

### III. Beiträge zur Kenntniss der optischen Aenderungen in Krystallen unter dem Einflusse der Erwärmung.

Von

Wilhelm Klein in Bonn.

(Mit 7 Holzschnitten.)

---

#### I.

Schon Brewster \*) zeigte durch zahlreiche Versuche, dass durch künstliche Mittel auch in isotropen Medien Doppelbrechung erzeugt werden könne. Wenn man eine rechtwinklig parallelepipedische Glastafel mit quadratischer Basis von zwei einander gegenüberliegenden Flächen aus zusammendrückt und so zwischen zwei gekreuzte Nicols stellt, dass die Druckrichtung der Polarisationssebene des einen parallel ist, so erblickt man ein schwarzes Kreuz, dessen Arme die Richtung des Druckes und die darauf senkrechte haben. Steigert man den Druck, so bilden sich um die beiden Endpunkte des der Druckrichtung parallelen Armes kleine Farbenringe, welche an die Lemniscaten der zweiachsen Krystalle erinnern.

Auch mit einaxigen Krystallen stellte Brewster \*\*) ähnliche Versuche an und constatirte, dass dieselben durch einen Druck senkrecht zur optischen Axe zweiartig werden. Diese Entdeckung bestimmte dann Moigno und Soleil \*\*\*) , eine Reihe von einaxigen Krystallen nach dieser Richtung hin zu prüfen; sie fanden, dass bei den positiven Krystallen, wie z. B. Quarz, die Axenebene sich parallel zur Druckrichtung, bei den negativen aber, wie beim Beryll und Turmalin, die Axenebene sich senkrecht zur Druckrichtung stellte. Pfaff †) kam, ohne die Arbeiten Moigno's, wie es scheint, zu kennen, zu denselben Resultaten. Es bestätigte sich die Be-

---

\*) Philos. transact. 1816.

\*\*) Vergl. Moigno, Répertoire d'optique moderne. Paris 1850.

\*\*\* ) ibidem.

†) Pogg. Ann. 107, 333; 108, 598.

obachtung an den positiven Krystallen Quarz und Apophyllit und an vier negativen Kalkspath, Beryll, Turmalin und Honigstein. Bei dem positiven Zirkon konnte er die gewünschte Erscheinung nicht deutlich wahrnehmen; bei stärkerem Druck zersprang ihm die einzige zu Gebote stehende Platte, so dass er auf die Untersuchung dieses Krystalls verzichten musste. Er fand demnach keine abweichenden Verhältnisse, wie Bücking\*) angiebt, und wahrscheinlich zeigt der Zirkon bei angewandtem Druck dieselben Erscheinungen wie die übrigen positiven Krystalle, was auch aus meinen Beobachtungen, welche ich am Zirkon machte, hervorzugehen scheint. Neuerdings hat Bücking\*\*) experimentelle Untersuchungen darüber angestellt, in welcher Weise die optischen Verhältnisse der Krystalle unter dem Einfluss eines messbaren äusseren Druckes modificirt werden. Aus denselben geht hervor, dass bei einaxigen Krystallen die Grösse des durch den Druck entstehenden Winkels der beiden optischen Axen nicht von Anfang an proportional dem Drucke zu- oder abnimmt, sondern dass ein verhältnissmässig geringer Druck im Stande ist, in einer einaxigen Partie einer Krystallplatte einen kleinen Axenwinkel hervorzurufen, dagegen ein schon ziemlich starker Druck nöthig ist, um eine merkliche Aenderung des Axenwinkels in einem zweiaxigen Theile der Platte zu erzeugen. Für die verschiedenen einaxigen Mineralien entstand durch einen gleich hohen Druck ein verschiedener Axenwinkel: so wurde durch den gleichen Druck bei Turmalin ein weit kleinerer Axenwinkel erzeugt als bei Apatit und Beryll. Auch waren bei abnehmendem Druck die Winkelwerthe etwas anders als beim Steigern des Druckes; den Grund hierfür sucht Bücking darin, dass der Krystall gleichsam eine gewisse Zeit nach aufgehobenem Druck brauche, um wieder vollkommen unabhängig von dem Einfluss der Pressung zu werden. Bleibende Aenderungen hat Bücking nicht beobachten können. Auch Klocke\*\*\*) fand bei Gelegenheit seiner Untersuchung über die Structur des Eises, dass eine Eisplatte, welche das normale Axenbild zeigte, durch einen verhältnissmässig niedrigen Druck senkrecht zur optischen Axe zweiaxig wurde. Bleibend war die Erscheinung nicht; hörte der Druck auf, so verschwand auch die Zweiaxigkeit.

Dass solche optische Aenderungen in den Krystallen immer mit Compressionen und Dilatationen verknüpft sein müssen, beweisen die in der letzten Zeit veröffentlichten sehr interessanten Arbeiten von Kundt†). Elektrisirt man nämlich zwei gegenüberliegende Seiten einer quadratisch geschnittenen Quarzplatte, deren Normale parallel der optischen Axe ist, die eine positiv, die andere negativ, so tritt nach der Entdeckung von

---

\*) Diese Zeitschr. 7, 557.

\*\*) l. c.

\*\*\*) Neues Jahrb. für Min., Geol. u. s. w. 1880.

†) Kundt, Pogg. Ann. Neue Folge 1883.

Lippmann\*) und Curie\*\*) eine Dilatation in der Richtung der Verbindungslinie der beiden elektrisirten Seiten ein. Betrachtet man nun eine solche elektrisirte Quarzplatte im Polarisationsinstrument, so ändert sich das ursprüngliche Ringsystem und zwar in der Weise, dass Ellipsen entstehen, deren Längsaxe senkrecht ist zu der Richtung, in welcher die Dilatation stattfindet. Ganz von derselben Art sind die Beobachtungen Röntgen's\*\*\*) hinsichtlich der Aenderung in der Doppelbrechung des Quarzes hervorgerufen durch Elektrizität.

Aehnliche Wirkungen wie ein mechanischer Druck bringt auch eine ungleiche Erwärmung oder Abkühlung auf die Elasticitätsverhältnisse eines Mediums hervor; es müssen also die durch letztere erzeugten optischen Erscheinungen in den Medien analog denjenigen sein, welche man durch Anwendung eines Druckes erhält. Versuche nach dieser Richtung hin rühren ebenfalls schon von Brewster†) her. Ein cylindrisches Glasstück vom Umfange aus erwärmt zeigt das Ringsystem mit schwarzem Kreuz und verhält sich genau wie eine senkrecht gegen die Axe geschnittene positive einaxige Krystallplatte mit dem Unterschiede, dass sich nur die Axe des Cylinders wie eine optische Axe verhält, und nicht wie bei den Krystallen jede derselben parallele Richtung. Lässt man das Glasstück, nachdem man es z. B. durch Tauchen in siedendes Oel gleichmässig erhitzt hat, erkalten, indem man seinen Umfang mit einem guten Wärmeleiter umgiebt, so verhalten sich die Ringe wie in einem negativen Krystall. Ist das Glasstück oval, so muss es wie ein zweiaxiger Krystall wirken, und man erhält Lemniscaten mit dem schwarzen Kreuz oder schwarzen Hyperbeln je nach der Stellung der Polarlinie gegen die Hauptschnitte der sich kreuzenden Nicols. Man kann den Gläsern die doppelbrechenden Eigenschaften auch bleibend beibringen, indem dieselben stark erhitzt und dann schnell abgekühlt werden. Durch die hierbei eintretende ungleichmässige Contraction des Glases werden innere Spannungen erzeugt, welche das Glas doppelbrechend machen (gekühlte Gläser, welche im polarisirten Licht je nach ihrer Gestalt die mannigfachsten Interferenzbilder liefern).

Viele sogenannte colloidale Substanzen, wie Collodium, Gelatine u. a. haben die Eigenschaft, beim Uebergang aus dem gelösten in den festen Zustand eine erhebliche Contraction zu zeigen und hierdurch in Folge der im Innern sich vollziehenden Spannungen deutliche Erscheinungen der Doppelbrechung zu zeigen, die, wie dieses von Klein, Klocke, Ben Sade nachgewiesen wurde, in directer Beziehung stehen zu den Flächen der Formen, in welchen die Verfestigung der Gallerte erfolgte. Nach

---

\*) Ann. de chim. et phys. 1881.

\*\*) Comptes rend. 1881, **93**, 1138.

\*\*\*) Ber. der oberhess. Gesellsch. für Natur- und Heilkunde 1883.

†) Philos. Transact. 1816.

Reusch \*) scheint dieselbe Fähigkeit auch manchen krystallisirten Körpern zuzukommen. Ein solcher ist der Alaun, dessen Krystalle, obschon sie zu den isotropen gehören, doch sehr oft die Erscheinungen schwacher Doppelbrechung zeigen. Dieselben treten nun so auf, dass man annehmen muss, es sei die Substanz eines solchen Krystalls gespannt innerhalb gewisser Ebenen, parallel denen die schichtenweise Anlagerung beim Aufbau derselben stattfand. Klein \*\*) ist der Ansicht, dass nicht nur eine Contraction der Massen ähnlich den Colloiden stattfindet, sondern auch die Gestalt des vorhandenen Körpers selbst einen Einfluss auf diese Contraction geltend macht, der auf einer gegebenen Fläche nach Art ihrer Umgrenzungselemente, nach dem auf sie wirkenden Druck, nach Temperatur und Concentration der Lösung verschieden, differente Effecte äussern wird und gleiche nur unter gleichbleibenden Bedingungen erzeugt.

Da hiernach eine innere Spannung oder Pressung, entstanden bei dem Acte der Krystallisation, bei isotropen Krystallen vorkommt und eine Art der Doppelbrechung verursacht, so ist klar, dass auch in doppelbrechenden Krystallen aus gleicher Ursache Abweichungen von den ihnen eigentlich zukommenden optischen Eigenschaften vorkommen können. In der That zeigen die basischen Schnitte oder Spaltungsstücke optisch einaxiger Krystalle, wie Turmalin, Zirkon, Apophyllit und anderer, sowohl im Ringssystem als auch in dem schwarzen Kreuze mancherlei Anomalien, welche an die Verhältnisse optisch zweiaxiger Krystalle erinnern, ja selbst bei zweiaxigen Krystallen, wie beim Topas, können optische Abnormitäten sich zeigen, welche auf oben angeführte Ursachen zurückgeführt werden.

Allerdings hat Mallard \*\*\* ) zur Erklärung der Doppelbrechungserscheinungen regulär krystallisirter Substanzen die Hypothese aufgestellt, dass diese nur pseudoregulären Krystalle aus mehreren doppelbrechenden Individuen von niedrigerer Symmetrie, als sie die Form des ganzen Krystalls aufweist, zusammengesetzt seien. In analoger Weise hat er auch die optischen Anomalien einaxiger Krystalle gedeutet, indem er hier ebenfalls Complexe von Individuen niedrigerer (rhombischer, monokliner oder trikliner) Symmetrie annimmt.

Der Wichtigkeit des fraglichen Gegenstandes wegen möchte es nun sehr wünschenswerth sein, alle mechanischen Mittel, durch welche innere Spannungen hervorgebracht werden können, auf Krystalle anzuwenden, um eine Uebersicht zu gewinnen, in wie weit dieselben auf die optischen Anomalien von Einfluss sein können. Dieser Umstand veranlasste mich, Versuche darüber anzustellen, in welcher Weise die optischen Eigenschaften

---

\*) Pogg. Ann. 1867, 132, 624.

\*\*) Neues Jahrb. für Mineral. etc. 1883, I, 2, 160.

\*\*\* ) Ann. des mines 1876. Diese Zeitschr. 1, 309 f.

ein- und zweiaxiger Krystalle durch eine ungleichmässige Erwärmung modificirt werden, Versuche, deren meines Wissens bis jetzt keine vorliegen.

Zu diesem Zwecke fertigte ich mir aus einer Reihe von Krystallen, die mir aus der reichhaltigen Sammlung des mineralogischen Instituts zu Bonn durch die Güte des Herrn Prof. Dr. von Lasaulx zur Verfügung gestellt wurden, durch Spalten oder Schleifen Platten an, deren Flächen senkrecht zur optischen Axe oder ersten Mittellinie orientirt waren.

### Art der Beobachtung.

Das zur Beobachtung dienende Instrument war ein nach den Angaben von Bertrand von Nachet in Paris angefertigtes Polarisationsmikroskop, dessen Objecttisch neben der Drehung auch eine Verschiebung durch eine Schlittenvorrichtung in zwei senkrecht auf einander stehenden Richtungen erlaubte, so dass eine jede Stelle der Platte bequem beobachtet werden konnte. Ausserdem war der Apparat mit dem Lasaulx'schen Condensator versehen und gestattete ferner, durch eine zwischen Ocular und Objectiv eingeschobene Bertrand'sche Linse das Gesichtsfeld zu vergrössern, was in vielen Fällen für die Beobachtung bequemer war, indem der Verlauf der unten näher zu beschreibenden Erscheinungen deutlicher wahrzunehmen war; auch brauchte man das Objectiv nicht so sehr dem Objecte zu nähern, als es dann nöthig wurde, wenn die Ocularlinse fehlte.

4) Die ungleichmässige Erwärmung geschah in der Weise, dass ein Plättchen aus Rothkupfer, dessen Verlängerung mit einer Alkoholflamme erhitzt wurde, an einer Seite des Krystalls auf denselben aufgelegt wurde. Der an dem einen Ende das Plättchen tragende Kupferdraht war mit seinem anderen Ende in einen Holzstab geschraubt, welcher in horizontaler Lage an einem verticalen Stativ vermittelt eines Ringes, der um letzteres führte, auf und nieder geschoben werden konnte. Ein zweiter Ring, auf welchem der erstere ruhte, und der ebenfalls um das Stativ führte, wurde durch eine Schraube an das letztere festgeschraubt. Auf diese Weise konnte der das Kupferplättchen tragende horizontale Träger in jeder Höhe des Stativs festgestellt werden, konnte aber zugleich, da der Ring, welcher den Arm mit dem Kupferdraht trug, sich nur lose um das Stativ bewegte, um das letztere als Axe gedreht werden. Bei Beginn des Experimentes wurde das Kupferplättchen auf die Höhe des auf dem Objecttisch des Instruments befindlichen Krystalls gebracht und an einer passenden Stelle aufgelegt. Die den Kupferdraht erhaltende Flamme erwärmt gleichzeitig das Plättchen, welches die Wärme dem Krystall zuführt. Es ist klar, dass die zur Untersuchung benutzten Krystallplatten eine ziemliche Grösse haben mussten; denn, da man in vielen Fällen mit dem Objectiv ziemlich nahe an die Krystallplatte heranzugehen genöthigt ist, so muss das aufgelegte Kupferplättchen, will

man die Objectivlinsen nicht in Gefahr bringen, aus dem Bereiche der letzteren bleiben; die zur Anwendung kommenden Platten müssen demnach eine Ausdehnung haben, die mindestens grösser ist, als der untere Querschnitt des Objectivs. Aus diesem Grunde konnten auch complicirtere Erhitzungsapparate, die geeignet sind, die Temperatur möglichst hoch zu steigern, nicht zur Verwendung kommen.

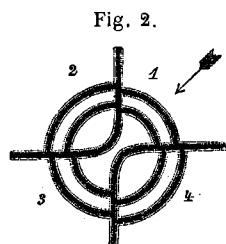
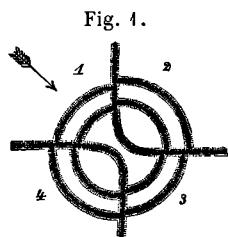
2) Um sowohl die einseitige Wärmezufuhr zu beschleunigen, als auch eine Drehung des Präparats bei der Erwärmung zu ermöglichen, was bei der eben beschriebenen Versuchsmethode nicht angeht, liess ich mir eine Pincette aus Kupfer anfertigen, welche mit einer Asbestunterlage auf einem flachen Holzring so befestigt war, dass die das Präparat fassenden Spitzen der Pincette gerade in die Mitte des kreisförmigen Ringausschnittes zu liegen kamen. Um das Gleichgewicht mit der Pincette herzustellen, war der letzteren gegenüber auf dem Holzring ein Gegengewicht aus Blei befestigt. Das Ganze wurde auf den Objecttisch gebracht, und das überragende Ende der Pincette in einer Spiritusflamme erhitzt, deren Wärme sich dem in die Pincette geklemmten Krystall mittheilte. Der zwischen dem Holzring und dem Kupfer befindliche Asbest diente zur Isolirung. Durch diese Anordnung wurde das Gewünschte erreicht. Da die Krystallplatte von zwei Seiten gefasst wurde, so wurde jetzt die Wärme sowohl von oben als unten her zugeleitet; ausserdem konnte, weil der Apparat auf dem drehbaren Objecttisch sich befand, das Präparat während der Erwärmung um einen beliebigen Winkel gedreht werden, wenn zugleich die Stellung der Flamme entsprechend geändert wurde, was keine Schwierigkeit bot.

### Resultate.

#### Apatit von Ehrenfriedersdorf.

Optisch negativ. Zur Anwendung gelangte eine Platte, welche von mir auf eine solche Dicke geschliffen war, dass in convergentem Licht bei gekreuzten Nicols eine Anzahl deutlich zu unterscheidender Ringe, durchschnitten von dem dunklen Kreuz, im Gesichtsfeld lagen. Das Kupferplättchen wurde so aufgelegt, dass dasselbe einen beliebigen der vier durch das dunkle Kreuz entstehenden Quadranten halbirte. Nachdem einige Zeit erwärmt worden war, sah man das Kreuz in eine Hyperbel auseinander gehen, deren Axe senkrecht war zu der Richtung, in welcher die Wärme zugeführt wurde. Gleichzeitig verschoben sich die Ringe in dem Quadranten, in welchem man erwärmte und dem gegenüberliegenden (der Kürze halber will ich dieselben von jetzt an mit Quadranten 1 und 3 bezeichnen) gegen die Mitte, während in den beiden anderen Quadranten (2 und 4) dieselben sich vom Centrum entfernten. Wurde jetzt das Plättchen weggenommen, und liess man den Krystall sich abkühlen, so nahmen die Ringe allmählich ihre ursprüngliche Lage wieder ein und die Hyperbel schloss

sich wieder zum Kreuze. Ganz entsprechend war der Verlauf der Erscheinung, wenn die Wärme in irgend einem anderen Quadranten zugeleitet wurde. In den Quadranten 1 und 3 trat eine Verengung der Ringe, in den beiden anderen Erweiterung derselben ein mit gleichzeitiger Umwandlung des Kreuzes in eine Hyperbel, deren Axe senkrecht ist zur Richtung der Wärmezuführung, wie Fig. 1 und 2 veranschaulichen.



Die optischen Erscheinungen bei einer einseitig erwärmten Apatitplatte sind demnach von derselben Art wie diejenigen, welche man erhält, wenn man zu einer senkrecht zur optischen Axe geschnittenen optisch einaxigen Krystallplatte ein Viertelundulationsglimmerblättchen hinzufügt. Die Versuche wurden verschiedene Male mit derselben Platte wiederholt und immer mit demselben Erfolge.

#### Quarz vom St. Gotthard.

Optisch positiv. Aus einem Quarzkrystall wurde senkrecht zur Hauptaxe eine Platte geschnitten und dieselbe auf eine Dicke von ungefähr einem Millimeter geschliffen. Bei gekreuzten Nikols betrachtet zeigte dieselbe schön und deutlich eine Anzahl farbiger Ringe mit dem dunkeln Kreuz. Die Versuche wurden zuerst in derselben Weise gemacht wie beim Apatit, nämlich es wurde das Kupferplättchen in der Stellung von  $45^\circ$  zu den Armen des Kreuzes aufgelegt, und die Verlängerung desselben in der Alkoholflamme erhitzt. Hierbei zeigte sich, dass in den Quadranten 1 und 3 eine Erweiterung der Ringe, in den Quadranten 2 und 4 eine Verengung derselben stattfand, während gleichzeitig das dunkle Kreuz sich in eine Hyperbel spaltete, deren Axe parallel war der Richtung der Wärmezuleitung. Es verhalten sich demnach Apatit und Quarz gerade umgekehrt.

Um sowohl die Erscheinungen deutlicher zu erhalten als auch eine Drehung des Objects bei der Erwärmung ausführen zu können, wandte ich die zweite Versuchsmethode\*) an. Jedoch gelangte ich hierbei nicht zu dem gewünschten Resultate. Wie lange und wie intensiv auch erwärmt

\*) Siehe unter »Art der Beobachtung«.


wurde, die Ringe blieben als Ganzes bestehen, keine merkliche Erweiterung und gleichzeitige Verengung der Ringtheile in zwei nebeneinander liegenden Quadranten konnte beobachtet werden; auch das die Ringe schneidende dunkle Kreuz zeigte keine Veränderung. Unter diesen Umständen musste auf diese Art des Versuchs verzichtet werden. Ich kehrte daher zu der alten Methode zurück. Aber auch diese zeigte sich jetzt mehr oder minder erfolglos. Da nun bei der letzteren Art der Erwärmung, bei welcher die Wärme von zwei Seiten zugeführt wird, das Experiment fehlgeschlug, so schloss ich, dass der Eintritt der gewünschten Erscheinung an die Erwärmung der einen oberen Seite geknüpft ist; zugleich aber zeigt das Misslingen der ersteren Versuchsmethode, dass die Wärme zu langsam dem Krystall mitgetheilt wird, in Folge dessen derselbe sich im Ganzen erwärmt, also Erscheinungen, wie sie von einseitiger Erwärmung erwartet werden, nicht eintreten können. Es musste mithin dafür gesorgt werden, dass die Zuleitung der Wärme plötzlich und von einer Seite her stattfindet, und die Beobachtung im Augenblicke der Erwärmung angestellt wird. Um dieses zu erreichen, wurde das Plättchen, welches jetzt durch ein etwas dickeres Eisenstückchen ersetzt wurde, zuerst in einer Spiritus- oder Gasflamme stark erhitzt und dann auf die Krystallplatte aufgelegt. Bei dieser Art des Versuchs zeigten sich die erwarteten und oben beschriebenen Erscheinungen sofort klar und deutlich; speciell für Quarz wurde Folgendes beobachtet: Wurde das Eisenstückchen in einem der durch die dunkeln Arme des Kreuzes gebildeten Quadranten aufgelegt, so erweiterten sich die Ringe in den Quadranten 1 und 3, während in den Quadranten 2 und 4 eine Verengung derselben eintrat. Gleichzeitig öffnete sich das dunkle Kreuz in eine Hyperbel, deren Axe parallel war der Richtung der Wärmezufuhr.

#### Apophyllit von der Seisseralp (Tirol).

Doppelbrechung positiv. In der Einleitung wurde erwähnt, dass die basischen Spaltungsstücke von Apophyllit häufig Anomalien in optischer Beziehung zeigen. Bei den mir zu Gebote stehenden Krystallen war dies der Fall. Die Abweichung des Interferenzbildes von dem gewöhnlichen der einaxigen Krystalle bestand darin, dass sich je nach der Stellung der Platte das Kreuz oder die Hyperbel zeigte, wie dies bei zweiaxigen Krystallen der Fall ist.

Die einseitige Erwärmung fand zuerst in der Weise statt, dass das Eisenstückchen in einem der Räume aufgelegt wurde, welche von den Hyperbelbögen begrenzt sind. Hierbei zeigte sich Folgendes: Die Hyperbelbögen entfernen sich beiderseits von der Mitte, oder, wenn wir den Apophyllit als zweiaxig auffassen wollen, der Axenwinkel vergrössert sich. Die Ringtheile in den inneren Hyperbelräumen erweitern sich, die in den



anderen verengen sich; die Theile des ersten Ringes in den letzteren äusseren Hyperbelräumen verbinden sich mit den den Polen benachbarten Theilen der Hyperbel zu einer nicht geschlossenen Acht von folgender Form () , indem nämlich die Hyperbel zwischen den abgerückten Theilen des ersten Ringes deutlich absetzt. Bei den nächstfolgenden auch noch getrennten Ringen erscheint jedoch die dunkle Hyperbel wieder. Wird dagegen die Wärme in einem äusseren Hyperbelraum zugeleitet, so vereinigen sich die Hyperbelbögen zu einem geschlossenen Kreuz, oder anders ausgedrückt: der Axenwinkel wird gleich Null\*). Zugleich erweitern sich die Ringtheile in dem Zuleitungsraume und dem gegenüberliegenden und die Theile des ersten Ringes suchen sich mit denen des zweiten Ringes in den inneren Hyperbelräumen zu vereinigen. In diesen verengen sich die Ringtheile und die des ersten Ringes verbinden sich mit dem dunkeln Kreuz zu einer geschlossenen Acht (8). Auch in diesem Falle setzt die Hyperbel zwischen den abgerückten Ringtheilen, wenigstens für den ersten Ring gilt dies, durch eine lichtere Stelle ab.

#### Zirkon von Ceylon.

Doppelbrechung positiv. Bei ungleichmässiger Erwärmung zeigt der Zirkon genau dieselben Erscheinungen wie der Quarz, nämlich das dunkle Kreuz geht in eine Hyperbel über, deren Axe parallel ist der Erwärmungsrichtung; in den Quadranten 1 und 3 findet eine Erweiterung, in den beiden anderen eine Verengung der Ringe statt\*\*).

Von anderen negativen einaxigen Krystallen habe ich noch den Kalkspath von Island untersucht, welcher sich genau so wie Apatit verhielt.

Fassen wir die eben beschriebenen Erscheinungen zusammen, so ist zunächst hervorzuheben, dass bei sämtlichen untersuchten einaxigen Krystallen durch eine ungleichmässige Erwärmung das dunkle Kreuz der Interferenzfigur in eine Hyperbel gespalten wird. Mit dieser Umwandlung des Kreuzes in eine Hyperbel ist gleichzeitig eine Aenderung der farbigen concentrischen Ringe verbunden der Art, dass die Ringtheile in den inneren Theilen der entstandenen Hyperbel sich erweitern, in den beiden äusseren sich verengen. Jedoch waren alle diese Aenderungen für eine Gruppe der untersuchten Mineralien gerade umgekehrt wie für die andere.

---

\*) In Bezug auf den Apophyllit bemerkt Des Cloizeaux, dass derselbe, wie alle einaxigen Substanzen, welche nur durch gelegentliche Structur-Anomalien zweiaxig erscheinen, bei Temperaturerhöhung trotz der Zweiaxigkeit einen unveränderten Axenwinkel besitze.

\*\*) Manche Zirkonkrystalle bieten optische Anomalien dar, welche sich besonders am innersten centralen Ring wahrnehmen lassen. Derselbe stellt nicht mehr eine ganz stetige Curve dar, wie dies bei wirklich zweiaxigen Lamellen der Fall ist, sondern besteht aus zwei einander nicht genau correspondirenden Kreishögen.

Auf der einen Seite verhielten sich Apatit und Kalkspath genau gleich, anderseits waren die Erscheinungen bei Quarz, Apophyllit und Zirkon zwar unter sich genau dieselben, aber gerade entgegengesetzt zu den des Apatit und Kalkspath. Während bei den letzteren die Axe der gebildeten Hyperbel senkrecht war zu der Richtung, in welcher die Wärme zugeführt wurde, und dementsprechend die Lage der Ringtheile sich gestaltete, war bei ersteren die Axe parallel der Erwärmungsrichtung.

Was den Apophyllit anbetrifft, so ist zwar bei den nicht erwärmten Spaltungsstücken schon das dunkle Kreuz in eine Hyperbel getheilt, wie oben bemerkt wurde, und ist der Verlauf der Erscheinungen daher bei dieser Substanz etwas modificirt; jedoch findet keine principielle Abweichung derselben von denen des Quarz und des Zirkon statt. Denn wenn die Wärme in den inneren Hyperbelräumen zugeführt wird, so entfernen sich die Hyperbelbögen von einander mit gleichzeitig eintretender Ring-erweiterung in den Räumen 1 und 3, während in den beiden anderen Räumen die Ringe sich contrahiren. Wird aber die Richtung, in der die Wärme zugeführt wird, um  $90^0$  geändert, so müsste die entsprechende Erscheinung eintreten, wie sie beim Quarz eintritt, wenn die Wärmezu-leitung in einer um  $90^0$  verschiedenen Richtung stattfindet. Dies wird aber dadurch verhindert, dass beim Apophyllit statt des dunkeln Kreuzes eine Hyperbel vorhanden ist. Dass aber die analoge Erscheinung eintreten will, geht daraus hervor, dass die Hyperbel sich zu einem Kreuz schliesst, und die Ringsysteme sich in derselben Weise ändern, wie dies beim Quarz der Fall war.

Aus alledem geht hervor, dass ein Theil der einaxigen Krystalle bei ungleichmässiger Erwärmung unter sich optisch genau gleich sich verhält, der andere Theil zwar eine entsprechende aber gerade entgegengesetzte Aenderung der Interferenzfigur erleidet, dass die optischen Eigenschaften der Krystalle, deren Doppelbrechung positiv ist, in dem einen Sinne, die der optisch negativen in dem anderen modificirt werden. Es kann demnach die einseitige Erwärmung auch wohl eine Methode darbieten, den optischen Charakter der einaxigen Krystalle zu bestimmen.

---

Ausser einaxigen Krystallen habe ich auch zwei-axige nach dieser Richtung hin untersucht und bin zu Resultaten gelangt, welche ähnlich sind denjenigen, welche sich für Krystalle der ersteren Art ergaben.

#### Cordierit von Haddam.

Doppelbrechung negativ. Die von mir benutzte Platte stammt aus der Sammlung optischer Präparate des mineralogischen Instituts zu Bonn und ist angefertigt von Steeg in Homburg.

Mit einem Nörremberg'schen Polarisationsapparat wurde zunächst der (scheinbare) Winkel der optischen Axen gemessen und derselbe zu  $68^{\circ} 9'$  im Mittel bestimmt. Ehe ich dazu übergang, auf den Krystall die ungleichmässige Erwärmung anzuwenden, erwärmte ich denselben gleichmässig, um die Art und Weise der Aenderung des Winkels der optischen Axen mit der Temperatur festzustellen \*). Eine vorläufige Prüfung ergab, dass schon bei einer geringen Temperaturerhöhung, die zunächst nicht genauer festgestellt wurde, die aber jedenfalls nicht viel über  $200^{\circ}$  betrug (die Platte wurde einige Augenblicke in eine Alkoholflamme gehalten und dann schnell unter das Mikroskop gelegt), der Axenwinkel sich um circa  $44\text{--}42^{\circ}$  vergrösserte. Es ist dies keine genaue Bestimmung, sondern nur eine ungefähre Schätzung, die in folgender Weise erreicht wurde: Auf dem Horizontalfaden des Fadenkreuzes befindet sich eine Theilung; das Präparat wurde mit dem Objecttisch in eine solche Lage gebracht, dass die Pole des Interferenzbildes auf die Theilung fielen. Mit Hülfe des gemessenen Axenwinkels konnte man sich dann annäherungsweise den Winkel zwischen zwei benachbarten Theilstrichen berechnen und hiernach eine ungefähre Schätzung der Zunahme des Axenwinkels bei Erwärmung des Cordierit vornehmen. Bei weiteren Versuchen wurde constatirt, dass die Vergrösserung des Axenwinkels von einer Aenderung der die Pole umgebenden farbigen Ringsysteme begleitet ist. Der ursprüngliche Anblick des Interferenzbildes war, dass zwei rothe Ringe zu verschiedenen Polen gehörig sich im Centrum des ganzen Bildes berührten und ein rothes Feld an dieser Stelle bildeten. Wurde nun die Platte erwärmt, so gingen die Pole auseinander resp. der Axenwinkel vergrösserte sich, die sie umgebenden Ringe wanderten mit, die äussersten rothen Ringe trennten sich von einander, und das rothe Feld in der Mitte machte dem Grün Platz. Gleichzeitig schnürten sich die beide Pole umgebenden Lemniscaten nach der Mitte zu ein. Dieses Einschnüren der Curven und der Farbenwechsel des mittleren Feldes tritt ziemlich rasch und deutlich ein, wenn auch eine sonderlich wahrnehmbare Aenderung des Axenwinkels noch nicht zu bemerken ist. Diese Beobachtungen schienen mir interessant genug, auch andere zweiaxige Krystalle nach dieser Richtung hin zu untersuchen. Ein Spaltungstück von Topas und ein senkrecht zur ersten Mittellinie geschliffener Axinit ergaben ähnliche Resultate wie der Cordierit. Bei gleichmässiger Temperaturerhöhung vergrössert sich der Axenwinkel mit gleichzeitig eintretendem Einschnüren der Lemniscaten. (Die Vergrösserung des Axenwinkels

---

\*) Erst in der neuesten Zeit hat man bestimmt ausgesprochen, dass Erhöhung der Temperatur den Axenwinkel des Cordierit merklich vergrössert (s. Naumann-Zirkel, Mineral. 1884). Des Cloizeaux giebt an, dass die Grösse des Axenwinkels des Cordierit aus den verschiedenen Fundorten verschieden, bei ein und demselben Exemplar aber für alle Temperaturen constant sei (s. Des Cloizeaux, Manuel de min. p. 356).

konnte nicht durch einfaches Beobachten der Platte constatirt werden, da wegen der Grösse des Axenwinkels die Pole ausserhalb des Gesichtsfeldes lagen.) Da demnach bei sämmtlichen drei Krystallen, bei denen durch gleichmässige Erwärmung eine Vergrösserung des Axenwinkels stattfindet, die Farbencurven sich einschnüren, so müssen bei einer Verkleinerung des Axenwinkels dieselben sich gerade umgekehrt verhalten. Um die Art und Weise einer solchen Aenderung kennen zu lernen und mit der ersteren zu vergleichen, wurden zwei Adulare aus der Eifel zur Untersuchung benutzt, welche ebenfalls aus der Sammlung des mineralogischen Instituts zu Bonn herrühren. Diese beiden Exemplare eigneten sich deshalb sehr gut zur Beobachtung, weil ihr Axenwinkel hinreichend klein war, und die Pole der Interferenzfigur daher im Gesichtsfeld lagen, so dass die Ab- resp. Zunahme des Axenwinkels und die Aenderung der Lemniscaten gleichzeitig unter dem Mikroskop verfolgt werden konnte. Bei dem einen Adular, der in der Sammlung mit Nr. 4 bezeichnet ist, liegt die Ebene der optischen Axen parallel der Symmetrieebene, bei dem anderen Nr. 5 parallel zur horizontalen Diagonale der Basis. Wurden die beiden Krystalle erwärmt, so vergrösserte sich bei Nr. 4 der Axenwinkel, die Farbencurven, welche die beiden Pole gemeinschaftlich umgaben und hier eine mehr elliptische Form hatten, schnürten sich zu einer bisquitähnlichen Form ein, gerade so, wie dies bei Cordierit, Topas und Axinit der Fall war; dagegen beim Adular Nr. 5 verkleinerte sich der Axenwinkel; die beiden äussersten die Pole umgebenden und sich in der Mitte des Gesichtsfeldes berührenden Ringe gingen in eine einzige beide Pole umfassende Curve über, die bei zunehmender Temperatur nach und nach die Form einer Ellipse anzunehmen suchte. Selbstverständlich haben alle diese Erscheinungen den umgekehrten Verlauf, wenn man die Platten sich allmählich abkühlen lässt. Diese Beobachtungen genügen, um den Schluss zu ziehen, dass mit der Vergrösserung resp. Verkleinerung des optischen Axenwinkels stets eine Aenderung der Ringsysteme und Lemniscaten verbunden ist, die entgegengesetzt ist, je nachdem der Winkel wächst oder abnimmt. Vergrössert sich der Axenwinkel, so schnürten sich die Farbencurven ein, verkleinert derselbe sich, so erweitern sie sich, d. h. suchen eine mehr elliptische Gestalt zu erlangen. Die Aenderung der Curven tritt, wie gesagt, im Allgemeinen ziemlich rasch und deutlich ein, viel rascher und deutlicher wenigstens als die Vergrösserung resp. Verkleinerung des Winkels der optischen Axen; sie ist aber die stete Begleiterin und Folge derselben. In vielen Fällen ist es schwierig, wenn der Axenwinkel zu gross ist, direct aus der Beobachtung der Interferenzfigur anzugeben, ob mit der Erhöhung der Temperatur ein Wachsthum oder eine Abnahme der Grösse des Axenwinkels verbunden ist. Da aber die die Aenderung des Winkels stets begleitende Erscheinung immer und ziemlich schnell beobachtet werden kann, so glaube ich, dass hierin

ein einfaches und bequemes Mittel liegt, den Sinn der Aenderung des Axenwinkels mit Zunahme der Temperatur, wenn es sich nur darum handelt, mit Leichtigkeit festzustellen.

Durch einen kurzen Versuch wurde, wie oben bemerkt, constatirt, dass der Winkel der optischen Axen beim Cordierit mit der Temperatur wächst, und durch eine ungefähre Schätzung die Grösse des Zuwachses angegeben. Um jedoch die Art und Weise der Vergrösserung kennen zu lernen, wurde dieser Krystall einer genaueren Prüfung unterworfen. Die Platte wurde bei horizontaler Lage des Nörreberg'schen Apparates in eine am Apparate selbst befindliche verticale Pincette gesteckt, und letztere auf eine solche Höhe geschraubt, dass das Präparat gerade zwischen dem Objectiv und dem zweiten Nicol sich befand. Durch eine Justirvorrichtung konnte die Pincette so gestellt werden, dass bei einer Drehung des Objects um die Pincette als Axe die einmal beobachtete Stelle immer im Gesichtsfelde blieb. Der Krystall mit der Pincette wurde nun von oben her durch eine Oeffnung in einen Wärmkasten geschoben, welcher zwischen dem Objectiv und dem zweiten Nicol befindlich zwei runde durch Glasscheiben verschlossene, dem Objectiv und dem zweiten Nicol gegenüberliegende Oeffnungen hatte. Vermittelst zweier Alkoholflammen, die zu beiden Seiten unter dem Heizapparat aufgestellt waren, wurde die in dem Kasten befindliche Luft erwärmt und deren Temperatur an einem Thermometer, welches in den Apparat hineinragte, abgelesen. Allerdings konnte die Temperatur nicht über  $200^{\circ}$  getrieben werden. Folgende kleine Tabelle giebt die Zahlen an, welche nach mehrmaliger Beobachtung im Mittel für den Axenwinkel bei den verschiedenen Temperaturen erhalten wurden.

Die erste Columnne enthält die Temperatur des erwärmten Objects in Centigraden, die zweite die Grösse des Axenwinkels in Graden und Minuten, wie er durch directe Messung in der bekannten Weise erhalten wird, die dritte die Vergrösserung des Axenwinkels gegen den bei gewöhnlicher Temperatur ( $15\text{--}16^{\circ}$  C.), der zu  $68^{\circ} 9'$  bestimmt wurde, die vierte die Differenz zweier auf einander folgender Beobachtungen des Axenwinkels.

Temperatur:	Axenwinkel:	Vergrösserung:	Differenz:
150 <sup>0</sup>	75 <sup>0</sup> 28'	7 <sup>0</sup> 19'	2 <sup>0</sup> 15'
200	77 43	9 34	2 41
150	75 2	6 53	2 20
100	72 22	4 13	2 18
70	70 4	1 55	

Aus dieser Tabelle geht hervor, dass wenigstens bis zu  $200^{\circ}$  der Winkel der optischen Axen des Cordierit angenähert proportional der Temperatur sich ändert.

Nach dieser Abschweifung vom eigentlichen Gegenstande vorliegender

Untersuchung, die mir aber immerhin wichtig genug schien, dass sie hier erwähnt wurde, ging ich dazu über, dieselbe Cordieritplatte zu prüfen bezüglich ihres Verhaltens bei ungleichmässiger Erwärmung.

Durch Drehung des Objecttisches wurde das Präparat in eine solche Lage gebracht, dass für den Beobachter das Interferenzbild durchschnitten von der Hyperbel sich zeigte, dass also die Axenebene des Krystalls mit den Hauptschnitten der Nicols einen Winkel von  $45^\circ$  bildete. Die einseitige Erwärmung fand in der früheren Weise statt: das längere Zeit in einer Alkohol- oder Gasflamme erhitze Eisenstückchen wurde auf den Krystall gelegt einmal in einem der äusseren, das andere Mal in einem der inneren Hyperbelräume. Im ersteren Falle war die Erscheinung folgende: Die Ringtheile innerhalb des Axenwinkels verengten sich, die ausserhalb desselben erweiterten sich. Die Verschiebung der Ringtheile war mitunter so stark, dass der Theil des zweiten Ringes an der Aussenseite sich mit dem des dritten Ringes an der Innenseite der Hyperbel fast zu einem einzigen Ringe verband. Im anderen Falle war die Erscheinung gerade umgekehrt. Die Ringtheile innerhalb des Axenwinkels erweiterten, die ausserhalb desselben verengten sich. Bei diesen Versuchen wurde auch deutlich beobachtet, dass wenigstens an dem einen Pol, wobei die Erwärmung stattfand, die Hyperbel fast vollständig bis auf einen dunklen Punkt, welcher dem Pol entsprach, verschwand (s. Fig. 3 und 4). Zu bemerken ist noch, dass bei dieser plötzlichen einseitigen Erwärmung die Pole ihre Stellung beibehalten, erst wenn die Hyperbel wieder erscheint, entfernen sich die Pole mit ihren Ringsystemen von einander, also erst, wenn durch das aufgelegte heisse Eisenstückchen die Platte sich im Ganzen erwärmt hat, vergrössert

Fig. 3.

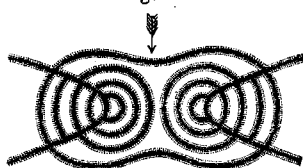
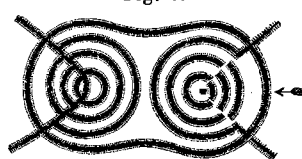


Fig. 4.



sich der Axenwinkel und treten die das Wachsthum des Winkels begleitenden Erscheinungen ein.

Zur Vervollständigung des ganzen Versuchs wurde die Krystallplatte auch in der Stellung beobachtet, bei der die Interferenzfigur von dem dunklen Kreuz durchschnitten wird. Die Wärme wurde in einem der vier entstehenden Quadranten zugeführt. Die Aenderungen, welche hierbei die Figur erleidet, bestanden wiederum in Verschiebungen der Ringtheile gegen einander in zwei benachbarten Quadranten, ohne dass jedoch das dunkle Kreuz merklich alterirt wurde. In den Quadranten 1 und 3 tritt eine Ver-

engung, in den beiden anderen eine Erweiterung der die Pole umgebenden Ringe ein.

Ganz entsprechend war das Verhalten einer Topasplatte von Schneckenstein, welche in der Weise untersucht wurde, wie dies zuletzt beim Cordierit geschehen war; nur treten die Erscheinungen gerade im entgegengesetzten Sinne ein. Dieselben Versuche, wie sie Anfangs mit Cordierit angestellt wurden, konnten wegen der Grösse des Axenwinkels nicht mit Erfolg angestellt werden, doch genügt die erwähnte Beobachtung, um die Analogie der beiden Mineralien in ihrem Verhalten bei ungleichmässiger Erwärmung zu zeigen. Da sich nun Cordierit und Topas gerade entgegengesetzt verhalten, Cordierit aber eine negative, Topas eine positive Doppelbrechung besitzt, so lässt sich durch ungleichmässige Erwärmung gerade so wie bei einaxigen Krystallen der Charakter der Doppelbrechung auch bei zweiaxigen erkennen.

---

Alle diese merkwürdigen Erscheinungen, wie sie sich bei einseitiger Erwärmung an den verschiedenen Krystallen zeigen, resultiren ohne Zweifel aus denselben Ursachen wie diejenigen, welche man durch Druck und Elektrizität erhält. Wichtig und zugleich wegbahnend für ihre Erklärung aber möchte der Umstand sein, dass ganz dieselben Erscheinungen eintreten, wenn man bei der Beobachtung einer ein- oder zweiaxigen Krystallplatte, welche senkrecht zur optischen Axe oder ersten Mittellinie geschnitten ist, im convergenten Licht ein Viertelundulations-Glimmerblättchen zwischen dem oberen Nicol und der Krystallplatte einschiebt. Denn, um zu zeigen, dass die angeführten Aenderungen der Interferenzfigur, hervorgerufen durch einseitige Erwärmung, auf dieselbe Weise zu Stande kommen wie die bei Anwendung eines Glimmerblattes, ist es blos nöthig anzunehmen, dass bei der Erwärmung des Krystalls vermittelst des aufgelegten Eisenstückchens nur die obere Schicht der Platte erwärmt werde, welche in diesem Falle das Glimmerblättchen vertritt. Diese Behauptung stützt sich auf folgendes Raisonement: Durch die Wärme werden die Massentheilchen in der oberen Schicht des Krystalls ausgedehnt und zwar, da dieselbe von einem Punkte des Objects ausströmt, verschieden in den drei auf einander senkrechten Hauptrichtungen, so dass in der That drei Elasticitätsachsen existiren. Hierdurch erhält die obere Schicht den Charakter eines zweiaxigen Krystalls, der in seiner Wirkung sich ähnlich verhält wie ein Viertelundulationsglimmerblättchen. Es ist selbst nicht einmal nöthig anzunehmen, dass nur die obere Schicht durch die Wärme modificirt werde; wir können uns auch denken, dass durch die strömende Wärme eine Reihe die Platte parallel durchsetzende Lamellen beeinflusst werden, die in ihrer Gesamtwirkung dem des Glimmerblattes gleichkommen; denn dieselben Erscheinungen, welche sich zeigten durch Auflegen des erhitzten Eisenstückchens,

resultirten auch, wenn dasselbe an einer Stelle der Platte seitlich ange-drückt wurde.

Eine Bestätigung dieser Erklärung der optischen Aenderungen an Krystallen durch ungleichmässige Erwärmung findet sich bei Dove\*) in seinen »Versuchen über Circularpolarisation des Lichts«. Die Erklärung der in seinen Versuchen beobachteten Erscheinungen der Circularpolarisation beruht darauf, dass durch Aenderung der Doppelbrechung vermittelt einer bestimmten Wärmeverschiedenheit im Innern des angewendeten Körpers bei unveränderter Dicke desselben der Gangunterschied der beiden Strahlen gerade  $\frac{1}{4}$  Undulation gleich gemacht wird. »Wenn diese Erklärung richtig ist, so muss man«, folgert Dove weiter, »durch allmähliches Erwärmen genau dieselben Erscheinungen erhalten als durch successive Reflexionen im Innern Fresnel'scher Rhomboëder, nur mit dem Unterschiede, dass statt sprungweiser Verschiedenheit man hier einen continuirlichen Uebergang durch alle Grade der elliptischen Polarisation zu erwarten hat«. Der Apparat, mit welchem er seine auf obiges Raisonnement bezüglichen Versuche anstellte, bestand im Wesentlichen aus zwei gekreuzten Nikols, zwischen welchen eine normal zur Axe geschliffene Kalkspathplatte eingesetzt war. Vor dem polarisirenden Nikol wurde ein Glaswürfel eingeschaltet, der von unten her vermittelt einer Alkoholflamme erhitzt wurde. Als die Lampe angezündet wurde, fing das schwarze Kreuz an, sich sogleich in der Mitte zu öffnen, die Kreisbögen im zweiten und vierten Quadranten entfernten sich vom Mittelpunkt, während die des ersten und dritten sich näherten. Die Einzelheiten der Dove'schen Arbeit will ich der Kürze wegen hier übergehen. Der Unterschied zwischen den Versuchen von Dove und den meinigen liegt einfach darin, dass das, was Dove durch den Glaswürfel erreichte, bei meinen sämtlichen Präparaten durch eine ungleichmässige Erwärmung der verschiedenen Schichten der Platte selbst bewirkt wurde; im Uebrigen ist das Resultat bei beiden Versuchsarten dasselbe; denn auch bei meinen Beobachtungen fand das Oeffnen des dunkeln Kreuzes, sowie die Verengung und Erweiterung der Ringe allmählich statt.

Vergleicht man die Erscheinungen, die man durch ungleichmässige Erwärmung erhält, mit denen, welche durch Anwendung des Glimmerblattes erzeugt werden, so ist Folgendes zu bemerken: Wenn bei der Beobachtung eines positiven einaxigen Krystalls das Glimmerblättchen so eingeschoben wird, dass seine Axenebene mit den Hauptschnitten der beiden gekreuzten Nikols einen Winkel von  $45^{\circ}$  bildet, so verengen sich in den Quadranten, in denen die Längsaxe des Blättchens liegt, die Ringe, in den beiden anderen erweitern sie sich. Bei einseitiger Erwärmung da-

---

\*) Pogg. Ann. 35.



gegen erweitern sich in dem Quadranten, in welchem die Wärme zugeführt wird (4) und dem gegenüberliegenden (3) die Kreisbögen, in den beiden anderen verengen sie sich. Bei den negativen einaxigen Krystallen sind die Interferenzbilder in beiden Fällen entgegengesetzt den bei positiven. Ebenso verhält es sich mit den zweiaxigen positiven und negativen Krystallen.

Da der Glimmer optisch negativ ist, so ist die Bisectrix Axe der grössten Elasticität; die Axe der kleinsten Elasticität liegt bei Betrachtung des Interferenzbildes parallel der Axenebene, während die der mittleren senkrecht zu derselben ist. Hiernach erklären sich alle durch denselben hervorgerufenen optischen Aenderungen der Interferenzbilder. Um in derselben Weise die Wirkung der ungleichmässigen Erwärmung uns klar zu machen, müssten wir annehmen, dass die obere erwärmte Schicht des Krystalls wie ein positiver Krystall wirke, d. h. dass die Normale zur Platte der Richtung der kleinsten, die Richtung, in der die Wärme zugeführt wird und zuströmt, die der grössten, und die auf beiden senkrechte die der mittleren Elasticität sei. Dies wird nun im Allgemeinen nicht der Fall sein (wenigstens bei negativen Krystallen nicht), da der Krystall ursprünglich schon in den verschiedenen Richtungen eine verschiedene Elasticität besitzt. Dies ist aber auch keineswegs nöthig, wenn wir nur annehmen, dass das Wachsthum der Elasticität in der Richtung der Wärmezuströmung  $a$  am grössten ist, in der darauf senkrechten ein mittleres  $b$ , in der Richtung normal zur Platte am geringsten ist, wobei auch negative Werthe (Abnahme der Elasticität) zulässig sind, wofern nur die Beziehung  $a > b > c$  gewahrt bleibt\*). Hiernach müssen die Erscheinungen bei ungleichmässiger Erwärmung immer sowohl bei einaxigen wie bei zweiaxigen Krystallen gerade entgegengesetzt sein den Veränderungen der Interferenzfigur, hervorgebracht durch die Anwendung eines Glimmerblattes, vorausgesetzt, dass die Richtung, in der die Wärme zugeführt wird, und die Längsrichtung des Glimmerblattes die gleichen sind, wie die Erfahrung es auch zeigt.

## II.

In jüngster Zeit hat Mallard\*\*) eine Arbeit veröffentlicht unter dem Titel: »De l'action de la chaleur sur les substances cristallisées«. Unter den Mineralien, die er untersuchte, ist auch der Heulandit. Die von ihm beobachteten Aenderungen, welche dieses Mineral bei gleichmässiger Erwärmung in optischer Beziehung erleidet, hat er in einem besonderen Abschnitt: »De l'action de la chaleur sur la Heulandite«, des Näheren be-

\*) Hier sind unter  $a$ ,  $b$ ,  $c$  nicht die Grössen der Elasticität selbst, sondern die Aenderungen derselben mit ihren Vorzeichen gemeint.

\*\*) Bulletin de la Société minéralogique, Paris 1882, 5, 255.

schrieben, sowie eine Erklärung für dieselben zu geben versucht. Er knüpft bei der Untersuchung dieser Substanz an die Beobachtungen an, welche Des Cloizeaux \*) an Spaltungslamellen von Heulandit in convergentem Lichte bei gekreuzten Nicols machte: »En chauffant ces plaques avec précaution jusque vers 400°, on voit d'abord les axes rouges se réunir et les axes bleus passer dans un plan normal à celui qui contenait précédemment les rouges, puis, à mesure que la température augmente, les uns et les autres s'écartent de plus en plus de ce plan. L'altération que la Heulandite éprouve dans sa transparence vers 200° ne permet pas de s'assurer si à une température élevée ses modifications thermooptiques deviendraient permanentes comme celle de l'orthose.«

Die Resultate, zu denen Mallard gelangt und von denen er selbst eingesteht, dass sie weit entfernt seien, als vollständig abgeschlossen gelten zu können, sind in Kürze folgende:

Wenn man unter dem Mikroskop eine Spaltungslamelle von Heulandit beobachtet, so findet man, dass dieselbe niemals homogen ist. Sie zerfällt gewöhnlich in vier Felder, welche sich gegen die Mitte der Platte vereinigen; zwei derselben besitzen fast die Gestalt eines Dreiecks. Die spitze positive Bisectrix ist immer normal zur Platte, aber die Lage der Axenebene und die Grösse des Axenwinkels variirt beträchtlich von Feld zu Feld, häufig auch von Punkt zu Punkt in ein und demselben Felde. Indessen stellt sich die Axenebene fast parallel der Basis und der Axenwinkel ist niemals grösser als 50°. Erwärmt man eine solche Lamelle langsam bis etwa 450°, so tritt die Aenderung in der Grösse des Axenwinkels und Lage der Axenebene, wie sie Des Cloizeaux beobachtete, nur langsam ein, und nach Verlauf einer Zeit, die viel beträchtlicher ist als die, welche zur Erwärmung einer so geringen Masse nöthig ist, haben diese Aenderungen noch nicht an allen Stellen der Platte stattgefunden. Sie zeigen sich zunächst an den Rändern und breiten sich dann erst langsam bis in das Innere der Masse aus; die Aenderungen sind selbst noch nicht vollständig überall eingetreten, nachdem man zwei oder drei Stunden erwärmt hat.

»Il est évident,« sagt Mallard, »d'après ces faits, que les modifications des propriétés optiques de la lame ne sont pas produites directement par la variation de la température, mais doivent être rapportées au dégagement de l'eau que produit l'élévation de la température.«

Diese Behauptung stützt er auf folgende Beobachtungen. Setzt man die Platte nach der Erwärmung der freien Luft aus, so tritt langsam der umgekehrte Process ein, beginnend wieder an den Rändern der Platte. Nach Verlauf von etwa 24 Stunden ist dieselbe wieder in ihren ursprüng-

---

\*) Des Cloizeaux, Manuel de la minéralogie p. 426.

lichen Zustand zurückgekehrt, abgesehen von einigen neuen Rissen und Sprüngen, die entstanden sind, wenn die Temperatur ein wenig hoch getrieben war. Taucht man aber die Platte nach der Erwärmung in Wasser ein, so tritt der rücklaufende Process unendlich viel schneller ein; wenn man dagegen die Lamelle nach der Herausnahme aus dem Heizapparat in flüssigen Canadabalsam taucht und so zwischen zwei Glasplatten bringt, dass die freie Luft keinen Zutritt zu derselben hat, so behält der Krystall den optischen Zustand bei, in den er durch die Erwärmung gelangt ist. Diese seine Beobachtungen glaubt nun Mallard in Beziehung zu denen Damour's bringen zu müssen, zu welchen sie gewissermassen eine Ergänzung bilden sollen.

Nach Damour nämlich verliert der Heulandit, der bei gewöhnlicher Temperatur ungefähr 5 Molekel Wasser enthält (je nach dem Hygrometerstande der Luft etwas mehr oder weniger), 3 derselben zwischen 0° und 180°; derselbe ist jedoch im Stande, diese aus der atmosphärischen Luft wieder aufzunehmen. Bei höherer Temperatur erst verliert der Krystall auch die beiden letzten Molekeln, er wird undurchsichtig und unfähig, Wasser wieder aufzunehmen \*).

Die Aenderungen der optischen Eigenschaften des Heulandit bei Erwärmung in Verbindung mit den Beobachtungen Damour's führen Mallard zu folgender Schlussfolgerung: »L'examen optique ajoute à ces observations bien connues, ce fait qui me paraît fort curieux, c'est que, tant que les deux derniers atomes d'eau ne sont pas partis et que le phénomène se borne à la disparition de tout ou partie des 3 autres atomes, la structure cristalline persiste, avec son orientation caractéristique, et cette altération, en apparence si profonde, de la composition chimique, n'amène que des modifications dans les propriétés optiques, modifications graduelles et en quelque sorte proportionnelles à la quantité d'eau qui s'échappe.

»Tout se passe, en un mot, comme si le cristal de Heulandite à 2 atomes d'eau était une sorte d'éponge susceptible de s'imbiber d'une quantité d'eau, variable avec la température et l'état hygrométrique ambiant, et donc le maximum, dans les conditions atmosphériques ordinaires, correspondrait à peu près à 3 atomes.

»L'introduction de cette eau, entre les pores du cristal paraît être un fait simplement physique, que ne régissent point les affinités chimiques, et du même ordre que celui qui interpose dans les pores des cristaux les diverses matières colorantes auxquelles la plupart des minéraux doivent leur couleur.«

---

\*) Auf Grund dieser Beobachtung betrachtet man nur die drei ersten Molekel als Krystallwasser, während die beiden letzten als chemisch gebunden angenommen werden. Nach Rammelsberg ist demnach die Formel des Heulandit  $\text{Ca}(\text{Al}_2)\text{Si}_6\text{O}_{16} + 5\text{aq}$  richtiger  $\text{H}_4\text{Ca}(\text{Al}_2)\text{Si}_6\text{O}_{18} + 3\text{aq}$  zu schreiben.

Die Beobachtungen Mallard's wurden veröffentlicht, während ich mit obiger Arbeit beschäftigt war. Dieser Umstand, sowie die Eigenartigkeit der Resultate, zu denen Mallard gelangt, bestimmten mich, sowohl letztere zu prüfen, als auch die Untersuchung auf zwei andere Zeolithe auszudehnen.

Ich stellte zunächst Versuche mit Heulandit aus Island an. Die Angaben Mallard's in Betreff der Verschiedenheit der Lage der Axenebene und Grösse des Axenwinkels an den verschiedenen Stellen einer Spaltungs-lamelle fand ich bestätigt, doch konnte ich keine Theilung der Platte in vier Felder wahrnehmen. Zur Erwärmung benutzte ich den unter »Art der Beobachtung Nr. 2« beschriebenen Apparat. Die Beobachtung des unter meinen Augen sich vollziehenden Phänomens war leicht: mit zunehmender Temperatur verkleinerte sich der Axenwinkel, wurde gleich Null und öffnete sich dann in einer Ebene, welche senkrecht ist zur ursprünglichen so, wie Des Cloizeaux es in seinem Manuel angiebt. Die Aufgabe war jetzt, festzustellen, ob und in welchem Maasse der Wassergehalt des Krystalls dessen optische Eigenschaften beeinflusse. Zu dem Ende wurde ein Spaltungsstück von Heulandit von ungefähr 0,5 g Gewicht, welches längere Zeit auf 150° erwärmt worden war, in einem Reagenzgläschen luftdicht verschlossen. Um das Experiment möglichst genau und fehlerlos auszuführen, erwärmte ich zuvor das Gläschen eine Zeit lang in einem Trockenofen auf 100°, um sicher zu sein, dass alle Feuchtigkeit aus demselben entfernt war. Dann wurde das Gläschen mit einem dicht schliessenden Glasstöpsel geschlossen und das Ganze gewogen. Das Gewicht desselben betrug nach mehrmaliger Wägung im Mittel 6,94281 g. Hierauf wurde die Platte in das Gläschen gebracht, ohne dasselbe zu schliessen, und mehrere Male eine Zeitlang auf 100° erwärmt, um das hygrometrische Wasser aus dem Krystall zu entfernen. Die Wägungen ergaben:

Gläschen mit Krystallplatte	6,94405 g
-	- 6,93805 -
-	- 6,9374 -

Nach diesen Vorbereitungen ging ich erst dazu über, den Krystall auf die Temperatur 150° zu erhitzen. Das Gläschen wurde geöffnet, in den Trockenofen gebracht und dort mit der darin befindlichen Krystallplatte längere Zeit auf der Temperatur 150° erhalten. Dies war um so nöthiger, da bei einer Heulanditplatte das Axenbild, wie schon oben angegeben wurde, nicht an allen Stellen dasselbe ist; häufig ändert sich von Punkt zu Punkt Lage und Grösse des Axenwinkels. Auch findet die Umlagerung der Axenebene, selbst wenn man längere Zeit auf 150° erwärmt, nicht überall zu gleicher Zeit statt; zuerst tritt die Aenderung, wie auch Mallard angiebt, an den Rändern ein, erst allmählich folgen nach und nach die

inneren Theile. Damit daher die Umsetzung der Axen in allen Theilen der Krystallplatte stattfand, war es erforderlich, das Präparat mehrere Stunden lang und wiederholt einer Temperatur von  $450^{\circ}$  auszusetzen. Nachdem die Erwärmung eine geraume Zeit stattgefunden hatte, liess man die Temperatur wieder bis ungefähr  $400^{\circ}$  zurückgehen, alsdann schloss man sorgfältig das Gläschen, liess dasselbe sich abkühlen und wog das Ganze. Für die verschiedenen Versuche erhielt ich nach einander die Gewichte:

Gläschen mit Platte	6,9304	g
-	-	6,92525 -
-	-	6,9495 -
-	-	6,9495 -

Vergleicht man die letzte Zahl mit dem Gewichte, welches die vorhergehende Wägung zuletzt ergab, so findet man einen Gewichtsverlust von 0,0246 g, der hervorgerufen wird durch den Austritt von Wasser aus dem Krystall. Demnach beträgt der Wasserverlust des Heulandit, da das Gewicht der Substanz bei  $400^{\circ}$  0,409 g beträgt, 5,2844 % bei  $450^{\circ}$  gegen den Wassergehalt desselben bei  $400^{\circ}$ . Zur Berechnung des Wasserverlustes ausgedrückt in Molekeln legte ich die Analyse von Damour \*) zu Grunde:

Kieselsäure	59,06
Thonerde	46,83
Kalk	9,34
Wasser	44,77

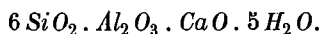
Dividirt man diese Zahlen durch die aus den Atomgewichten erhaltenen Gewichte der vier Verbindungen: 60, 103, 56, 48, so erhält man:

0,9843; 0,4634; 0,4660; 0,8205,

welche sich nahezu verhalten wie

6 : 4 : 4 : 5

und zu der Formel führen

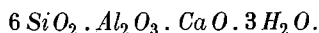


Die procentische Zusammensetzung der Substanz nach Verlust der 5,2844 % Wasser ergibt die folgenden Gewichtsmengen, neben welche zugleich die Verbindungsgewichte und Quotienten gesetzt sind:

Kieselsäure	62,35	:	60	=	1,0392
Thonerde	47,77	:	103	=	0,4725
Kalk	9,86	:	56	=	0,4764
Wasser	40,02	:	48	=	0,5566

\*) s. Naumann-Zirkel, Elemente der Mineral. Leipzig 1884, S. 638.

Die letzteren Zahlen stehen in dem Verhältniss 6 : 4 : 4 : 3,2 oder fast 6 : 4 : 4 : 3, welches zu der Formel führt



Demnach hat durch die Erwärmung auf 150° der Heulandit nahezu 2 Molekel Wasser bei 6 Kieselsäure, 4 Thonerde, 4 Kalk verloren.

Nachdem dies festgestellt war, wurde die Platte gespalten. Der eine Theil derselben, welcher 0,48015 g wog, wurde zuerst optisch untersucht und dann der freien Luft ausgesetzt, der andere wieder hermetisch verschlossen. Da die beiden Theilplatten durch Spalten einer entstanden waren, so hatten beide genau dieselben Conturen und konnten daher bequem in Bezug auf ihr optisches Verhalten mit einander verglichen werden. Am folgenden Tage wurden beide Platten unter dem Mikroskop betrachtet, wobei sich herausstellte, dass diejenige, welche 24 Stunden der freien Luft ausgesetzt gewesen war, ihr Axenbild um 90° geändert hatte, während das Axenbild derjenigen, welche luftdicht verschlossen war, senkrecht dazu war. Hieraus geht also hervor, dass die Axenebene in der zweiten Platte trotz 24stündigen Liegens diejenige Lage beibehalten hatte, welche sie nach der Erwärmung auf 150° angenommen hatte. Um nun endgültig zu erfahren, ob diese Constanz der Lage der Axenebene bei der zweiten Platte seinen alleinigen Grund in dem Wasserverlust habe, wurde dieselbe jetzt auch der freien Luft ausgesetzt. Vorher jedoch wurde dieselbe noch einmal mit den nöthigen Vorsichtsmassregeln verschlossen und hierauf gewogen. Das Gewicht des Gläschens mit der Platte betrug 6,7384 g. Dann wurde das Gläschen geöffnet und der atmosphärischen Luft ausgesetzt. Nach Verlauf von ungefähr 24 Stunden wurde das Gläschen mit der Platte wieder gewogen, wobei sich das Gewicht 6,7442 g ergab.

Mithin war eine Gewichtszunahme von 3 mg = 4,4762% zu constatiren, welche nur darauf zurückgeführt werden kann, dass der Krystall Wasser aufgenommen hat. Die Untersuchung unter dem Mikroskop ergab eine Aenderung in der Lage der Axenebene um 90°.

Die procentischen Gewichtsmengen nach dieser Aufnahme von 4,4762 Proc. Wasser nebst den übrigen Angaben sind:

Kieselsäure	64,44	:	60	=	1,024
Thonerde	47,54	:	403	=	0,47
Kalk	9,72	:	56	=	0,1726
Wasser	44,33	:	48	=	0,629

$$6 : 4 : 4 : 3,7.$$

Die in der Substanz enthaltene Wassermenge beträgt demnach 3,7 Mol. im Vergleich zu 3,2 Mol., welche die vorhergehende Bestimmung ergab, bei denselben Mengen der anderen Bestandtheile. Mithin wurde 0,5 Mol.

Wasser aufgenommen oder 4 Mol. bei der doppelten Anzahl der Molekeln der Verbindungen, aus denen der Körper besteht.

Ziehen wir aus dem ganzen Versuche die Schlüsse, so unterliegt es wohl nach dem Vorhergehenden keinem Zweifel, dass der Wassergehalt eine wesentliche Bedingung für das Verhalten des Heulandits in optischer Beziehung, dass es in gewissem Sinne von der Menge des Wassers, welche der Krystall enthält, abhängig ist, welche Grösse der Axenwinkel und welche Lage die Ebene der optischen Axen habe. Aus dem letzten Theile des Versuches aber geht hervor, dass, obschon die Wasseraufnahme weit geringer ist als die Abgabe, und dennoch der rücklaufende Process eingetreten ist, die optischen Modificationen nicht allein abhängig sind von der Menge des Wassers, welche austritt, sondern zum Theil auch von der Temperatur, in welcher der Körper sich gerade befindet.

Zur Ergänzung und Vervollständigung der ganzen Untersuchung wurde mit kleinen Spaltungsblättchen von Heulandit, die das Axenbild sehr deutlich zeigten, das Experiment wiederholt. Hierzu verwendete ich nicht nur isländischen Heulandit, sondern auch Exemplare von Faröer und Andreasberg. Die Blättchen wurden auf einem eisernen Wärmtisch mitsammt dem Objectträger, der immer aus einer rechtwinklig geschnittenen Glasplatte bestand, eine Zeitlang auf  $450^{\circ}$  erwärmt, bis die Lage der Axenebene um  $90^{\circ}$  gegen die frühere verwendet war, dann in dem Reagenzgläschen luftdicht verschlossen und in diesem Zustande mehrere Tage liegen gelassen. Untersuchte man nach dieser Zeit ein solches Blättchen, so fand man, dass in der Lage der Axenebene sich nichts geändert hatte; setzte man jedoch das Präparat einige Zeit der freien Luft aus, so trat eine Umlagerung der Axenebene um  $90^{\circ}$  ein \*).

Die an dem Heulandit gemachten Beobachtungen bildeten weiter die Veranlassung, den dem Heulandit analog zusammengesetzten Brewsterit in ähnlicher Weise zu untersuchen. Das mir zur Verfügung stehende Material stammt aus Strontian in Schottland. Die Krystalle zeigten die bekannte Form der kurzen Säulen, die von mehreren verticalen Prismen nebst dem Klinopinakoid gebildet werden. Diese aber sind begrenzt durch ein äusserst stumpfes Klinodoma, welches mit der Basis zusammen eine Fläche von gekrümmter kuppelartiger Form bildet; die Krystalle sind im Allgemeinen klein, vertical gestreift und zu Drusen vereinigt, von gelblichgrauer Farbe, mit Glasglanz auf den Flächen und Perlmutterglanz auf  $\infty P \infty$ . Der Brewsterit ist vollkommen spaltbar nach dem Klinopinakoid \*\*), die Ebene der

\*) Bei den Versuchen mit isländischem Heulandit gelang es mir auch mehrere Male ungefähr die Temperatur festzustellen, bei welcher der Axenwinkel gerade gleich  $0^{\circ}$  wurde. Es fand dies zwischen  $90^{\circ}$  und  $100^{\circ}$  statt.

\*\*) Ausser dieser klinodiagonalen Spaltbarkeit constatirte ich auch eine nach  $\infty P \infty$ .

optischen Axen ist normal auf dem klinodiagonalen Hauptschnitt, die Bisectrix fällt in die Orthodiagonale. Nach Des Cloizeaux \*) besteht eine Spaltungslamelle dieses Minerals nicht aus einem homogenen Stücke, sondern, wie die Beobachtung im parallelen Lichte ergibt, aus drei Theilen der Art, dass der mittlere sich gleichsam wie ein Keil zwischen die beiden äusseren einschiebt. Die Winkel der Auslöschung für die drei Theile in Bezug auf die Verticalaxe weichen bedeutend von einander ab. Diese Angaben, dass die Spaltungslamellen aus mehreren Theilen bestehen, fand ich bestätigt bei den Brewsteritkrystallen, mit denen ich arbeitete; jedoch bestanden die einzelnen Lamellen nicht immer aus drei Theilen, häufig waren es nur zwei, von denen der eine überwiegt, oder auch traf es sich, dass eine solche aus vier Theilen bestand, die im parallelen Licht betrachtet abwechselnd gleich gefärbt waren, ähnlich wie beim Desmin.

So bestand eine ungefähr rechteckig geformte Spaltungslamelle aus zwei deutlich durch eine Grenze geschiedenen Theilen. Die Grenzlinie entsprach ungefähr der von oben links nach unten rechts verlaufenden Diagonale und bildete mit der Längskante, welche parallel der Verticalaxe war, einen Winkel von  $17^{\circ}$ .

Die Axenebene in den beiden Theilen bildete mit derselben Kante in dem Theile unten links einen Winkel von ungefähr  $34^{\circ}$ , oben rechts von  $14^{\circ}5$  (s. Fig. 5).

Die genaueren Messungen der bezüglichen Winkel ergaben:

$$\begin{array}{rcl} \angle \alpha = 34^{\circ} 6' & \angle \beta = 14^{\circ} 30' & \\ 34 \ 12 & 14 \ 24 & \\ 34 \ 54 & 14 \ 27 \text{ im Mittel} & \\ 30 \ 42 & & \\ 34 \ 6 & & \\ \hline 34 \ 12 \text{ im Mittel} & & \end{array}$$

Fig. 5.



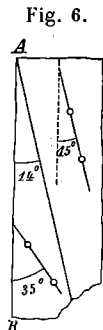
Dieses Präparat wurde auf dem Wärmtisch bis auf etwa  $200^{\circ}$  erwärmt und wieder im parallelen Lichte betrachtet. Die Grenze zwischen den beiden Theilen war geschwunden, und die ganze Platte löschte fast parallel der Kante  $AB$  aus. Jedoch war die Auslöschung keine ganz vollständige, sondern die dunkle Fläche war unterbrochen von einzelnen helleren und gefärbten Stellen, in Folge dessen es auch schwierig war, genau den Winkel der Auslöschung zu bestimmen. Nach einiger Zeit bemerkte man, dass die helleren Stellen bei Parallelstellung der Kante mit dem Fadenkreuz zahl-

\*) Des Cloizeaux, Manuel de minéralogie p. 424.



reicher wurden, wodurch das ganze Gesichtsfeld ein fleckiges Aussehen erhielt. Bald nachher sah man die Grenze wieder hervorschimmern, und nach Verlauf von einigen Stunden nach Beginn der Beobachtung war der ursprüngliche Zustand der Lamelle wieder hergestellt. Dieser Versuch wurde mehrere Male mit derselben und anderen Platten wiederholt; der Erfolg war immer derselbe.

Bei einer anderen ähnlich geformten und aus zwei Theilen ähnlich zusammengesetzten Lamelle betrug der Winkel der Grenze mit der Längskante  $AB$   $44^\circ$ . Die Axenebenen bildeten mit derselben Kante in den verschiedenen Theilen die resp. Winkel  $45^\circ$  und  $35^\circ$  (s. Fig. 6).



Nach einer Erwärmung bis auf  $200^\circ$  war die Grenze geschwunden, der Winkel der Axenebene mit der Kante  $AB$  war im oberen rechten Theile fast  $0^\circ$ , im unteren linken ungefähr  $5-6^\circ$ . Um nun zu prüfen, ob diese merkwürdigen Erscheinungen ebenso wie die optischen Aenderungen des Heulandit mit dem Wasser, welches der Krystall gemäss der Analyse enthält, in Beziehung stehen, resp. davon abhängig sind, wurde ein Spaltungsstückchen sowohl von Heulandit wie Brewsterit zunächst optisch orientirt, dann ersteres bis  $450^\circ$ , letzteres bis  $200^\circ$  erhitzt und beide in einem trockenen Gläschen hermetisch verschlossen. Vorher hatte man sich davon überzeugt, dass bei beiden eine optische Veränderung vor sich gegangen war, dass beim Heulandit die Axenebene um  $90^\circ$  verwendet und beim Brewsterit die Grenze geschwunden war. Vor der Erwärmung betrug beim Heulandit der Winkel der Axenebene mit einer durch einen rothen Punkt kenntlich gemachten Kante etwa  $44^\circ$ , nach der Erwärmung etwa  $404^\circ$ , wie es sein muss. Beim Brewsterit waren die vor dem Erhitzen gemessenen Winkel folgende:

der Winkel der Grenze mit der Längskante	$40^\circ$
der Winkel der Axenebene im rechten Theile	$19^\circ$
der Winkel der Axenebene im linken Theile	$37^\circ$

Als am folgenden Tage beide Mineralien untersucht wurden, war der Heulandit noch in demselben Zustande wie nach der Erwärmung, nämlich die Axenebene war um fast  $90^\circ$  gegen die ursprüngliche Lage verwendet, während beim Brewsterit in parallelem Licht betrachtet die Grenze wieder aufgetreten war, und die Auslöschungswinkel wieder dieselbe Grösse hatten, wie sie am Krystall vor Beginn der Untersuchung beobachtet wurden. Das Experiment wurde in derselben Weise wiederholt, der Stöpsel des Gläschens der Sicherheit halber noch mit Wachs verklebt. Das Resultat war dasselbe wie das vorhin beschriebene. Um jeden Zweifel zu beseitigen, brachte man die beiden Individuen in ein Gläschen, welches

hierauf zugeschmolzen wurde, und liess dasselbe mehrere Tage (über eine Woche) in diesem Zustande liegen. Auch in diesem Falle war das Resultat der Beobachtung um nichts gegen das frühere geändert. Um einen letzten Versuch zu machen, wurde die Brewsterit-Lamelle in einen Tropfen wasserfreien Canadabalsam eingetaucht. Der Balsam erstarrte und man konnte durch denselben den Verlauf der Erscheinung beobachten. Schon nach geringer Zeit zeigte sich die Grenze wieder, und folgenden Tages war der ursprüngliche Zustand des in dem Balsam befindlichen Brewsteritblättchens wieder hergestellt. Zu gleicher Zeit brachte man den Heulandit in ein Reagenzglaschen, das mit wasserfreiem Petroleum angefüllt war. Die anderen Tages angestellte Untersuchung ergab, dass die Axenebene dieselbe Lage beibehalten hatte, in welche sie durch die Erwärmung auf  $450^{\circ}$  gelangt war. Wurde jedoch das Blättchen darauf einige Tage der freien Luft ausgesetzt, so zeigte sich, dass die Axenebene wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückgegangen war.

Aus all' diesen Versuchen scheint es mir gestattet zu sein, folgende Schlüsse zu ziehen: Die beobachteten optischen Aenderungen des Heulandit, dass bei einer allmählichen Temperaturerhöhung bis zu  $450^{\circ}$  der Axenwinkel auf  $0^{\circ}$  zurückgeht und sich dann in einer Ebene öffnet, welche senkrecht ist zur ursprünglichen, werden zum Theil hervorgerufen durch den Verlust an Wasser, mit welchem eine Temperaturerhöhung immer verbunden ist; die optischen Erscheinungen sind in gewissem Maasse abhängig von der Menge Wassers, welche der Krystall enthält. Die Modificationen jedoch, welche eine erwärmte Brewsteritplatte zeigt, und die darin bestehen, dass bei einer Temperaturerhöhung bis auf  $200^{\circ}$  die Grenze zwischen den beiden Theilen, aus denen die untersuchte Lamelle besteht, schwindet, und in der ganzen Platte die Auslöschung fast parallel der Vertikalaxe stattfindet, sind nicht durch Wasserverlust hervorgegangen, sondern sind lediglich auf Temperaturänderungen zurückzuführen. Denn Brewsterit verliert nach den Untersuchungen Damour's\*) bei Temperaturerhöhung ebenso Wasser wie Heulandit; aus der atmosphärischen Luft aber Wasser aufzunehmen, war er durch den hermetischen Verschluss verhindert, was noch dadurch, dass zu gleicher Zeit Heulandit untersucht

---

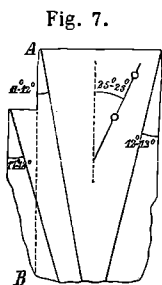
\*) Nach Damour verliert 4 g Brewsterit

in trockener Luft in 4 Monat	0,0165 g
bei $400^{\circ}$ in 2 Stunden	0,002 g
- 430	0,077 g
- 490	8,20/0
- 270	40 -
in dunkler Rothgluth	42,8 -
in lebhafter Rothgluth	43,3 -

wurde, zur Evidenz bestätigt wird. Nichtsdestoweniger kehrt der Brewsterit in seinen alten Zustand zurück.

Um den ganzen Verlauf der beim Brewsterit beobachteten Erscheinungen klarer erkennen zu können, war es nothwendig, den Krystall während der ganzen Zeit der Erwärmung bis auf  $200^{\circ}$  zu beobachten. Dies war aber einestheils wegen der Kleinheit der Präparate, anderntheils

wegen der Unzulänglichkeit des Apparates, mit dem ich arbeitete — es hätte nämlich der Objecttisch mit dem Präparat während der Beobachtung erwärmt werden müssen, was nicht anging —, unmöglich. Es blieb daher nichts anderes übrig, als den rücklaufenden Process, während dessen der Krystall wieder in seinen ursprünglichen Zustand zurückkehrt, zu verfolgen.



Zu diesem Zwecke wurde eine passende Brewsteritplatte von rechteckiger Form, welche, wie es Des Cloizeaux beschreibt, aus drei Theilen bestand, zuerst genau orientirt. Der Winkel der Axenebene im mittleren Theile mit der Längskante betrug an den meisten Stellen zwischen  $25^{\circ}$  und  $26^{\circ}$  (s. Fig. 7).

Das Object wurde auf dem Wärmtisch langsam bis zu  $200^{\circ}$  erwärmt und längere Zeit auf dieser Temperatur erhalten. Die Betrachtung desselben nach der Erwärmung ergab, dass in allen Theilen die Auslöschung fast parallel der Längskante eintrat. Im mittleren Theile bildete an einer sehr klaren Stelle, die im Verlauf der Beobachtung auch fixirt wurde, die Axenebene mit der Längskante  $AB$  einen Winkel von etwa  $5^{\circ}$ . Nach und nach vergrößerte sich jedoch dieser Winkel, schon nach einer Stunde war derselbe bis zu etwa  $43^{\circ}$  angewachsen, nach Ablauf von 6 Stunden war schon bis auf einige Grade die ursprüngliche Winkelgröße wieder erreicht; Tags darauf hatte die Axenebene, soweit die Genauigkeit der Beobachtung es festzustellen zuliess, wieder dieselbe Neigung gegen die Kante  $AB$  wie zu Anfang.

Die Beobachtung des umgekehrten Verlaufs der Erscheinung lehrt uns somit, dass durch eine allmähliche Steigerung der Temperatur die Axenebene des Brewsterit stetig gedreht wird. Allerdings muss eine gleichmässige Temperaturerhöhung, da die erste Mittellinie die Symmetrieaxe ist, eine Drehung der Axenebene zur Folge haben; denn wenn auch die eine der drei Hauptschwingungsrichtungen des Lichts stets der Orthoaxe parallel sein muss, die beiden anderen stets parallel dem Klinopinakoid, so werden die Winkel, welche diese beiden mit einer prismatischen Kante bilden, doch mit der Temperatur variiren, es wird demnach die optische Axenebene um die erste Mittellinie, wenn dieselbe die Orthoaxe, wie in unserem Falle, ist, sich drehen. Im Allgemeinen ist eine solche Drehung der

Axenebene sehr gering, so dass sie erst bei erheblichen Temperaturunterschieden überhaupt messbar wird. Die Beobachtungen am Brewsterit liefern uns aber die beiden merkwürdigen Thatsachen, dass erstens die Axenebene mit Erhöhung der Temperatur sich um einen beträchtlichen Winkel dreht, zweitens, dass die Drehung in den beiden Theilen, aus denen gewöhnlich eine Spaltungslamelle besteht, nicht gleichmässig verläuft, sondern in dem einen Theile grösser ist als in dem anderen.

Auffallend war es, dass trotz einer so hohen Temperatur, bis über 200°, keine Aenderung in der Grösse des Axenwinkels einzutreten schien. Es wurde daher der Krystall einer noch höheren Temperatur, bis zu 230° und höher, ausgesetzt. Betrachtete man jetzt das Axenbild, so war eine deutliche Vergrösserung des Winkels der optischen Axen wahrzunehmen. Dies war einmal daran zu erkennen, dass die beiden Pole, die vorher noch im Gesichtsfelde sich befanden, aus demselben geschwunden waren; ferner daran, dass die Ellipse, welche beide Pole gemeinsam umschloss, sich bisquitförmig einschnürte und fast in die Form einer 8 überging, was nach Analogie der Adulare ein Kriterium für eine Vergrösserung des Axenwinkels ist. Um nun festzustellen, ob vielleicht diese optische Aenderung ähnlich wie beim Heulandit mit Wasserverlust in Beziehung stehe, erhitzte ich die Brewsteritlamelle auf dem Wärm Tisch soweit, dass eine deutliche Vergrösserung des Axenwinkels wahrzunehmen war, und brachte sie dann in wasserfreies Petroleum, in welchem sie 2 bis 3 Tage aufbewahrt wurde. Aber bei einer Untersuchung, welche ich hiernach mit dem aus dem Petroleum herausgenommenen Krystallplättchen anstellte, fand ich, dass um ein Geringes die Winkelgrösse sich reducirt hatte. Das Plättchen wurde nun weiter der atmosphärischen Luft ausgesetzt und ab und zu beobachtet. Die Verkleinerung des Axenwinkels ging nur langsam vor sich, so dass erst nach weiteren 4 Tagen die ursprüngliche Grösse des Axenwinkels wieder erreicht und das Axenbild dasselbe Aussehen hatte wie zu Anfang. Die Zurückdrehung der Axenebene in ihre ursprüngliche Lage geht mithin ungleich viel schneller vor sich, als das Zurückgehen des Axenwinkels auf seine frühere Grösse. Ein anderes Präparat wurde längere Zeit, etwa 14 Tage, in wasserfreiem Petroleum aufbewahrt. Die direct nach der Herausnahme aus dem Petroleum angestellte Beobachtung ergab, dass auch ohne den Krystall der Luft auszusetzen, der Axenwinkel, soweit aus der blossen Betrachtung des Interferenzbildes geschlossen werden durfte — denn Messungen des Axenwinkels konnten nicht ausgeführt werden —, seine ursprüngliche Grösse wieder hatte. Diese Versuche, besonders der letzte, zeigen, dass auch bei der Aenderung des Winkels der optischen Axen der Wassergehalt keine wesentliche Rolle spielt.

Abgesehen aber davon, ob und inwieweit das im Krystall enthaltene Wasser bei den optischen Veränderungen des Minerals bei Temperatur-

erhöhung mitwirken, haben wir hier den merkwürdigen Fall, dass schon bei verhältnissmässig geringer Zunahme der Temperatur die optische Axenebene um einen merklichen Winkel gedreht wird, dagegen schon eine bedeutende Temperaturerhöhung erforderlich ist, um eine deutlich wahrnehmbare Aenderung in der Grösse des Axenwinkels hervorzubringen, während doch gewöhnlich das Umgekehrte stattzufinden pflegt. Ausserdem muss noch bemerkt werden, dass die Axenebene nie weiter gedreht wurde, als bis zur Parallelstellung mit der Vertikalaxe. War diese Lage erreicht, was ungefähr bei  $200^{\circ}$  eintrat, so blieb die Axenebene in derselben, wenn auch die Temperatur weit höher getrieben wurde.

Mit Beziehung auf die noch weiter unten anzuführenden Beobachtungen Mallard's am Boracit und schwefelsauren Kali scheint die Bemerkung nicht ungerechtfertigt, dass der Brewsterit von  $200^{\circ}$  an bei allen höheren Temperaturen sich wie ein rhombischer Krystall verhält.

Ganz in derselben Weise wie mit Brewsterit wurden die Versuche mit kleinen Kryställchen des Beaumontit von Baltimore angestellt. Der letztere ist gemäss der Analyse\*) sehr nahe verwandt mit dem Heulandit. Die sehr kleinen gelblichen, scheinbar tetragonalen Krystalle erklärt Des Cloizeaux\*\*) als eigenthümliche Combination der Flächen des Stilbits, in der  $OP$  und  $\infty P\infty$  ein rechtwinkliges Prisma, und die im Gleichgewicht ausgebildeten Flächen von  $P\infty$ ,  $\infty P\infty$  und  $2P$  eine vierflächige Zuspitzung bilden. Die unten näher zu beschreibenden Abweichungen in den physikalischen Eigenschaften des Beaumontit von denen des Heulandit liessen auch solche in krystallographischer Beziehung vermuthen. Jedoch die Versuche, durch Messungen mit dem Reflexionsgoniometer andere Winkelwerthe als die von Des Cloizeaux angegebenen zu erhalten, scheiterten an der drusigen Beschaffenheit der Krystallflächen, welche immer mehrere sehr von einander differirende Reflexe zeigten. Demgemäss, wie Des Cloizeaux die Krystallflächen deutet, ist der Beaumontit spaltbar nach  $\infty P\infty$  mit Perlmutterglanz auf der Spaltungsfläche, gerade wie beim Heulandit. Die Ebene der optischen Axen steht senkrecht zur Symmetrieebene, die positive Bisectrix ist parallel der horizontalen Diagonale der Basis, der Axenwinkel\*\*\*) grösser als der des Heulandit — nach meinen Beobachtungen mindestens über  $430^{\circ}$  —; jedoch sind die Spaltungslamellen in Bezug auf ihr optisches Verhalten homogener als die des Heulandit.

Da die Beaumontitkryställchen ziemlich undurchsichtig sind, so konnten, wenn anders man ein deutliches Interferenzbild haben wollte, nur sehr dünne Lamellen verwendet werden; auch war für die Beobachtung

\*) Eine Analyse von Delesse ergab: 64,2 Kieselsäure, 14,4 Thonerde, 1,3 Eisen-oxyd, 4,8 Kalk, 1,7 Magnesia, 0,5 Natron, 13,4 Wasser.

\*\*) Des Cloizeaux, Manuel de la min. p. 428.

\*\*\*) Es ist hier immer der scheinbare Axenwinkel gemeint.

sehr unvortheilhaft, dass wegen der Grösse des Axenwinkels die Pole nicht im Gesichtsfelde lagen.

Schon bei einer geringen Erwärmung etwa bis  $400^{\circ}$  zeigte sich entschieden eine Verkleinerung des Axenwinkels. Waren auch die Pole des Axenbildes nicht zu sehen, so ging dieses doch daraus hervor, dass die beiden im Gesichtsfeld liegenden die Pole umgebenden äussersten Ringe in der Mitte sich vereinigten und eine beide Pole gemeinsam umschliessende Curve bildeten, was gemäss den Erscheinungen bei dem Adular auf eine Verkleinerung des Axenwinkels hindeutet. Um die Temperatur festzustellen, bei welcher der Axenwinkel gleich Null wurde, und die Axenebene sich in einer Ebene normal zur ursprünglichen öffnete, wurde die Temperatur allmählich gesteigert. Bei  $450^{\circ}$ , bei welcher Temperatur bei einer Heulanditplatte eine Verwendung der Axenebene um  $90^{\circ}$  schon stattfindet, war der Axenwinkel des Beaumontit zwar kleiner, aber noch lange nicht gleich Null geworden, da selbst die Pole noch nicht ins Gesichtsfeld getreten waren; ebenso bei  $480^{\circ}$  und höheren Temperaturen war nichts Derartiges zu bemerken. Uebrigens war die Beobachtung des ganzen Phänomens nicht leicht. Man hat, indem man die Temperatur immer weiter erhöht, schliesslich nur noch ein einfarbiges Gesichtsfeld, und blos die dunkeln Hyperbeln, die beim Drehen des Präparates das Gesichtsfeld kreuzen, können über die Lage der Axenebene entscheiden. Dazu kommt noch der erschwerende Umstand, dass die Axenwinkel für die verschiedenen Farben sehr verschiedene Grösse haben; der Winkel der blauen Axen ist bedeutend grösser als der der rothen, auch ändern sich die Axenwinkel mit zunehmender Temperatur ungleichmässig. Die Folge davon ist, dass der Winkel der rothen Axen sich eher der Null nähert als der der blauen, oder in unserem Falle, da die Pole nicht sichtbar werden, dass die beiden die Pole umschliessenden Ringe für rothes Licht sich eher zu einer gemeinsamen Curve schliessen als für blaues. Letzteres ist deutlich zu beobachten, wenn man das Bild statt in weissem in rothem und blauem Licht betrachtet resp., wie ich dies gethan, durch rothes und blaues Glas beobachtet.

Die Erscheinung, dass mit Temperaturerhöhung der Axenwinkel für die verschiedenen Farben sich verkleinert, ist aber begleitet von einer anderen Erscheinung, welche wir schon beim Brewsterit angetroffen haben. Bei letzterem zeigte sich nämlich, dass bei Temperaturerhöhung die Axenebene sich dreht und parallel zur Verticalaxe sich zu stellen sucht; bei  $200^{\circ}$  war diese Lage erreicht, wobei eine merkliche Veränderung in der Grösse des Axenwinkels nicht wohl zu constatiren war, da der Apparat eine genaue Messung in diesem Sinne nicht zulies; eine mit blossen Auge wahrnehmbare Vergrösserung des Winkels trat erst bei höherer Temperatur ein. Auch beim Beaumontit drehte sich gleichzeitig mit Verkleinerung des Axenwinkels, was schon bei verhältnissmässig niedriger Temperatur eintrat, die

Axenebene. War vor der Erwärmung die Axenebene parallel der Basis, so bildete sie bei  $80^\circ$  bis  $90^\circ$  einen Winkel von  $27^\circ$  mit derselben in den meisten Theilen der Platte (denn Unregelmässigkeiten kommen auch hier ähnlich wie beim Brewsterit vor).

Bei  $120^\circ$  betrug der Winkel  $31^\circ$

-  $150^\circ$  - - -  $55^\circ$ .

Es sucht demnach bei Temperaturerhöhung die Axenebene sich in eine zur ursprünglichen Ebene senkrechte zu drehen. Diese Drehung der Axenebene bei allmählich steigender Temperatur ist für die einzelnen Farben sehr verschieden. Es kann dies mit blossen Auge wahrgenommen werden, wenn man das Interferenzbild durch rothes und blaues Glas betrachtet. In Folge dieser verschiedenen Drehung wird die ohnehin vorhandene gekreuzte Dispersion noch verstärkt, ein Umstand, welcher der Beobachtung sehr hinderlich ist. Beim Brewsterit war eine solche Verschiedenheit in der Drehung der Axenebene für die verschiedenen Farben nicht wohl wahrzunehmen.

Es erübrigt nun noch, das Verhalten des Beaumontit, welcher beim Erhitzen die oben angeführten Aenderungen erfährt, bei Luftabschluss zu untersuchen. Ein passendes Spaltungsstück wurde nach und nach auf  $90^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $150^\circ$  u. s. w. erwärmt und immer zwischendurch beobachtet, wobei sich ergab, dass der Axenwinkel kleiner und die Axenebene gedreht wurde. Ueber  $200^\circ$  wurde die Beobachtung schwieriger. Man sah kein Interferenzbild mehr, nicht einmal farbige Ringe, die auf die Lage der Axenebene schliessen liessen, ja sogar die Hyperbelbögen, welche beim Drehen des Tisches das Bild kreuzen, waren nicht mehr deutlich wahrzunehmen. Ich erhitze die Platte über der Gasflamme bis zu einer Temperatur, die sicherlich weit über  $300^\circ$  war, und beobachtete sie dann in parallelem Licht. Es fand eine Auslöschung parallel der Basis und in einer dazu senkrechten Richtung statt. Doch giebt dies keinen Aufschluss über die Lage der Axenebene; denn es kann ebensowohl die Ebene der optischen Axen parallel der Basis als senkrecht zu derselben sein. Wäre ersteres der Fall, so hätte, da mit der Erwärmung gleichzeitig zweierlei Veränderungen eintreten, eine Drehung der Axenebene um  $90^\circ$  und eine Verwendung derselben um  $90^\circ$  stattgefunden, wodurch natürlich die ursprüngliche Lage der Axenebene herbeigeführt wird. Ist dagegen die Axenebene senkrecht zur Basis, so kann dies nur durch die Drehung der Ebene bewirkt worden sein, der Axenwinkel hat sich also noch nicht bis  $0^\circ$  verkleinert und dann in einer zur früheren senkrechten Ebene geöffnet. Letzteres ist das Wahrscheinlichere, da eine Reduction des Axenwinkels auf  $0^\circ$  niemals beobachtet wurde, eine solche aber bei meinen zahlreichen Versuchen nicht unbeachtet geblieben wäre, wenn sie stattgefunden hätte. Ueberhaupt darf wohl angenommen werden, dass bei der Erwärmung bis zu einer Tem-

peratur, die nicht allzuweit über  $300^{\circ}$  liegt, der Axenwinkel sich nicht bis auf  $0^{\circ}$  verkleinert, dass seine Veränderung mit der Temperatur also verhältnissmässig eine geringe ist.

Hierauf wurde das Präparat (zugleich mit dem Brewsterit) in wasserfreiem Petroleum aufbewahrt. Bei einer Prüfung, die einige Tage nachher angestellt wurde, zeigte sich, dass die Lage der Axenebene fast parallel der Basis war, wobei jeder Zweifel ausgeschlossen war, und zwar fand die Abweichung von der Parallelität in demselben Sinne statt, wie sie entsteht, wenn man die Platte anfängt zu erwärmen; es hatte demnach eine Rückdrehung der Axenebene bis fast in die ursprüngliche Lage stattgefunden. Dagegen war die Grösse des Axenwinkels nicht gleich der ursprünglichen. Bezüglich meiner Ansicht, dass der Axenwinkel mit der Temperaturerhöhung verhältnissmässig wenig abnehme, ohne den Werth  $0^{\circ}$  zu erreichen, hatte sich der Axenwinkel aber vergrössert; denn am Rande des Gesichtsfeldes zeigten sich wieder zwei farbige Streifen, welche Theile einer die beiden Pole gemeinsam umgebenden Curve bilden.

Weiterhin wurde die Beaumontitplatte der freien Luft ausgesetzt. Während schon zwei Tage später die Lage der Axenebene genau dieselbe war wie die ursprüngliche und zwar in allen Theilen der Platte, dauerte es eine geraume Zeit, ehe sehr merkliche Aenderungen in der Grösse des Axenwinkels sich zeigten. Bereits war eine ganze Woche verflossen, nachdem man das Präparat der freien Luft ausgesetzt hatte, und immer war noch nicht der Winkel der Axe auf seine frühere Grösse zurückgekehrt. Auch traten Unregelmässigkeiten in der Grösse des Axenwinkels auf; an einigen Stellen der Platte war der Axenwinkel, wie aus den farbigen Ringen zu schliessen war, grösser, an anderen kleiner bei gleicher Lage der Axenebene, obschon der Axenwinkel der Platte im frischen Zustande überall dieselbe Grösse hatte. Dasselbe wurde auch an einem anderen Beaumontitkryställchen beobachtet, mit dem ich experimentirte, und das ich bald hoch, bald niedrig erhitze. Die Lage der Axenebene war in allen Theilen dieselbe, jedoch die Grösse des Winkels an den verschiedenen Stellen sehr verschieden. Später, noch Wochen nachher, unterzog ich die beiden Beaumontitlamellen häufig einer kurzen Betrachtung, um mich zu vergewissern, ob dieselben wieder in ihren ursprünglichen natürlichen Zustand zurückgekehrt seien; aber immer waren noch solche Unregelmässigkeiten in der Grösse des Axenwinkels vorhanden, so dass es den Anschein hat, als seien diese Verschiedenheiten zum Theil dauernde geworden.

Vergleicht man die beobachteten Aenderungen, welche der Heulandit bei Erhöhung der Temperatur erleidet, mit denen des Beaumontit beim Erwärmen, so findet man sehr bemerkenswerthe Verschiedenheiten. Schon bei gewöhnlicher Temperatur ist der Axenwinkel des Beaumontit beträcht-



lich grösser als der des Heulandit. Während beim letzteren schon eine Temperatursteigerung bis zu  $450^{\circ}$  hinreichend war, um ein Zurückgehen des Axenwinkels auf  $0^{\circ}$  und eine Verwindung der Axenebene um  $90^{\circ}$  zu bewirken, genügte beim Beaumontit eine Temperatur von über  $300^{\circ}$  noch nicht, den Axenwinkel auf  $0^{\circ}$  zu bringen. Ausserdem hatte die Steigerung der Temperatur beim Beaumontit eine Drehung der Axenebene zur Folge, beim Heulandit dagegen war nichts Derartiges wahrzunehmen. Bei Luftabschluss zeigten beide Mineralien ein verschiedenes Verhalten: die Axenebene des Heulandit behielt die Lage, in welche sie durch die Erwärmung gelangt war, bei, und eine merkliche Aenderung in der Grösse des Axenwinkels trat nicht ein; unter denselben Bedingungen drehte bei Beaumontit die Axenebene sich in ihre ursprüngliche Lage zurück, und vergrösserte sich gleichzeitig der Axenwinkel wieder. Setzte man die Krystalle der freien Luft aus, so gelangte der Heulandit innerhalb 24 Stunden wieder in seinen früheren Zustand, beim Beaumontit ging der Axenwinkel nicht an allen Stellen der untersuchten Lamelle auf die ursprüngliche Grösse zurück, es schienen die Aenderungen in der Grösse des Winkels zum Theil dauernde geworden zu sein. Hierbei mag noch erwähnt werden, dass, während schon bei  $180^{\circ}$  der Heulandit anfang, an Pellucidität zu verlieren und bei  $200^{\circ}$  vollkommen undurchsichtig war, die Beaumontitlamellen noch bei einer Temperatur von  $300^{\circ}$  und höher vollkommen klar blieben. Zwar sind die optischen Aenderungen des Heulandit nicht allein von seinem Wassergehalt abhängig, sondern werden zum Theil auch, wie aus meinen Versuchen hervorgeht, durch die Temperatur erzeugt; umgekehrt scheinen die Modificationen des Beaumontit nicht ganz frei von dem Einflusse des im Krystall enthaltenen Wassers zu sein\*).

Die Verschiedenheiten, welche die beiden Mineralien in Bezug auf ihr optisches Verhalten zeigen, machen die enge Verwandtschaft derselben doch sehr zweifelhaft; sie sprechen vielmehr eher für die Ansicht G. Rose's,

---

\*) Da meines Wissens keine Bestimmung darüber vorliegt, wie viel bei Beaumontit der Austritt des Wassers bei den verschiedenen Temperaturen beträgt, so habe ich eine solche ausgeführt, um denselben zu vergleichen mit dem Wasserverlust der beiden anderen Zeolithe.

Eine bestimmte Menge gepulverten Beaumontit wurde zunächst eine Zeit lang in einem Trockenofen auf  $400^{\circ}$  erhitzt, um das hygroskopische Wasser zu entfernen, und gewogen. Dann wurde die Substanz auf höhere Temperaturen erhitzt und in einem Trockenkasten gewogen.

Hieraus ergab sich:

Beaumontit verliert

bei $450^{\circ}$	3,8 % Wasser
bei $200^{\circ}$	} 7,43 % -
bei $240^{\circ}$	
bei Rothgluth	13,57 - -

welcher die von Des Cloizeaux behauptete Identität des Beaumontit mit Stilbit leugnet.

Die optischen Aenderungen des Brewsterit bei Erwärmung sind ähnlich denen des Beaumontit, nur mit dem Unterschiede, dass bei ersterem der Axenwinkel sich vergrössert. Jedoch tritt eine merkbare Vergrösserung desselben erst bei verhältnissmässig hoher Temperatur ein. Die Erscheinungen bei diesem Mineral sind dadurch sehr merkwürdig, dass die Drehung der Axenebene in den beiden Theilen, aus denen eine Lamelle gewöhnlich besteht, eine verschieden grosse ist, dass in beiden Theilen bei ungefähr  $200^{\circ}$  die Auslöschung parallel der Vertikalaxe stattfindet, und auch bei Temperaturen, die höher als  $200^{\circ}$  sind, diese Lage der Axenebene parallel der Vertikalaxe beibehalten wird. Ob dieses Verschwinden der Zwillingsgrenze — denn als Zwillinge werden wohl die beiden Theile, aus denen eine Spaltungslamelle besteht, gedeutet werden müssen, wenn auch das Gesetz ihrer Verwachsung zur Zeit noch unbekannt ist — auf denselben Ursachen beruht, wie die von Klein am Boracit und von Mallard am schwefelsauren Kali beobachteten Erscheinungen molekularer Umlagerungen im Innern der erwärmten Krystalle, oder wie die neuerdings von Mügge\*) durch Erwärmen künstlich hervorgebrachte Zwillingsbildung, lasse ich dahingestellt. Denn meine Beobachtungen am Brewsterit sind von jenen darin unterschieden, dass die Aenderungen keine dauernden sind. Am meisten noch stimmen dieselben mit einer am Kalkspath gemachten Wahrnehmung Reusch's überein, wonach eine durch Druck hervorgebrachte Zwillingslamelle mittelst Erwärmen wieder zum Verschwinden gebracht werden kann. Ebenso könnte man versucht sein, dieselben mit den Beobachtungen Mallard's\*\*) in Einklang zu bringen, welche derselbe in jüngster Zeit am Boracit und schwefelsauren Kali machte, und zwar um so eher, als bei etwa  $200^{\circ}$  die Lage der Axenebene des Brewsterit parallel der Vertikalaxe ist, und diese Lage für alle höheren Temperaturen dieselbe bleibt.

Mallard fand nämlich, dass bei einer bestimmten Temperatur, welche er die »température critique« nennt, der Boracit einfachbrechend wird und es bleibt für alle höheren Temperaturen; dass ferner das schwefelsaure Kali ebenfalls von einer bestimmten Temperatur, die aber verschieden von der des Boracit ist, bei allen höheren Temperaturen einaxig ist. Lässt man die Temperatur abnehmen, so findet bei der kritischen Temperatur der umgekehrte Verlauf von der Erscheinung statt, welche bei steigender Temperatur sich zeigte. Bei gewöhnlicher Temperatur ist der Boracit wieder doppelbrechend, das schwefelsaure Kali wieder

---

\*) Neues Jahrb. für Mineralogie 1883, II, 258.

\*\*) Bulletin de la Soc. min. Paris 1882, 5, 242.

zweiachsig. Hieraus folgert Mallard, dass es Substanzen gebe, vielleicht zahlreiche, welche wie der Boracit und das schwefelsaure Kali eine Aenderung in ihrem krystallinischen Zustande zeigen, welche jedoch immer vollkommen umkehrbar ist. Dieselben können die kritische Temperatur in dem einen oder anderen Sinne passiren, ohne dabei ihre Krystallform zu ändern. Die Folge davon ist, dass diese Substanzen nur unter einer Form bei gewöhnlicher Temperatur existiren, der Grund, weshalb man bis jetzt ihren Dimorphismus verkannt hat.

Ueber die Richtigkeit oder Unrichtigkeit der Mallard'schen Schlüsse sowohl, als über die Möglichkeit von Beziehungen meiner Beobachtungen zu denen Mallard's werden erst weitere Beobachtungen der bereits untersuchten sowie anderer Substanzen entscheiden können.

---

Vorstehende Arbeit wurde während des Sommersemesters 1883 und Wintersemesters 1883/84 in dem mineralogischen Institut zu Bonn auf Anregung des Herrn Prof. Dr. von Lasaulx ausgeführt.

---