Helligkeit. Bei fortgesetzter Drehung nimmt der ausserordentliche beständig an Helligkeit zu, bei  $90^\circ$  ist er allein sichtbar, der ordentliche ist verschwunden.

Das polarisirte Licht, welches in den in schiefer Stellung befindlichen Doppelspath gelangt, wird hier getheilt, wird hier doppelt gebrochen. Der Doppelspath, welcher bloß Schwingungen parallel und senkrecht zum Hauptschnitte durchlässt, kann die schief gerichtete Schwingung nur so fortpflanzen, dass er dieselbe in zwei Componenten zerlegt, welche jene beiden Schwingungsarten besitzen. Geht man auf Fig. 308 zurück, so erkennt man, dass der ordentliche Strahl nach der Drehung des Doppelspathes um den Winkel  $\alpha$  die Componente  $AU$ , der ausserordentliche Strahl die Componente  $OU$  zugetheilt erhält, welche beiden sich wie  $\cos \alpha : \sin \alpha$  verhalten. Für  $\alpha = 45^\circ$  sind also beide gleich, für  $\alpha = 90^\circ$  verschwindet die erstere Componente. Ist also der Hauptschnitt horizontal, so geht das polarisirte Licht, dessen Schwingung horizontal ist, bloß als ausserordentlicher Strahl hindurch, die Brechung ist jetzt wieder eine einfache.

Bei verticaler und bei horizontaler Stellung des Hauptschnittes herrscht also einfache, in allen Zwischenstellungen doppelte Brechung. Das entsprechende Resultat ergibt sich, wenn man polarisirtes Licht anwendet, das von einer verticalen Glasplatte kommt.

Liegen also die Schwingungsrichtungen der Mineralplatte schief zu jenen des einfallenden polarisirten Lichtes, so ergibt sich doppelte, sonst aber einfache Brechung. Diese Regel befolgen alle doppelt brechenden Körper.

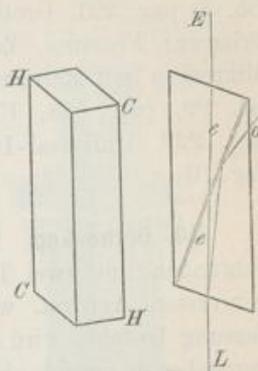
113. Wenn das Instrument, welches zur ersten Erkennung des polarisirten Lichtes dienlich war, nämlich die gefärbte Turmalinplatte, für sich betrachtet wird, so erscheint dieselbe als ein Medium, welches blos Schwingungen parallel der Hauptaxe hindurchlässt, also einen ausserordentlichen Strahl gibt. Der Turmalin ist demnach ein doppelt brechender Körper, welcher den ordentlichen Strahl vernichtet und blos den ausserordentlichen durchlässt. Dieser ist aber polarisirt. Die Turmalinplatte bietet also ein einfaches Mittel, polarisirtes Licht zu erhalten. Bei den Versuchen, welche Farbenercheinungen veranlassen, würde es aber als eine unangenehme Beigabe des polarisirten Lichtes erscheinen, dass dasselbe schon selbst gefärbt ist. Man kann aber leicht ungefärbtes polarisirtes Licht erhalten, wenn man einen der beiden Lichtstrahlen, welche der farblose Doppelpath liefert, für sich auffängt.

Das Instrument, welches dies gestattet, ist das Nicol'sche Prisma. Dasselbe ist aus einem länglichen Spaltungsstück von Doppelpath so angefertigt, dass anstatt des Flächenpaares  $CH$ , Fig. 313, welches die kleinsten Flächen bildet, in der Zone  $R:OR$  ein neues Flächenpaar angeschliffen wird, welches gegen die Hauptaxe um  $3^\circ$  weniger steil geneigt ist, und dass hierauf das Spaltungsstück nach einer in derselben Zone liegenden, auf dem vorigen Paar senkrechten Fläche durchgeschnitten wird. Die beiden so erhaltenen Stücke werden mittels Canada-balsams wieder zusammengekittet. Dieser Einrichtung zufolge wird ein Lichtstrahl  $L$ , welcher in das Prisma, Fig. 314, eintritt, in zwei Strahlen zerlegt, wovon der eine, der ordinäre  $o$  unter dem Winkel der totalen Reflexion auf die Balsamschicht trifft und von da zur Seite reflectirt wird, wo ihn die geschwärzten Flächen absorbiren, während der ausserordentliche Strahl  $e$  in der Richtung  $LE$  durch das Prisma geht.

Das Nicol'sche Prisma liefert also, gerade wie der Turmalin, blos den ausserordentlichen Strahl, es liefert polarisirtes Licht, dessen Schwingungen parallel der kürzeren Diagonale des Prisma stattfinden. Diese ist aber einem Hauptschnitt des dazu benutzten Calcitindividuums  $CHCH$  parallel. Wenn daher vom Nicol-hauptschnitt gesprochen wird, so ist immer jene durch die kürzere Diagonale und längs des Nicols gelegte Ebene zu verstehen. Gegenwärtig benutzt man häufig auch ein von Prazmowsky angegebenes polarisirendes Prisma, welches Leinölkitt enthält und zwei horizontale Endflächen besitzt.

Literatur. Ueber die Anwendung des polarisirten Lichtes bei der Untersuchung der Krystalle, sowie über die Krystalloptik überhaupt kann man sich des Genaueren in folgenden Werken unterrichten: Brewster, Treatise on optics, London 1832, deutsch von Hartmann, Quedlinburg 1835. Beer, Einleitung in die höhere Optik, 2. Aufl., bearb. von V. v. Lang, Braunschweig 1882. Dove, Darstellung der Farbenlehre und optische Studien, Berlin 1853. Grailich, Krystallographisch-optische Untersuchungen, Wien 1858. Descloizeaux, Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant etc., Paris 1864. Rosenbusch, Mikroskopische Physio-

Fig. 313. Fig. 314.

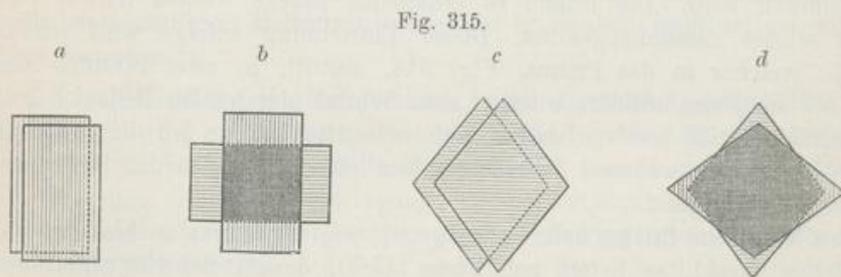


graphie der petrograph. wichtigsten Mineralien, Stuttgart 1892. Wüllner, Lehrbuch der Experimentalphysik, 2. Bd., Leipzig 1875. Groth, Physikalische Krystallographie, Leipzig 1895. Mallard, Traité de Cristallographie, Paris 1884, 2. Bd.

Ueber Apparate und Beobachtungsmethoden ausserdem: V. v. Lang, Sitzungsber. d. W. Akad., Bd. 55 (1867). Carl, Repertorium f. physikal. Technik, Bd. 3, pag. 201. Groth, Pogg. Ann., Bd. 154, pag. 34 (1871). Ueber Nicol'sche Prismen: Feussner, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, Bd. 4, pag. 42. Ueber ein Mikroskop mit Refractometer, Axenwinkel-Apparat etc. Bertrand, Comptes rend. Bd. 99, pag. 538. Universaltischchen: Fedorow, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 22, pag. 229. Universal-Drehapparat: Klein, Sitzungsber. d. Berliner Akad. 1895, pag. 91.

**114. Orthoskop.** Für Untersuchungen im polarisirten Lichte können Vorrichtungen mit zwei Turmalinplatten oder mit zwei Nicol'schen Prismen dienen. Der erstere Apparat, welcher blos aus zwei parallelen Turmalinplatten und einer Fassung besteht, wird Turmalinzange genannt. Er eignet sich aus dem früher angegebenen Grunde blos zu rohen Versuchen und wird daher wenig mehr angewendet. Dagegen werden Instrumente, welche im wesentlichen aus zwei Nicols zusammengesetzt sind, gegenwärtig in verschiedenen Formen allgemein von den Mineralogen für optische Untersuchungen benutzt.

Stellt man die beiden Platten der Turmalinzange mit den Hauptaxen parallel, Fig. 315 *a*, und blickt durch dieselben gegen eine Lichtquelle, so wird man



Helligkeit wahrnehmen, denn der aus der ersten Platte austretende Strahl schwingt parallel zur Hauptaxe und kann diese Schwingungsart auch in der zweiten Platte ungestört fortsetzen. Dreht man jetzt die eine Platte gegen die andere, so wird das Gesichtsfeld, soweit sich die Turmaline bedecken, allmähig dunkler und bei einer Drehung von  $90^\circ$  werden die nunmehr gekreuzten Turmaline Dunkelheit geben, Fig. *b*. Das polarisirte Licht, welches die erste Platte verlässt, hat jetzt eine Schwingung, welche zur Hauptaxe der zweiten Platte senkrecht ist, also absorbirt wird.

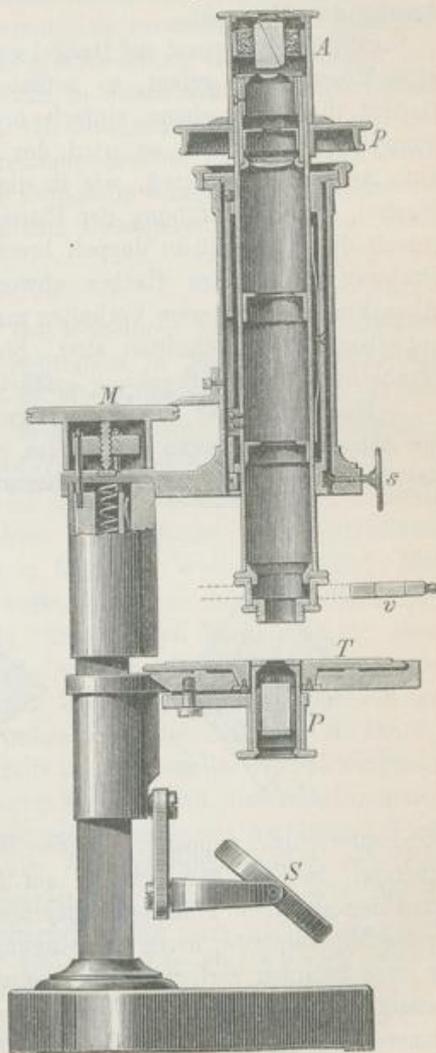
Entsprechend verhalten sich parallele, Fig. *c*, und gekreuzte Nicols, Fig. *d*. Die letzteren geben ein dunkles Gesichtsfeld, weil der polarisirte Strahl, welcher den ersten Nicol verlässt, in den zweiten mit einer solchen Schwingung eintritt, welche dem dortigen ordentlichen Strahl entspricht, wonach er seitlich reflectirt

und vernichtet wird. Gekreuzte Turmaline und gekreuzte Nicols verhalten sich wesentlich gleich, es wird also genügen, weiter von den Nicols allein zu sprechen.

Der eine Nicol, welcher das gewöhnliche Licht in polarisirtes verwandelt, heisst Polarisator, der zweite, welcher zur weiteren Prüfung der im polarisirten Lichte auftretenden Erscheinungen dient, Analysator. Um auch kleine Plättchen

prüfen zu können, setzt man die Nicols mit einem Mikroskop in Verbindung. Der Polarisator wird unter dem Tisch des Mikroskopes angebracht, der Analysator über dem Ocular, in welchem ein feiner Faden durch den Mittelpunkt des Gesichtsfeldes gespannt ist. In einem solchen Instrumente, Fig. 316 (Modell Fuess), gelangt das gewöhnliche Tageslicht nach der Reflexion am Spiegel *S* in parallelen Strahlen durch den Polarisator *P* in die Mineralplatte, hierauf durch die Mikroskopröhre in den Analysator *A*. Der Tisch *T* des Mikroskopes ist kreisrund, drehbar und am Rande mit einer Kreistheilung versehen. Ausserhalb des Tisches neben dieser Theilung befindet sich eine fixe Marke. Die Platte des zu prüfenden Mineralen, welche auf die Oeffnung des Tisches gelegt worden, dreht sich mit diesem und kann daher in verschiedene Lagen gegen die Schwingungsebenen der Nicols gebracht und es kann erforderlichen Falles der Drehungswinkel abgelesen werden. Um die beiden Nicols in bestimmter Weise gegen einander stellen zu können, ist sowohl an dem Polarisator als auch an dem kleinen Limbus *p* des Analysators eine Kreistheilung und ausserhalb eine Marke angebracht. Damit das Mikroskop centrirt, d. h. die Axe des Tubus oder der Mikroskopröhre mit der Drehaxe des Tisches in Uebereinstimmung gebracht werden könne, ist durch zwei rechtwinkelig gegeneinander gestellte Schrauben, von welchen im Bilde bloß die eine *s* erscheint, eine genaue Stellung des Tubus ausführbar. Nach richtiger Centrirung bleibt bei der Drehung des Tisches auch ein sehr kleines Krystallplättchen in der Mitte des Gesichtsfeldes. Eine Zugabe, von der später gesprochen wird, ist die kleine Quarzplatte *v*, welche oberhalb des Objectivlinsensystems, das hier nicht gezeichnet ist, horizontal eingeschoben wird. Von der Mikrometerschraube *M*, durch welche die Hebung und Senkung des Tubus genau bestimmt werden kann, ist schon

Fig. 316.



bleibt bei der Drehung des Tisches auch ein sehr kleines Krystallplättchen in der Mitte des Gesichtsfeldes. Eine Zugabe, von der später gesprochen wird, ist die kleine Quarzplatte *v*, welche oberhalb des Objectivlinsensystems, das hier nicht gezeichnet ist, horizontal eingeschoben wird. Von der Mikrometerschraube *M*, durch welche die Hebung und Senkung des Tubus genau bestimmt werden kann, ist schon

früher pag. 156 die Rede gewesen. Weil in diesem Instrumente paralleles polarisiertes Licht in senkrechter Richtung durch die zu prüfende Platte geht, wird dasselbe hier als Orthoskop bezeichnet, wonach die Untersuchung im parallelen polarisierten Lichte orthoskopische Prüfung genannt wird.<sup>1)</sup>

**115. Erkennung der Doppelbrechung.** Die erste wichtige Anwendung des Orthoskopes ist die Unterscheidung der einfach brechenden und der doppelt brechenden Minerale.

Wird der Apparat auf Dunkel gestellt und wird auf den Tisch des Instrumentes eine Mineralplatte gelegt, so befindet sich dieselbe zwischen gekreuzten Nicols. Gehört die Platte einem einfach brechenden, also einem tesseralen oder einem amorphen Mineral an, so wird der polarisierte Strahl in der Platte ebensowenig eine Änderung erfahren, wie in der Luft, folglich wird das Gesichtsfeld dunkel bleiben, auch die Drehung der Platte wird keine Änderung hervorbringen. Gehört jedoch die Platte einem doppelt brechenden Mineral an, so wird dieselbe bei der Drehung mittels des Tisches abwechselnd hell und dunkel erscheinen. Eine Ausnahme von letzterem Verhalten machen nur jene Platten, welche senkrecht zur optischen Axe geschnitten sind. Sie geben Dunkelheit, weil der durchgehende Strahl nur einfache Brechung erfährt.

Die Aufhellung der doppeltbrechenden Platte wird immer eintreten, wenn die Schwingungsebenen der beiden Strahlen gegen die Nicolhauptsnitte schief liegen. Dieser Fall ist hier schematisch so dargestellt, dass in Fig. 317 der

Fig. 317.

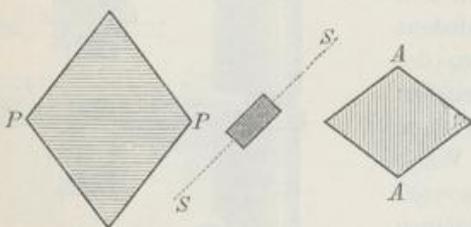
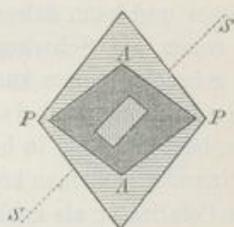


Fig. 318.



Polarisator, das doppeltbrechende Mineralplättchen und der Analysator neben einander, in Fig. 318 aber in der Durchsicht über einander folgen. Demnach wird der aus dem Polarisator kommende Strahl, welcher parallel  $PP$  schwingt, in der Mineralplatte, deren Schwingungsebenen parallel und senkrecht zu  $SS$  sind, in zwei Strahlen zerlegt, welche parallel und senkrecht zu  $SS$  schwingen. Beide gelangen an den Analysator, welcher diese Schwingungen, welche schief gegen seinen Hauptschnitt  $AA$  erfolgen, in dieser Form nicht hindurch lässt, wohl aber jene Komponenten, welche zu  $AA$  parallel sind, während er die anderen Komponenten vernichtet. Dadurch wird Helligkeit erzeugt.

<sup>1)</sup> Man hat früher das mit Nicols versehene Mikroskop als »Mikroskop mit Polarisation« bezeichnet, ferner den Namen Polarisationsmikroskop auf ein später zu besprechendes Instrument angewandt. Es wurde aber mehrfach der Wunsch ausgesprochen, zwei besser unterscheidbare kurze Namen zu besitzen, daher der Autor die Worte Orthoskop und Konoskop in Vorschlag brachte.

Die Dunkelheit wird bei der Drehung der Platte dann eintreten, sobald die Schwingungsebenen des Minerals zu den beiden Nicolhauptschnitten parallel sind. Das vom Polarisator kommende, parallel *PP* schwingende Licht findet jetzt die Platte in der Stellung, in welcher sie dieser Schwingung ungestörten Durchgang gestattet, worauf dieselbe an den Analysator gelangt und darin ausgelöscht wird.

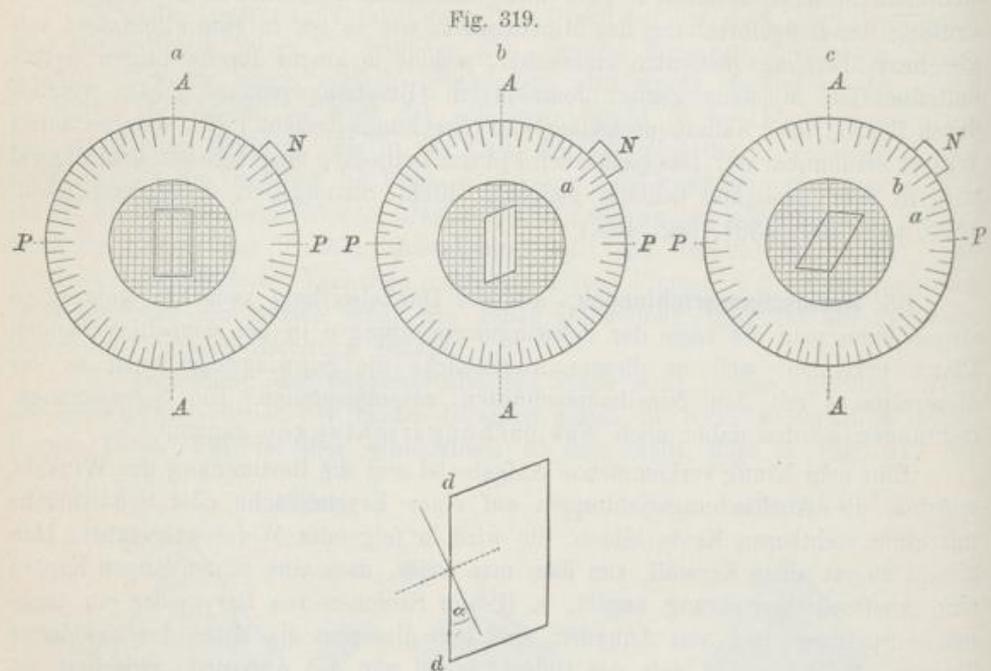
In dem Falle, als die Herstellung einer Platte aus dem zu prüfenden durchsichtigen Mineral unthunlich oder allzu umständlich erscheint, kann man zur Prüfung der Doppelbrechung das Mineralstück, wie es ist, in eine Flüssigkeit von gleichem Brechungsquotienten eintauchen, welche in einem durchsichtigen Gefäß enthalten ist. Meistens genügt Jodmethylen (Brechungsquotient 1.74), welches durch Benzol, oder Kaliumquecksilberjodid (Brechungsquotient 1.72), welches durch Wasser verdünnbar ist. Das Gefäß wird in das Orthoskop eingeschaltet, das Mineral wird in der Flüssigkeit beliebig gedreht. (Klein, Sitzungsber. d. Berliner Akad. 1890, pag. 709; 1891, pag. 435.)

**116. Auslöschungsrichtungen.** Aus der Dunkelstellung zwischen gekreuzten Nicols kann man die Lage der Schwingungsrichtungen in der doppeltbrechenden Platte erkennen, weil in diesem Augenblicke die Schwingungsebenen in der Mineralplatte mit den Nicolhauptschnitten zusammenfallen. Die Schwingungsrichtungen werden daher auch Auslöschungsrichtungen genannt.

Eine sehr häufig vorkommende Aufgabe ist nun die Bestimmung des Winkels, welchen die Auslöschungsrichtungen auf einer Krystallfläche oder Schnittfläche mit einer sichtbaren Kante bilden. Sie wird in folgender Weise ausgeführt: Man nimmt zuerst einen Krystall, von dem man weiss, dass eine seiner langen Kanten eine Auslöschungsrichtung angibt, z. B. ein Säulchen von Baryt oder ein längliches Spaltungsstück von Anhydrit, und legt dieses in die Mitte des drehbaren Tisches. Nun befindet sich das Object, sagen wir der Anhydrit, zwischen gekreuzten Nicols, und durch Drehen des Tisches wird der Anhydrit in Dunkelstellung gebracht. Die lange Kante des Anhydrits ist jetzt parallel der Schwingungsrichtung des einen, nehmen wir an des oberen Nicols. Wird dieser abgenommen, das Ocular gedreht, bis der in demselben gespannte Faden mit der langen Kante des Anhydrits parallel ist, und nun das Ocular festgeklemmt, endlich der obere Nicol wieder in der vorigen Stellung aufgesetzt, so ist das Orthoskop für die Messung vorbereitet (justirt), denn der Ocularfaden gibt jetzt die Schwingungsrichtung des oberen Nicols an, Fig. 319*a*. Der Anhydrit wird hierauf entfernt.

Soll nun an irgend einer Krystallplatte oder einem Spaltungsstück der Winkel zwischen einer daran sichtbaren Kante und der Auslöschungsrichtung bestimmt werden, so bringt man jene Platte in die Mitte des Objecttisches und dreht letzteren, bis jene Kante mit dem Ocularfaden übereinstimmt, Fig. 319*b*. Die Stellung des Tisches wird an der Gradeintheilung mittels der fixen Marke *N* bestimmt, nämlich die bei *a* befindliche Zahl abgelesen. Wenn die Auslöschungsrichtung in der zu prüfenden Platte von der Richtung jener Kante abweicht, so wird die Platte jetzt hell erscheinen. Man dreht nun den Tisch so lange, bis die

Platte dunkel erscheint, also eine Auslöschungsrichtung derselben mit einem Nicolhauptschnitt zusammenfällt, Fig. 319 *e*, worauf man die neue Stellung des Tisches bestimmt, also an der Marke *N* die Zahl *b* abliest. Der Betrag der vollzogenen Drehung ist der Bogen *ab*, welcher dem Winkel  $\alpha$  entspricht, den die beobachtete Auslöschungsrichtung mit der früher genannten Kante bildet, Fig. 319 *d*. Das hier beschriebene Verfahren kann in mannigfacher Weise modifiziert werden, worüber noch später Angaben folgen.



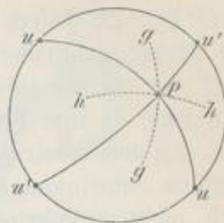
Ist die Kante *dd* einer Krystallaxe parallel, so ist der spitze Winkel  $\alpha$  die Auslöschungsschiefe auf der gegebenen Krystallfläche. Zeigt sich keine solche Schiefe, sondern sind die Auslöschungen so wie in dem bekannten Krystall parallel und senkrecht zu einer Axenkante, so ist die Auslöschung eine gerade.

Die Lage der Auslöschungsrichtungen auf Krystallflächen folgt dem Grundsatz, dass die einer Fläche zukommende Symmetrie niemals durch die Auslöschungsrichtungen gestört wird. Demzufolge gibt die Linie, in welcher eine Krystallfläche von dem dazu senkrechten Hauptschnitte getroffen wird, also die Symmetrielinie der Krystallfläche [26] immer eine Auslöschungsrichtung an.

Im hexagonalen und im tetragonalen System zeigen demnach alle Prismenflächen gerade Auslöschung, die Flächen der hexagonalen und tetragonalen Pyramide haben die eine Auslöschung parallel zur horizontalen Kante, die Flächen der Rhomboëder haben die Auslöschungen parallel den Diagonalen. Im rhombischen Systeme bieten die Prismen und Endflächen gerade Auslöschung, ebenso im monoklinen Systeme die Querprismen, die Quer- und Endfläche, während die Längsfläche schiefe Auslöschung zeigt. Im triklinen Systeme gibt es keine Fläche mit gerader Auslöschung.

Wenn es sich darum handelt, die Auslöschungsrichtungen auf einer beliebigen Krystallfläche oder Schnittfläche specieller anzugeben, so benützt man folgende Regel: Man legt durch die Flächennormale und die beiden optischen Axen zwei Ebenen und halbirt den Winkel, welchen sie bilden, durch eine dritte Ebene. Diese ist die eine Schwingungsebene. Ist also  $p$  der Durchschnitt der Flächennormale mit der Kugel, Fig. 320, und sind  $u$  und  $u'$  die Durchschnittspunkte der beiden optischen Axen mit derselben Kugelfläche, so schneiden die durch je eine der beiden letzteren und durch  $p$  gelegten Ebenen die Kugel in zwei grössten Kreisen. Wird nun der Winkel  $upu'$  halbirt, ebenso der anliegende stumpfe Winkel, so hat man die beiden Hauptschwingungsebenen  $gg$  und  $hh$ , welche auf der Fläche  $p$  die beiden Auslöschungsrichtungen angeben.

Fig. 320.



Bei den optisch einaxigen Krystallen (Axenwinkel = 0) gibt dieses Verfahren die schon bekannte Regel, dass die eine Auslöschungsrichtung stets in der durch die Hauptaxe und die Flächennormale gehenden Ebene liegt. In triklinen und in monoklinen Krystallen sind die Auslöschungsrichtungen für verschiedene Farben etwas verschieden. Bei genauen Untersuchungen muss man daher die Auslöschung für jede Farbe besonders bestimmen.

**117. Erscheinungen dünner Platten.** Bei der Beobachtung im Orthoskope zeigen dünne Platten doppeltbrechender Körper in den entsprechenden Lagen Dunkelheit und Helligkeit, im letzteren Falle aber schöne Farben, welche mit denjenigen übereinstimmen, welche schon früher bei den Erscheinungen der Interferenz angeführt wurden. Ist die Krystallplatte gleichförmig dick, so zeigt sie eine einzige Farbe, ist sie keilförmig, so folgen der Dicke entsprechend mehrere Farben in Uebergängen auf einander. Ist die Platte treppenartig und ungleich dick, wie es bei Spaltblättchen vorkommt, so treten die verschiedenen Farben unvermittelt neben einander auf. Die Platte muss, wenn sie Farben zeigen soll, um so dünner sein, je stärker die Doppelbrechung in der Richtung des durchgehenden Lichtes, also je mehr die beiden Brechungsquotienten von einander abweichen.

Dünne Platten von Gyps und Glimmer, dickere von Quarz zeigen die Farben sehr schön. Oft werden derlei Platten in das Orthoskop eingeschaltet, um, anstatt die Beobachtung der Auslöschungsrichtungen mit Hell und Dunkel auszuführen, bestimmte Farbentöne zum Anhaltspunkte zu gewinnen. In der Fig. 316 ist die kleine Quarzplatte, welche oberhalb des Objectivsystems eingeschoben wird, mit  $v$  bezeichnet.

Die Beobachtung der Farben dünner Platten leistet bei der Prüfung von Zwillingsbildungen doppeltbrechender Minerale wichtige Dienste, da in einem Schnitte die symmetrische Stellung der Theilkrystalle durch die Farben erkannt wird. Auch die Unterscheidung von doppeltbrechenden Mineralen, die neben einander vorkommen, wird dadurch sehr erleichtert. Die schwächer doppeltbrechenden, wie Quarz und Feldspath, geben nämlich Farben, während stark doppeltbrechende, wie Kalkspath, bei gleicher Dicke keine geben.



schmale Seite dazu senkrecht ist. Ein solcher liefert in der Diagonalstellung die Newton'schen Farben [106] in der Form von Streifen, gewöhnlich von der ersten bis zur fünften Ordnung, wie in Fig. A auf Taf. I. Er dient dazu, die Farben, welche doppelbrechende Blättchen zeigen, ihrer Ordnung nach zu bestimmen, ferner um an solchen Blättchen durch das vorgenannte combinirende Verfahren an dem Steigen oder Fallen der Farbe die Art (den Charakter) der Doppelbrechung zu erkennen.

Ueber die Prüfung der Krystalle in Dünnschliffen: Autor, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 59, Mai 1869. Rosenbusch, Mikroskopische Physiographie der petrogr. wichtigen Minerale, 1892. Liebisch, Physikal. Krystallographie, 1891. Lévy et Lacroix, Les minéraux des roches, Paris 1888. Groth, Physikal. Krystallographie, 1895.

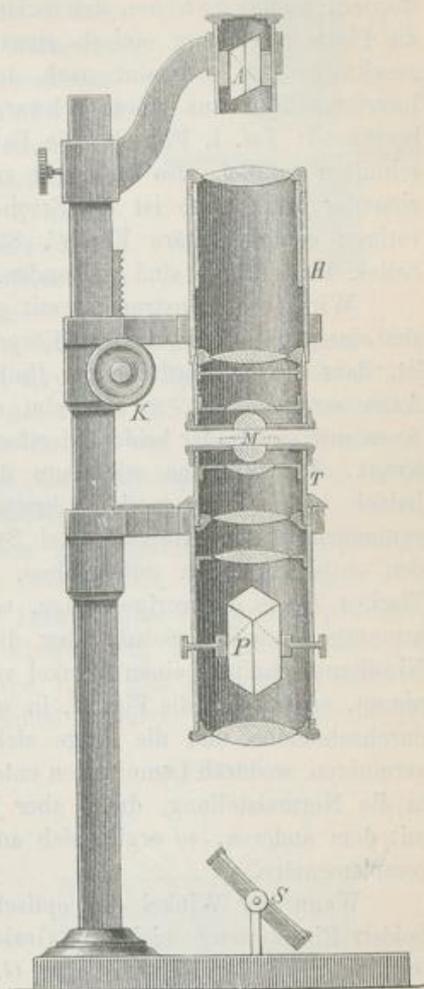
**118. Interferenzfiguren.** Man kann die Erscheinungen im polarisirten Lichte bedeutend verändern, wenn man statt des einfallenden parallelen Lichtes convergentes Licht in die zu untersuchende Platte gelangen lässt. Bei der Beobachtung mit der Turmalinzange geschieht es in der Weise, dass man die letztere nach Einschlebung der Platte nahe an das Auge bringt. Dieses empfängt jetzt schief einfallende Strahlen, es beobachtet im Lichtkegel.

Einen praktischen Apparat, in welchem der Lichtkegel durch stark convexe Linsen hervorgebracht wird, hat zuerst Nörremberg angegeben. Derselbe ist seither durch Anwendung der Nicol'schen Prismen modificirt und auch sonst umgestaltet worden und dient jetzt zur Prüfung von grösseren Krystallplatten. Der Apparat soll hier als Konoskop angeführt werden. S. Fig. 322. Die Untersuchung im convergenten polarisirten Lichte wird demnach als konoskopische Prüfung bezeichnet.<sup>1)</sup>

Die von dem Spiegel *S* in das Instrument eintretenden Strahlen gelangen durch eine Linse in den Polarisator *P* und werden hierauf durch ein Linsensystem, besonders aber durch eine halbkugelige Linse convergent gemacht, worauf sie

<sup>1)</sup> Der Apparat wurde früher als Polarisationsmikroskop oder Polarisationsinstrument bezeichnet.

Fig. 322.



durch die zu prüfende Platte *M*, ferner durch eine zweite halbkugelige Linse und ein ferneres Linsensystem in den Analysator *A* sich fortpflanzen. Das Stück *T* ist drehbar und am Rande mit einer Gradeintheilung versehen. Der obere Theil *H* kann durch den Trieb bei *K* auf- und abgeschoben werden, so dass die Platte *M* zuerst mit freier Hand zurecht gelegt werden kann, worauf sie, nachdem *H* gesenkt worden, knapp zwischen den beiden halbkugeligen Linsen zu liegen kommt. Ist die Platte aus einem optisch einaxigen Individuum senkrecht zur optischen Axe geschnitten, so erscheint nach dem Zusammenschieben des Instrumentes eine Interferenzfigur aus einem schwarzen Kreuz und concentrischen farbigen Ringen bestehend; Taf. I, Fig. *B*. Die Balken des Kreuzes sind den beiden Nicolhauptschnitten parallel, also senkrecht zu einander. Stellt man die beiden Nicols zu einander parallel, so ist die Erscheinung verändert und es ergibt sich die zur vorigen complementäre Fig. *C*. Statt des schwarzen Kreuzes bemerkt man ein helles. Farbenringe sind vorhanden, jedoch in complementärer Lage und Färbung.

Wird in das Instrument mit gekreuzten Nicols eine Platte geschoben, welche aus einem optisch zweiaxigen Körper, z. B. einem Aragonitkrystall, so geschnitten ist, dass die Schnittfläche zur Halbierungslinie des spitzen Winkels der optischen Axen senkrecht ist, so erscheint die Fig. *F*, wofern die Ebene der optischen Axen mit einem der beiden Nicolhauptschnitte parallel ist. Man sieht ein schwarzes Kreuz, dessen Arme wiederum den beiden Nicolhauptschnitten parallel sind; jedoch ist der eine merklich breiter, der andere schmaler. An letzterem liegen symmetrisch zum vorigen zwei Systeme von Farbenringen, deren Mittelpunkte den optischen Axen entsprechen. Bringt man die Platte durch Drehung des Tisches *T* aus der vorigen Lage, so trennt sich das Kreuz und bildet zwei gekrümmte Schweife. Sobald aber die Ebene der optischen Axen mit den beiden Nicolhauptschnitten einen Winkel von  $45^\circ$  bildet, also eine Diagonalstellung einnimmt, ergibt sich die Fig. *G*, in welcher zwei dunkle Hyperbeln die Ringsysteme durchschneiden und die Ringe sich zum Theil in der Mitte des Gesichtsfeldes vereinigen, wodurch Lemniscaten entstehen. Bringt man die Aragonitplatte wiederum in die Normalstellung, dreht aber jetzt den einen Nicol bis zur Parallelstellung mit dem anderen, so ergibt sich anstatt der früher erhaltenen Figur *F* die dazu complementäre.

Wenn der Winkel der optischen Axen sehr gross ist, so erscheinen die beiden Ringsysteme nicht im Gesichtsfelde, sondern es zeigt sich dort blos der mittlere Theil der Figur *F* oder *G*. Wenn hingegen der Winkel der optischen Axen klein ist, wie im Glauberit, so zeigt sich im mittleren Theile der erhaltenen Figur nichts von einem farbigen Ringe, weil die beiden Ringsysteme sich aussen zu elliptischen Formen vereinigen. In der Normalstellung gibt also der Glauberit die Figur *D*, welche sich dem Bilde nähert, das ein optisch einaxiger Körper liefert. In der Diagonalstellung aber zeigt er die Erscheinung in Figur *E*, welche durch die Trennung der beiden Hyperbeln die Existenz zweier optischer Axen anzeigt. Aus Individuen mit grossem Axenwinkel können Platten senkrecht gegen eine optische Axe geschnitten werden, welche blos ein einziges Ringsystem mit einem dunklen Schweif zeigen; die Form entspricht aber ganz den Figuren *F* und *G*.

Zur Prüfung von kleinen Mineralblättchen und von Kryställchen, welche frei liegen oder in Dünnschliffen enthalten sind, wird dasselbe Mikroskop Fig. 316 verwendet, welches zur orthoskopischen Untersuchung dient. Es bedarf nur einer leicht ausführbaren Veränderung desselben, um das in das Mineralblättchen einfallende polarisirte Licht convergent zu machen. Zu diesem Zwecke schiebt man in die Oeffnung des Tisches *T* (Fig. 323) von unten her ein Linsensystem, einen Condensator *C*, welcher auf den Polarisator *P* passt, und nimmt das Ocular, welches sich unter dem Analysator befand, heraus. Jetzt gibt das Instrument dieselben Erscheinungen wie das vorher beschriebene Konoskop, denn das Mineralblättchen befindet sich wiederum zwischen halbkugeligen Linsen und gekreuzten Nicols. Das Orthoskop ist in ein Konoskop verwandelt. Diese bequeme Modification wurde von A. von Lasaulx angegeben. (Jahrb. f. Min. 1878, pag. 377.) Zur Aufsuchung der optischen Axen in einem Krystall, in Spaltungs- oder Bruchstücken von Krystallen dient in vielen Fällen das früher [115] erwähnte, von Klein empfohlene Verfahren des Eintauchens in eine Lösung von gleichem Brechungsquotienten. Das durchsichtige Gefäß wird in das Konoskop oder in den später zu beschreibenden Axenwinkelapparat eingeschaltet.

Um die Entstehung der Interferenzfiguren zu begreifen, kann man zuerst die Farbenringe, welche die optisch einaxige Platte liefert, berücksichtigen. Das von der unteren halbkugelförmigen Linse des Instrumentes kommende, polarisirte Licht bildet in der Mineralplatte einen Doppelkegel, Fig. 325, und in dem einfacheren Falle, wie z. B. in der Turmalinzange, bildet das Licht einen einfachen Kegel, Fig. 324, daher die meisten Strahlen schief einfallen, in der Platte doppelt

Fig. 323.

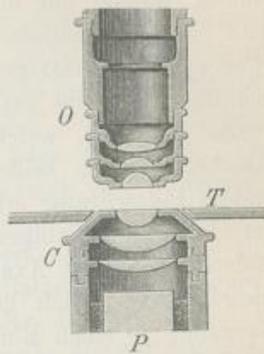


Fig. 324.

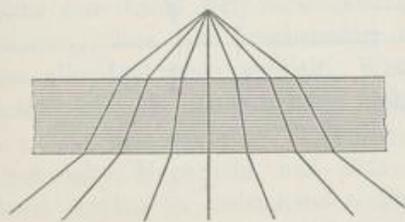
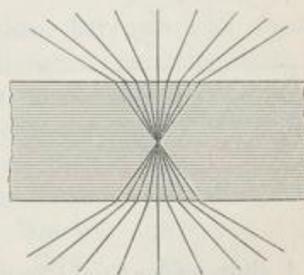


Fig. 325.



gebrochen und unpolarisirt werden. Demzufolge ist hier, wie bei der Anwendung parallelen Lichtes [117], eine Farbenercheinung durch Interferenz zu erwarten. Den einfallenden Lichtkegel kann man sich aus ungemein vielen Kegelmänteln zusammengesetzt denken, welche alle dieselbe Höhe, aber verschiedene Weite haben. Die Strahlen desselben Kegelmantels haben gleiche Neigung gegen die optische Axe des Minerals, geben also bei der Interferenz dieselbe Farbe. Die

Strahlen des folgenden inneren Kegels fallen schon steiler auf die Platte, haben in derselben einen kürzeren Weg zurückzulegen und liefern demgemäss eine andere Farbe u. s. f. In einer optisch einaxigen Platte müssen daher Farben entstehen, welche um die Hauptaxe ringförmig angeordnet und von derselben Art sind, wie die mittels des Newton'schen Glases erzeugten Interferenzringe [106]. Eine optisch zweiaxige Platte, welche senkrecht gegen eine der beiden Axen geschnitten ist, gibt aus demselben Grunde wie die vorige ein Ringsystem. Eine Platte hingegen, welche, wie die früher bezeichneten Platten von Aragonit und Glauberit, gegen beide optische Axen gleich schief geneigt ist, wird eine etwas andere Betrachtung erfordern. Unter den Strahlen des Lichtkegels, welche sehr verschiedene Neigungen haben, wird es solche geben, welche der einen und der anderen optischen Axe parallel sind, aber auch solche, die rings um eine und dieselbe Axe gleich geneigt sind. Diese werden bei dem früher geschilderten Vorgange je einen Ring von gleicher Farbe geben, der aber jetzt etwas verzerrt erscheinen muss, und ebenso werden noch fernere concentrische Farbenringe entstehen.

Um nunmehr die Auslöschungen in der einaxigen Platte zu verfolgen, wird man wiederum zuerst einen einzigen Kegelmantel des einfallenden Lichtes ins Auge fassen. Bestünde derselbe aus gewöhnlichem Lichte, so würden beim Eintritt in die Platte alle Strahlen doppelt gebrochen, so dass daraus zwei Kegelmäntel entstünden, die auf der Platte zwei concentrische Kreise geben. Bei einem negativen Mineral, wie Calcit, bestünde der äussere Kreis durchwegs aus ordinären Strahlen, deren Schwingungen tangential, der innere aber aus extraordinären Strahlen, deren Schwingungen radial wären. Da jedoch das einfallende Licht polarisirt ist, so wird, wenn dessen Schwingungsrichtung parallel  $PP$  ist, Fig. 326.

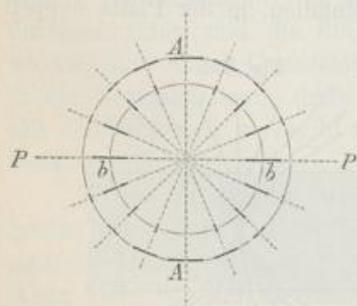


Fig. 326.

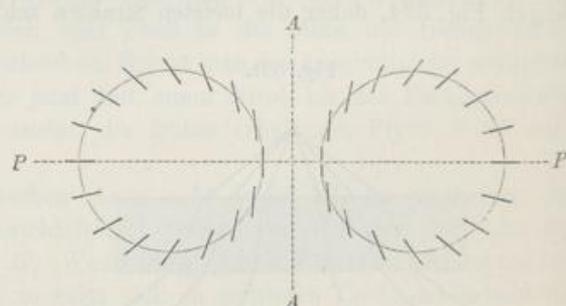


Fig. 327.

ein bei  $A$  eintretender Strahl ungetheilt als ordinärer Strahl durchgehen, während die folgenden Strahlen des Mantels gespalten und unpolarisirt werden, so dass jeder einen ordinären und einen extraordinären Strahl bildet. An der Stelle  $b$  jedoch wird der eintretende Strahl wieder ungetheilt, und zwar als ausserordentlicher Strahl durchgehen. Die zerlegten Strahlen kommen im Analysator zur Interferenz und liefern Ringe, die einfachen bei  $A$  und  $b$  werden ausgelöscht. So entstehen in jedem Kegelmantel vier dunkle Stellen, in allen Mänteln zusammen genommen entsteht das dunkle Kreuz.

Bei der zweiaxigen Platte sind ebenfalls die Strahlen zu betrachten, welche um jede Axe herum gleich geneigt sind, also auf der Platte zwei ovale Ringe ergeben, Fig. 327. Wird für einzelne Punkte jedes Ringes je eine Schwingungsrichtung bestimmt, indem Linien nach jeder Axe gezogen und die entstandenen Winkel halbirt werden [116], so erhält man die in der Figur dieker ausgezogenen Striche; senkrecht zu denselben wäre immer die zweite Schwingungsrichtung hinzuzudenken. Ist nun wieder die Schwingung des einfallenden polarisirten Lichtes parallel  $PP$ , so werden die Stellen auf der Linie  $PP$  Dunkelheit geben, nicht aber die übrigen Stellen der Ringe. Alle um die Axen gedachten, concentrischen Ringe haben sonach zwei dunkle Stellen, wodurch der horizontale Balken der Fig.  $D$  und  $F$  auf Tafel I entsteht. Prüft man ferner die Schwingungsrichtungen auf der punktirten Linie  $AA$  in Fig. 327, so erkennt man, dass alle Punkte derselben Dunkelheit geben, woraus der verticale Balken in den Figuren  $D$  und  $F$  entsteht. Es ist nun auch leicht, die Form der dunklen Hyperbeln abzuleiten, welche bei der Diagonalstellung entstehen, ebenso die übrigen abgebildeten Erscheinungen.

**119. Dispersion der Axen.** An dem Axenbilde der optisch zweiaxigen Körper, wie es im Konoskop erscheint, bemerkt man oft Farbenvertheilungen, welche von der gleichförmigen Anordnung um die optische Axe abweichen und von einer Dispersion der optischen Axen abgeleitet werden. Man erkennt dieselben besonders deutlich an dem Saume der dunklen Hyperbeln und an den ersten Farbenringen. So erscheinen in Fig.  $G$  auf Tafel I, welche das Axenbild des Aragonits darstellt, die Hyperbeln dort, wo sie die Axenpunkte durchsetzen, gegen die Mitte des Gesichtsfeldes blau, nach aussen roth gesäumt. Das Blau ist also gegen die Mitte des Gesichtsfeldes oder Axenbildes geschoben, das Roth aber nach aussen hin gerückt. Dementsprechend sind auch an der Innenseite der ersten Ringe sowohl in der Normalstellung  $F$  als in der Diagonalstellung  $G$  die Farben verschoben, und zwar ist in beiden Fällen das Roth in dem gegen die Mitte der Figur gewendeten Theile des Ringes stärker entwickelt.

Um den Grund der Verschiebung einzusehen, hat man sich zuerst daran zu erinnern, dass die Erscheinung im gewöhnlichen weissen Lichte auftritt, welches alle Lichtarten enthält. Wendet man monochromatisches, z. B. orangefarbiges Licht an, welches der Kürze wegen hier als roth bezeichnet wird, so erhält man schwarze Hyperbeln und blos schwarze Ringe. (Punktirte Linien in beistehender Fig. 328.) Wendet man sodann monochromatisches blaues Licht an, so erhält man wiederum schwarze Hyperbeln und schwarze Ringe, aber nicht mehr genau an derselben Stelle, wie vorhin im rothen Lichte, sondern um etwas verschoben. (Ausgezogene Linien der Figur.) Die Axenpunkte, für roth  $r$  und für blau  $b$ , liegen demnach an verschiedenen Stellen.

Bei Anwendung von Tageslicht wird nun dort, wo die punktirten Linien angegeben sind, rothes Licht vernichtet, die übrigen Lichtarten aber bleiben er-

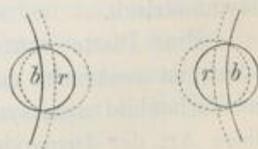


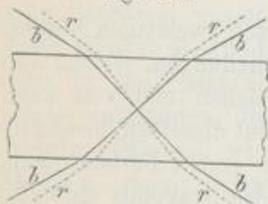
Fig. 328.

halten und geben ein complementäres Blau. An der Stelle, wo die ausgezogenen Linien liegen, wird nur blaues Licht vernichtet, die übrigen Lichtarten liefern ein complementäres Roth. Die an den Hyperbeln und am ersten Ring verschoben auftretenden Farben sind also gleichsam verkehrt zu deuten. Wo roth erscheint, dort ist eigentlich die Hyperbel und der Ring für blau, wo blau erscheint, dort ist eigentlich die Hyperbel und der Ring für roth.

Wo die Hyperbel auch im Tageslichte grau ist, dort werden alle Lichtarten vernichtet.

Genau genommen hat also jede Lichtart ihren besonderen Ring und ihre besondere Hyperbel, also ihr besonderes Axenbild. Weil aber die einzelnen Hyperbeln etwas breiter sind, so fallen sie zum Theil übereinander. Da jede Farbe ihr Axenbild an einer anderen Stelle hat, so wird im allgemeinen auch die Distanz zwischen den Mittelpunkten beider Axenbilder und somit der Axenwinkel für jede Farbe ein anderer sein. Fig. 329. In dem vorigen Beispiele ist der Axenwinkel für roth kleiner als für violett, was man durch  $\rho < \nu$  ausdrückt.

Fig. 329.



Man erkennt dieses daran, dass die Hyperbeln gegen aussen roth gesäumt und die ersten Ringe immer gegen die Mitte des Axenbildes roth gefärbt sind. Wenn hingegen die Ringe innen nach jener Seite hin blau gefärbt sind und ebenso die Hyperbeln nach aussen blau gesäumt sind, wie in Fig. A und B auf Taf. II (Adular), so wird man schliessen, dass der Axenwinkel für roth grösser sei als für blau, was durch  $\rho > \nu$  ausgedrückt wird.

Was nun weiter die Vertheilung der Farben in dem ganzen Bilde betrifft, so kann dieselbe symmetrisch oder unsymmetrisch sein, und zwar herrscht auch hier das Gesetz, dass die Anordnung der Farben dem Charakter der Flächen entspricht, zu welcher die untersuchte Platte parallel ist. Da in dem rhombischen, monoklinen und triklinen Systeme nur disymmetrische, monosymmetrische und asymmetrische Flächen möglich sind, so wird die Dispersion im ganzen Bilde entweder disymmetrisch, monosymmetrisch oder asymmetrisch sein.

Die Aragonitplatte (rhombisch), welche die Bilder F und G auf Taf. I gibt, ist einer Endfläche parallel, also disymmetrisch. Zieht man in den genannten Bildern eine Linie durch die Axenpunkte, eine zweite senkrecht zur vorigen durch die Mitte des Bildes, so sind dieselben Symmetrielinien. Beide Bilder sind disymmetrisch.

Eine Platte von Gyps (monoklin), welche die Bilder C und D auf Taf. II liefert, ist senkrecht gegen die Symmetrieebene geschnitten. Dementsprechend ist das Farbenbild monosymmetrisch, die Symmetrielinie geht durch beide Axenpunkte. Diese Art der Dispersion nennt Neumann geneigte Dispersion.

Der Adular (monoklin) liefert die Bilder A und B auf Taf. II. Die Platte ist senkrecht zur Symmetrieebene, die Dispersion dementsprechend monosymmetrisch. Die Symmetrielinie ist aber senkrecht zur Verbindungslinie der Axenpunkte. Diese Art der Dispersion wird die horizontale genannt.

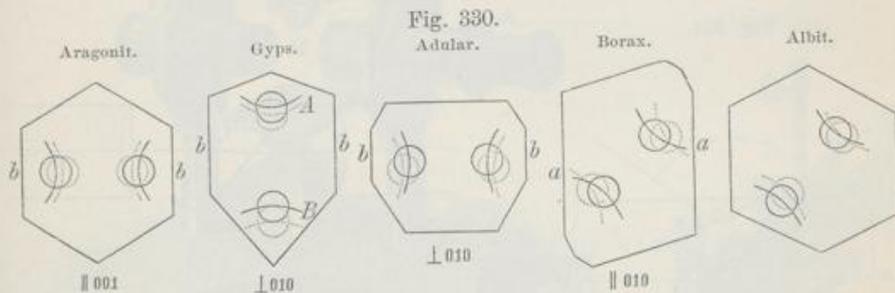
Die asymmetrische Dispersion ist ebenfalls von zweierlei Art. Eine Platte von Borax (monoklin), welche der Symmetrieebene parallel ist, hat einen dimetrischen

Charakter [26]. Sie gibt die Bilder *E* und *F* auf Taf. II, deren Farbenvertheilung dimetrisch ist. Diese Art der Dispersion wird die gedrehte genannt.

Der Oligoklas (triklin) liefert die Bilder *G* und *H* auf Taf. II, welche eine asymmetrische Dispersion zeigen.

Die Erklärung der verschiedenen Dispersionen ist in den schematischen Zeichnungen, Fig. 330, angedeutet, welche beiläufig angeben, wie die Bilder der Axen für verschiedene Farben zu liegen kommen; doch sind die Abweichungen übertrieben dargestellt. Die Ringe für roth sind wiederum punktirt, jene für blau ausgezogen.

Im Aragonit sind die Axen für alle Farben parallel der Querfläche und zugleich symmetrisch zur Längsfläche *b* angeordnet, daher die disymmetrische Zeichnung und Farbenvertheilung des Doppelbildes. Im Gyps liegen alle Axen in der Symmetrieebene, bei *B* sind aber die Axen für roth und blau stärker abweichend als bei *A*, daher die Axenbilder von einander verschieden. Denkt man sich die Mitte zwischen den Axen für roth, sodann die Mitte zwischen jenen für blau, so sind beide in der Symmetrieebene, weichen aber von einander ab. Die Halbierungen der Axenwinkel erscheinen also dispergirt. Im Adular bilden die Axen für jede Farbe mit der Symmetrieebene gleiche Winkel, im übrigen sind sie verschieden gelagert, daher geben sie wiederum eine monosymmetrische Anordnung.



Von Borax muss man eine Platte parallel zur Symmetrieebene nehmen, um die Axen zu sehen. Sowohl jene für blau, als jene für roth bilden mit der Normale auf *b* gleiche Winkel, im übrigen ist ihre Lage verschieden, dies ergibt eine dimetrische Anordnung. Im Adular sind die Halbierungen der spitzen Axenwinkel für verschiedene Farben dispergirt, im Borax fallen sie zusammen, dagegen sind hier die Ebenen der optischen Axen für verschiedene Farben verschieden, also diese Ebenen dispergirt. Der Albit als triklines Mineral zeigt für jede Farbe eine andere Lagerung der Axen ohne Regel, daher die Anordnung eine unsymmetrische, die Axenbilder sind verschieden, die Halbierungen der Axenwinkel und die Ebenen der optischen Axen für verschiedene Farben sind dispergirt.

Eine besondere Art der Dispersion entsteht dadurch, dass die Abweichung der Axenebene für einige Farben  $90^\circ$  beträgt. Fig. *D* und *E* auf Taf. I geben die Erscheinung am Glauberit an, in welchem die Axen für roth in einer Ebene liegen, die in den Figuren horizontal ist, die Axen für blau aber in einer zur vorigen verticalen Ebene. Eine ähnliche Erscheinung zeigt auch der Brookit.

Lit. über die Interferenzfig. etc. in: v. Lang, Einleitung i. d. theoret. Physik.

**120. Axenwinkelapparat.** Die Beobachtung der Interferenzfiguren dient nicht nur zur Unterscheidung der optisch einaxigen und zweiaxigen Minerale und zur Erkennung der Dispersion, sondern auch zur Messung des Winkels der optischen Axen. Zu diesem Zwecke spaltet oder schneidet man eine Platte senkrecht zur Halbirungslinie des spitzen Winkels der optischen Axen, Fig. 331. In dieser bildet jede der beiden Axen mit jener Linie denselben Winkel  $V$ , und es ist  $2V$  der Winkel, welchen die optischen Axen thatsächlich mit einander einschliessen und welcher der wahre Winkel der optischen Axen heisst. Der Lichtstrahl aber, welcher in der Richtung einer optischen Axe durch die Platte  $MM$  gegangen ist, wird beim Austritte in die Luft von dem Einfallslot abgelenkt und bildet nun mit demselben den Winkel  $E$ . Ebenso verhält sich der Strahl, welcher parallel zur zweiten Axe hindurchgeht. Demgemäss ist  $2E$  der Winkel, den man bei der Beobachtung in Luft erhält. Er ist der scheinbare Winkel der optischen Axen in Luft und ist immer grösser als der wahre. Im Folgenden wird nach dem Vorschlage von Descloizeaux die Hälfte des wahren spitzen Winkels mit  $V_o$ , die Hälfte des wahren stumpfen Winkels mit  $V_s$ , ferner die Hälfte des scheinbaren Winkels in Luft mit  $E_a$  und  $E_o$  bezeichnet.

Um den scheinbaren Winkel zu messen, bringt man die Platte in ein Instrument, welches wie ein Konoskop gebaut ist und ein Fadenkreuz im Ocular

Fig. 331.

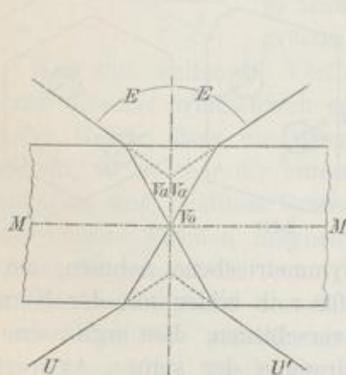


Fig. 332.

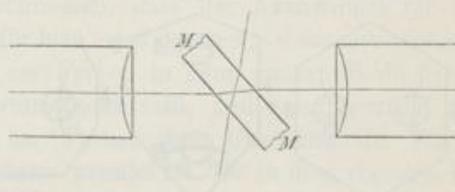
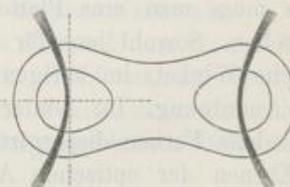


Fig. 333.



hat, und stellt in diesem zuerst das eine, dann das zweite Axenbild an dem Kreuzpunkte ein. Die zwischen beiden Einstellungen erfolgte Drehung wird an dem Limbus oder Vollkreis  $V$ , mit welchem die untersuchte Platte in Verbindung steht, abgelesen.

Die Fig. 332 zeigt die Stellung der Platte von oben gesehen in dem Augenblicke der Beobachtung der einen Axe, die Fig. 333 gibt die entsprechende Coincidenz des Fadenkreuzes mit dem Centralpunkte des Axenbildes an. Fig. 334 liefert die Ansicht des Axenwinkelapparates nach der v. Lang'schen Construction. Die verticale drehbare Axe hat oberhalb des Limbus  $V$  einen Zeiger, unterhalb

desselben eine Vorrichtung *C* zum Centriren und eine solche *J* zum Justiren der in der Pincette befindlichen Platte.<sup>1)</sup>

Um den Axenwinkel auch bei höheren Temperaturen zu bestimmen, setzt man auf den Träger *T* einen durchsichtigen Luftkasten, in welchen man das Mineralplättchen hinabsenkt, Fig. 335. Die Temperatur, welche die Umgebung des letzteren in Folge der Erhitzung durch die Flammen *F F* angenommen hat, wird an zwei Thermometern abgelesen.

Fig. 334.

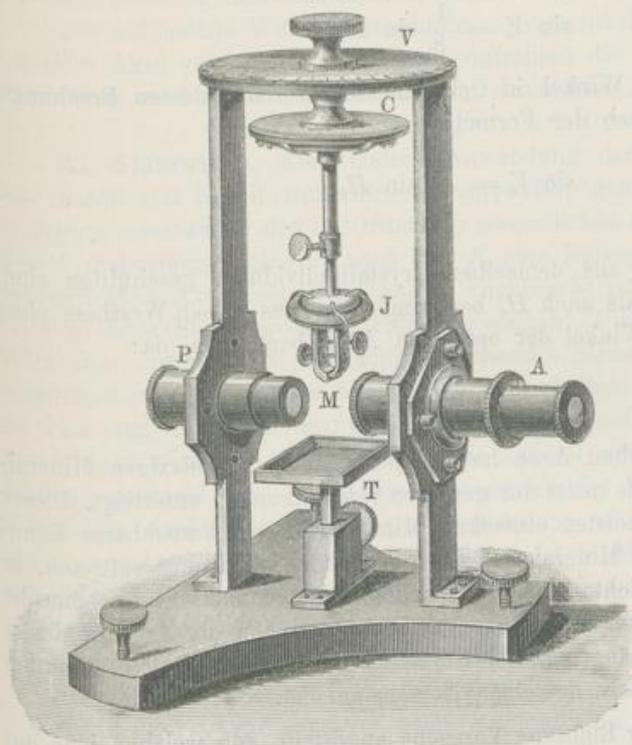


Fig. 336.

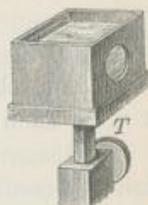
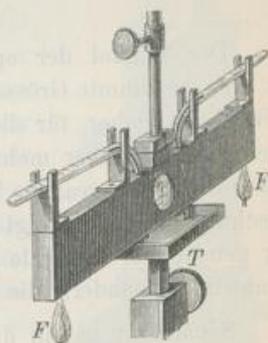


Fig. 335.



Wenn der Axenwinkel so gross ist, dass  $V_0$  den Winkel der totalen Reflexion erreicht oder überschreitet, so sieht man in der Luft kein Axenbild mehr. Man kann sich aber in vielen Fällen damit helfen, dass man die Platte in Oel taucht, welches in einem durchsichtigen Behälter enthalten ist und welches die totale Reflexion an der Grenze von Mineral und Luft aufhebt. Fig. 336. Die hier beobachteten Winkel werden mit  $H_a$  und  $H_o$  bezeichnet.

<sup>1)</sup> Man kann an jedem Konoskop einen Limbus mit drehbarer Axe anbringen und dadurch die Messung des Axenwinkels ermöglichen. In dem Apparat von G. Adams und E. Schneider sind die beiden halbkugeligen Linsen sammt Mineralplatte drehbar. Man erhält hier den Axenwinkel in Glas. Der Apparat gestattet die Messung sehr stumpfer Axenwinkel und ist für die erste Orientirung sehr brauchbar. (Becke in Tschermak's Mineral. u. petr. Mith., Bd. 2, pag. 430.) Eine annähernde Bestimmung des Axenwinkels gelingt in jedem Konoskop einfach dadurch, dass eine in Glas geätzte Skale an geeigneter Stelle eingelegt wird, nachdem die Theilung empirisch ausgewerthet worden.

Um in sehr kleinen Mineralblättchen den Axenwinkel bestimmen zu können, wird auf den Tisch des Mikroskopes, Fig. 316, nachdem der Condensor eingeschoben worden, ein kleiner Apparat aufgestellt, welcher aus einer horizontalen drehbaren Axe besteht, an welcher das Blättchen befestigt wird, ferner aus einem getheilten Halbkreis, welcher vertical auf den Tisch des Instrumentes zu stehen kommt.

In der Richtung der optischen Axen herrscht einfache Brechung. Der zugehörige Brechungsquotient wird  $\beta$  genannt. Man kann den wahren Winkel der optischen Axen aus dem scheinbaren berechnen, wofern man die Formel:

$$\sin V_a = \frac{1}{\beta} \sin E_a$$

benutzt. Ist der scheinbare Winkel in Oel gemessen worden, dessen Brechungsquotient  $n$ , so kann man nach der Formel:

$$\sin V_a = \frac{n}{\beta} \sin H_a$$

rechnen.

An zwei Platten, die aus demselben Krystallindividuum geschnitten sind, kann man öfter sowohl  $H_a$  als auch  $H_o$  bestimmen und aus diesen Werthen, ohne  $\beta$  zu kennen, den wahren Winkel der optischen Axen berechnen, da:

$$\operatorname{tg} V_a = \frac{\sin H_a}{\sin H_o}$$

Der Winkel der optischen Axen hat bei jeder optisch zweiaxigen Mineralart eine bestimmte Grösse, die meist nur geringen Schwankungen unterliegt. Dieser Winkel ist daher für die meisten einfachen Mineralarten ein brauchbares Kennzeichen. Wenn aber mehrere Mineralarten in isomorpher Schichtung auftreten, so hat jede anders geartete Schichte auch einen anderen Axenwinkel. Eine isomorphe Mischung hingegen zeigt einen Axenwinkel, dessen Grösse von der Art und Menge der gemischten Minerale abhängt. Derlei Krystalle haben also keinen bestimmten Axenwinkel, sondern die Grösse desselben ist schwankend.

Sénarmont hat in dieser Richtung Versuche angestellt, von welchen jene am wichtigsten sind, welche er an isomorphen Mischungen von weinsaurem Natronkali und von weinsaurem Natronammoniak, welche auch Seignettesalze genannt werden, ausführte. Die beiden einfachen Salze haben ungefähr gleichen Axenwinkel und  $\rho > v$ , jedoch liegen die Axenebenen in dem einen und in dem anderen Salze senkrecht zu einander. Die Mischkrystalle zeigen nun bei steigendem Gehalte an dem Ammonsalze immer kleinere Axenwinkel, bis bei einem bestimmten Gehalte der Axenwinkel für roth, dann jener für violett gleich Null wird und hierauf die Axen in der zur vorigen senkrechten Ebene wieder auseinander gehen. (Pogg. Ann. Bd. 86, pag. 35 und 70.)

Die Dispersionserscheinungen an den Axenbildern haben schon erkennen lassen, dass der Axenwinkel für verschiedene Farben nicht genau dieselbe Grösse habe; daher ist bei genaueren Bestimmungen der Axenwinkel für jede einzelne Farbe zu ermitteln. In diesem Falle verwendet man für die Beobachtung solche

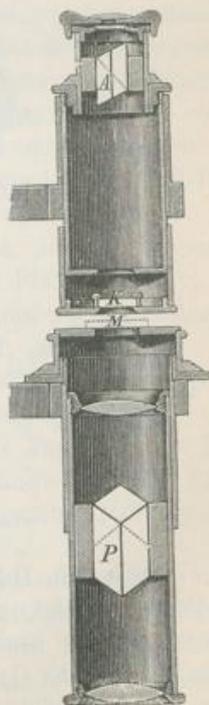
Vorrichtungen, welche möglichst monochromatisches Licht in den Apparat senden. Gewöhnliches Licht durch gefärbte Gläser gehen zu lassen, ist nur für wenige Glassorten zu empfehlen. Das Kupferoxydulglas gibt fast monochromatisches Roth, das grüne Glas ist schon weniger geeignet, die blauen Gläser noch weniger, die gelben gar nicht. Dagegen erhält man vollständig oder nahezu vollständig monochromatisches Licht durch gefärbte Flammen. Die Flamme des Bunsen'schen Gasbrenners mit Lithiumsalz gefärbt, liefert ziemlich reines Roth, mit Natriumsalz, z. B. Kochsalz, oder besser mit Bromnatrium gefärbt, monochromatisches Gelb, mit Thalliumsalz gefärbt, monochromatisches Grün.

Die auf solche Weise beobachteten Axenwinkel geben die Dispersion der optischen Axen zahlenmässig an und controliren die vorhin geschilderten Wahrnehmungen an der Farbenvertheilung im Axenbilde.

**121. Stauroskop.** Eine andere Anwendung der Interferenzfiguren wird in dem zuerst von Kobell construirten Stauroskop gemacht. Dieses Instrument ist so gebaut, dass ausser den im Orthoskop wesentlichen Stücken, nämlich den beiden Nicols und einigen Linsen, noch bei *K* eine Kalkspathplatte, welche senkrecht zur optischen Axe geschnitten wurde, angebracht ist, und zwar an einer Stelle, wo ein Lichtkegel entsteht. Fig. 337. Wird nun unterhalb *K* ein doppelbrechendes Mineral so eingeschoben, dass es ohne den Kalkspath Dunkelheit gäbe, so wird jetzt die Interferenzfigur des Kalkspathes auftreten. Diese Figur wird aber gestört, sobald das Mineral aus jener Stellung gebracht wird. Man kann also mittels des Stauroskopes die Auslöschungsrichtungen bestimmen, und zwar etwas genauer als mit dem Orthoskop. Jedoch ist die Methode des Stauroskopes nur dann vorzuziehen, wenn die zu untersuchende Platte völlig klar ist. Anstatt der einfachen Kalkspathplatte empfiehlt Brezina, zwei derlei Platten zu nehmen, welche gegen einander etwas schief liegen, weil diese eine Interferenzfigur liefern, welche noch empfindlicher ist als die einfache Figur des Kalkspathes, indem die Störung mehr auffällt.

Um auch gefärbte Minerale prüfen zu können, wendet L. Calderon eine Calcitplatte an, welche aus einem künstlichen Zwillings nach *R* so geschnitten ist, dass die Zwillings-ebene vertical zu stehen kommt, und entfernt die Sammellinse, daher nun der Apparat in ein Orthoskop verwandelt erscheint. Die Einstellung geschieht auf genau gleiche Dunkelheit der beiden Hälften der Calcitplatte. (Zeitschr. f. Kryst., Bd. 2, pag. 69.) Die Genauigkeit der Resultate ist grösser als bei dem einfachen Orthoskop und dem vorgenannten Stauroskop. Bertrand wendet ein Plattensystem an, welches aus zwei rechtsdrehenden und zwei linksdrehenden Quarzplatten von gleicher Dicke besteht, deren Grenzen ein rechtwinkeliges Kreuz bilden.

Fig. 337.



**122. Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung.** Um an optisch einaxigen Mineralen zu erkennen, ob dieselben positive oder negative Doppelbrechung haben, schiebt man die zur optischen Axe senkrecht geschnittene Platte in das Konoskop, wodurch die Interferenzfigur *B* auf Taf. I entsteht. Hierauf wird in den freien Raum unterhalb des Analysators eine Glimmerplatte (Viertelundulations-Glimmerplatte) gebracht. Dieselbe ist aus Kaliglimmer (Muscovit) so dünn gespalten, dass sie die nachstehende Erscheinung veranlasst. An der Glimmerplatte hat man sich die Ebene der optischen Axen durch einen Pfeil angemerkt. Sie wird horizontal so eingeschoben, dass der Pfeil in der Diagonalstellung erscheint. Jetzt ist die Interferenzfigur gestört, das Kreuz ist geöffnet, und es treten zwei Hyperbeln auf, welche an ihren Scheiteln zu grauen Punkten angeschwollen sind. Fig. 338. Die Ringe sind innerhalb jeder Hyperbel hinausgeschoben, während sie in dem Raume zwischen beiden Hyperbeln hereingeschoben und verengert erscheinen.

Wenn die Verbindungslinie der beiden grauen Punkte so liegt, dass ihre Richtung den Pfeil senkrecht kreuzt, so ist die untersuchte Platte positiv, wenn aber jene Verbindungslinie dieselbe Lage hat, wie der Pfeil, ist die untersuchte Platte negativ.

Fig. 338.

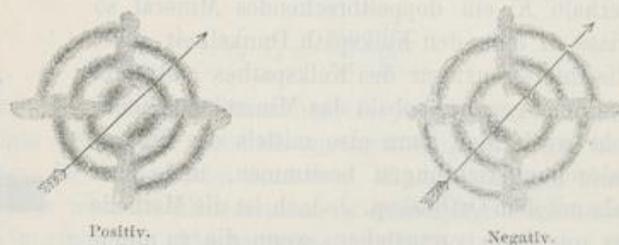
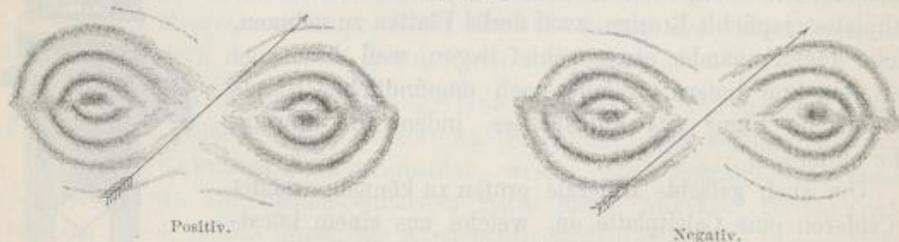


Fig. 339.



Auch mit Hilfe eines Gypsblättchens, welches als Polarisationsfarbe Roth I. Ordnung zeigt, und an welchem man die Lage der Auslöschungsrichtungen angemerkt hat, lässt sich die Bestimmung leicht und bequem ausführen. Nach Einschubung der Gypsplatte in der Diagonalstellung erscheinen die vier Quadranten des Interferenzbildes um den Mittelpunkt herum abwechselnd blau und gelb gefärbt. Das Verhalten der optisch positiven und der optisch negativen Platten ist wieder um  $90^\circ$  verschieden.

Optisch zweiaxige Medien können auch als positive und negative unterschieden werden, weil von den beiden Strahlen, welche sich den Halbierungslinien

des spitzen und des stumpfen Axenwinkels entlang bewegen, der eine sich zu dem anderen verhält wie ein ordentlicher Strahl zum ausserordentlichen.

Hat man die Interferenzfigur der optisch zweiaxigen Platte erzeugt, und ist diese in der Normalstellung, wie Fig. *F* auf Taf. I, so schiebt man die vorgenannte Glimmerplatte so ein wie im vorigen Falle, also in der Diagonalstellung. Auch hier erscheint nunmehr die Interferenzfigur gestört. In zweien der Quadranten sind die Ringe erweitert, in den abwechselnden Quadranten aber verengert. Fig. 339. Die Unterscheidung erfolgt entsprechend der früheren. Geht die Richtung des Pfeiles durch die Quadranten der verengerten Ringe, so ist die untersuchte Platte positiv, geht sie durch die Quadranten der erweiterten Ringe, so ist die untersuchte Platte negativ.

Auch mit Quarzkeilen und Quarzplatten kann die Unterscheidung der optisch zweiaxigen Platten ausgeführt werden. Man hat zur optischen Axe senkrecht geschnittene Quarzplatten von verschiedener Dicke vorrätig, aus welchen man in jedem Falle eine solche auswählt, welche die folgende Erscheinung am deutlichsten zeigt. Nachdem die Interferenzfigur, aber diesmal in der Diagonalstellung, also wie Fig. *G* auf Taf. I, erzeugt worden, wird die Quarzplatte in den Raum unterhalb des Analysators horizontal eingeschoben. Die Figur erscheint verändert. Jetzt wird die Quarzplatte mit freier Hand ein wenig um eine horizontale Axe gedreht, so dass die Lichtstrahlen durch eine immer dickere Quarzschicht gehen müssen. Man macht nun den Versuch zweimal, und zwar einmal so, dass die Drehungsaxe senkrecht zur Ebene der optischen Axen ist, und einmal so, dass die Drehungsaxe zu dieser Ebene parallel ist. In einem der beiden Versuche zeigt sich eine deutliche Vergrößerung der Ringe in der Interferenzfigur, so dass dieselben in der Mitte des Gesichtsfeldes zusammenlaufen. Diese Vergrößerung ist entscheidend. Erfolgt sie, wenn die Drehungsaxe senkrecht zur Ebene der optischen Axen, so ist die untersuchte Platte positiv, tritt sie aber ein, wenn die Drehungsaxe parallel zur Ebene der optischen Axen, so ist die untersuchte Platte negativ.

Macht man den Versuch mit einem Quarzkeil, so achtet man auf die Stellung der scharfen kürzeren Kante desselben. Der Quarzkeil wird, nachdem die zu prüfende Platte diagonal gestellt worden, einmal so eingeschoben, dass die längere Kante mit der Ebene der optischen Axen in der Platte parallel, folglich die kürzere Kante zu dieser senkrecht ist, und einmal so, dass die kürzere Kante der Ebene der optischen Axen parallel ist. Vergrössern sich die Ringe im ersten Fall, so ist die Platte optisch positiv, vergrössern sie sich im zweiten Fall, so ist sie optisch negativ.

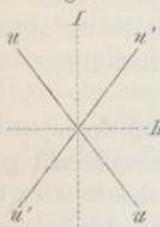
In Dünnschliffen lässt sich der optische Charakter bei Anwendung des früher bezeichneten combinirenden Verfahrens [117] mittels dünner Blättchen von Glimmer oder Gyps durch Beobachtung des Steigens oder Fallens der Interferenzfarbe leicht bestimmen. Für sehr kleine lose Blättchen eignet sich der Quarzkeil, dessen Farbstreifen durch das Blättchen im Sinne des Steigens oder Fallens verschoben erscheinen.

Zuweilen lässt sich die Prüfung eines Mineralen sowohl im spitzen wie im stumpfen Axenwinkel anstellen. In dem ersteren zeigt sich immer ein anderes Verhalten als im zweiten, gibt der eine das Resultat positiv, so gibt der andere

das Resultat negativ. Wenn man aber im allgemeinen von positiv oder von negativ spricht, so bezieht sich dies immer auf den spitzen Axenwinkel.

**123. Optische Orientierung.** Um bei den optisch zweiaxigen Körpern sowohl die Lage der optischen Axen gegen die Krystallform angeben als auch den optischen Charakter bezeichnen zu können, bedient man sich der in der theoretischen Optik üblichen Hilfsmittel und Ausdrücke. Die Halbierungslinie des spitzen Winkels der optischen Axen heisst erste Mittellinie oder Bisectrix, die Halbierungslinie des stumpfen Winkels der optischen Axen heisst zweite Mittellinie oder Bisectrix. Diese beiden Mittellinien liegen in der Ebene der optischen Axen und sind senkrecht zu einander. Fig. 340. Eine Linie, welche zu den beiden Mittellinien, also auch zur Ebene der optischen Axen senkrecht ist, wird die optische Normale genannt. Sie erscheint nicht in der Zeichnung. Die drei Ebenen, welche durch die drei genannten Linien gehen, heissen optische Hauptschnitte. Der eine davon ist also die Ebene der optischen Axen, der zweite geht durch die eine Mittellinie und die Normale, der dritte geht durch die andere Mittellinie und die Normale.

Fig. 340.

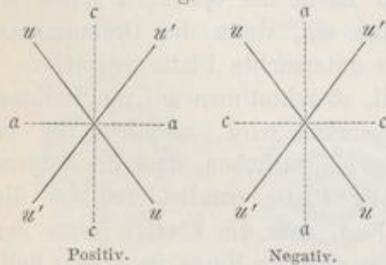


Die vorher benannten drei Linien werden auch Elasticitätsachsen und Hauptschwingungsrichtungen genannt. Man unterscheidet eine Axe der grössten Elasticität  $a$ , eine der mittleren Elasticität  $b$  und eine der kleinsten Elasticität  $c$ . Die Normale ist immer zugleich Axe der mittleren Elasticität. Die beiden Mittellinien kommen mit den beiden übrigen Elasticitätsachsen überein, und zwar entsprechend dem Charakter der Doppelbrechung. Fig. 341.

Die Ebene der optischen Axen enthält demnach immer die Elasticitätsachsen  $a$  und  $c$ . Man bezeichnet häufig  $a$  als negative,  $c$  als positive Mittellinie.

Die drei Elasticitätsachsen erscheinen in jedem optisch zweiaxigen Krystall so gelagert, dass in den holoëdrischen Krystallen durch das Einfügen der Elasticitätsachsen die Symmetrie nicht gestört wird und dass in den hemiëdrischen Krystallen die Stellung der Elasticitätsachsen dieselbe ist wie in den entsprechenden holoëdrischen. Demnach sind in jedem rhombischen Krystall, mag derselbe ein holoëdrischer oder ein hemiëdrischer sein, die Elasticitätsachsen den drei Krystallachsen parallel; in monoklinen Krystallen ist eine der drei Elasticitätsachsen der Symmetrieaxe parallel, während die beiden anderen Elasticitätsachsen in der Symmetrieebene liegen. In triklinen Krystallen folgt die Lage der Elasticitätsachsen keiner bestimmten Regel.

Fig. 341.



Positiv.

Negativ.

1. In den optisch positiven Körpern ist die erste Mittellinie zugleich Axe der kleinsten Elasticität, also erste Mittellinie =  $c$ , zweite Mittellinie =  $a$ , Normale =  $b$ .

2. In den negativen Krystallen ist die erste Mittellinie zugleich Axe der grössten Elasticität, also erste Mittellinie =  $a$ , zweite Mittellinie =  $c$ , Normale =  $b$ .

Die Ebene der optischen Axen enthält demnach immer die Elasticitätsachsen  $a$  und  $c$ .

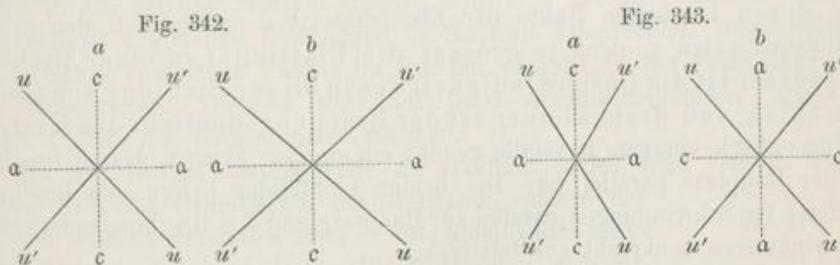
Man bezeichnet häufig  $a$  als negative,  $c$  als positive Mittellinie.

Die drei Elasticitätsachsen erscheinen in jedem optisch zweiaxigen Krystall so gelagert, dass in den holoëdrischen Krystallen durch das Einfügen der Elasticitätsachsen die Symmetrie nicht gestört wird und dass in den hemiëdrischen Krystallen die Stellung der Elasticitätsachsen dieselbe ist wie in den entsprechenden holoëdrischen. Demnach sind in jedem rhombischen Krystall, mag derselbe ein holoëdrischer oder ein hemiëdrischer sein, die Elasticitätsachsen den drei Krystallachsen parallel; in monoklinen Krystallen ist eine der drei Elasticitätsachsen der Symmetrieaxe parallel, während die beiden anderen Elasticitätsachsen in der Symmetrieebene liegen. In triklinen Krystallen folgt die Lage der Elasticitätsachsen keiner bestimmten Regel.

Denkt man sich in einem positiven zweiaxigen Krystall den Axenwinkel kleiner werdend, bis zur Grenze Null, so gelangt man zur Vorstellung eines optisch positiven einaxigen Körpers. In diesem ist die Hauptaxe zugleich Axe der kleineren Elasticität  $c$ , und die beiden anderen Elasticitätsaxen bieten hier keinen Unterschied, sie sind einander gleich. Wird in einem negativen zweiaxigen Krystall der Axenwinkel bis zur Grenze Null verfolgt, so ergibt sich das Schema des negativen einaxigen Krystalls, dessen Hauptaxe eine Axe grösserer Elasticität  $a$  ist, während senkrecht dazu allenthalben gleiche, aber kleinere Elasticität herrscht.

Die Lage der optischen Axen, der Winkel derselben, die Dispersion und der optische Charakter sind in jedem Mineral, welches nicht aus isomorphen Schichten aufgebaut ist oder eine isomorphe Mischung darstellt, constant, folglich geben diese Eigenschaften bestimmte Merkmale solcher Minerale an. Jeder Krystall und jedes Krystallbruchstück von Gyps zeigt dieselbe Lage der optischen Axen, folglich auch dieselbe Lage der Auslöschungsrichtungen, ergibt denselben Winkel der optischen Axen, dieselbe Dispersion und den gleichen optischen Charakter. Man kann daher winzige Splitter oder Körnchen von Gyps, wenn dieselben durchsichtig sind, auf optischem Wege als zum Gyps gehörig bestimmen.

Minerale, welche isomorphe Mischungen sind, haben variable optische Eigenschaften, doch bleiben sich oft auch in solchen Mineralen die optischen Verhältnisse beiläufig gleich. Wenn aber der Winkel der optischen Axen  $u$  und  $u'$  stark variirt, so kann es vorkommen, dass in der einen Mischung jener Winkel kleiner als  $90^\circ$ , in der anderen Mischung, welche gleiche Form und gleiche Spaltbarkeit besitzt, jener Winkel bei gleicher krystallographischer Stellung grösser als  $90^\circ$  ist,  $a$  und  $b$  in Fig. 342. Dann zeigt die eine Mischung in dem spitzen Winkel



der optischen Axen den positiven, die andere den negativen Charakter, und doch liegen die Elasticitätsaxen in beiden gleich. Der Winkel von  $90^\circ$  ist eben die Grenze zwischen positivem und negativem Charakter. Ein Beispiel gibt der Bronzit (rhombisch), von welchem einige Exemplare positiv sind, weil die optischen Axen um die aufrechte Axe einen spitzen Winkel bilden, während andere, durch grösseren Eisengehalt dunkler gefärbte Exemplare negativ sind, weil jener Axenwinkel ein stumpfer ist.

Zuweilen kommen Minerale, welche eine verschiedene Orientirung des optischen Charakters besitzen, in isomorpher Schichtung oder Mischung vor. Fig. 343. Bei isomorpher Schichtung oder ungleichförmiger Mischung zeigt der Krystall zuweilen an einem Punkte positives, an einem anderen aber negatives Verhalten. Bei gleichförmiger Mischung sind oft einige Krystalle positiv, die anderen negativ,

je nach dem Vorwalten der einen oder der anderen Mineralart. Beispiele solcher optisch zweiachsigter Mischungen bieten die Chlorite, optisch einachsigter der Apophyllit.

**124. Hauptbrechungsquotienten.** In geeignet geschnittenen Platten doppeltbrechender Körper geben die Auslöschungsrichtungen [116] zugleich die Richtungen der Elasticitätsachsen an.

Wird aus einem optisch zweiachsigem Krystall eine Platte parallel der Ebene der optischen Axen geschnitten, so liefert dieselbe Auslöschungsrichtungen, welche der Axe der grössten und jener der kleinsten Elasticität parallel sind. Eine zur vorigen senkrechte Platte liefert zwei Auslöschungsrichtungen, von welchen eine der Axe der mittleren Elasticität parallel ist. Eine Platte, die aus einem optisch einachsigem Körper parallel zur Hauptaxe geschnitten ist, liefert Auslöschungsrichtungen parallel den Richtungen der grössten und der kleinsten Elasticität. Die Auslöschungsrichtungen geben aber die Schwingungsrichtungen der austretenden Strahlen an.

Schneidet man aus jenen Platten optisch zweiachsigter Krystalle Prismen derart, dass die brechenden Kanten der Prismen den Auslöschungsrichtungen parallel sind, so kann man die Brechungsquotienten jener Strahlen, deren Schwingungen den Elasticitätsachsen parallel sind, die Hauptbrechungsquotienten bestimmen. Jedes dieser Prismen liefert zwei Spectren, von welchen man dasjenige benutzt, welches zufolge der Prüfung mit dem Nicol jenen Schwingungen entspricht, welche der brechenden Kante parallel sind. Man erhält also mittels des einen Prisma, dessen brechende Kante der Elasticitätsaxe  $a$  parallel ist, den kleinsten Brechungsquotienten  $\alpha$ , mittels des Prisma, dessen brechende Kante der Elasticitätsaxe  $b$  parallel ist, den mittleren Brechungsquotienten  $\beta$  und mittels des Prisma, dessen brechende Kante der Elasticitätsaxe  $c$  parallel ist, den grössten Brechungsquotienten  $\gamma$ , denn je grösser die Elasticität in einer Richtung, desto grösser ist die Geschwindigkeit des in dieser Richtung schwingenden Strahles, und desto kleiner ist der Brechungsquotient des letzteren.

Für optisch einachsigte Krystalle genügt ein einziges Prisma, dessen brechende Kante der Hauptaxe parallel ist. Die beiden Lichtbilder liefern den Brechungsquotienten  $\varepsilon$  für Schwingungen parallel zur Hauptaxe und den Brechungsquotienten  $\omega$  für Schwingungen senkrecht zur letzteren.

Die Differenz  $\gamma - \alpha$  gibt die Grösse der Doppelbrechung optisch zweiachsigter Körper an. Für optisch einachsigte ist  $\varepsilon - \omega$  die Grösse der Doppelbrechung optisch positiver,  $\omega - \varepsilon$  die Grösse der Doppelbrechung optisch negativer Krystalle. In Platten und Dünnschliffen lassen sich diese Differenzen mittels des Compensators von Babinet bestimmen, während zur Ermittlung der absoluten Grösse der Brechungsquotienten wiederum die Methode des Duc de Chaulnes [98] unter Anwendung eines Nicols dient.

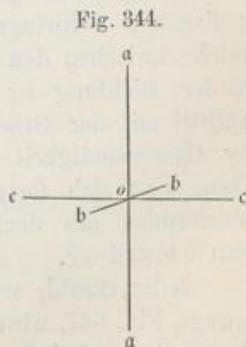
**125. Theoretische Erläuterung.** Um den Zusammenhang zwischen der Art der Lichtbrechung und der Bauweise der Krystalle zu erkennen, denkt man sich der von Fresnel begründeten Theorie gemäss den Aether in den Krystallen so vertheilt, wie es der Anordnung der Krystallmolekel in denselben entspricht, und berücksichtigt, dass die Lichtbewegung wellenförmig fortgepflanzt wird.

In den tesselalen Krystallindividuen, die einen regulären Bau besitzen, herrscht eine gleichförmige Vertheilung des Aethers, daher Licht, welches von einem Punkte im Inneren ausgehend gedacht wird, sich kugelförmig ausbreiten wird. Die Welle ist in diesem Falle eine einfache, demgemäss die Lichtbrechung eine einfache, wie in den amorphen Körpern, in welchen zwar die Vertheilung des Aethers keine vollkommen regelmässige, doch im Ganzen und Grossen eine solche ist, dass keine Richtung vor der anderen einen Vorzug hat.

Die Krystalle von wirteligem Baue besitzen in allen Ebenen parallel zur Basis eine reguläre, senkrecht dazu eine andere Anordnung. In jenen Ebenen ist der Aether gleichförmig vertheilt, daher Licht, welches in einer solchen Ebene schwingt, sich so fortpflanzt, wie in einem tesselalen Krystall. Denkt man sich nun Licht von einem Punkte im Innern ausgehend, so wird nur jener Strahl, welcher zur Hauptaxe parallel ist, als gewöhnlicher Strahl fortschreiten, weil seine Schwingungen sämmtlich der Basis parallel sind. Jeder der übrigen Strahlen aber wird sich zerlegen müssen, weil den Schwingungen, welche parallel zur Basis erfolgen, eine andere Fortpflanzungs-Geschwindigkeit zukommt als den anderen. Diese Strahlen werden demnach durchwegs gespalten und polarisirt. Die einen (ordentlichen) Strahlen schreiten als kugelförmige Welle fort. Durch die Pole der Kugel geht die Hauptaxe, die Schwingungen erfolgen alle parallel zu den Ebenen der Parallelkreise. Die anderen (ausserordentlichen) Strahlen geben eine ellipsoidische Welle. Die Axe des Ellipsoides liegt in der Hauptaxe, die Schwingungen erfolgen alle parallel den Meridianebenen.

In den Krystallen von einfacherem Baue ist die Vertheilung des Aethers nach den drei Richtungen des Raumes verschieden. Ein gewöhnlicher Strahl, welcher in ein solches Medium eintritt, wird sich zerlegen müssen, weil seine Schwingungen ungleichen Richtungen im Krystall entsprechen. Demgemäss wird Licht, welches von einem Punkte im Inneren ausgeht, in der Form einer Doppelwelle fortschreiten. Dieselbe wird auf jeder durchschneidenden Ebene zwei krumme Linien, die Wellenlinien, erzeugen.

Um die Gestalt dieser Welle zu erkennen, wird man darauf Rücksicht nehmen, dass den Grundsätzen der Mechanik zufolge der Aether in solchen Krystallen stets in drei aufeinander senkrechten Richtungen, den optischen Elasticitätsaxen, sich verschieden verhalten muss. Nach einer bestimmten Richtung  $aa$  ist die Elasticität am grössten, nach einer zur vorigen senkrechten Richtung  $cc$  am kleinsten, und eine zu den beiden vorigen senkrechte Richtung besitzt einen Grad der Elasticität, welcher zwischen jenen Grenzen liegt. Die drei Elasticitätsaxen  $aa$ ,  $bb$  und  $cc$  haben demnach eine Lage wie die drei Krystallaxen im rhombischen System. Fig. 344. Die Bezeichnung der Elasticitätsaxen ist in den folgenden vier Figuren hinzuzudenken.



Denkt man sich nun in Fig. 345 von einem Punkte  $o$  innerhalb des Krystalls einen Lichtstrahl in der Richtung  $oa$  fortschreitend, so würden dessen Schwingungen, wenn er sich als gewöhnliches Licht fortpflanzen könnte, senkrecht zur

Linie  $oa$  in allen Azimuthen stattfinden. Hier aber, wo der Strahl zweierlei Elasticitäten antrifft, schwingt derselbe, jeder der beiden Elasticitäten entsprechend, erstens parallel  $cc$ , wobei er in der Zeiteinheit von  $o$  bis  $c$  fortschreitet, zweitens aber schwingt er parallel  $bb$ , wobei er in derselben Zeit bis  $b$  fortschreitet. Somit besteht der Strahl eigentlich aus zwei polarisirten Strahlen von verschiedener Geschwindigkeit. Ferner würde ein Strahl, welcher die Richtung  $ob$  einschlägt, aus zwei Theilen bestehen, von welchen der eine wiederum parallel  $cc$  schwingt und in der Zeiteinheit bis  $c$  gelangt, während der andere, parallel  $aa$  schwingend, die Geschwindigkeit  $oa$  besitzt. Ein jeder Strahl, welcher sich von  $o$  aus zwischen den beiden Linien  $oa$  und  $ob$  fortpflanzt, zerfällt in zwei Theile, wovon der eine wiederum parallel  $cc$  schwingt und in der Zeiteinheit einen Weg macht, welcher so lang als  $oc$  ist, während der andere in einer Zwischenrichtung zwischen  $aa$  und  $bb$  schwingt und demgemäss eine zwischen  $oa$  und  $ob$  liegende Geschwindigkeit hat. Strahlen also, welche, von  $o$  ausgehend, nach allen Richtungen in der Ebene  $ab$  sich fortpflanzen, bilden mit ihren Endpunkten zwei Wellenlinien, eine innere kreisförmige mit dem Radius  $oc$ , und eine äussere elliptische mit den Halbachsen  $oa$  und  $ob$ .

Fig. 345.

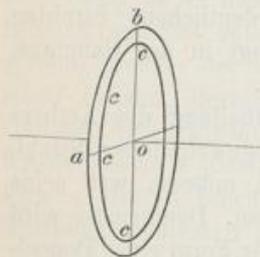


Fig. 346.

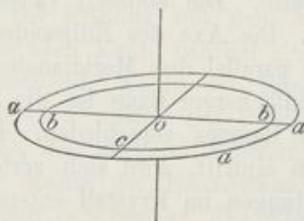
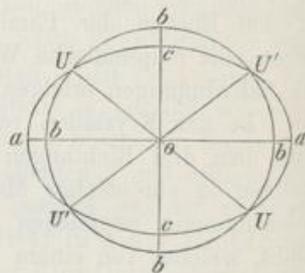


Fig. 347.



Jeder Strahl, welcher von  $o$  aus zwischen den Linien  $ob$  und  $oc$  sich bewegt, Fig. 346, wird in zwei Theile zerfallen, deren einer parallel  $aa$  schwingt und die Geschwindigkeit  $oa$  besitzt, während der andere eine zwischen  $bb$  und  $cc$  liegende Schwingungsrichtung hat und demgemäss eine Geschwindigkeit, welche zwischen den Grenzen  $ob$  und  $oc$  liegt. Ein Strahl hingegen, welcher in der Richtung  $oc$  fortgeht, gibt wiederum einen parallel  $aa$  schwingenden Antheil mit der Geschwindigkeit  $oa$  und einen parallel  $bb$  schwingenden von der Geschwindigkeit  $ob$ . Strahlen also, welche von  $o$  ausgehen und in der Ebene  $boc$  sich fortpflanzen, erzeugen eine doppelte Wellenlinie, eine äussere kreisförmige mit dem Radius  $oa$ , und eine innere elliptische mit den Halbachsen  $ob$  und  $oc$ .

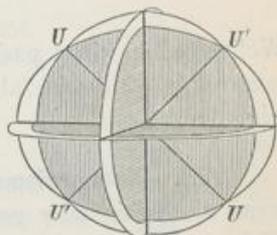
Jeder Strahl, welcher von  $o$  aus zwischen den Linien  $oa$  und  $oc$  sich bewegt, Fig. 347, wird in zwei Theile zerlegt, wovon der eine parallel  $bb$  schwingt, also in der Zeiteinheit den Weg  $ob$  zurücklegt, während der andere in einer zwischen  $aa$  und  $cc$  liegenden Richtung schwingt und eine entsprechende Geschwindigkeit hat. Wird nun dasjenige hinzugenommen, was über die Richtung  $oa$  und  $oc$  gesagt ist, so ergibt sich, dass Strahlen, welche von  $o$  aus in der

Ebene  $aoc$  sich verbreiten, zwei Wellenlinien bilden, wovon die eine wieder kreisförmig ist, mit dem Radius  $ob$ , während die zweite elliptisch ist, mit den Halbachsen  $oa$  und  $oc$ . Diese beiden Wellen schneiden sich aber in vier Punkten  $U$ , welche auf zwei durch  $o$  gehenden Linien liegen.

Strahlen, welche sich nicht in einer der drei bisher besprochenen Ebenen, sondern in anderen Richtungen bewegen, werden sich in ihrem Verhalten im Allgemeinen den früher betrachteten anschliessen. Jeder derselben wird in zwei Theile zerfallen, welche einer inneren und einer äusseren Welle entsprechen.

Denkt man sich also vom Inneren des Krystalls, und zwar von  $o$  aus, nach allen Richtungen des Raumes Licht ausgehend, so wird sich dasselbe in einer doppelten Welle, einer inneren und einer äusseren, fortpflanzen, welche sich in vier Punkten durchschneiden. Beide durch eine Zeichnung darzustellen, ist nicht möglich, jedoch gibt die Figur 348, welche drei Durchschnitte der Doppelwelle darstellt, eine ausreichende Vorstellung. Die beiden Linien  $UU$  und  $U'U'$  sind die Richtungen der sogenannten secundären optischen Axen. Sie entsprechen in ihrer Lage nahezu den wahren optischen Axen, nach welchen das Licht in einfacher Welle fortschreitet.<sup>1)</sup>

Fig. 348.



Das Gesagte macht es erklärlich, dass die Krystalle von einfacherem Baue zwei Richtungen einfacher Brechung besitzen, ferner zeigt es, wie der Unterschied der positiven und der negativen Krystalle aufzufassen sei, endlich lässt es erkennen, dass man aus den drei Geschwindigkeiten  $oa$ ,  $ob$  und  $oc$  den Winkel der optischen Axen berechnen könne. Da nun die Lichtgeschwindigkeiten den Brechungsquotienten umgekehrt proportional sind, so ist die Kenntnis der Hauptbrechungsquotienten erforderlich, die sich ergeben, wofern man polarisirte Strahlen beobachtet, welche den Elasticitätsachsen  $aa$ ,  $bb$  und  $cc$  parallel schwingen. Werden diese drei Brechungsquotienten wie vorher  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  genannt, so lautet die Formel bezüglich des Winkels, welchen die eine optische Axe mit  $cc$  bildet:

$$\cos V = \sqrt{\frac{\frac{1}{\beta^2} - \frac{1}{\gamma^2}}{\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\gamma^2}}}$$

Man rechnet jedoch bequemer nach der Formel von Bertolini:

$$\cos V = \frac{\text{tang } \varphi}{\text{tang } \phi}, \text{ worin } \cos \varphi = \frac{\beta}{\gamma} \text{ und } \cos \phi = \frac{\alpha}{\gamma}$$

<sup>1)</sup> Um die Richtungen der wahren optischen Axen zu construiren, legt man an die Fig. 347, in welcher  $oa = \frac{1}{\alpha}$ ,  $ob = \frac{1}{\beta}$ ,  $oc = \frac{1}{\gamma}$ , Linien, welche den Kreis und die Ellipse gleichzeitig berühren. Dies gibt zwei Linienpaare. Senkrecht zu diesen werden hierauf durch  $o$  zwei Linien gezogen, welche die Richtungen der Axen sind.

Die Brechungsquotienten werden aber selten so genau ermittelt, dass der beobachtete Axenwinkel mit dem berechneten völlig übereinstimmt. Meistens ist diese Controle eine beiläufige.

Aus der Gestalt der Wellenfläche zweiaxiger Körper lässt sich auch die

Fig. 349.

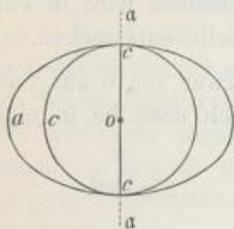
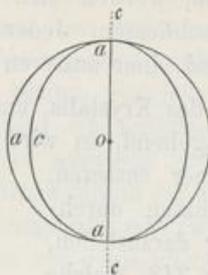


Fig. 350.



Wellenflächen eines positiven einaxigen Krystals, und zwar als innere Fläche ein gestrecktes Ellipsoid, als äussere eine Kugel, beide in der Axe  $c$  sich berührend, Fig. 350.

Wellenfläche einaxiger ableiten, welche bloß zweierlei Elasticität  $a$  und  $c$  besitzen, wonach  $b$  wegfällt. Macht man dementsprechend  $ob$  gleich  $oc$ , so erhält man die Wellenfläche eines negativen einaxigen Krystals, und zwar als innere Fläche eine Kugel, als äussere ein abgeplattetes Ellipsoid, welche beide in der Axe  $a$  sich berühren, Fig. 349. Macht man hingegen  $ob$  gleich  $oa$ , so erhält man die

**126. Pleochroismus.** Die doppeltbrechenden Krystallindividuen zeigen, wenn sie farbig oder gefärbt sind, im durchfallenden Lichte nach verschiedenen Richtungen nicht immer dieselbe, sondern häufig verschiedene Farben. Ist die Erscheinung deutlich, so geben optisch einaxige Minerale in allen Richtungen senkrecht zur Hauptaxe dieselbe, parallel zur Hauptaxe aber eine andere Farbe: Dichroismus. Optisch zweiaxige Minerale geben beim Durchsehen in drei aufeinander senkrechten Richtungen drei verschiedene Farben: Trichroismus. Unter den Krystallen von Beryll (hexagonal) finden sich manche grüne Exemplare, welche beim Durchsehen parallel zur Hauptaxe eine blaue, in allen Richtungen senkrecht zur Hauptaxe aber eine grüne Farbe liefern. Der Cordierit von Bodenmais (rhombisch) liefert oft Krystalle, welche dunkelblau erscheinen. Wird aus einem derselben ein Würfel geschnitten, dessen Flächen den krystallographischen Endflächen parallel sind, so gibt derselbe beim Durchsehen durch die Querflächen (100) eine blaugraue, durch die Längsflächen (010) eine gelbe und durch die Endflächen (001) eine indigoblaue Farbe. Blickt man durch den Beryll oder Cordierit nicht in den vorgenannten Richtungen, sondern in einer Zwischenrichtung, so beobachtet man die entsprechenden Uebergangs- oder Mischfarben. Jene Farben, welche man beim Durchsehen durch die bestimmten Flächen mit freiem Auge wahrnimmt, nannte Haidinger Flächenfarben.

Die Erscheinungen im gewöhnlichen Lichte zeigen schon, dass in den krystallographisch verschiedenen Richtungen eine verschiedene Absorption herrscht, denn die Farben kommen hier durch Absorption zu Stande [101]. Demnach ist voranzusehen, dass bei Anwendung von polarisiertem Lichte für verschiedene Schwingungsrichtungen auch verschiedenartige Absorptionen eintreten, also verschiedene Farben zur Erscheinung kommen werden. In der That ergeben die Versuche, dass in jenem Beryll die Schwingungen parallel zur Hauptaxe grün,

die zur Hauptaxe senkrechten aber blau liefern, wie dies Fig. 351 *a* schematisch angibt. Man kann die Farben für bestimmte Schwingungsrichtungen ermitteln, wenn man von dem Orthoskop (Fig. 316) den oberen Nicol (Analysator) entfernt und die zu prüfende Mineralplatte auf den Tisch des Instrumentes bringt. Die Untersuchung wird also blos mit einem Nicol ausgeführt. Nimmt man von jenem Beryll eine zur Hauptaxe parallel geschnittene Platte, so erscheint dieselbe blau, wenn der Hauptschnitt des Nicols, also die Schwingungsebene des polarisirten Lichtes zur Hauptaxe des Berylls senkrecht ist, und grün, wenn der Nicolhauptschnitt zur Hauptaxe parallel ist. Fig. 351 *c* und *d*.

Anders ist die Erscheinung, wenn man eine senkrecht zur Hauptaxe geschnittene Platte in das Instrument bringt. Nun kann man den Nicol, also den Nicolhauptschnitt beliebig drehen, die erhaltene Farbe bleibt immer blau, Fig. *e*. Alle zur Hauptaxe senkrechten Richtungen verhalten sich also bezüglich der Absorption gleich.

Fig. 351.  
Beryll.

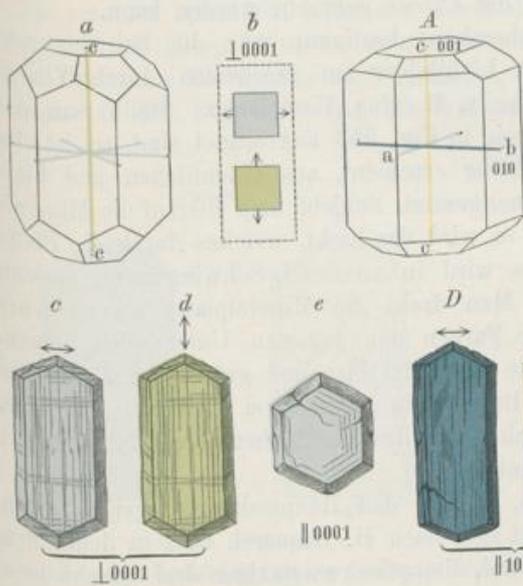
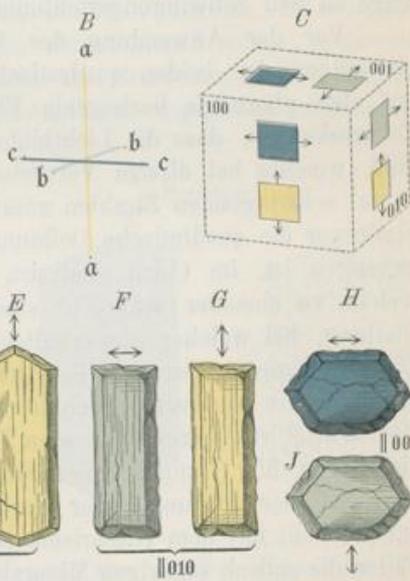


Fig. 352.  
Cordierit.



Prüft man Platten des genannten Cordierits in derselben Weise, so erhält man für jede der drei Platten, welche parallel zu den Endflächen geschnitten wurden, je zwei Farben. Ein Blick auf die Fig. 352 *A*, welche einen Krystall von Cordierit vorstellt und angibt, welche Farben den drei Hauptschwingungsrichtungen entsprechen, macht dies leicht verständlich. Die Platte

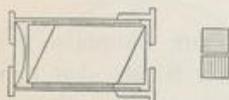
$\perp(100)$  gibt für Schwingungen . . . .  $\parallel b$  dunkelblau  $\parallel c$  blassgelb, Fig. *D, E*,  
 $\perp(010)$  „ „ „  $\parallel a$  graublau . . . . .  $\parallel c$  blassgelb, „ *F, G*,  
 $\perp(001)$  „ „ „  $\parallel a$  graublau,  $\parallel b$  dunkelblau . . . . . „ *H, J*.

Man reicht bei der Prüfung des Pleochroismus mit zwei Platten aus, weil diese schon sämtliche drei Farben liefern. Haidinger hat jene Farben, welche

den Hauptschwingungsrichtungen entsprechen, Axenfarben genannt. Die Flächenfarben sind aus den Axenfarben zusammengesetzt.

Die beiden Farben, welche von derselben Platte geliefert werden, kann man auch nebeneinander erhalten, wenn man statt des Nicols ein Spaltungsstück von Calcit benutzt, welches zwei Lichtbündel, deren Schwingungen gegen einander senkrecht sind, liefert. Jetzt hat man die Farben, welche der einen und der

Fig. 353.



anderen Schwingungsrichtung entsprechen, gleichzeitig vor sich. Haidinger brachte dies in dem einfachen Instrumente, welches Dichroskop genannt wird, zur Anwendung. Dieses besteht aus einem länglichen Spaltungsstück von Calcit, welches in einer Röhre enthalten ist. Letztere hat an dem einen Ende eine quadratische Oeffnung und an dem zweiten Ende, welches gegen das Auge gewendet wird, eine runde Oeffnung mit einer schwachen Linse. Beim Durchsehen erscheint die quadratische Oeffnung doppelt. Fig. 353. Nach der Verbesserung, welche v. Lang angab, ist das Stück mit der quadratischen Oeffnung drehbar, so dass die daran befestigte Mineralplatte in jede Lage zu den Schwingungsrichtungen des Calcits gebracht werden kann.

Vor der Anwendung des Dichroskops bestimmt man die Schwingungsrichtungen der beiden quadratischen Lichtbilder am raschesten durch Visiren auf eine glänzende horizontale Fläche, z. B. eine Tischfläche. Stellt man das Dichroskop so, dass die Lichtbilder wie in Fig. 353 angeordnet sind, so ist das Bild, welches bei diesem Versuche heller erscheint, aus ordentlichen und horizontal schwingenden Strahlen zusammengesetzt. Schiebt man hierauf die Mineralplatte vor die quadratische Oeffnung, so wird das Licht, welches durch die Platte gegangen ist, im Calcit analysirt, es wird in zweierlei Schwingungen zerlegt, welche zu einander senkrecht sind. Man dreht die Mineralplatte bis zu jener Stellung, bei welcher die erhaltenen Farben den grössten Unterschied zeigen. Die zur Hauptaxe parallele Beryllplatte gibt jetzt blau und grün. Fig. 351b. Die zur Hauptaxe senkrecht geschnittene Beryllplatte liefert zwei gleich blaue Bilder. Der Würfel von Cordierit, dessen Flächen den drei Endflächen parallel sind, liefert die in Fig. 352 C angegebenen Farbenbilder.

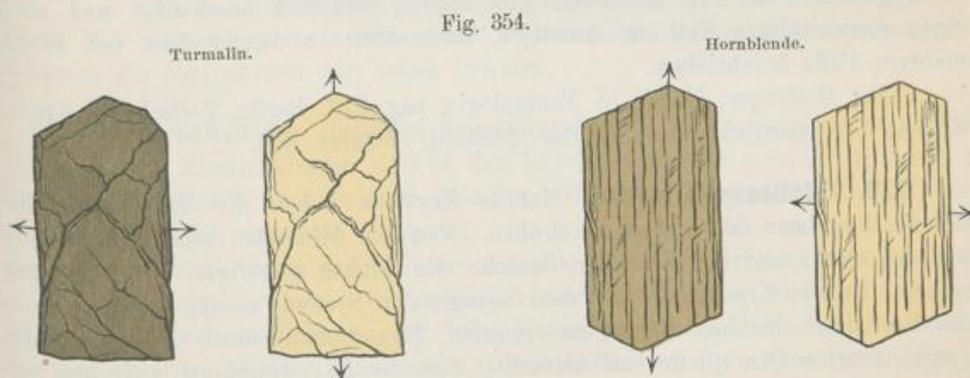
Bei der Prüfung jener Farben, welche den Hauptschwingungsrichtungen entsprechen, mit dem Glasprisma zeigt sich nach H. Bequerel, dass in deutlichen Fällen die optisch einaxigen Minerale zwei, die optisch zweiaxigen drei verschiedene Absorptionsspectra zeigen, wodurch die Ausdrücke Dichroismus und Trichroismus gerechtfertigt erscheinen.

Jene zwei oder drei Farben können, obwohl sie verschieden sind, doch ungefähr gleiche Helligkeit zeigen, die Absorption für die verschiedenen Schwingungsrichtungen kann von verschiedener Art und doch von ungefähr gleicher Stärke sein. Häufig ist aber der Grad der Absorption merklich oder bedeutend verschieden, wie schon das Beispiel der dunkelfarbigen Turmaline zeigte [113]. In dünnen Platten derselben wird der zur Hauptaxe senkrecht schwingende, der ordentliche Strahl, viel stärker absorhirt als der ausserordentliche, in etwas dickeren Platten wird er ganz vernichtet. Man kann also für den Turmalin als Schema der Absorption  $\omega > \varepsilon$  schreiben. Für den Cordierit, dessen Elasticitätsaxen in

Fig. 352 B bezeichnet sind, kann man das Farbenschema: a gelb, b graublau, c dunkelblau, und weil die Farbtöne merklich verschieden sind, für die Stärke der Absorption das Schema  $c > b > a$  schreiben.

Das Maximum oder das Minimum der Absorption trifft in den optisch einaxigen Körpern mit der Hauptaxe, in den rhombischen mit je einer Elasticitätsaxe zusammen. Die Absorptionsaxen haben hier dieselbe Lage wie die Elasticitätsaxen. In monoklinen Krystallen zeigt sich öfter dieselbe Uebereinstimmung, doch fanden Laspeyres und Ramsay in zwei Arten von Epidot zwischen den Absorptionsaxen der Symmetrieebene und den Elasticitätsaxen daselbst eine merkliche Abweichung. In triklinen Krystallen würde die Abweichung an allen drei Elasticitätsaxen stattfinden können.

Bei mikroskopischen Untersuchungen kann man den Pleochroismus in der Weise prüfen, dass man auf das Ocular ein Dichroskop stellt; es empfiehlt sich jedoch, anstatt dessen so vorzugehen, wie es vorher angegeben wurde, und in der Art zu beobachten, dass man einen einzigen Nicol, und zwar denjenigen, welcher unter dem Tisch des Mikroskopes angebracht ist, dreht, oder auch so, dass man bei ruhendem Nicol den Tisch dreht, auf welchem die Mineralplatte liegt. Nach dieser Methode, welche vom Autor vorgeschlagen wurde, beobachtet man dieselben Farbtöne nach einander, welche das Dichroskop neben einander zeigt. In der Fig. 354 sind die Farbenercheinungen angegeben, welche bei



solcher Beobachtung an zwei Beispielen, und zwar an manchen Krystallen von Turmalin und von Hornblende, welche in einem Dünnschliffe enthalten sind, wahrgenommen werden. Die Stellung des Nicolhauptschnittes ist jedem Bilde beigefügt.

In den allochromatischen Mineralen rührt der Pleochroismus von der regelmässigen Einfügung idiochromatischer Partikelchen her, doch gelingt es selten, eine solche Beimischung künstlich zu erzeugen. Sénarmont vermochte Krystalle von salpetersaurem Strontian durch beigemischtes Pigment aus Fernambukholz pleochroitisch zu machen.

Ueber d. Pleochroismus: Haidinger in Pogg. Ann., Bd. 65, pag. 1, und Sitzber. d. Wiener Akad., Bd. 13, pag. 3 und 306; Sénarmont, Pogg. Ann., Bd. 91, pag. 491. Autor in d. Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 59, Mai.

Lang, ebendas., Bd. 82, pag. 174; Laspeyres, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 4, pag. 444; Pulfrich, ebenda, Bd. 6, pag. 142; Ramsay, ebenda, Bd. 13, pag. 97; Voigt, Jahrb. f. Min. 1885, I., pag. 117; Mallard, Bull. soc. min., Bd. 6, pag. 45; H. Bequerel, ebenda, Bd. 10, pag. 120, und Comptes rendus, Bd. 108, pag. 282.

**127.** Zu den Erscheinungen, bei welchen die orientirte Absorption im Spiele ist, gehören auch die dunklen Büschel und Ringe, welche manche Krystalle im durchfallenden Lichte mit freiem Auge wahrnehmen lassen und welche Axenbilder in veränderter Form sind. Man kann dieselben, mit Benützung eines Ausdruckes von Haidinger, *idiophane Axenbilder* nennen.<sup>1)</sup> Man beobachtet die dunklen Büschel an manchen Platten von Kaliglimmer (Muscovit) oder von Epidot, Andalusit, Cordierit, und zwar in den Richtungen der optischen Axen. Sie haben die Lage der dunklen Hyperbeln, welche im Konoskop erhalten werden, und auch so ziemlich deren Gestalt, jedoch erscheinen sie viel breiter und sind an den Axenpunkten unterbrochen. An einem einaxigen Körper, dem Magnesiumplatincyankür, wurde von Bertrand eine andere Erscheinung, nämlich ein kreisrunder, violetter Fleck auf rothem Grunde, beobachtet. So lässt sich also an manchen Krystallen schon mit freiem Auge die Lage der optischen Axen erkennen. Alle diese Krystalle haben eine ziemlich starke Färbung, daher die theilweise Absorption des durchgehenden Lichtes hier die Hauptursache ist.

Haidinger hat sich mit dieser Erscheinung mehrfach beschäftigt und auch einen merkwürdigen Fall am Amethyst beobachtet; in letzter Zeit hat Bertin mehrere Fälle beschrieben.

Lit.: Haidinger, Handb. d. Mineralogie, pag. 378. Bertin, Zeitschr. f. Kryst., 3. Bd., 449. Bertrand, ebendas. 645. Mallard, ebendas. 646.

**128. Rotationspolarisation.** Manche Krystalle haben die Eigenschaft, die Polarisationssebene des Lichtes zu drehen. Von den Mineralen kennt man bisher nur den Quarz und den Zinnober, welche die hieher gehörigen Erscheinungen zeigen. Da die Krystalle beider dem hexagonalen Systeme entsprechen, so wäre das Verhalten einaxiger Körper zu erwarten. Nimmt man jedoch eine zur Hauptaxe senkrechte Quarzplatte und betrachtet dieselbe im Orthoskope zwischen gekreuzten Nicols, so erscheint sie nicht dunkel, sondern hell. Benutzt man einfarbiges Licht, z. B. Natriumlicht, so zeigt sich ebenfalls Helligkeit, dreht man aber jetzt allmähig den oberen Nicol, so tritt nach einer bestimmten Drehung, z. B. um  $22^\circ$ , Dunkelheit ein, wofern die Platte 1 Millimeter dick ist. Nimmt man vom selben Quarzkrystall eine doppelt so dicke Platte wie vorhin, so tritt erst nach der Drehung um  $44^\circ$  Dunkelheit ein. Daraus ist zu ersehen, dass die Polarisationssebene des Lichtstrahles, welcher sich parallel der Hauptaxe bewegt, im Quarz gedreht wird, und zwar proportional der Dicke der Quarzschichte. Für jede Farbe ist aber der Betrag der Drehung ein anderer. Platten aus Rechts-

<sup>1)</sup> Diese Erscheinung wird öfter mit den zuerst von Brewster beschriebenen epoptischen Figuren zusammengeworfen, welche mit freiem Auge am Calcit, Aragonit etc. beobachtet werden, wenn durch den Reflex an eingeschalteten Zwillingslamellen farbige Axenbilder entstehen. (Müller, Pogg. Ann., Bd. 41, pag. 110.)

krystallen [42] drehen rechts, Platten von Linkskrystallen in gleichem Grade links. Das Verhalten ist derart, als ob die Polarisationssebene im Quarz schraubenartig gewunden wäre. Die optische Theorie erklärt die vorgenannte und die folgende Erscheinung daraus, dass die parallel der Hauptaxe einfallenden und auch die wenig davon abweichenden Strahlen polarisirten Lichtes eine kreisförmige (circulare) Schwingung annehmen, daher der Ausdruck Circularpolarisation.

Wird im Tageslichte beobachtet und wird eine Quarzplatte von 1 mm Dicke in das Konoskop gebracht, so erzeugt sie eine Interferenzfigur, wie Fig. H auf Tafel I. Dieselbe gleicht jener der normalen optisch einaxigen Krystalle, doch ist das Kreuz in der Mitte blasser. In dickeren Platten verschwindet das Kreuz in der Mitte des Feldes immer mehr und von 4 mm Dicke an wird der innere Theil der Figur von einer farbigen Scheibe gebildet, Fig. J auf Tafel I; die Farben aber sind, je nach der Dicke der Platte, verschieden.

Dreht man jetzt den oberen Nicol (Analysator) nach rechts, so verändert sich die Farbe des Mittelfeldes und beginnen die Ringe zu wandern. Ist die Platte rechtsdrehend, so verändert sich die Farbe in dem Sinne von gelb durch blau, violett zu roth, und die Ringe erweitern sich, ist aber die Platte linksdrehend, so verändert sich die Farbe des Mittelfeldes bei der gleichen Drehung in dem Sinne von gelb durch roth, violett zu blau, und die Ringe verengen sich.

Legt man eine linksdrehende und eine rechtsdrehende Platte von gleicher Dicke über einander und schiebt diese Combination in das Konoskop, so erscheinen die sogenannten Airy'schen Spiralen.

**129. Verhalten der einzelnen Krystallsysteme.** Die optischen Axen und mit ihnen die Elasticitätsaxen sind in den Krystallindividuen stets der Symmetrie des inneren Baues entsprechend gelagert. Hieraus folgt, dass die optische Orientirung in den einzelnen Systemen eine verschiedene ist, dass jedoch für die hemiödrischen Abtheilungen immer dasselbe gilt wie für die holoödrischen.

**Triklines System.** Die optischen Axen, sowie die Mittellinien haben keine voraus bestimmte Lage; für jede Mineralart gilt daher eine besondere Orientirung aller optischen Richtungen. Das Aufsuchen der Axen und Mittellinien erfolgt durch blosses Probiren. Die Dispersion der Axen ist eine asymmetrische. Genau genommen haben also die Axen für jede Farbe eine andere Lage in verschiedenen Ebenen und zugleich eine andere Mittellinie. Man sagt daher, im triklinen Systeme sind sowohl die Axen als auch die Axenebenen und die Mittellinien dispersgirt.

Als Beispiel mag der Albit dienen. Fig. 355 stellt einen einfachen Krystall dar.

Fig. 356 gibt eine Projection der Flächen auf die Kugel. Die optischen Axen, welche durch den Mittelpunkt der Kugel gelegt gedacht werden, treffen deren

Fig. 355.

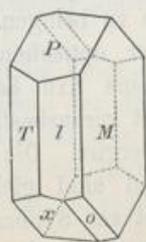
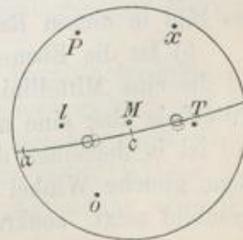


Fig. 356.



Oberfläche in Punkten, welche in der Zeichnung durch kleine Kreise angedeutet werden, und zwar so, dass die punktierten den Axen für rothes Licht, die ausgezogenen Kreise den Axen für blaues Licht entsprechen, wobei die Abweichung beider etwas übertrieben dargestellt ist. Die Ebene der optischen Axen schneidet die Kugel in einem grössten Kreise. (Ausgezogene Linie.) Beim Albit weicht die erste Mittellinie  $c$  nur wenig von der Normalen auf  $M$  ab. Die Axen sind verschieden dispergirt, ihr wahrer Winkel  $2V=58^\circ$ . Optischer Charakter positiv, da  $c$  erste Mittellinie ist.

**Monoklines System.** Eine Elasticitätsaxe liegt senkrecht zur Symmetrieebene, folglich der Krystallaxe  $b$  parallel, die beiden anderen liegen in der Symmetrieebene. Die Ebene der optischen Axen ist daher entweder parallel oder senkrecht zur Symmetrieebene, so dass es hier nur zwei wesentlich verschiedene Orientirungen gibt.

Bestimmt man an einer Platte, welche zur Längsfläche parallel ist, die Auslöschungsrichtungen, so hat man damit die Lage der zwei Elasticitätsaxen ermittelt, welche der Symmetrieebene parallel sind, und es erübrigt nur noch, an Platten, welche senkrecht zu den Elasticitätsaxen geschnitten sind, die Axenebene und den Charakter der ersten Mittellinie zu bestimmen. Ist die erste Mittellinie parallel zur Symmetrieaxe  $b$ , so zeigt schon die zur Längsfläche parallele Platte das Axenbild, ist das nicht der Fall, dann gibt eine der beiden anderen Platten, welche senkrecht zur Symmetrieebene geschnitten werden, die gesuchten Erscheinungen.

*a)* Ist die Ebene der optischen Axen parallel zur Symmetrieebene, so ist die Normale  $b$  parallel der Symmetrieaxe  $b$ , während  $a$  und  $c$  zur Symmetrieebene parallel sind, aber weiter keine vorausbestimmte Lage haben. Demgemäss sind die optischen Axen und die Mittellinien in einer Ebene dispergirt: Geneigte Dispersion.

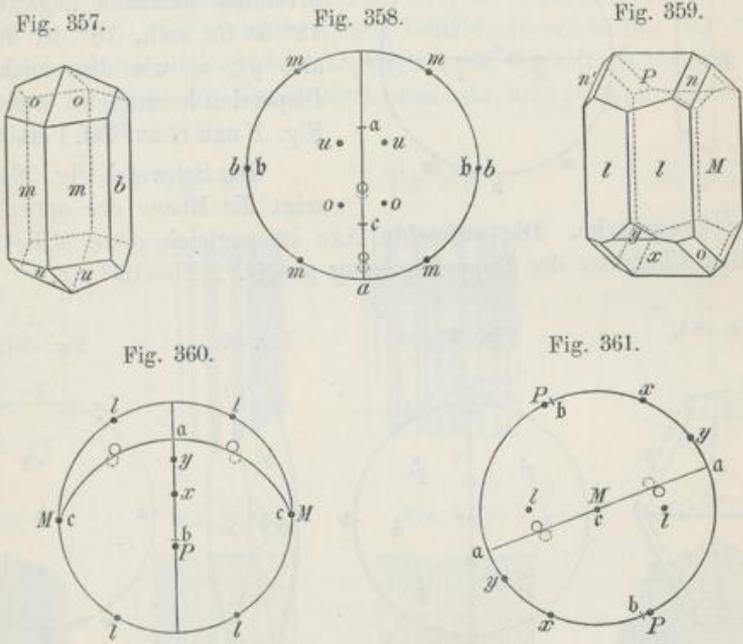
Ein hieher gehöriges Beispiel hat man am Gyps. In einem Gypskrystall, Fig. 357, bildet die Elasticitätsaxe  $c$  mit der Normale zu  $a$  einen Winkel von  $36^\circ 20'$ . Die optische Axe, welche in diesem spitzen Winkel  $c a$  liegt, ist stärker dispergirt als die andere.<sup>1)</sup> Der optische Charakter ist positiv.  $2V=57^\circ 18'$  für roth,  $2V=56^\circ 13'$  für violett, also  $\rho > v$ . Die geneigte Dispersion, welche die zu  $c$  senkrechte Platte darbietet, ist auf Taf. II in den Fig. *C* und *D* dargestellt, wobei jedoch die Axen mehr genähert wurden, als sie es in der That sind, um das Bild in diesen Raum zu bringen.

*b)* Ist die Ebene der optischen Axen senkrecht zur Symmetrieebene, so hat die eine Mittellinie eine fixe Lage parallel der Symmetrieaxe, die andere Mittellinie aber eine nicht vorausbestimmte Lage innerhalb der Symmetrieebene und ist in derselben dispergirt. Die optischen Axen bilden mit der Symmetrieebene gleiche Winkel und sind gleich dispergirt. Ist die Platte, welche das Axenbild zeigt, senkrecht zur Symmetrieebene, so ist die Dispersion eine monosymmetrische: Horizontale Dispersion, wie in Fig. 360, ist aber jene Platte parallel

<sup>1)</sup> Die stärker dispergirte erscheint auf Taf. II in der Fig. *D* links. Ueber die hier herrschende anormale Dispersion: V. v. Lang, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 86, Dec. 1877.

zur Symmetrieebene, so ist die Dispersion dimetrisch: Gedrehte Dispersion, wie in Fig. 361.

Als Beispiel des ersteren Falles kann der Adular, Fig. 359, angeführt werden. Die zweite Mittellinie  $c$  ist parallel der Symmetrieaxe, während die erste Mittellinie  $a$  mit einer Normale zu 100 einen Winkel bildet, der, über  $P = 001$  gemessen, für roth  $159^\circ 11'$ , für violett  $159^\circ 37'$  beträgt. Der Charakter der Doppelbrechung ist negativ.  $2V = 69^\circ$ . Die horizontale Dispersion um die Mittellinie  $a$  ist auf Taf. II in den Fig.  $A$  und  $B$  dargestellt. Dieselbe ist auch aus der Projection in beistehender Fig. 360 ersichtlich. Eine Platte von Adular, parallel  $M$  geschnitten und in einem geeigneten Apparate geprüft, zeigt hingegen gedrehte Dispersion, wie aus Fig. 361 erkennbar.



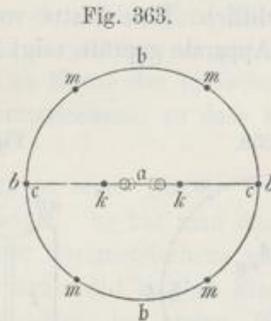
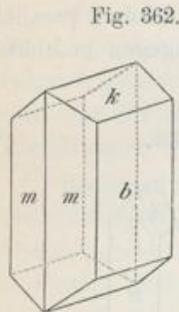
Der Borax, welcher die erste negative Mittellinie  $a$  parallel der Symmetrieaxe  $b$  und einen Axenwinkel von  $59^\circ 30'$  hat, liefert parallel der Längsfläche Platten, die im Konoskop ohne weiteres das Axenbild und dementsprechend gedrehte Dispersion zeigen. Fig.  $E$  und  $F$  auf Taf. II.

Der Gleichförmigkeit wegen wird auch in der Folge bei Angaben der optischen Orientirung monokliner Krystalle zuerst die Lage der Axenebene und hierauf der Winkel angeführt werden, welchen die Normale auf 100 mit den folgenden Mittellinien  $a$  oder  $c$  bildet, indem dieser Winkel in der Richtung von 100 über 001 gezählt wird. Also für Gyps  $100. c = 36^\circ 30'$ , Fig. 358; für Adular aber  $100. a = 159^\circ 11'$ , Fig. 361.

Rhombisches System. Die Elasticitätsachsen sind den drei Krystallachsen parallel, die Ebene der optischen Axen ist demnach einer der drei Endflächen parallel. Die optischen Axen erscheinen gleich dispergirt. Disymmetrische Dispersion.

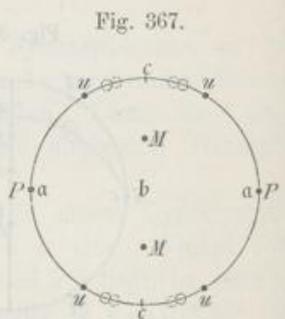
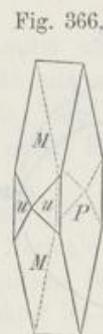
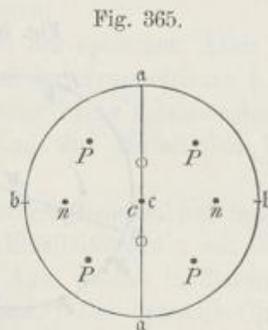
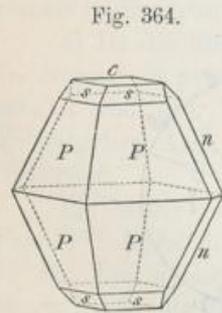
Werden von einem Krystallindividuum dieses Systemes Platten parallel zu den drei Endflächen geschnitten, so liefert eine derselben das Axenbild. Denkt man sich alle Krystalle des rhombischen Systemes so aufgestellt, dass die längste krystallographische Axe als *c*-Axe aufrecht, die kürzeste als *a*-Axe auf den Beobachter zulaufend gedacht wird, so kann die Ebene der optischen Axen drei verschiedene Lagen haben.

In dem Krystall von Aragonit, Fig. 362, ist die Ebene der optischen Axen



parallel der Querfläche, also senkrecht zu *b* und *k*. Die erste Mittellinie *a* ist parallel der aufrechten Axe, Fig. 363. Charakter der Doppelbrechung demnach negativ.  $2V = 18^\circ 5'$  für roth,  $18^\circ 40'$  für violett, also  $\rho > \nu$ , wie dies auch aus der Dispersion hervorgeht, welche in den Fig. *F* und *G* auf Taf. I ersichtlich ist,

Der Schwefel, Fig. 364 und 365, zeigt die Ebene der optischen Axen parallel der Längsfläche. Die aufrechte Axe ist zugleich erste Mittellinie, und zwar *c*, daher Charakter der Doppelbrechung positiv.  $2V = 69^\circ 40'$ .



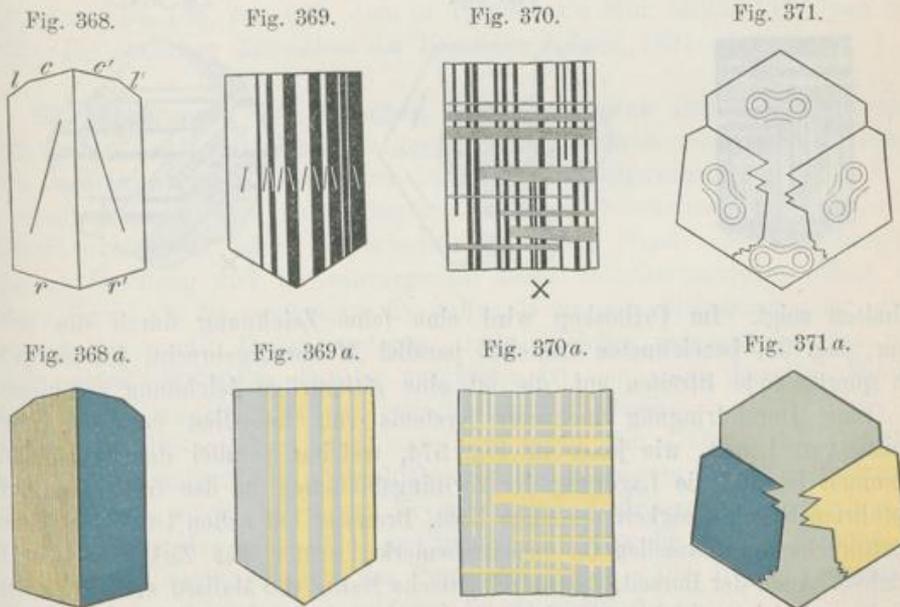
Der Krystall von Baryt, Fig. 366 und 367, hat die Ebene der optischen Axen parallel zur basischen Endfläche, also senkrecht zu *P* und *u*. Parallel der Längsaxe liegt die erste Mittellinie. Diese ist *c*. Charakter der Doppelbrechung also positiv.  $2V = 37^\circ 2'$  roth,  $38^\circ 30'$  blau, demnach  $\rho < \nu$ .

**Tetragonales und hexagonales System.** Die Symmetrie dieser Systeme erlaubt blos die Existenz einer einzigen optischen Axe, welche der Hauptaxe parallel sein muss. In den Krystallen von positiver Doppelbrechung herrscht parallel zur Hauptaxe zugleich die kleinste Elasticität *c*, senkrecht dazu aber ringsum die grösste *a*. Bei den Krystallen von negativer Doppelbrechung ist es umgekehrt.

**Tesserales System.** Die Krystalle dieses Systemes haben, wie schon früher ausgesprochen wurde, einfache Lichtbrechung.

**130. Erscheinungen an Zwillingen und mimetischen Krystallen.** Im parallelen polarisirten Lichte lassen alle Zwillingsbildungen die Zusammensetzung aus mehreren Individuen durch Unterschiede der Helligkeit oder durch Farbenunterschiede erkennen. Die Grenzen der Individuen sind oft scharf und geradlinig, zuweilen aber krumm und manchmal undeutlich, wofern an der Grenze mehrere Individuen über einander zu liegen kommen. Ist die Platte senkrecht zur Zwillings-ebene, so liegen die Auslöschungsrichtungen symmetrisch zu derselben, wie in Fig. 368, die eine Platte angibt, welche parallel 010 aus einem Zwillingskrystall von Hornblende genommen ist. Zwillings-ebene 100. Je eine Auslöschung erscheint durch einen Strich angezeigt.

Die Wiederholungszwillinge liefern Platten, welche in polarisirten Lichte gestreift sind, z. B. die Albitplatte in Fig. 369, die senkrecht zu *M* geschnitten ist (vergl. Fig. 183). Die abwechselnden Individuen erscheinen bei der Nicolstellung, welche durch helle Striche angegeben ist, dunkel, die anderen hell. Bei einer anderen Stellung der Nicols erscheinen sie bei geringer Plattendicke in complementären Farben [117].



Wendenzwillinge geben Platten, die oft aus dreiseitigen Theilen oder kreisförmig angeordneten Sektoren zusammengesetzt erscheinen. Fig. 371 a. Aragonit. Sind die Individuen gleichzeitig nach verschiedenen Zwillings-ebenen mit einander verwachsen, so entstehen gitterartige oder parquettirte Zeichnungen. Ein Beispiel gibt die parallel 100 geschnittene Platte aus einem Individuum des triklinen Labradorits. Fig. 370. Dieselbe zeigt erstens die wiederholte Zwillingsbildung wie der Albit in voriger Figur, zweitens noch eine Schaar von dünnen Platten, welche nach einem anderen Zwillings-gesetze, und zwar nach dem in Fig. 183 auf pag. 85 angegebenen eingeschaltet sind.

Um in jedem Falle die einzelnen Individuen eines Zwillings nicht durch die Grade der Helligkeit, sondern durch Farben unterscheiden zu können, schaltet man unter dem Analysator eine dünne Platte von Gyps oder Quarz ein. Die Fig. 368 *a* bis 371 *a* geben die Farbenercheinungen an, welche die vorher abgebildeten Präparate bei einer bestimmten Stellung der Nicols und einer bestimmten Dicke der angewandten Quarzplatte darbieten.

Im Konoskope geben die Zwillinge nur dann bestimmte Erscheinungen, wenn die einzelnen Individuen gross genug sind, um für sich Axenbilder zu liefern, z. B. die Individuen der Aragonitplatte in Fig. 371. Bei genügender Dicke der Platte treten hier Interferenzfiguren in drei Stellungen auf, welche dem früher, pag. 87, Fig. 192, dargestellten Gesetze folgen.

Bei den mimetischen Krystallen ergeben sich im allgemeinen dieselben Erscheinungen wie an Zwillingskrystallen, doch erweist sich die Zusammensetzung meistens viel feiner und scheinbar weniger regelmässig. Ein Beispiel ist der Mikroklin, von welchem eine Platte parallel 001 das in Fig. 372 dargestellte

Fig. 372.



Fig. 373.

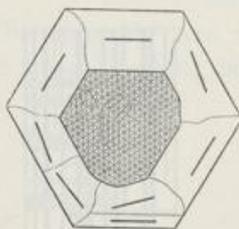
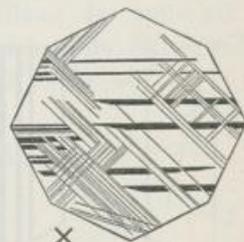


Fig. 374.



Verhalten zeigt. Im Orthoskop wird eine feine Zeichnung durch die schon früher, pag. 91, bezeichneten Lamellen parallel *M* hervorgebracht, jedoch treten auch querlaufende Streifen auf, die oft eine gitterartige Zeichnung veranlassen.

Eine Durchdringung mehrerer Systeme von Lamellen ergeben Durchschnitte von Leucit, wie jener in Fig. 374, welcher parallel der Würfeläche genommen ist und die Lagerung der Zwillingsblättchen in der früher, pag. 93, angeführten Regelmässigkeit erkennen lässt. Brewster hat schon 1821 das Gewebe doppeltbrechender Lamellen im Leucit bemerkt, später hat Zirkel dasselbe beschrieben. Auch der Boracit, dessen mimetische Natur von Mallard erwiesen wurde, zeigt im polarisirten Lichte die vielfache Zusammensetzung sehr deutlich und gibt im Konoskop die Bilder optisch zweiachsigter Medien.

Die mimetischen Krystalle von rhomboëdrischer oder hexagonaler Symmetrie sind gewöhnlich Wendezwillinge. Die Krystalle des Milarits, welche hexagonale Symmetrie darbieten und die Form eines sechsseitigen Prisma mit verwendeter Pyramide und Basis nachahmen, zeigen im polarisirten Lichte die Anordnung eines Wendezwillings ähnlich wie Aragonit, jedoch ist die Zusammensetzung complicirter, wie der senkrecht zur Hauptaxe geführte Schnitt in Fig. 373 angibt, worin je eine Auslöschungsrichtung durch einen einfachen Strich angegeben ist. Der Kern ist nach einem anderen Zwillingsgesetze gebaut als die Rinde.

Die regelmässige Wiederholung von Lamellen in bestimmter Stellung veranlasst aber auch besondere Erscheinungen. In manchen der Krystalle finden sich Richtungen einfacher Brechung, oder die Doppelbrechung ist sehr geschwächt. So zeigt die Platte von Milarit in der Mitte einen Kern, welcher zwischen gekreuzten Nicols stets dunkel bleibt, obwohl im übrigen die Doppelbrechung eines optisch zweiaxigen Krystalls herrscht. Diese und ähnliche Erscheinungen sind darauf zurückzuführen, dass die durch eine Platte hervorgerufene Doppelbrechung durch eine zweite Platte von gleicher Dicke, aber verwendeter Lage aufgehoben wird. [99.]

Nörremberg hat gezeigt, dass dünne Glimmerblättchen, deren jedes für sich zweiaxig ist, nach Aufschiebung in abwechselnd gekreuzter Lage ein Säulchen liefern, welches das schwarze Kreuz und die Farbenringe optisch einaxiger Körper fast vollkommen darbietet. Da nun ein solcher Wechsel von Blättchen in den mimetischen Krystallen anzunehmen ist, so stimmt die eben genannte Erscheinung mit dem Baue der Krystalle überein.

Lit. Ausser den früher, pag. 93, angeführten Schriften: Brewster, Edinburgh Philos. Journ., Bd. 5, pag. 218, Zirkel, Zeitschr. d. D. geol. Ges., Bd. 20. Reusch, Pogg. Ann., Bd. 148, pag. 628. Aut. in Tschermak's Min. Mitth. 1877, pag. 350. Brauns, Die optischen Anomalien der Krystalle, Leipzig 1891.

### 131. Aenderungen des optischen Verhaltens durch Druck und Spannung.

Brewster hat durch viele Versuche gezeigt, dass tesserale und amorphe Körper durch Zusammenpressen sowie durch Spannung doppelbrechend werden. Wenn ein Steinsalzwürfel oder eine Glasplatte in einer Schraubenpresse zusammengedrückt werden, so liefern sie zwischen gekreuzten Nicols die Erscheinungen doppelter Brechung und im convergenten Licht Interferenzcurven, jedoch von anderer Form als die zweiaxigen Krystalle. Wenn ein Steinsalzcyylinder durch einen um den runden Umfang gelegten Draht, welcher zusammengezogen wird, einem central wirkenden Drucke ausgesetzt ist, so gibt derselbe ähnliche Erscheinungen wie ein negativer, optisch einaxiger Körper.

In allen diesen Fällen kann man aber leicht den Unterschied gegenüber den Krystallen wahrnehmen. Verschiebt man den gepressten Körper im Instrument in jener Weise, welche bei einem Krystall keine Veränderung hervorbringt, so bewegt sich hier das ganze Bild, und man merkt, dass die dunklen Streifen und Ringe an bestimmten Stellen des Präparates haften. Die Doppelbrechung ist vorübergehend und hört auf, sobald der Druck nachlässt.

Kieselgallerte, Leim, Kautschuk und alle Harze, überhaupt alle Colloide, d. i. jene Körper, welche nicht krystallisirbar sind und beim Eintrocknen amorphe Producte liefern, zeigen schon durch geringen Druck oder Zug Doppelbrechung.

Auch in doppelt brechenden Mineralen werden die optischen Erscheinungen durch Anwendung von Druck modificirt. Bei der Pressung senkrecht zur Hauptaxe wird der optisch positive Quarz zweiaxig, wobei die Axenebene der Druckrichtung parallel ist. Der optisch negative Turmalin wird auch zweiaxig, wobei die Axenebene senkrecht zur Druckrichtung ist. Am Kalkspath werden ähnliche Veränderungen beobachtet, jedoch treten hier leicht Umlagerungen ein [84].

Glasstücke, welche zuerst erhitzt, hierauf rasch abgekühlt wurden, zerspringen beim Ritzen oder Brechen in unzählige Partikel, was eine Spannung der oberflächlichen Theile verräth. Solches rasch gekühltes Glas zeigt eine deutliche Doppelbrechung, ähnlich wie die gepressten amorphen Körper. Auch einfachbrechende Krystalle, z. B. solche von Steinsalz, Fluorit werden durch Erhitzen und rasches Abkühlen doppeltbrechend, so zwar, dass nun Platten derselben eine Theilung in verschieden orientirte Felder darbieten. Viele Colloide sind infolge der beim Eintrocknen entstehenden Spannungen schon ursprünglich doppeltbrechend. Die fossilen Harze, der Opal, der Kieselsinter zeigen daher oft energische Doppelbrechung.

Lit. Brewster, Optics. Bücking, Jahrb. f. Min. 1881, Bd. I, pag. 177 (Referat). Brauns, Jahrb. f. Min. 1887, Bd. I, pag. 47. Pockels, Jahrb. f. Min., 8. Beilage, pag. 217.

**132. Anomale Krystalle.** Von den mimetischen Krystallen abgesehen, gibt es auch solche, die äusserlich nichts von einer Zwillingstextur erkennen lassen, doch aber ein anomales, d. i. ein solches optisches Verhalten zeigen, welches nicht mit der Symmetrie der Krystallform übereinstimmt. Hieher gehören aus der Reihe der tesseralen Krystalle jene von Grossular, Senarmontit, welche eine energische Doppelbrechung zeigen, jene von Alaun und Analcim, die nur eine schwache Doppelbrechung darbieten. Unter den tetragonalen sind hervorzuheben jene von Vesuvian, Mellit, von hexagonalen jene von Apatit, Beryll, welche öfter optisch zweiaxig erscheinen.

Viele dieser Krystalle liefern Platten, welche im polarisirten Lichte eine Theilung in verschieden orientirte Felder wahrnehmen lassen. Diese Feldertheilungen entsprechen den Anwachspyramiden [65] jener Flächen, welche den Krystall äusserlich begrenzen.

In diesen Fällen wird gegenwärtig von vielen Beobachtern das Vorhandensein von Spannungen angenommen, ähnlich wie bei den eingetrockneten Colloiden, und als Ursache derselben wurde im Alaun von Brauns das Stattfinden einer isomorphen Mischung verschiedener Gattungen, im Analcim von Klein der eingetretene theilweise Verlust des Krystallwassers erkannt.

Lit. R. Brauns, Die optischen Anomalien der Krystalle, Leipzig 1891.

**133. Durch Textur bedingtes Verhalten.** Parallelfaserige oder krummfaserige Minerale, welche durchsichtig und für sich doppeltbrechend sind, geben im Orthoskop meist gerade oder wellig gekrümmte Auslöschung. Durchsichtige Minerale, welche radialfaserige Kugeln oder Halbkugeln bilden, liefern Schnitte, in welchen schmale Krystalle radial angeordnet sind. Dieselben geben sowohl im parallelen, als im convergenten polarisirten Lichte ein dunkles Kreuz, dessen Aeste von dem Mittelpunkte der Faserung ausgehen. Auch die ganzen Kügelchen zeigen das Kreuz. Beispiele sind die Sphärolithe im Obsidian.

Alle Minerale, welche diese Anordnung zeigen, sind an sich doppeltbrechend. Unter den Fasern, welche radial gestellt sind, werden immer vier, welche um

90° verschieden liegen, ebenso deren nächste Nachbarn, gleichzeitig dunkel erscheinen müssen, also zusammen ein dunkles Kreuz liefern.

**134. Fluorescenz und Phosphorescenz.** Eine Erscheinung, welche nur an wenigen Mineralen beobachtet wird, hat nach dem Fluorit oder Flusspath den Namen Fluorescenz erhalten. Brewster, Herschel und Stokes haben sich mit derselben eingehender beschäftigt.

Mancher Fluorit, namentlich solcher aus Cornwall, hat im durchfallenden Lichte eine meergrüne Farbe, während er im auffallenden Lichte schön violblau erscheint. Lässt man im verdunkelten Raume auf einen solchen Fluorit ein Bündel Tageslicht auffallen, so leuchtet dieses beim Eintritt in das Mineral mit schöner blauer Farbe, in tieferen Schichten hört das Leuchten und die Farbe auf. Ein Lichtbündel, welches durch eine Platte solchen Fluorits gegangen ist, vermag beim Eintritt in einen zweiten solchen Fluorit nichts mehr von dem leuchtenden Blau zu erregen. Die Fluorescenzfarbe dieses Fluorits ist also blau oder man sagt, dieses Mineral fluorescirt blau. Die Eigenschaft rührt aber bloss von dem Farbstoff her, welcher höchst wahrscheinlich ein Kohlenwasserstoff ist.

Mancher Bernstein, z. B. solcher aus Sicilien, fluorescirt blau, manches Erdwachs und ebenso manches Erdöl fluorescirt grün. Prüft man die Erscheinung im Farbenspectrum, so zeigt sich, dass das Fluorescenzlicht immer eine kleinere Brechbarkeit besitzt als das erregende Licht.

Ueber Fluorescenz im allgemeinen: Stokes in Pogg. Ann., Bd. 96, pag. 523 und Ergänzungsband 4, pag. 188. Pisko, Die Fluorescenz des Lichtes. Wien 1861. Hagenbach, Pogg. Ann. Bd. 141, 146.

Eine andere Erscheinung, welche etwas häufiger auftritt, ist die Phosphorescenz, welche zuerst von Placidus Heinrich 1811 etwas aufmerksamer geprüft wurde. Man versteht bekanntlich unter Phosphorescenz das selbständige Leuchten bei verhältnismässig niedriger Temperatur und ohne erkennbare Substanzveränderung. Eingehende Untersuchungen wurden von E. Becquerel angestellt.

Durch Stoss, Reibung oder durch Trennung von Mineralen entstehen öfter ziemlich starke Lichterscheinungen, z. B. an manchem Dolomite und an der Blende von Kapnik durch Kratzen, an Glimmertafeln durch rasche Trennung nach der Spaltrichtung, am Quarz durch Reiben zweier Stücke gegen einander.

Einige Minerale, z. B. manche Diamanten, geben im Dunklen ein blaues Licht, wenn sie vorher den Sonnenstrahlen oder gar nur dem Tageslicht ausgesetzt waren. Mancher Aragonit, Apatit, Kalkspath zeigt auch die Erscheinung. Baryt phosphorescirt sehr merklich, nachdem er gebrannt worden.

Durch Erwärmung werden nicht wenige Minerale phosphorescirend. Mancher Diamant, Topas, Fluorit leuchtet schon in der warmen Hand, mancher grüne Fluorit bei Temperaturen über 60°, Apatit bei solchen über 100° etc. Die nach vorheriger Beleuchtung phosphorescirenden Körper erhalten alle dieselbe Eigenschaft gleichfalls durch Erwärmung.

Auch durch elektrische Entladung werden Minerale wie Sapphir, Diamant im Dunklen leuchtend. Das ausgestrahlte Licht zeigt nach Crookes ein discontinuirliches Spectrum.

Merkwürdig ist auch die von H. Rose beobachtete Lichterscheinung beim Krystallisiren der arsenigen Säure und das Aufleuchten eines zuvor geschmolzenen und dann gelösten Gemenges von Kali- und Natronsulfat im Augenblicke des Krystallisirens.

Lit. E. Becquerel, *Annales de chim. et de physique*. 3. Serie, Bd. 55, und dessen Werk: *La lumière, sa cause et ses effets*. 1. Bd., Paris 1867. H. Rose, *Pogg. Ann.*, Bd. 35.

**135. Wärmestrahlung.** Wenn sich die Wärme strahlenförmig fortpflanzt, so zeigt sie nach den Arbeiten von Melloni und Knoblauch dasselbe Verhalten wie das Licht. Wärmestrahlen erfahren demnach Reflexion, einfache Brechung, doppelte Brechung, Polarisation, Absorption wie die Lichtstrahlen, und es sind blos die numerischen Verhältnisse verschieden. Dies erklärt sich durch die Annahme, dass die Wärmestrahlen ebenfalls Aetherschwingungen sind, welche senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung stattfinden, die aber auf die Netzhaut des Auges keine Wirkung ausüben.

Um geringe Wirkungen von Wärmestrahlen sichtbar zu machen, construirte Melloni einen Apparat, welcher aus einer Thermosäule und einem Galvanometer besteht. Die auf die Säule fallenden Wärmestrahlen erzeugen einen galvanischen Strom, dessen Existenz durch die Bewegung der Magnetnadel im Galvanometer angezeigt wird. Am leichtesten lässt sich mittels dieses Apparates die verschiedene Durchgängigkeit für Wärme, welche den verschiedenen Graden der Durchsichtigkeit analog ist, prüfen. Steinsalz erweist sich am meisten durchgängig oder diatherman, weniger der Kalkspath, noch weniger Gyps. Kupfervitriol, Alaun, Wasser sind fast undurchgängig oder adiatherman, Metalle vollständig adiatherman oder, wie auch gesagt wird, atherman. Die Diathermanie ist von der Durchsichtigkeit unabhängig. Eine Platte dunklen Glimmers ist diatherman, eine ebensodieke Schichte Wassers ist adiatherman.

Lit. in A. Wüllner, *Lehrb. d. Experimentalphysik*.

**136. Wärmeleitung.** Bei der Fortpflanzung der Wärme durch Leitung macht sich bekanntlich jene Ungleichheit bemerkbar, welcher zufolge wir unter den Mineralen gute und minder gute Wärmeleiter unterscheiden. Wiedemann und Franz beobachteten die Leitung an Stäben mittels Anlegung einer Thermosäule und erhielten für Silber den höchsten Werth, welcher hier = 100 gesetzt ist, für andere Metalle aber geringere Zahlen, z. B.:

Silber .....	100·0	Eisen .....	11·9
Kupfer .....	73·6	Blei .....	8·5
Gold .....	53·2	Platin .....	8·4
Zinn .....	14·5	Wismut.....	1·8

Marmor und steinartige Minerale gaben anderen Beobachtern noch geringere Zahlen als Wismut.

Die Wärmeleitung ist öfter nach der Richtung verschieden. Um dies zu zeigen, überzog Sénarmont Platten von den zu prüfenden Körpern mit einer dünnen Wachsschichte und steckte durch eine Bohrung einen Draht, welcher

erwärmt wurde. Rings um den letzteren erfolgte Schmelzung des Wachses und nach Unterbrechung des Versuches blieb ein kreisförmiger oder elliptischer Wall als Isothermenlinie zurück. Die Durchmesser der Ellipsen gaben das Verhältnis der Leitung in den entsprechenden Richtungen. Röntgen modificirt das Verfahren, indem er auf die angehauchte Krystallplatte eine erhitzte Metallspitze aufsetzt, hierauf, nachdem rings um die Spitze der Hauch verschwunden ist, die Platte mit Lycopodiumsamen bestreut und dann vorsichtig abklopft. Die nun freie kreisförmige oder elliptische Fläche zeigt schärfere Begrenzungen als bei der vorigen Methode.

Tesserale Krystalle gaben auf allen Flächen und Schnittebenen kreisförmige Isothermenwalle, die Krystalle von wirteligem Baue lieferten auf den Basisflächen Kreise, auf den Prismenflächen Ellipsen, die Krystalle von einfacherem Baue auf allen Flächen Ellipsen. Die Wärme pflanzt sich also in den tesseralen Körpern kugelartig fort, die isotherme Fläche ist eine Kugel, in den Krystallen von wirteligem Baue ist sie ein Rotationsellipsoid, in den Krystallen von einfacherem Baue ein dreiaxiges Ellipsoid.

Amorphe Körper geben kreisförmige Isothermenlinien. Sénarmont zeigte aber, dass durch Pressen von Glas und Porzellan die Leitung in der Richtung des Druckes vergrößert wird, daher auf einer Glasfläche während der Pressung eine elliptische Isothermenlinie entsteht.

Lit. Wiedemann u. Franz, Pogg. Ann., Bd. 89. Sénarmont, Annales de chimie et de phys. 3. Ser., Bd. 22, pag. 179. v. Lang., Sitzber. d. Wiener Ak. Bd. 54. Röntgen, Pogg. Ann., Bd. 151, pag. 603. Jannettaz, Zeitsch. f. Kryst., Bd. 3, pag. 637.

**137. Wirkungen der Wärme in Krystallen.** Die Ausdehnung, welche Krystalle durch die Wärme erfahren, ist viel geringer als jene der Flüssigkeiten. Während bei der Erwärmung von 0° auf 100° C. das Wasser sich um  $\frac{1}{25}$ , das Quecksilber um  $\frac{1}{55}$  ausdehnt, beträgt die Ausdehnung des Steinsalzes  $\frac{1}{247}$ , die des Diamants  $\frac{1}{5480}$ . Einzelne Körper lassen eine Zusammenziehung beim Erwärmen erkennen, jedoch nur in bestimmten Regionen der Temperatur, wie z. B. Wasser unter 4°, der Diamant unter — 24°.

Während die tesseralen und amorphen Minerale sich nach allen Richtungen gleich ausdehnen, ist in den Krystallen der übrigen Systeme die Ausdehnung nach verschiedenen Richtungen oft eine verschiedene. Werden aus derlei Krystallen Stäbchen geschnitten, so wird die Länge derselben bei der Erwärmung von 100° um einen Bruchtheil  $\alpha$  sich vergrößern, dessen Werth für die gewählte Richtung gilt. In dem seltenen Falle der Verkürzung ist  $\alpha$  negativ. Die Versuche von Pfaff und Fizeau, besonders die genauen Messungen des letzteren haben das Resultat ergeben, dass die Ausdehnung bei allen Krystallen innerhalb der gewöhnlich angewandten Temperaturgrenzen so erfolgt, dass die Symmetrie der Krystalle nicht geändert wird.

Tesserale Krystalle erfahren eine gleichförmige Volumänderung. Die Winkel der Flächen bleiben bei allen Temperaturen dieselben. Eine Kugel, aus einem solchen

Krystall geschnitten, bleibt auch beim Erwärmen eine Kugel. Die Krystalle der übrigen Systeme erfahren eine Gestaltänderung.

Krystalle von wirteligem Baue haben in allen zur Hauptaxe senkrechten Richtungen dieselbe, parallel zur Hauptaxe aber eine andere Ausdehnung. Quarz lieferte parallel der Hauptaxe  $\alpha = 0.000781$  und senkrecht dazu  $\alpha' = 0.001419$ . Kalkspath lieferte  $\alpha = 0.002621$  und  $\alpha' = -0.000540$ . Dieser zieht sich also bei der Erwärmung in allen zur Hauptaxe senkrechten Richtungen zusammen, doch vergrößert sich sein Volumen. Wird aus einem Krystall von wirteligem Baue eine Kugel geschnitten, so verwandelt sich dieselbe beim Erwärmen in ein Rotationsellipsoid. Beim Quarz ist es ein abgeplattetes, beim Kalkspath ein verlängertes. An Krystallen dieser Abtheilung ändern sich die Winkel der Prismenzone und die rechten Winkel zwischen dieser und der Basis gar nicht, während die Winkel aller zur Hauptaxe geneigten Formen, also jene der Pyramiden, Rhomboëder etc., sich ändern. Die Polkante des Grundrhomboëders am Kalkspath wird nach Mitscherlich bei der Erwärmung um  $100^\circ$  C. um  $8\frac{1}{2}$  Minuten, jene des Eisenspathes bloß um  $2\frac{1}{2}$  Minuten schärfer, die Rhomboëder werden demnach spitzer.

Krystalle von einfacherem Baue dehnen sich nach einer bestimmten Richtung am stärksten, nach einer dazu senkrechten am schwächsten aus. Nimmt man noch eine zu den beiden vorigen senkrechte Richtung von mittlerer Ausdehnung hinzu, so hat man die drei thermischen Axen. Diese liegen in rhombischen Krystallen parallel den Krystallaxen, im monoklinen ist eine davon senkrecht zur Symmetrieebene, also parallel der Queraxe, im triklinen System ist die Lage unbestimmt. Beim Aragonit hat man für  $\alpha$  die drei Werthe bezüglich der Axen:  $0.001016$ ,  $0.001719$ ,  $0.003460$ . Eine Kugel, welche aus Krystallen von einfacherem Baue geschnitten wird, verwandelt sich beim Erwärmen in ein dreiaxiges Ellipsoid. Die Flächenwinkel dieser Krystalle ändern sich im triklinen System insgesamt, im monoklinen Systeme bleiben bloß die rechten Winkel erhalten, welche die Längsflächen mit anderen Flächen bilden, im rhombischen Systeme bloß die rechten Winkel zwischen den Endflächen unverändert. Dass das Krystallsystem dabei unverändert bleibt, wurde an mehreren Beispielen wie Orthoklas, Augit, Gyps (monoklin) und von Beckenkamp am Anorthit und Axinit (triklin) erwiesen.

Eine merkwürdige Erscheinung, welche manche Krystalle bei der Erhitzung zeigen, ist die Umlagerung von Theilchen in die Zwillingstellung. Klein beobachtete am Boracit, Mallard am Glaserit, Mügge am Anhydrit das Entstehen von Zwillinglamellen beim Erhitzen. Die Verschiebung der Theilchen, welche durch Druck hervorgebracht werden kann [84], erfolgt demnach auch öfter durch Erwärmung. Umgekehrt wurde im Calcit und Leucit das Verschwinden von Zwillinglamellen beim Erwärmen wahrgenommen. Am Leucit beobachtete Rosenbusch auch äusserlich das Verschwinden der Zwillingriefung beim Erhitzen.

Zwillingkrystalle verhalten sich wie einfache Krystalle, wofern sich die Individuen an der Zwillingsebene berühren. Ist dies nicht der Fall, sind die Individuen des Zwillings mit anderen Flächen aneinander gelagert, so werden derlei Zwillinge bei Temperaturveränderungen sich krümmen, ähnlich wie bei dem

Versuche Fresnels, welcher zwei Gypsblättchen in gekreuzter Stellung zusammenleimte und sodann erwärmte.

In den mehrfach zusammengesetzten Zwillingen und in den mimetischen Krystallen, in welchen die Individuen ganz verschränkt sind und keine Krümmungen gestatten, werden bei jeder Temperatur, welche von der Entstehungstemperatur des Krystalles verschieden ist, Spannungen vorhanden sein. Diese würden sich bei grösserer Stärke optisch anzeigen [132].

**138.** Aenderungen der Temperatur sind auch mit Aenderungen der optischen Elasticität verbunden und dementsprechend wird auch die Lichtbrechung in Krystallen durch die Temperatur beeinflusst. Die Untersuchungen von Rudberg, Fizeau, van der Willigen, Stefan, Arzruni ergeben eine Abnahme der Brechungsquotienten mit dem Steigen der Temperatur bei allen Krystallen mit Ausnahme des Kalkspathes, der eine Zunahme zeigt. Dabei ist ein Zusammenhang zwischen Ausdehnung des Krystalles und Aenderung der Brechungsquotienten keineswegs zu bemerken.

Der Einfluss der Temperatur auf die Verhältnisse der Lichtbrechung zeigt sich namentlich in den Aenderungen, welche die Grösse des Winkels der optischen Axen, die Lage der Axenebene und der Mittellinien erfahren.

Die rhombischen Krystalle erlauben Aenderungen im Axenwinkel. Eine merkliche Vergrösserung desselben durch Temperaturerhöhung wurde schon vom älteren Soleil am Cerussit beobachtet. Von den monoklinen Krystallen wurde zuerst der Gyps durch Mitscherlich geprüft. Die Untersuchung wird mit dem auf pag. 187 in Fig. 334 dargestellten Apparate ausgeführt. Descloizeaux, welcher viele Beobachtungen in dem thermisch-optischen Gebiete angestellt hat, erkannte, dass beim Erwärmen einer Gypsplatte jenes Axenbild, welches auf Taf. II in Fig. D links liegt, sich schneller gegen innen zu bewegt als das andere Axenbild, dass sich also die erste Mittellinie nach rechts bewegt. Bei  $115^{\circ}$  vereinigen sich beide Hyperbeln zu einem Kreuz und gehen bei höherer Temperatur in einer Ebene auseinander, welche zur vorigen Axenebene senkrecht ist. Beim Eintritt in die neue Ebene gehen die Axen für blau voran, jene für roth folgen nach. Beim Abkühlen folgen alle Erscheinungen umgekehrt. Aehnlich wie der Gyps verhält sich der Glauberit. Im Adular vom Gotthard verkleinert sich der Axenwinkel bei der Erwärmung, wird hierauf Null, und bei Temperaturen über  $200^{\circ}$  sind beide Axen in eine zur vorigen senkrechte Ebene übergetreten, während ihr Winkel sich vergrössert. Die Axen für blau gehen voran. Abkühlung führt Alles in verkehrter Folge zum ursprünglichen Zustande zurück; wenn aber die Erhitzung bis zur Rothgluth getrieben worden ist, bleibt die eingetretene Aenderung permanent, und die Platte zeigt jetzt die Axen in der neuen Ebene, es ist die Symmetrieebene. Merkwürdig ist die Thatsache, dass einige Krystalle, deren Form sich einem Krystallsysteme von höherem Symmetriegrade nähert, beim Erhitzen ein optisches Verhalten annehmen, welches dieser letzteren Symmetrie entspricht. Beim Abkühlen kehrt der ursprüngliche Zustand zurück. Nach Mallard wird Boracit (mimetisch tesseral) bei  $265^{\circ}$  einfach brechend, Glaserit (rhombisch) bei  $650^{\circ}$  optisch einaxig, Kalisalpeter (rhombisch) beim Erweichen auch einaxig. Nach

Klein wird Leucit (mimetisch tesseral) beim Erhitzen einfach brechend, nach Merian wird Tridymit (mimetisch hexagonal) optisch einaxig.

Demnach werden hier die Krystallmolekel, welche schon bei gewöhnlicher Temperatur ähnlich gelagert sind wie in einem System höherer Ordnung, durch Erhitzen vorübergehend in die letztere Stellung gebracht. Dass durch Erwärmen auch die Drehung der Polarisationssebene im Quarz beeinflusst wird, haben Fizeau, v. Lang, Sohneke gezeigt.

Lit. Arzruni, Zeitschr. f. Krystallogr., Bd. 1, pag. 165. Fletcher, ebendas., Bd. 4, pag. 337. Beckenkamp, ebendas., Bd. 5, pag. 436. Descloizeaux, Nouvelles recherches sur les propriétés optiques des cristaux. Paris 1867. Klein, Jahrb. f. Min. 1884, Bd. I, pag. 182. Göttinger Nachrichten 1884, pag. 129. Mallard. Bull. soc. min., Bd. 5, pag. 144 und 216. Mügge, Jahrb. f. Min. 1883, Bd. II, pag. 258. Merian, ebendas., 1884, Bd. I, pag. 193. Sohneke, Wiedem. Ann., Bd. 3, pag. 516. Rosenbusch, Jahrb. f. Min., 1885, Bd. II, pag. 59. Erhitzungsapparate: Brunnée, Jahrb. f. Min. 1890, II, pag. 87. Fuess, ebenda 1891, I, pag. 65.

**139. Schmelzen und Verdampfen.** Durch Erwärmen können viele starre Körper in Flüssigkeiten verwandelt werden. Der Uebergang ist meist ein plötzlicher, indem aus dem starren Körper sogleich eine Flüssigkeit entsteht. Die Temperatur, bei welcher dies geschieht, die Schmelztemperatur oder der Schmelzpunkt, ist sehr verschieden, wie dies folgende Beispiele zeigen, in welchen die höheren Temperaturen von Pouillet bestimmt sind:

Schmiedeeisen ..1600°	Blei.....334°
Gold .....1200	Wismut .....270
Kupfer.....1090	Schwefel .....115
Silber .....1000	Eis ..... 0
Antimon ..... 425	Quecksilber ... — 39

Die Temperatur beim Schmelzen und jene beim Erstarren sind unter gewöhnlichen Umständen gleich. Quecksilber erstarrt also bei  $-39^{\circ}$ , Wasser bei  $0^{\circ}$ , flüssiger Schwefel bei  $115^{\circ}$ .

Minerale von hohem Schmelzpunkte werden in einer bestimmten Flamme schwer oder gar nicht schmelzen, während Minerale von niederem Schmelzpunkte darin zerfließen. Bei Anwendung derselben Flamme werden sich demnach verschiedene Grade der Schmelzbarkeit ergeben, welche zur Charakterisirung der Minerale ungemein dienlich sind. Als constante Flamme benützt man entweder die Flamme einer Kerze mit starkem Dochte, welche mit dem Löthrohr angeblasen wird, oder, wenn man stets Leuchtgas zur Disposition hat, dem Vorschlage Bunsen's gemäss, den blauen Saum der Gasflamme des Bunsen'schen Brenners. Die zu prüfenden Minerale werden in der Form feiner Splitter von möglichst gleicher Grösse angewandt und entweder in eine Pincette mit Platinspitzen gethan oder in das Ohr eines feinen Platindrahtes gefasst. Minerale von metallischem Aussehen werden auf eine Unterlage von Holzkohle gebracht.

Kobell hat eine sehr praktische Scala der Schmelzbarkeit angegeben:

1. Antimonglanz schmilzt schon in der gewöhnlichen Kerzenflamme.
2. Natrolith, stänglicher, schmilzt in der Löthrohrflamme leicht zur Kugel.
3. Almandin, rother Granat, gibt vor dem Löthrohr ein Kügelchen.
4. Strahlstein schmilzt v. d. L. am Ende des feinen Splitters zu einem runden Köpfchen.
5. Orthoklas schmilzt v. d. L. an den Kanten und in feiner Spitze.
6. Bronzit zeigt auch in feinen Splittern kaum Spuren von Schmelzung.
7. Quarz, vollständig ungeschmelzbar.

In einer stärkeren Flamme werden begreiflicher Weise andere Resultate erzielt. In der Knallgasflamme schmilzt Platin, dessen Schmelztemperatur zu  $2500^{\circ}$  angenommen wird, ebenso schmilzt Quarz darin, Bronzit mit Leichtigkeit. Die gewöhnlichen Angaben bei der Beschreibung der Minerale beziehen sich jedoch immer auf die Löthrohrflamme.

Obwohl das Schmelzen der starren Körper im Allgemeinen von Aussen her beginnt, zeigen doch manche Minerale ein Schmelzen im Innern, wobei oft negative Krystalle gebildet werden. Tyndall beobachtete die Entstehung negativer, mit Wasser gefüllter Krystalle im Eise dort, wo die Sonnenstrahlen durch eine Linse vereinigt wurden. Chrustschoff erkannte die Bildung negativer Krystalle im Quarz, welcher stark geglüht worden war.

Manche Minerale lassen sich unverändert schmelzen und kehren nach dem Erstarren wieder in den früheren Zustand zurück, wie das Steinsalz, andere sind nach dem Schmelzen verändert, wie die Granate, welche im ursprünglichen Zustande durch die gewöhnlichen Säuren unzersetzbar sind, umgeschmolzen aber durch Säuren zersetzt werden. Viele Minerale zeigen beim Erhitzen eine auffällige Veränderung, wie der Gyps, welcher dabei trübe wird und Wasserdämpfe ausgibt, oder wie der Pyrit, der Bernstein, welche sich beim Erhitzen an der Luft entzünden und verbrennen.

Die starren Minerale, welche sich unverändert verflüchtigen lassen, liefern einen Dampf, der beim Abkühlen dieselbe Substanz in der Form von Pulver oder von kleinen Krystallen absetzt [10]. Der Vorgang wird Sublimation genannt. Schwefel, Arsenit lassen sich sublimiren, bei höheren Temperaturen auch andere Verbindungen, wie Bleiglanz.

Die flüssigen Minerale zeigen bei höheren Temperaturen die Erscheinung des Siedens. Dabei verwandelt sich die Flüssigkeit allmähig in Dampf, der nach dem Auffangen und Abkühlen wiederum die ursprüngliche Flüssigkeit liefert. Letzterer Vorgang wird Destillation genannt. Die Siedetemperatur ist bei bestimmtem Drucke eine constante. Bei Normalbarometerstand siedet Quecksilber bei  $350^{\circ}$ , Schwefel bei  $450^{\circ}$ , Wasser bei  $100^{\circ}$ . Lösungen von Salzen in Wasser haben einen höheren Siedepunkt als dieses, z. B. eine gesättigte Kochsalzlösung  $108^{\circ}$ , eine gesättigte Salpeterlösung  $115^{\circ}$ . Beim Destilliren solcher Lösungen erhält man reines Wasser. Das Steinöl, welches eine Mischung mehrerer Flüssigkeiten ist, hat mehrere Siedepunkte. Durch Auffangen und Abkühlen der bei jedem einzelnen Siedepunkte gebildeten Dämpfe (fractionirte Destillation) lassen sich jene Flüssigkeiten sondern.

**140. Elektrizität.** Alle starren Minerale, sowie allgemein die starren Körper zeigen die Eigenschaft, nach dem Reiben leichte Körper anzuziehen und überhaupt in den elektrischen Zustand zu gerathen. Der Versuch gelingt jedoch bei den einen, welche die Elektrizität schlechter leiten, wie Bernstein, Quarz, ohne weiteres, indem das Mineral in der Hand gehalten wird, während die anderen, welche gute Leiter sind, wie die Metalle, zuvor in eine Fassung oder auf eine Unterlage von Harz, Glas u. s. w. gebracht (isolirt) werden müssen. Die ersten genaueren Versuche rühren von Aepinus, Haüy, Brewster her. Der elektrische Zustand ist bekanntlich zweierlei: positiv, wie am geriebenen Quarz und Glas, oder negativ, wie am geriebenen Schwefel und Bernstein. Diese beiden Elektrizitäten sind einander entgegengesetzt, heben einander auf.

Um geringe Grade der elektrischen Erregung zu erkennen, bedient man sich nach Haüy des elektrischen Pendels, welches aus einer isolirten, horizontal beweglichen Metallnadel besteht, oder eines der gebräuchlichen Elektroskope, von welchen das durch Behrens construirte nach der Modification durch Riess am empfindlichsten ist und zugleich die Art der Elektrizität angibt, oder endlich des Thomson'schen Elektrometers.

Sowie durch Reibung werden die Minerale auch durch Schaben, Spalten, Zerbrechen oder Zerreißen elektrisch. Werden Blättchen von Gyps oder Glimmer abgespalten, so zeigt sich die eine Spaltfläche positiv, die andere negativ elektrisch. Druck erregt ebenfalls Elektrizität (Piëzoelektrizität), wie dies am Aragonit, Flussspath, Quarz, besonders aber am durchsichtigen Kalkspath beobachtet wurde, welcher letzterer schon durch den Druck zwischen den Fingern elektrisch wird. Turmalinkrystalle geben nach den Versuchen von J. und P. Curie bei der Pressung an den beiden Enden verschiedene Elektrizitäten.

**141.** Durch Erwärmung oder Abkühlung der Krystalle schlecht leitender Minerale wird ebenfalls eine elektrische Erregung veranlasst. Die Erscheinungen werden als Pyroelektrizität zusammengefasst. Am bekanntesten ist das Verhalten des Turmalins. Durchsichtige und halbdurchsichtige Stücke desselben sind bei gleichbleibender Temperatur unelektrisch, beim Erwärmen wird jeder Krystall an einem Ende positiv, am anderen aber negativ elektrisch. Bei Umschlag der Temperatur ist er wieder unelektrisch, beim Abkühlen aber zeigt sich an jedem der beiden Enden eine Elektrizität, welche der beim Erwärmen daselbst auftretenden entgegengesetzt ist. G. Rose nannte hier und in ähnlichen Fällen den beim Erwärmen positiv werdenden Pol analog, den anderen antilog.

Die Beobachtungen von Köhler, G. Rose und von Riess, namentlich aber die ausführlichen, mühevollen Untersuchungen Hankel's haben gezeigt, dass an den Krystallen durch Temperaturwechsel ganz allgemein beide Elektrizitäten entstehen, welche auf der Oberfläche oft mannigfach vertheilt sind, jedoch immer so, dass gleiche Flächen, Kanten, Ecken ein gleiches Verhalten darbieten, wonach also die elektrische Erregung genau der Symmetrie des Krystalles folgt.

Der monokline Krystall von Gyps, Fig. 357 auf pag. 205, wird auf der Längsfläche negativ, während die anderen Flächen positiv werden. Der mono-

kline Diopsid von Ala (vergl. Fig. 62 auf pag. 41) verhält sich wie Gyps, der Diopsid aus dem Zillerthal hingegen umgekehrt, er wird auf der Längsfläche positiv, auf der Querfläche negativ. Der rhombische Aragonit, Fig. 362, wird auf der Längsfläche negativ, auf der vorderen Kante des aufrechten Prisma positiv. Ein beiderseits ausgebildeter Topaskrystall wird nach Hankel an beiden Enden positiv, ein abgebrochener Krystall, der an einem Ende die Spaltfläche 001 zeigt, wird auf dieser negativ. Vesuvian (tetragonal) wird auf der Endfläche positiv, auf den Säulenflächen negativ. Entsprechend verhält sich der Smaragd (hexagonal). Der Kalkspath (rhomboëdrisch) wird in den meisten Krystallen am Pol des Rhomboëders positiv, seitlich negativ. Manche Krystalle verhalten sich entgegengesetzt. Holoëdrisch tesserale Krystalle zeigen keine Pyroelektricität, wohl aber die hemiëdrischen. Blende (tetraëdrisch) entwickelt an den Ecken des Tetraëders eine andere Elektricität als auf den Flächen.

Dass die hemimorphen Krystalle wie jene des Turmalins und des Kieselzinkerzes an den Enden entgegengesetzte Elektricitäten zeigen, sich also polar verhalten, folgt schon aus dem allgemeinen Gesetze.

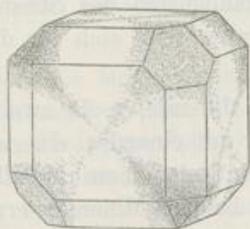
Während bei der Untersuchung mit elektroskopischen Vorkehrungen die Vertheilung der Elektricitäten auf den Krystallen anschaulich zu machen unmöglich ist, gelingt dies nach der von Kundt angegebenen Bestäubungsmethode. Die in Erwärmung oder in Abkühlung begriffenen Krystalle oder Krystallplatten werden mit einem Pulver, das ein Gemenge von Schwefel und Mennige ist und durch ein Sieb von Baumwolle-Mousselin fällt, bestäubt. Dabei wird Schwefel negativ, Mennige positiv elektrisch. An den bestäubten Stellen werden demnach die positiven Stellen gelb, die negativen roth. Die Druckelektricität kann gleichfalls durch Bestäuben ersichtlich gemacht werden.

Fig. 375 zeigt das Ansehen eines sich abkühlenden Turmalinkrystalles nach dem Bestäuben. Der elektrisch neutrale Gürtel ist frei von Pulver. Fig. 376

Fig. 375.

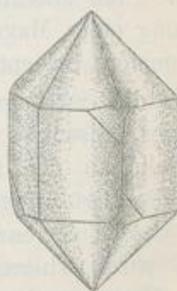


Fig. 377.



■ Mennige □ Schwefel

Fig. 376.



gibt das Verhalten eines einfachen Quarzkrystalles unter denselben Umständen an. Die Kanten, an denen die Trapezflächen und Rhombenflächen auftreten, werden beim Abkühlen negativ, die damit abwechselnden positiv elektrisch. Da jedoch die Mehrzahl der Quarzkrystalle aus mehreren Individuen besteht, so ergeben solche Krystalle nach dem Bestäuben oft bunte Zeichnungen. Fig. 377 liefert das Bild eines bestäubten Boracitkrystalles. Die Ecken mit den grösseren, glatteren Flächen

werden beim Abkühlen positiv, die anderen vier negativ elektrisch. Interessant ist die Beobachtung, dass der mimetische Boracit beim Erwärmen über  $265^{\circ}$  hinaus, da er einfach brechend, also tesselal geworden [138], keine Elektrizitätsentwicklung mehr zeigt.

Gaugain fand, dass der Turmalin bei stärkerer Erhitzung nicht mehr elektrisch erscheint, weil er leitend wird und die beiden Elektrizitäten sich ausgleichen. Hankel hat auch beobachtet, dass mancher Flusspath durch den Einfluss des Lichtes elektrisch erregt wird (Aktinoelektrizität), ferner, dass nicht nur die geleitete, sondern auch strahlende Wärme am Bergkrystall Elektrizität entwickelt.

Um die Leitungsfähigkeit nach verschiedenen Richtungen an Krystallen zu prüfen, bestreute Wiedemann die einzelnen Flächen derselben mit einem feinen, schlechtleitenden Pulver, z. B. Lycopodiumsamen, und theilte einer darauf gesetzten Nadelspitze Elektrizität mit. In der Richtung der besseren Leitung wird das Pulver stärker fortgeschleudert, und so bilden sich um die Nadelspitze entblösste Stellen, die entweder elliptisch oder kreisförmig sind. Es zeigte sich dieselbe Beziehung zur Krystallform wie bei den Sénarmont'schen Versuchen über Wärmeleitung [136].

Lit. Riess, Die Lehre von der Reibungselektrizität. Berlin 1853. Köhler, Pogg. Ann., Bd. 17. G. Rose u. Riess, ebendas. Bd. 59. Hankel, Abhandlungen der math.-phys. Classe d. k. sächs. Gesellsch. d. Wiss. seit 1857. Friedel, Bulletin d. l. soc. minéralogique, Bd. 2, pag. 31 (1879). Gaugain, Annales de chim. et phys. (3), Bd. 57, pag. 5 (1859). Wiedemann, Pogg. Ann., Bd. 76, pag. 77. J. u. P. Curie, Comptes rend., Bd. 102, pag. 350 (1881). Kundt, Wiedem. Ann., Bd. 20, pag. 592. Mack, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 8, pag. 503 (Boracit). Kolenko, ebendas., Bd. 9, pag. 1 (Quarz).

**142. Galvanismus.** Die Minerale, welche sehr gute Leiter der Elektrizität sind, vermögen unter bestimmten Bedingungen einen elektrischen Strom zu erregen. Man erkennt das Vorhandensein des Stromes am leichtesten durch die Ablenkung einer Magnetnadel, daher man sich für die folgenden Versuche eines Galvanometers bedient.

Werden zwei gut leitende Minerale, z. B. zwei von den Mineralen Kupfer, Kupferkies, Eisenkies, Bleiglanz, mit einander einerseits in Berührung gebracht, andererseits an den freien Enden mit einem Metalldraht verbunden, und wird hierauf die Berührungsstelle der beiden Minerale erwärmt, so erhält man einen Strom, dessen Gegenwart an einem in den Draht eingeschalteten Galvanometer erkannt wird (Thermoelektrizität). Auf solche Weise hervorgebrachte Ströme werden Thermoströme genannt. Wird heisses Kupfer mit krystallographisch verschiedenen Flächen in Berührung gebracht, so ist die Wirkung verschieden. Eisenglanzkrystalle geben bei Berührung der Endfläche weniger Strom als bei Berührung einer zur vorigen senkrechten Fläche, Arsenkies auf 101 mehr Strom als auf 110.

Wenn zwei der genannten Minerale einerseits mit einander in Berührung gebracht oder durch einen Draht verbunden werden, während die freien Enden

derselben in eine Salzlösung oder eine verdünnte Säure getaucht sind, so entsteht ein elektrischer Strom, der wie im vorigen Falle controlirt werden kann.

Da die Berührung leitender Minerale auf Erzgängen nicht selten vorkommt und solche Minerale auf ihrer Lagerstätte von Lösungen bespült werden, so ist die Möglichkeit galvanischer Ströme auf Erzgängen vorhanden. Dies ist von einiger Bedeutung, weil solche Ströme bekanntlich die Lösungen zersetzen, also chemische Veränderungen hervorrufen.

Die Leitungsfähigkeit für den galvanischen Strom ist dieselbe wie für die Reibungselektricität. Aus den Zahlen, welche man durch Beobachtungen des Stromes in guten Leitern erhalten hat, ergibt sich, dass die Leitungsfähigkeit für die Elektricität dieselbe ist, wie für Wärme. Wird wiederum die Leitungsfähigkeit des Silbers = 100 gesetzt, so geben die von Matthiessen für die Elektricität erhaltenen Zahlen die erste Columne, während in der zweiten die früher [136] von Wiedemann und Franz für Wärme erhaltenen angeführt sind.

Silber .....	100.0	100.0	Eisen .....	14.4	11.9
Kupfer .....	77.4	73.6	Blei .....	7.8	8.5
Gold .....	55.9	53.2	Platin .....	10.5	8.4
Zinn .....	14.5	11.5	Wismuth .....	1.2	1.8

Um zu erkennen, ob ein Mineral zu den guten Leitern gehört, nimmt man nach Kobell ein frisch geschlagenes Stückchen zwischen die Enden eines hufeisenförmig gebogenen Zinkstreifens (Zinkkluppe) und taucht es in eine Lösung von Kupfervitriol. Gute Leiter, wie Schwefelkies, Bleiglanz, Magnetit, bedecken sich mit einer Schichte von gediegenem Kupfer.

Die Leitungsfähigkeit für den galvanischen Strom in Krystallen ist nach kristallographisch verschiedenen Richtungen ungleich, z. B. in Eisenglanzkrystallen nach der Hauptaxe kleiner als senkrecht dazu. Das Verhältnis ändert sich aber mit der Temperatur. (Bäckström, Zeitschr. f. Kryst., Bd. 17, pag. 424, 425.)

**143. Magnetismus.** Manches Magneteisenerz, und zwar immer solches, das in einer beginnenden Veränderung begriffen ist, hat die Eigenschaft, Eisenfeilspäne anzuziehen und festzuhalten. Wird ein solches Stück an einem Faden aufgehängt, so orientirt sich dasselbe wie eine Magnetnadel. Auch ohne diesen Versuch erfährt man durch Prüfung mit einer Magnetnadel aus der Anziehung und Abstoßung, dass ein Nord- und Südpol vorhanden ist, dass also das Mineral polar-magnetisch ist. Kein anderes Mineral zeigt diese Eigenschaft in solchem Grade. Manches Platin, mancher Magnetkies lassen einen schwachen polaren Magnetismus erkennen.

Einige Minerale wirken auf beide Pole der Magnetnadel anziehend und werden von einem kräftigen Magneten angezogen, verhalten sich also wie Eisen, zeigen einen einfachen Magnetismus. Die Anziehung ist am stärksten am Eisen, gut erkennbar am gewöhnlichen Magneteisenerz und am Magnetkies, schwieriger am Eisenglanz, Rotheisenerz.

Zur Prüfung von geringen Graden des einfachen Magnetismus wird nach Haüy eine Magnetnadel angewandt, deren einem Pol der gleichnamige eines Magnetstabes in der Richtung der Axe genähert wurde, so dass die Nadel auf dem Punkte ist, in Folge der Abstossung umzuschlagen. (Doppelter Magnetismus.) Eine in solcher Art empfindlich gemachte Nadel gibt Ausschläge bei Annäherung sehr schwach magnetischer Körper.

Nach dem Glühen oder Schmelzen werden Minerale von beträchtlichem Eisengehalte, wie z. B. dunkler Granat, Augit, einfach magnetisch, daher bedient man sich öfter der Magnetnadel bei der Bestimmung der Minerale.

Gesteine, in welchen Magneteisenerz in erheblicher Menge vorhanden ist, wirken oft schon in grösserer Entfernung auf die Magnetnadel, zuweilen macht sich an einzelnen Gesteinsblöcken oder in ganzen Bergen ein polarer Magnetismus bemerklich in der Weise, dass zwei oder eine grössere Anzahl von Polen durch die Magnetnadel daran erkannt werden.

Der einfache Magnetismus, welcher nach den früheren Erfahrungen bloss einigen wenigen Mineralen eigenthümlich zu sein schien, ist aber, wie Faraday zeigte, eine allgemeine Eigenschaft der Körper, indem die einen vom Magnete angezogen werden, paramagnetisch sind, während die anderen vom Magnete abgestossen werden, diamagnetisch sind. Zur Untersuchung dieses Verhaltens dienen sehr kräftige Elektromagnete, welchen die zu untersuchenden Körper als Krystalle oder in der Form von Kügelchen oder Stäbchen ausgesetzt werden. Kügelchen werden von den einzelnen Polen angezogen oder abgestossen, Stäbchen stellen sich zwischen den Polen im Falle der Anziehung mit ihrer Längsaxe in die Verbindungslinie der Pole (axial) oder im Falle der Abstossung senkrecht zur vorigen Richtung (äquatorial). An einem und demselben Krystall können verschiedene Grade der Anziehung oder Abstossung vorkommen, bisweilen Anziehung in der einen, Abstossung in der anderen Richtung. Durch die Versuche von Faraday, Plücker, Grailich und v. Lang wurde gezeigt, dass die Vertheilung der magnetischen Wirkung in den Krystallen vollständig der Symmetrie des Baues entspricht.

Tesserale Krystalle werden nach allen Richtungen in gleichem Grade angezogen oder abgestossen. So z. B. verhält sich das tesserale Magneteisenerz nach allen Richtungen gleich paramagnetisch. Krystalle von wirteligem Baue verhalten sich in allen zur Hauptaxe senkrechten Richtungen gleich, parallel zur letzteren aber anders. Spath Eisenstein (rhomboëdrisch), Turmalin (rhomboëdrisch) und Vesuvian (tetragonal) sind paramagnetisch, doch stellt sich die Hauptaxe bei dem ersten axial, bei den beiden anderen äquatorial. Wismut und Kalkspath, beide rhomboëdrisch und diamagnetisch, orientiren sich verschieden, das erste stellt die Hauptaxe axial, der zweite äquatorial. Die Krystalle von einfacherem Baue zeigen in drei zu einander senkrechten Richtungen stets verschiedenes Verhalten. Am Aragonit (rhombisch), welcher diamagnetisch ist, wurden die grössten Unterschiede der Abstossung bemerkt, als die Wirkung parallel den drei Krystallaxen geprüft wurde. Die aufrechte Axe  $c$  wirkt am stärksten, die Längsaxe  $a$  am schwächsten.

Die Ebene, in welcher die Richtung der stärksten und jene der schwächsten Anziehung liegt, ist der Ebene der optischen Axen analog. Sie liegt aber in den rhombischen und den übrigen optisch zweiaxigen Krystallen bald parallel, bald senkrecht zur letzteren.

Amorphe Minerale verhalten sich wie die tesseralen. Durch Pressung erhalten sie jedoch eine bestimmte Orientirung, ähnlich wie bei der Einwirkung der Wärme und des Lichtes.

Eine wichtige Anwendung des Magnetismus findet bei der Trennung von Mineralgemengen statt. Seit langer Zeit bedient man sich des gewöhnlichen Hufeisenmagnetes, um gediegenes Eisen aus dem Pulver der Meteoriten oder um das Magneteisenerz oder den Magnetkies aus dem Pulver der Gesteine herauszuziehen. Fouqué hat zuerst den Elektromagneten angewandt, um nach dieser Operation fernere eisenhaltige Minerale, wie Augit und Olivin, von den eisenfreien, wie die Feldspathe, zu trennen.

Plücker, Pogg. Ann. Ad. 72, 74. Philos. Transactions. f. 1858. Greiss, Pogg. Ann., Bd. 98. Faraday, Experimental researches. Ser. 22. Knoblauch und Tyndall, Pogg. Ann., Bd. 81. Grailich u. v. Lang, Sitzungsber. d. Wiener Akad., Bd. 32, pag. 43. Fouqué, Mémoires d. l. Académie fr., Bd. 22, No. 11.

**144. Bestimmung des specifischen Gewichtes.** Das Gewicht der Volumeneinheit: specifisches Gewicht, Eigengewicht, Volumgewicht, ist für jedes einfache Mineral eine bestimmte Grösse, wofern immer bei derselben Temperatur gewogen wird. Nimmt man als Volumeinheit den Kubikcentimeter, als Gewichtseinheit das Gramm, so sind die Zahlen für das specifische Gewicht dieselben wie für die Dichte, wofern man unter dieser das Verhältnis zwischen dem Gewichte eines Körpers und dem Gewichte eines gleich grossen Volumens reinen Wassers versteht.

Von den Methoden der Bestimmung des specifischen Gewichtes sind gegenwärtig mehrere im Gebrauche, welche durch die Anwendung der hydrostatischen Wage, des Pyknometers und der schweren Flüssigkeiten bezeichnet werden.

Die hydrostatische Wage erlaubt, das absolute Gewicht  $M$  des zu prüfenden Minerals zu bestimmen, ferner das Mineral mittels eines dünnen Fadens an die eine Wagschale zu hängen und nach hergestelltem Gleichgewichte das Mineral in reines Wasser zu tauchen. Da jetzt die Wagschale steigt, das Mineral in Folge des Auftriebes leichter geworden zu sein scheint, so hat man, um wiederum Gleichgewicht herzustellen, auf die Wagschale, an welcher das Mineral hängt, ein Gewicht  $a$  aufzulegen. Das specifische Gewicht ist demnach:

$$s = M : a.$$

Bei der Anwendung dieser Methode ist darauf zu achten, dass das angewandte Mineral ein Aussehen besitzt, welches das Vorhandensein von fremden Beimengungen oder von Hohlräumen ausschliesst. An dem eingetauchten Stücke sollen keine Luftbläschen haften. Man vermeidet sie dadurch, dass man das Stück vor dem Eintauchen mit Wasser einreibt. Die Vorschläge von A. Gadolin und vom Autor, statt der Gewichte einen Läufer, wie bei der römischen Wage, anzu-

wenden, ferner der Vorschlag von Jolly, die Wage sammt Gewichten durch eine schraubenförmige Feder zu ersetzen, haben den Zweck, in den Fällen, da eine beiläufige Bestimmung hinreicht, die hydrostatische Wage und auch die Gewichte zu ersparen.

Die am häufigsten benutzte Methode ist die des constanten Glases oder Pyknometers. Letzteres ist ein niederes Fläschchen, welches mit einem eingeschliffenen Stöpsel, der einen feinen Canal hat, genau geschlossen werden kann. Das Gewicht  $P$  des mit Wasser gefüllten Pyknometers hat man ein für allemal bestimmt. Das Mineral wird in der Form feiner Splitter oder in Pulverform angewandt. G. Rose hat gezeigt, dass die Befürchtung, im letzteren Falle zu hohe Zahlen zu erhalten, nicht begründet sei.

Wenn das Mineral, dessen Gewicht  $M$ , in das leere Pyknometer eingetragen, der übrige Raum genau mit Wasser gefüllt und das Gewicht  $G$  des Ganzen ermittelt wird, so ist:

$$s = \frac{M}{P + M - G}$$

Bei dieser Art der Bestimmung wird man wieder die Reinheit des Mineralen berücksichtigen, doch ist dieselbe durch Auslesen der Splitter zu erreichen, auch werden etwa vorhanden gewesene Höhlungen dadurch unschädlich gemacht. Im übrigen wird man vorzüglich darauf achten, dass bei der Bestimmung von  $P$  und  $G$  genau dasselbe Verfahren und bei den beiden Füllungen mit Wasser dieselbe Temperatur beobachtet wird. Zur Entfernung der dem Mineral anhängenden Luftblasen bringt man das Pyknometer in die Luftpumpe oder kocht aus. Mittels des Pyknometers können auch Minerale, die ein geringeres spec. Gew. als das Wasser besitzen, geprüft, ferner kann auch das spec. Gew. von Flüssigkeiten bestimmt werden. Im letzteren Falle hat man blos das Gewicht  $F$  des mit dem flüssigen Mineral erfüllten Pyknometers zu bestimmen und auch das leere Pyknometer, dessen Gewicht  $L$  wäre, zu wägen; und es ist

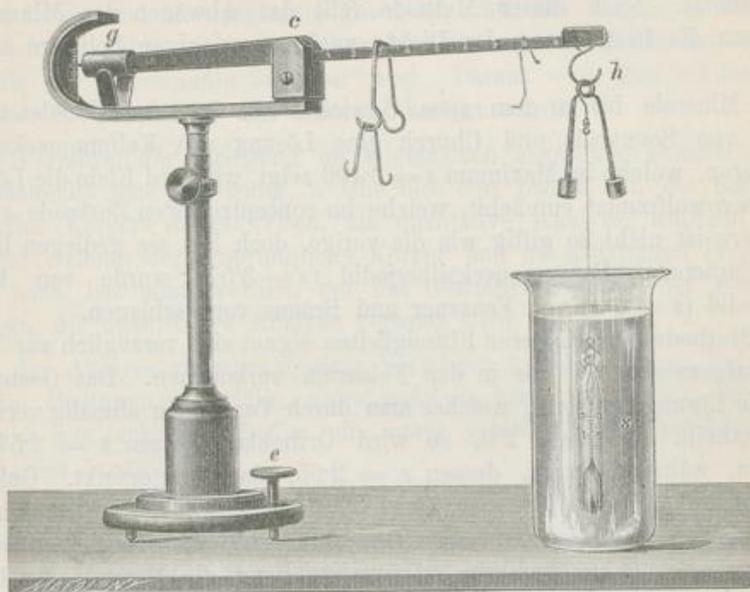
$$s = \frac{F - L}{P - L}$$

Auch eine hydrostatische Methode kann zur Bestimmung der Dichte von Flüssigkeiten angewandt werden und speciell für die weiterhin anzuführenden schweren Lösungen, deren Dichte unter 4 liegt, kann man sich der Westphal'schen Wage, Fig. 378, mit Vortheil bedienen. Diese zeigt an dem einen Ende des Wagebalkens ein Gewicht  $g$ , welches dem an dem anderen Ende angehängten Senkel  $s$  das Gleichgewicht hält, so lange dieser in Luft schwebt. Wird der Senkel in reines Wasser getaucht, so steigt er in Folge des Auftriebes, und man hat ein Gewicht  $a$  an das Häkchen bei  $h$  zu hängen, um wieder Gleichgewicht herzustellen. Wird der Senkel in eine Flüssigkeit von der Dichte 2 getaucht, so werden bei  $h$  zwei solche Gewichte anzuhängen sein. Für die Dichte 3 hat man ein Gewicht im Betrage von  $3a$  vorrätzig. Zur Bestimmung der Decimalen dienen reiterförmige Gewichte, die auf den mit einer Zehnteltheilung versehenen Wagebalken zwischen  $h$  und  $c$  aufgesetzt werden. In der Figur ist der Versuch mit einer Flüssigkeit, deren Dichte 3.338, veranschaulicht. In dem Senkel  $s$  ist

ein Thermometer eingeschlossen, welches angibt, ob die Temperatur von 15° C. eingehalten wurde, für welche das Instrument richtige Zahlen gibt.

Das spec. Gewicht von Mineralen, welche im Wasser löslich sind, wird nach einem der zuerst genannten Verfahren bestimmt, indem man als Flüssigkeit Wein-geist oder Steinöl anwendet und die erhaltene Zahl mit dem spec. Gewicht der angewandten Flüssigkeit multiplicirt.

Fig. 378.



In Folgendem sind einige wichtige Minerale nach steigendem specifischen Gewichte angeordnet.

0.6 ..	1.0	Steinöl, Erdwachs, Wasser.
1.0 ..	1.5	Harze, Kohlen, Soda, Glaubersalz.
1.5 ..	2.0	Alaun, Borax, Salpeter, Salmiak, Eisenvitriol.
2.0 ..	2.5	Gyps, Steinsalz, Leucit, Zeolithe, Graphit, Schwefel.
2.5 ..	2.8	Quarz, Feldspathe, Nephelin, Beryll, Serpentin, Talk, Calcit.
2.8 ..	3.0	Aragonit, Dolomit, Anhydrit, Tremolit, Glimmer, Boracit.
3.0 ..	3.5	Fluorit, Apatit, Hornblenden, Augite, Olivin, Epidot, Turmalin, Topas, Diamant.
3.5 ..	4.0	Siderit, Malachit, Azurit, Limonit, Korund.
4.0 ..	4.5	Baryt, Rutil, Chromit, Kupferkies, Blende.
4.5 ..	5.5	Eisenglanz, Pyrit, Markasit, Antimonit, Fahlerz.
5.5 ..	6.5	Magnetit, Cuprit, Misspickel, Kupferglanz, Rothgiltigerz.
6.5 ..	8.0	Weissbleierz, Zinnstein, Bleiglanz, Silberglanz, Eisen.
8.0 ..	10.0	Zinnober, Kupfer, Wismut.
10.0 ..	14.0	Silber, Blei, Quecksilber.
15.0 ..	21.0	Gold, Platin.
21.0 ..	23.0	Iridium.

**145.** Das spec. Gewicht vieler Minerale lässt sich auch durch Beobachtung des Schwimmens in schweren Lösungen ermitteln. Das Mineral wird in kleinen Stückchen oder in Pulverform in eine solche Lösung gebracht, auf der es anfänglich oben schwimmt. Durch Verdünnen der Lösung und Umrühren gelangt man zu dem Punkte, da das Mineral an jedem Punkte innerhalb der Lösung schwimmt und dabei weder steigt noch fällt. Nunmehr wird die Dichte der Lösung, welche jetzt gleich der des Minerals geworden, mit der Westphal'schen Wage bestimmt. Nach dieser Methode fällt das Abwägen des Minerals weg, und es kann die Bestimmung der Dichte auch an winzigen Splintern ausgeführt werden.

Für Minerale bis zu dem spec. Gewichte von 3.19 hat Thoulet nach dem Vorgange von Sonnstadt und Church eine Lösung von Kaliumquecksilberjodid vorgeschlagen, welche im Maximum  $s = 3.196$  zeigt, während Klein die Lösung von Cadmiumborowolframiat empfiehlt, welche im concentrirtesten Zustande  $s = 3.298$  hat. Letztere ist nicht so giftig wie die vorige, doch löst sie gediegen Eisen und zersetzt Carbonate. Baryumquecksilberjodid ( $s = 3.57$ ) wurde von Rohrbach, Methylenjodid ( $s = 3.3$ ) von Feussner und Brauns vorgeschlagen.

Die Methode der schweren Flüssigkeiten eignet sich vorzüglich zur Trennung der Mineralgemenge, wie sie in den Felsarten vorkommen. Das Gesteinspulver wird in die Lösung gebracht, welcher man durch Verdünnen allmählig verschiedene Dichten ertheilt. Ist diese 2.6, so wird Orthoklas, dessen  $s = 2.57$ , darauf schwimmen, während Quarz, dessen  $s = 2.65$ , darin untersinkt. Goldschmidt bedient sich zur Anzeige des spec. Gewichtes der Lösung der Indicatoren, kleiner Mineralstückchen von bekanntem spec. Gewichte in absteigender Folge, welche der Reihe nach zum Sinken kommen. Dölter verbindet die Methode der Lösungen mit der von Fouqué angegebenen Scheidung mittels des Elektromagneten.

Lit. Kohlrausch, Praktische Regeln zur genaueren Bestimmung des specifischen Gewichtes, Marburg 1856. G. Rose, Pogg. Ann., Bd. 73, pag. 1. Schröder, ebendas., Bd. 106, pag. 226. Gadolin, ebendas., pag. 213. Autor, Sitzb. d. Wiener Ak., Bd. 47. V. Thoulet, Bull. soc. min., Bd. 2, pag. 189. Klein, ebendas., Bd. 4, pag. 149. Goldschmidt, Jahrb. f. Min. 1881, Beilagebd. I, pag. 179. Dölter, Sitzungsab. d. W. Ak., Bd. 85, pag. 47. Eine Uebersicht der Angaben des spec. Gew. der Minerale lieferte Websky in den Mineralog. Studien, I, Breslau 1868.

### III. Mineralchemie.

**146. Analyse und Synthese.** Die Veränderungen, welche die Minerale erfahren können, sind zum Theil solche, bei denen bloß die Form oder der Aggregatzustand wechselt, zum Theil aber sind dieselben substantielle Veränderungen, bei welchen aus den ursprünglichen Mineralen Körper mit neuen Eigenschaften gebildet werden. Manchmal ist der Vorgang derart, dass aus einem Körper, ohne dass etwas hinzukommt oder verloren geht, zwei oder mehrere neue entstehen. So bildet sich aus dem Kalkspath durch Glühen Kohlensäuregas und Aetzkalk, so wird das Wasser durch den galvanischen Strom in Wasserstoffgas und Sauerstoffgas zerlegt. Wir drücken das Resultat dieser Versuche so aus, dass wir sagen,