rolle mit einer gegebenen Geschwindigkeit rotirte, zuerst in der einen, und dann in der entgegengesetzten Richtung. In der ersten Columnne findet sich die für jeden Versuch benutzte Geschwindigkeit, in der zweiten der Werth der B. A. Einheit in $10^7 \frac{\text{Meter}}{\text{Secunde}}$, und wie er aus den einzelnen Versuchen abgeleitet wurde. Eine constant nach derselben Seite sich neigende Differenz kann in den erhaltenen Werthen beobachtet werden, wenn die Rolle in verschiedener Richtung rotirte. Dieser Umstand findet darin seine Erklärung, dafs der Faden, an dem der Magnet suspendirt war, in der einen Richtung einen geringen Einfluß ausübte. In der dritten Columnne sind die aus jedem Versuchpaare berechneten Werthe für die B. A. Einheit zusammengestellt, in der vierten endlich die Abweichung eines jeden Paares von dem zuletzt adoptirten mittleren Werthe. Bei der Annahme des letzten Mittels wurde auf die Bestimmungen vom Jahre 1865 fünf Mal so viel Gewicht gelegt, als auf die Bestimmungen vom Jahre 1863.

**II. Ueber die Anwendung des Polarisationsmikroskops und über das Studium der doppeltbrechenden Eigenschaften, welche zur Bestimmung des Krystallsystems natürlicher und künstlicher Krystalle geeignet sind;
von Hrn. Descloiseaux.**

(Aus den *Ann de Mines*, vom Hrn. Verf. übersandt.)

In der Vorrede zum ersten Bande meines *Manuel de Minéralogie*, 1862, zeigte ich an, dafs ich am Ende des zweiten Bandes eine Note über den Gebrauch und die Construction des Polarisationsmikroskops geben würde, welches mir zur Erlangung der meisten, zu wiederholten Malen von

mir veröffentlichten Resultaten gedient hat. Allein, gedrängt von vielen Mineralogen, der noch ungewissen Zeit des Erscheinens dieses zweiten Bandes zuvorzukommen, habe ich mich entschlossen, das Folgende dem Druck zu übergeben¹⁾.

Die genaue Bestimmung des Krystallsystems ist eine fundamentale Aufgabe, besonders bei dem so interessanten Studium der Isomorphie und Dimorphie natürlicher und künstlicher Krystalle. Diese Bestimmung kann aber unsicher bleiben, wenn sie nur auf das Studium unvollständiger physischer und geometrischer Charaktere gestützt ist. Sie erlangt dagegen einen sehr großen Grad von Sicherheit, allemal wenn die Körper durchsichtig sind und sich der krystallographischen Untersuchung zweckmäßige optische Prüfungen hinzufügen lassen. Die entscheidendsten bestehen darin, zu untersuchen:

1. Ob die krystallisirte Substanz Doppelbrechung besitze oder nicht.

2. Im Fall sie doppelbrechend ist, ob sie eine oder zwei optische Axen besitze.

3. Im Fall sie zwei optische Axen besitzt, wie die Ebene, in der diese Axen liegen, gerichtet ist, und vor Allem, welche Lage die Mittellinien der beiden durch das Zusammenstoßen dieser Axen im Innern des Krystalls gebildeten supplementären Winkel in Bezug auf die krystallographischen Axen einnehmen.

1) Ich setze voraus, der Leser sey vertraut mit den nöthigen Manipulationen zur Bearbeitung der Platten, die dem Polarisationsmikroskop unterworfen werden sollen. Diese Manipulationen sind angegeben von Hrn. Grailich in der interessanten Abhandlung: *Krystallographisch-optische Untersuchungen*, die von der Wiener Akademie der Wissenschaften gekrönt und 1858 zu Wien veröffentlicht worden ist. Wenn man es übrigens nur mit künstlichen Salzen oder mit weichen Mineralien zu thun hat, die auf Kupfer- oder Glasscheiben leicht mit Smirgel zu schleifen, und auf Papier, Tuch oder Atlas mit sehr feinem Tripel oder englischem Roth zu poliren sind, so ist es am besten, sich an einen geschickten Optiker oder selbst an einen Steinschleifer zu wenden, wie sie fast in allen Städten, wo die Beobachtungs-Wissenschaften cultivirt werden, anzutreffen sind.

4. Welche Art von Dispersion in den zweiaxigen Krystallen die optischen Axen für die Farben des Spectrums darbieten.

Was den Winkel zwischen den optischen Axen betrifft, so ist er oft bei Stücken einer und derselben Mineralspecies ungleich, theils wegen sehr geringer Verschiedenheit in der Zusammensetzung, theils wegen der Temperatur, welcher sie ausgesetzt *sind* oder *gewesen sind* (Feldspath, Zoisit, Klinochlor, Cordierit, Heulandit, Galmei, Cymophan, Brookit, Gyps, Glauberit, Schwerspath, Cölestin, Struvit usw.), theils endlich wegen der bei ihrer Bildung stattgehabten Umstände. Die Messung desselben liefert also nur eine wesentlich inconstante Gröfse. Ebenso darf man, als Mittel zur Unterscheidung der Species, der Lage der Ebene, welche die optischen Axen einschließt, nur eine sehr secundäre Wichtigkeit beilegen; denn wenn man mehrere chemisch und geometrisch ähnliche Krystalle oder selbst verschiedene Stellen eines selben Krystalls entweder bei derselben Temperatur oder bei verschiedenen Temperaturen untersucht, findet man, dafs diese Axen in zwei unter sich rechtwinklichen Ebenen auseinander gehen können, oder auch, wenn die Dispersion derselben beträchtlich und ihr Winkel gering ist, dafs an einer und derselben Stelle die den rothen Strahlen entsprechenden Axen in einer gewissen Ebene, und die den blauen Strahlen entsprechenden Axen in einer darauf senkrechten Ebene liegen (Feldspath, Zoisit, Heulandit, Prehnit, Cymophan, Brookit, Gyps, Glauberit usw.)

Nichts recht Charakteristisches kann man auch aus der *Positivität* oder *Negativität* ableiten, welche bei einaxigen Krystallen die einzige Axe (gewisse Apophyllitkrystalle sind *positiv* für das eine Ende des Spectrums und *negativ* für das andere) oder bei zweiaxigen Krystallen die Mittellinie der Axen darbietet.

Bevor ich die Apparate und Verfahrensweisen, welche mir für die aufgezählten Untersuchungen am zweckmäfsigsten erscheinen, beschreibe, will ich an einige den Physi-

kern wohl bekannte Definitionen erinnern, und zeigen, wie sich bei den optischen Axen die verschiedenen Dispersionsarten äußern, die an gewissen, zum rhombischen und klinorhombischen Systeme gehörigen Krystallen zuerst von Herschel, Nörrenberg, Neumann und Müller nachgewiesen worden sind.

Optische Axen. — Eine optische Axe kann definirt werden als eine Linie, in deren Richtung die Doppelbrechung Null ist¹⁾. Die Lage einer solchen Linie wird unter dem Polarisationsmikroskop in convergirendem Licht durch folgende Erscheinungen angezeigt. Hat man eine Platte mit parallelen Flächen, winkelrecht gegen die Axe eines einaxigen Krystalls, so sieht man eine Reihe kreisrunder Ringe, concentrisch um die Normale der Platte und gewöhnlich durchschnitten von einem schwarzen Kreuz, dessen Zweige sich in Büschel verlaufen, der eine parallel und der andere winkelrecht zur Polarisationsebene des Instruments. Ist die Platte schief gegen die Axe, so nehmen die Ringe eine elliptische Form an, desto ausgeprägter, je größer die Schiefe ist. Zugleich verschiebt sich das Centrum des Kreuzes und endlich verschwindet es ganz, wenn die Schiefe zu groß wird.

Operirt man mit einer Platte, welche gegen eine der Axen eines zweiaxigen Krystalles winkelrecht ist, so zeigen sich mehr oder weniger ovale Ringe, welche *immer* durchschnitten sind entweder von einem schwarzen oder mit Spectralfarben umsäumten Bande, wenn die Ebene, welche die beiden optischen Axen enthält, zur Polarisationsebene

1) Diese Definition ist nur für Krystalle mit einer einzigen optischen Axe streng richtig; allein man giebt ihr alle nöthige Allgemeinheit, wenn man die folgende physikalische Eigenschaft zu Hülfe zieht. Schneidet man eine Platte winkelrecht gegen eine optische Axe, so wird jeder lothrecht auf diese Platte einfallende Strahl im Innern einen hohlen Kegel bilden und nach dem Austreten einen hohlen Cylinder darstellen, die Austrittsfläche mag der Eintrittsfläche parallel seyn oder nicht. Indefs hat dieser Cylinder eine Grundfläche von im Allgemeinen so geringen Dimensionen, daß er experimentell fast immer als ein einziger Strahl betrachtet werden kann.

des Mikroskops parallel oder winkelrecht ist, oder von einem hyperbolischen Zweige von verschiedenartiger Krümmung und mehr oder weniger verwaschenen Enden, wenn die Ebene der Axen 45° gegen die Polarisationssebene macht. Die Schiefe der Platte gegen die Axe macht die Ringe ovaler, ohne indess den Charakter des sie durchschneidenden Streifens zu ändern; ist der Winkel zwischen den beiden optischen Axen nicht sehr groß, so kann diese Schiefe so stark seyn, daß man die beiden den zwei Axen entsprechenden Ringsysteme zugleich wahrnimmt.

In den Krystallen mit *einer* optischen Axe coïncidirt diese Axe immer mit der krystallographischen Hauptaxe, deren Richtung parallel ist der Polarisationssebene des *ordentlichen* Strahls und winkelrecht zur Polarisationssebene des *aufserordentlichen*. Der Krystall heißt *positiv* oder *negativ*, je nachdem der Brechungsindex des *aufserordentlichen* Strahls größer oder kleiner als der des *ordentlichen* Strahles ist.

In den Krystallen mit zwei optischen Axen machen diese Axen unter einander, im *Innern* des Krystalls einen gewöhnlich von 90° verschiedenen Winkel; sie bieten folglich um ihren Durchschnittspunkt einen scharfen und einen supplementären stumpfen Winkel gegen einander dar. Die gegeneinander rechtwinklichen Mittellinien dieser beiden Axen und eine dritte Gerade, welche auf der dieselben enthaltenen Ebene rechtwinklich ist, constituiren drei merkwürdige Richtungen¹⁾, normal auf welchen die Lichtstrah-

1) Diese Richtungen, die respective zusammenfallen mit den brechenden Kanten der drei Prismen, die gewöhnlich zur Bestimmung der Haupt-Indices nothwendig sind, coïncidiren auch mit den *Axen* der größten, kleinsten und mittleren *optischen Elasticität*, auf welche Fresnel die Phänomene der Fortpflanzung des Lichts in krystallisirten Mitteln bezieht und welche sich durch folgende physische Eigenschaft definiren lassen:

Nimmt man eine Platte mit parallelen Flächen, winkelrecht geschnitten gegen eine Axe optischer Elasticität, so wird jeder lothrecht auf diese Platte fallende Lichtstrahl ohne Gablung ein- und austreten; ist aber die Austrittsfläche nicht parallel der Eintrittsfläche, so tritt er ohne Gablung ein, und gabelt sich beim Austritt. Jedoch findet die Ga-

len gerichtet und polarisirt sind, welche die drei Constanten liefern, die man *Haupt-Brechungsindices* der doppelt brechenden Substanz nennt. Den beiden Mittellinien entsprechen immer der *Maximum*- und der *Minimum-Index*, während der *mittlere Index* der lothrechten Richtung auf der Ebene entspricht, welche die optischen Axen und deren Mittellinien enthält. Vermöge der Brechung, welche die Lichtstrahlen beim Austritt aus dem Krystall in die Luft erleiden, ist klar, daß der scheinbare Winkel zwischen den Krystallen immer größer ist als der innere oder wahre Winkel, und es ereignet sich oft, daß die Ringe, selbst um die scharfe Mittellinie, nicht mehr in der Luft sichtbar sind; wir werden weiterhin sehen, wie man alsdann die Lage dieser Mittellinie erkennen kann. Obgleich die Zerfällung der zweiaxigen Krystalle in positive und negative nicht mehr dieselbe Bedeutung hat wie bei den einaxigen Krystallen, so ist es doch zweckmäßig, die Mittel-

belung nicht statt in einaxigen Krystallen, wo die auf der Eintrittsfläche lothrechte Elasticitätsaxe mit der optischen Axe und der kristallographischen Hauptaxe zusammenfällt.

Bei den Krystallen mit *einer* optischen Axe ist es die Axe der *größten* oder der *kleinsten* Elasticität, die mit der optischen Axe zusammenfällt, je nachdem der Krystall *positiv* oder *negativ* ist; allein außer dieser Haupt-Elasticitätsaxe giebt es eine Unzahl anderer, denn jede auf der optischen Axe lothrechte Gerade kann als eine secundäre Elasticitätsaxe betrachtet werden.

Die Krystalle mit zwei optischen Axen besitzen dagegen nur die drei oben angeführten, unter sich rechtwinklichen Elasticitätsaxen. Die Axen der *größten* und *kleinsten* optischen Elasticität liegen immer in der Ebene der optischen Axen, und die Axe der *mittleren* Elasticität ist winkelrecht auf dieser Ebene. Bezeichnen α , β , γ die drei Indices der *größten*, *mittleren* und *kleinsten* Brechung, so sind die entsprechenden drei Elasticitäten oder die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten ebener

Wellen parallel den Elasticitätsaxen respective gleich $\frac{1}{\alpha}$, $\frac{1}{\beta}$, $\frac{1}{\gamma}$, und man sagt, die Mittellinie des Winkels, welchen die optischen Axen mit einander machen, sey *positiv* oder *negativ*, je nachdem sie mit der Axe der *kleinsten* oder der *größten* Elasticität zusammenfällt.

linie, auf deren Richtung sich der *größte* oder *kleinste* Index bezieht, als *positiv* oder *negativ* zu betrachten¹⁾.

Betrachten wir nun die Fortpflanzungsweise des Lichts und die Lage der optischen Axe, falls es nur eine einzige giebt, oder die Lage der Ebene der optischen Axen und ihrer Mittellinien, falls es deren zwei giebt, in Bezug auf die krystallographischen Axen, so können wir alle Krystalle folgendermaafsen classificiren:

1. *Krystalle des kubischen Systems*. Das Licht pflanzt sich in allen Richtungen mit gleicher Geschwindigkeit fort. Die Brechung ist einfach.

2. *Krystalle des quadratischen und des rhomboëdrischen Systems*. Das Licht pflanzt sich in allen auf der krystallographischen Hauptaxe winkelrechten Richtungen mit gleicher und längs dieser Axe mit einer anderen Geschwindigkeit fort. Die Doppelbrechung ist die mit einer einzigen optischen Axe, welche mit der krystallographischen Hauptaxe zusammenfällt.

3. *Krystalle des rhombischen Systems* (des geraden Rhombenprisma). Die Ebene, welche die beiden optischen Axen einschließt, fällt zusammen mit der Ebene der rhombischen Basis oder mit einer der Diagonal-Ebenen des zur Grundform angenommenen Parallelepipeds. Ihre beiden Mittellinien, *scharfe* und *stumpfe*, fallen also zusammen entweder mit den Diagonalen der Basis oder mit einer dieser Diagonalen und der vertikalen Kante (Höhe des Levy'sche Prismas oder Naumann'sche Vertikalaxe).

1) Da die doppeltbrechenden Eigenschaften der zweiaxigen Krystalle immer auf die Mittellinie des *reellen* scharfen Winkels zwischen den optischen Axen bezogen werden, so ist es, wenn nicht das Gegentheil gesagt wird, immer das positive oder negative Zeichen dieser Mittellinie, welches das des Krystalls fixirt. Der Kürze halber wird dieselbe Mittellinie auch *scharfe* Mittellinie genannt oder schlechthin Mittellinie (*bissectrice ou ligne moyenne*). Die Mittellinie des stumpfen Winkels heißt stumpfe Mittellinie oder Supplementarlinie. Die Normale auf der Ebene der beiden Mittellinien ist die Axe der mittleren Elasticität und heißt mittlere Axe.

4. *Krystalle des klinorhombischen Systems* (des schiefen Rhombenprisma). Die Ebene der optischen Axen ist parallel oder winkelrecht zur Ebene der Symmetrie. Im ersten Falle haben die beiden Mittellinien, *scharfe* und *stumpfe*, keine a priori vorauszusehende Lagen-Beziehung zu der geneigten Diagonale der rhombischen Basis und zur vertikalen Kante. Im zweiten Fall ist die eine, auf der Symmetrie-Ebene winkelrechte Mittellinie parallel zur horizontalen Diagonale der Basis; allein die andere nimmt in Bezug auf die vertikale Kante und die geneigte Diagonale irgend welche Lage ein.

5. *Krystalle des anorthischen Systems* (des doppelt schiefen Prisma). Die Ebene der optischen Axen und ihrer Mittellinien haben keine nothwendige Beziehung zu den Diagonalebenen und den krystallographischen Axen der Grundform, was für eine Richtung man dieser auch beilegen möge.

Dispersion der Mittellinien. Die Mittellinien können nur eine Dispersion darbieten, wenn sie nicht mit einer krystallographischen Axe zusammenfallen. Demgemäß zeigen sie in den Krystallen des rhombischen Systems keine Dispersion. In dem klinorhombischen Systeme findet die Dispersion zugleich bei beiden Mittellinien statt, sobald die Ebene der optischen Axen mit der Ebene der Symmetrie zusammenfällt, und bei einer einzigen, sobald diese Ebene winkelrecht ist auf der Symmetrie-Ebene. In dem anorthischen Systeme existirt die Dispersion zugleich bei beiden Mittellinien und bei der *mittleren* Axe, welche winkelrecht ist auf deren Ebene.

Dispersion des optischen Axen. — Die Dispersion der optischen Axen ist zugleich eine Folge der Dispersion der Mittellinien und der ungleichen Brechbarkeit der verschiedenen Farben des Spectrums. Darauf folgt: 1) dafs in den Krystallen des rhombischen Systems die Dispersion der Axen rings um die *scharfe* Mittellinie und ringsum die *stumpfe* Mittellinie symmetrisch geschieht in der Ebene, welche diese Mittellinien enthält, 2) dafs in den Krystallen des klinorhombischen Systems die Dispersion nach drei verschie-

denen Weisen stattfinden kann, 3) endlich, dafs in den Krystallen des anorthischen Systems die Dispersion keine nothwendige Symmetrie mehr darbietet. Betrachten wir nun näher diese verschiedenen Fälle.

Krystalle des rhombischen Systems. — Die allen Farben entsprechenden optischen Axen liegen in einer und derselben Ebene und besitzen genau die nämliche Mittellinie. Rechts und links von dieser Linie ist Alles symmetrisch, und wenn man eine auf ihr winkelrechte Platte in einem convergirendem Bündel von weifsem polarisirten Licht untersucht, so zeigen die isochromatischen Curven und die Ringe, welche die beiden optischen Axen umgeben, eine vollständige Identität. Wenn die Ebene der Axen 45° mit der Polarisationsebene macht, so zeigen die hyperbolischen Zweige, welche jeden centralen Ring durchschneiden, dieselbe Identität, und die Farben, mit welchen sie gewöhnlich gesäumt sind, zeigen den Sinn der Dispersion der Axen eben so gut und manchmal besser an, als die directe Messung ihrer Divergenz¹⁾. Da in den Säumen der Hyperbeln die Farben immer umgekehrt geordnet sind, wie an den ihnen gegenüberliegenden Scheiteln des centralen Ringes, so mufs man indess schliessen, dafs die *rothen* Axen (die den rothen Farben entsprechenden) weniger divergiren als die *blauen* Axen (die den blauen Farben entsprechenden), wenn der *äufsere* oder *concave* Theil der Hyperbeln *roth* gesäumt ist, während der *innere* oder *convexe* Theil

1) Wenn die Dispersion sehr schwach ist und man zum Studium derselben ein polarisirendes Mikroskop anwendet, so mufs man es vor Allem durch weifses Wolkenlicht beleuchten; allein selbst in diesem Fall kann es geschehen, dafs die Anzeigen, welche die Säume der Hyperbeln liefern, nicht übereinstimmen mit denen, welche aus der directen Messung der Divergenz der optischen Axen hervorgehen. Diese, übrigens sehr seltenen Anomalien (Siehe meine zweite Abhandlung: »Ueber die Anwendung der optischen doppeltbrechenden Eigenschaften usw. in den *Annal. de Mines*, T. XIV, p. 343) scheinen besonders von einem mangelhaften Achromatismus der Mikroskoplinsen herzurühren und sie verschwinden, wenn man, bei einer hinreichend dicken Platte, ein schwarzes Glas, welches Wolkenlicht reflectirt, als Polarisorator, und ein Nicol'sches Prisma als Zerleger anwendet.

einen blauen Saum besitzt (siehe Fig. 1, Taf. IV); das Gegenheil findet statt, wenn das Blau *aussen* und das Roth *innen* liegt. Gemeinlich sind die Farben der Säume desto lebhafter, je größer die Divergenz zwischen den rothen und blauen Axen ist. Der Sinn der den Axen eignen Dispersion wird durch das Zeichen $\rho <$ oder $> v$ angedeutet.

Krystalle des klinorhombischen Systems. — Die den verschiedenen Farben des Spectrums entsprechenden optischen Axen haben nicht mehr *nothwendig* eine und dieselbe Mittellinie. Die Lage der Mittellinien ihrer *scharfen* Winkel giebt Anlaß zu drei Arten von Dispersion, welche man *geneigte*, *horizontale* und *gekreuzte* oder *gedrehte* Dispersion nennen kann.

a. Wenn die Ebene der optischen Axen mit der Symmetrie-Ebene des Krystalls zusammenfällt, so sind die Mittellinien dieser Axen für alle Farben in dieser Ebene *dispargirt*, und meistens machen sie unter sich sehr kleine Winkel, die von einigen Minuten zu einem oder zwei Graden gehen. Diese Dissymmetrie verräth sich bald durch einen Unterschied in der mehr oder weniger ovalen Form der Ringe jeden Systems und in dem Glanz der Farben, die übrigens nach gleicher Ordnung vertheilt sind, die Ebene der Axen mag der ursprünglichen Polarisationsebene parallel seyn oder mit ihr einen Winkel von 45° machen (siehe Fig. 2, Taf. IV), — bald durch einen Gegensatz in der Anordnung der Farben beider Ringsysteme und derer, welche die beiden Hyperbeln, gesehen bei 45° mit der Polarisationsebene, umsäumen, indem z. B. die eine *aussen* Roth und *innen* Blau zeigt, während die andere *aussen* Blau und *innen* Roth darbietet (siehe Fig. 3, Taf. IV), — bald endlich durch den Verein beider Erscheinungen. Die Dispersion heisst dann *geneigte*. Anordnung von Farben, analog den in Fig. 2 abgebildeten, beobachtet man am Gyps¹⁾ bis zu einer Temperatur von etwa 80° C. ; solche

1) In einer Abhandlung in Poggendorff's Annalen (1835) Bd. 35, S. 81 sind die von Nörremberg am Gyps entdeckten Phänomene

wie Fig. 3 beim Diopsid und ameisensauren Kupferoxyd¹⁾. Es kommt übrigens vor, daß die optischen Axen beinahe eine gleiche Divergenz für die verschiedenen Farben des Spectrums besitzen; in diesem Fall rührt ihre Dispersion nur von der Nicht-Coinsidenz der Mittellinien her. Zuweilen zeigen sie auch im Innern der doppeltbrechenden

der Dissymmetrie mit vieler Sorgfalt von Hrn. Neumann beschrieben worden. Dieser Gelehrte hat auch gezeigt, daß eine Temperaturveränderung nicht allein eine Dispersion der Axen hervorbringt, wie sie Mitscherlich beobachtete, sondern auch eine Dispersion der Mittellinien, so daß bei langsamer Steigerung der Temperatur die optischen Axen einander allmählich näher kommen und gegen 80° C. zusammenfallen, wobei die eine fast doppelt so rasch geht als die andere, und somit die Bewegung der Mittellinie nach sich zieht; er hat auch diese Verschiebungen gemessen.

Ganz neuerlich habe ich nachgewiesen, daß eine Temperatur-Erhöhung analoge Dispersionen erzeugt, aber mit eigenthümlichen Umständen für jede Substanz. Beim *Diopsid* entfernt sich, zwischen 20° und 200° C., die eine Axe um 1° 34' von der ursprünglichen Lage der Mittellinie, während die andere sich derselben bloß um 0° 36' nähert, also die Mittellinie sich 1° 5' gegen die erstere hin verschiebt. Beim *Euklas* bleibt zwischen 25° und 180° C. eine der Axen fast unbeweglich, während die andere sich etwa 1° 56' entfernt und ihrerseits die Mittellinie mit fortzieht. Beim *Rohrzucker* gehen zwischen 20° und 125° C. die beiden Axen auseinander, die eine verschiebt sich 1° 27', die andere 4° 38' und dieser folgt die Mittellinie, die sich 1° 35' verschiebt. Beim grünen *Klinochlor* von Pennsylvanien und beim violetten *Klinochlor* vom Ural (*Kotschubëit* von Kokscharow), bei welchen, zwischen 15° und 150° C., die Hyperbel mit lebhaften Farben sich zwei Mal mehr verschiebt als die Hyperbel mit blassen Farben, wächst die Divergenz der Axen um 3° 50' und die Mittellinie wandert 0° 35' gegen die am meisten verschobene Axe. Bei den Varietäten des *Feldspaths* (*Orthose*) mit in der Symmetrie liegenden Axen, wo diese Axen, zwischen 15° und 150° C. sich mit wenig verschiedenen Geschwindigkeiten von einander entfernen, erleidet die Mittellinie nur eine schwache Verschiebung von 0° 56' nach Seite der schneller gehenden Axe, bei einer Zunahme der Divergenz der Axen gleich 21° 3'. (Beim *Diopsid*, *Euklas*, *Zucker* und *Feldspath* beziehen sich meine Messungen auf die *rothen* Axen, beim *Klinochlor* auf die *gelben*.)

1) Es ist Hr. J. Müller, dem man die Kenntniss der Erscheinungen beim ameisensauren Kupferoxyd verdankt (Poggendorff's Annalen Bd. XXXV, S. 472).

Substanz eine andere relative Anordnung als bei ihrem Austritt in die Luft¹⁾. Es folgt daraus, daß die gegensätzlichen Charaktere, welche sich im rhombischen System zwischen den Farben der Hyperbeln und denen der Scheitel des ersten Ringes darbieten, beim klinorhombischen Systeme nicht mehr *nothwendig* richtig sind.

b. Wenn die Ebene der optischen Axen winkelrecht ist auf der Symmetrie-Ebene des Krystalls, so bieten sich zwei verschiedene Fälle dar: Entweder ist die *scharfe* Mittellinie winkelrecht auf der horizontalen Diagonale der Basis oder sie ist ihr parallel. Im ersteren Fall liegt jedes Axenpaar, welches einer Farbe des Spectrums entspricht, in einer der horizontalen Diagonale parallelen Ebene; allein im Allgemeinen macht diese Ebene nicht strenge einen gleichen Winkel mit der Basis für alle Farben. Daraus folgt, daß, wenn man in weißem Licht mit einer Platte operirt, welche auf der *scharfen* Mittellinie der z. B. dem *Gelb* entsprechenden Axen winkelrecht ist, die Farben der Ringe dissymmetrisch geordnet sind zu beiden Seiten der diese Axen einschließende Ebene, und die Dispersion heißt *horizontal*. Der Gegensatz der Farben ist sehr merklich, wenn die Ebene der blauen Axen sich um eine beträchtliche GröÙe von der Ebene der rothen Axen entfernt, und erreicht sein Intensitäts-Maximum ober- und unterhalb oder rechts und links des Streifens, der die beiden Ringsysteme durchsetzt, sobald die Ebene der optischen Axen winkelrecht oder parallel zur Polarisations-Ebene des Mikroskops ist. Dieser Streifen zeigt dann, statt einfach schwarz zu seyn, Blau an dem einen, und Roth an dem andern Rande (siehe Fig. 4, Taf. IV). Der Feldspath (Orthose), wenn seine optischen Axen sich in einer der Diagonale seiner Basis parallelen Ebene öffnen, das schwefelsaure Strychnin

1) Siehe meine zweite Abhandlung: *Sur l'emploi des propriétés optiques biréfringentes en minéralogie* (Ann. d. Min. T. XIV, p. 383 et 387) bei den Artikeln: *Diopsid* und *schwefelsaure Kali-Magnesia*.

mit 12 Aeq. Wasser, das schwefelsaure Mangan mit 4 Aeq. Wasser usw. zeigen diese Erscheinung niedriglich¹⁾.

Im zweiten Fall, wo die *scharfe* Mittellinie parallel ist der horizontalen Diagonale, sind die den verschiedenen Farben entsprechenden Axen symmetrisch gelagert rings um den Punkt, wo ihre gemeinschaftliche Mittellinie die auf dieser Mittellinie winkelrechte Platte durchsetzt. Die Anordnung der rothen und blauen Ringe ist rings um denselben Punkt symmetrisch, was man dadurch ausdrückt, daß man die Dispersion *gekreuzt* oder *gedreht* nennt. Wenn zwischen der Ebene der blauen Axe und der der rothen eine genügende Divergenz vorhanden ist, so beobachtet man diese Art von Dispersion gleich gut, es mag die Ebene der mittleren optischen Axen 45° mit der Polarisationsebene machen oder parallel oder winkelrecht zu ihr seyn. Immer sind es die Säume der Hyperbeln oder die des Streifens, der die Ringe durchschneidet, worin sie am hervorstechendsten ist (siehe Fig. 5, Taf. IV). Der Borax²⁾, der Heulandit, der Gay-Lussit, das Glaubersalz bieten sehr schöne Beispiele von der *gekreuzten* Dispersion dar.

Krystalle des anorthischen Systems. Die Krystalle dieses Systems zeigen eine eigenthümliche Dispersion, hervorgehend aus der Combination aller Arten von Dispersion. So zeigen Axinit und Amblygonit, gesehen in Oel, wegen der großen Divergenz ihrer optischen Axen, gleichzeitig analoge Phänomene wie die, welche die *geneigte* und *horizontale* Dispersion charakterisiren.

Beobachtungsmittel. Die von Amici und von Nörremberg erdachten Polarisationsmikroskope sind die geeignetsten Instrumente zur Beobachtung der doppelbrechenden Eigenschaften der Krystalle. Ich habe nicht nöthig hier die Theorie oder Beschreibung dieser Instrumente zu geben, denn das von Amici ist von Herrn Pouillet

1) Die den Feldspathkrystallen eigene Dispersion ist zuerst von Hrn. Neumann bemerkt worden (Poggendorff's Annal. Bd. 35, S. 205.)

2) Die Dissymmetrie, welche die Farbenringe des Boraxes darbieten, wurde zuerst von J. Herschel und von Nörremberg entdeckt.

in seinem *Traité de physique* beschrieben und abgebildet, und Herr Bertin hat kürzlich in den *Annal. de chimie et de physique* T. LXXIX eine detaillierte Note über die von Nörremberg gewählten Linsencombinationen veröffentlicht. Ich begnüge mich daher, die Modificationen anzugeben, die eine lange Praxis mich in der Einrichtung eines Instrumentes anbringen liefs, welches Herr Soleil nach einer anderen, ihm 1855 von Nörremberg mitgetheilten Combination construirt hat. Diese Modificationen hatten besonders den Zweck, die Beobachtung der optischen Eigenschaften bei allen zweiaxigen Krystallen, wie groß auch die Divergenz ihrer Axen sey, möglich zu machen, und demgemäß die Operation zu erleichtern, sowohl bei Platten, gelegt zwischen zwei Glasprismen von zweckmäßigem Winkel, die zusammen ein Parallelepiped von fast zwei Centimetern Dicke bildeten, als auch bei außerordentlich kleinen Lamellen, die in ein mehr brechendes Mittel als die Luft getaucht wurden. Die zu diesen Manipulationen erforderlichen Bedingungen werden weder von dem Amici'schen Mikroskop, dessen Brennweite zu kurz ist, noch von dem durch Herrn Bertin beschriebenen Nörremberg'schen wohl erfüllt. Das Instrument, mit welchem ich die neuen von mir veröffentlichten Resultate erhalten habe, besitzt folgende Einrichtung.

Handelt es sich um einen einaxigen Krystall oder um einen zweiaxigen, dessen Axen nicht über 130° divergiren, so wird das Instrument lothrecht aufgestellt wie ein gewöhnliches Mikroskop (Fig. 1, Taf. V). *P* ist eine Säule von neun oder zehn dünnen Glasplatten, gefasst auf einem schwarzen Grunde und das ihnen von dem Spiegel *M* zugesandte Licht durch Reflexion polarisirend. *E* ist ein Beleuchter (*eclaireur* ou *épanouisseur*), bestehend aus drei biconvexen Linsen von 40 Milm. Brennweite und 33 Milm. Durchmesser, fast bis zum Contact vereint. *D* ist eine drehbare kreisrunde Scheibe, die in der Mitte eine dünne Glasplatte von 24 bis 25 Milm. Durchmesser trägt und auf ihrem Rande eine Theilung von 2 zu 2 Graden besitzt, welche

zur Einstellung der Ebene der optischen Axen und ihrer Mittellinien in Bezug auf die Polarisationssebene dient. Diese Scheibe, auf welcher der zu beobachtende Krystall ruht, wird in dem Träger *K* oberhalb des Beleuchters adjustirt. *O* ist ein Objectiv, bestehend aus vier Linsen, deren drei untere planconvex sind und respective die Dimensionen 24,7 Mllm. Brennweite und 15,8 Mllm. Durchmesser, 33 Mllm. Brennweite und 20 Mllm. Durchmesser, 67,7 Mllm. Brennweite und 27 Mllm. Durchmesser besitzen; die vierte ist biconvex und hat mit den drei Linsen des Beleuchters gleiche Brennweite und gleichen Durchmesser. In *m* befindet sich ein Glasmikrometer mit Theilung in Millimetern, und einem kleinen Kreuz in der Mitte¹⁾ oder einem einfachen rechtwinklichen Fadenkreuz, dessen Kreuzpunkt mit der Axe des Mikroskops zusammenfällt. *J* ist eine biconvexe Linse von 67 Mllm. Brennweite und 33 Mllm. Durchmesser, welche als Ocular dient. *N* ist ein Nicol'sches Prisma, welches als Zerleger dient²⁾. Um das Ocular für jeden Beobachter recht zu stellen, ist die Röhre, welche

1) Ein gehörig centrirtes Mikrometer ist dem Fadenkreuze vorzuziehen, denn seine Theilstriche erlauben unmittelbar zu ermitteln, ob eine Platte mit zwei optischen Axen, deren scheinbare Divergenz in Luft nicht 120° bis 122° übersteigt, gut winkelrecht auf deren Mittellinie ist. Dazu reicht es nämlich hin, daß der Scheitel der Curve, welche jedes Ringsystem durchschneidet, denselben Theilstrich rechts und links vom Centrum decke, wenn die Ebene der Axen 45° mit der Polarisationssebene macht. Durch die successive Lage der Ringe und der Hyperbeln können diese Theilstriche auch den Gangunterschied zur Evidenz bringen, welchen die in der Symmetrie-Ebene der Krystalle des klinorhombischen Systems liegenden optischen Axen darbieten, wenn ihre Mittellinien unter dem Einfluß der Wärme eine beträchtliche Dispersion erleiden. So zeigen sie bei gelinder Erwärmung einer Gypsplatte, daß die Hyperbel des einen Ringsystems sich dem Centrum viel schneller nähert als die Hyperbel des anderen Systems, so daß, wenn eine solche Platte winkelrecht auf der scharfen Mittellinie der z. B. gelben Axen geschnitten ist, sie es streng genommen nicht mehr seyn wird, sobald die Temperatur von derjenigen abweicht, bei welcher sie geschnitten wurde.

2) Nach dieser Einrichtung ist die ursprüngliche Polarisationssebene des Mikroskops immer diejenige Ebene, welche zugleich die Axe des Instruments und den vom Beleuchtungsspiegel *M* reflectirten Strahl enthält.

dasselbe und den Zerleger enthält, mit sanfter Reibung verschiebbar in dem äußeren Rohr, worin Objectiv und Mikrometer befestigt sind. Das Ganze kann mittelst des gekerbten Stabes *T* und des Knopfes *B* der drehbaren Scheibe *D* genähert oder von ihr entfernt werden. Man erhält eine Idee von der Gröfse der Brennweite des Instruments, wenn man weiß, daß eine Quarzplatte von $\frac{1}{2}$ Millm. Dicke und starker Neigung gegen die Axe, gefaßt zwischen zwei Glasprismen von 66 Graden und mit denselben ein Parallelepipedum von 2 Centim. Höhe bildend, vier Ringe durchschnitten von einem blauschwarzen Kreuze sehen läßt. Was sein Gesichtsfeld betrifft, so ist es hinreichend, damit ein weißer brasilianischer Topas, dessen Axen eine Divergenz von etwa 121° haben, den centralen Ring und den Querstreif beider Systeme zeigt¹⁾.

Ersetzt man die drehbare Scheibe durch das kleine Goniometer *G*, dessen centraler Stift als Stütze der doppeltbrechenden Platte entweder eine in dem Kupferringe *V* bewegliche Glasscheibe oder eine federnde Zange *R* trägt, so ist es leicht, indem man diesen Stift 45° gegen die Polarisationssebene neigt, die scheinbare Divergenz der Axen in Luft zu messen, selbst an bearbeiteten Lamellen oder abgespaltenen Bruchstücken von kaum 1 Millm. Seite, sobald nur diese Divergenz nicht größer als 135° oder 140° ist.

Wenn der scheinbare Winkel zwischen den optischen

- 1) Obgleich die als Polarisator angewandte Glassäule weniger vollkommen polarisirtes Licht liefert als ein Nicol'sches Prisma, so habe ich es doch bei dem verticalen Mikroskop vorgezogen, weil die Erfahrung lehrt, daß ein Theil der verlorenen Strahlen, welchen sie reflectirt, dazu dient das Gesichtsfeld des Mikroskops zu vergrößern, sobald die Oeffnung der drehbaren Scheibe *D* hinreichend ist. Man kann auch mittelst eines großen Turmalins oder eines Herapathits, angebracht zwischen der drehbaren Scheibe *D* und dem Beleuchter *E*, eine sehr gute Polarisation erhalten; allein unglücklicherweise hält es sehr schwer, diese Substanzen in so großen Platten zu erhalten, daß sie alle in das Maximumfeld des Instruments eindringenden Strahlen polarisiren, und überdiß sind sie wegen ihrer oft bedeutenden und für die verschiedenen Farben ungleichen Absorption, wenig geeignet zum Studium der Farben, welche die verschiedenen Dispersionsweisen der optischen Axen charakterisiren.

Axen 135° übersteigt, kann die Messung dieses Winkels oder auch nur die Beobachtung der beiden Ringsysteme, die zur Ermittlung ihrer Dispersion erforderlich ist, nicht mehr in Luft geschehen, sondern man ist genöthigt ein brechenderes Mittel zu Hülfe zu nehmen, z. B. Schwefelkohlenstoff, ein fixes Oel oder irgend eine andere analoge Substanz, deren Brechungsindex zuvor bestimmt worden ist. In diesem Fall ist es am bequemsten, das Mikroskop horizontal zu legen (Fig. 2, Taf. V) und ihm das polarisirte Licht durch ein Nicol'sches Prisma N^1 zuzuführen¹⁾. Zwischen dem Beleuchter und dem Objectiv bringt man ein Glasnäpfchen von etwa 12 Mm. Dicke an, verschlossen durch parallele Glasplatten und gefüllt mit der brechenden Flüssigkeit (gewöhnlich Olivenöl, gebleicht in Sonnenlicht). Die doppelbrechende Platte wird, entweder für sich oder befestigt auf einem dünnen Glasplättchen mittelst dicken Terpentins, Canadabalsams, Arkanson²⁾ oder Gummi, je nachdem sie erhitzt werden kann oder nicht, gehalten in dem Oel durch ein Zängelchen von Platin oder Stahl, welches angelöthet ist an das Ende eines lothrechten Stabes F , der mit sanfter Reibung verschiebbar ist in einer hohlen Axe, welche eine mit Vernier versehene Alhidade A trägt und durch das Centrum eines horizontalen graduirten Kreises H geht, an welchem man Minuten ablesen kann (Fig. 4,

- 1) Da ein sehr ausgedehntes Gesichtsfeld hier nicht die erste Nothwendigkeit ist, weil man im Allgemeinen jedes Ringsystem nur successive sehen kann, so ist klar, daß es allen Vortheil hat, statt der Glassäule einen vollkommen polarisirenden Apparat zu nehmen. Der Nicol kann nach Bedürfnis ersetzt werden durch einen Foucault'schen Polarisator mit Vorsetzung einer Linse von langer Brennweite, und gefaßt in einer Röhre, welche erlaubt, ihn hinter dem Beleuchter E aufzustellen, in einem zweckmäßigen Abstand, um ein recht gleichförmiges Gesichtsfeld zu erhalten.
- 2) Das Arkanson ist ein in verschiedenen Verhältnissen zusammengesmolzenes Gemisch von gelbem Wachs und Kolophon (gewöhnlich 1 Wachs auf 3 Kolophon). Es ist um so schmelzbarer, je mehr Wachs es enthält, allein seine Adhärenz zu polirten Flächen ist immer bedeutend. Es ist sehr nützlich, um kleine Krystalle, die man schleifen und poliren will, auf Glasplatten zu befestigen.

Taf. V). Die Bewegung der Alhidade führt die der Platte mit sich, und wenn man successive das Centrum eines jeden Ringsystems mit dem Centrum des innern Mikrometers zur Coïncidenz bringt, so giebt die Winkelmessung dieser doppelten Bewegung die der Divergenz der optischen Axen im Oel¹⁾. Daraus folgt, daß die Ebene, in welcher sich die optischen Axen befinden, immer horizontal seyn muß; allein da die Hauptschnitte des Polarisators und Zerlegers, obwohl immer rechtwinklich gegen einander bleibend, in alle möglichen Azimute gedreht werden können, so lassen sich die isochromatischen Curven nach Belieben in der Polarisationsebene oder unter 45° gegen dieselbe beobachten.

Bezeichnet man mit E den scheinbaren Halbwinkel der optischen Axen in Luft, mit H_a und H_o den Winkel, den jede von ihnen mit der scharfen und stumpfen Mittellinie in Oel macht, mit V_a und V_o , ihren *reellen* oder *inneren* scharfen oder stumpfen Halbwinkel, mit n den Index des

- 1) Einleuchtend ist, daß die Anwendung des horizontalen Mikroskops, selbst wenn man in Luft operirt, allemal gut ist, wenn es sich um eine Messung der Divergenz handelt, und nicht um eine bloße Beobachtung der isochromatischen Curven, welche im Allgemeinen ein sehr ausgedehntes Gesichtsfeld erfordert. In diesem Fall nimmt man das Napf mit Oel fort, und nähert Beleuchter und Objectiv einander so weit als es die Breite der doppelt brechenden Platte gestattet. Dieselbe Einrichtung erlaubt, den Winkel, welchen jede der optischen Axen mit der Normale der Platte macht, genau zu messen, denn man braucht dazu nur die Axe des Mikroskops recht senkrecht zu stellen. Dahin gelangt man leicht, wenn man unter fast streifender Incidenz das Bild eines entfernten Lichts beobachtet, welches zugleich reflectirt wird von einer der Seiten der Platte oder ihrer Unterlage (die Platte, allein oder auf einer Glasplatte angebracht, muß immer zwei nahezu parallele Seiten darbieten) und von der Oberfläche der ersten plan-convexen Linse des Objectives. Man notirt alsdann die Lage des Verniers auf dem getheilten Kreise, und mißt, rechts und links von dieser Lage, die Verschiebung, welche nothwendig ist, um successiv den Scheitel jeder centralen Hyperbel auf das Centrum des Mikrometers zu bringen. Wenn beide Verschiebungen gleich sind, ist man sicher, daß die Platte die wesentliche Bedingung zur Anstellung genauer Beobachtungen erfüllt, d. h. strenge winkelrecht ist auf der Mittellinie der optischen Axen.

Oels und mit β den mittleren Index der krystallisirten Substanz, so erhält man die Werthe von E und V in Funktion von n , H und β mittelst der wohl bekannten Relationen:

$$\sin E = n \sin H_a^{(1)}; \sin V_a = \frac{n}{\beta} \sin H_a, \sin V_0 = \frac{n}{\beta} \sin H_0.$$

Mittelst zweier Platten, geschnitten so nahe wie möglich aus einem selben Krystalle, die eine winkelrecht auf der *scharfen* Mittellinie, die andere winkelrecht auf der *stumpfen* Mittellinie, kann man auch die Werthe von V und β^2) sehr angenähert bestimmen; denn weil

$$\sin V_0 = \cos V_a$$

hat man:

$$\tan V_a = \frac{\sin H_a}{\sin H_0}; \beta = n \frac{\sin H_a}{\sin V_a} = n \frac{\sin H_0}{\cos V_a}.$$

Es ist oft von Interesse, zu untersuchen, welche Wirkung die Wärme ausübt auf die Divergenz der optischen Axen, auf die Verrückung der Ebene derselben und die der Mittellinien. Hierzu bieten sich, je nach der Temperatur, die man erreichen will, verschiedene Mittel dar.

Handelt es sich blofs um den Nachweis des Daseyns einer Variation und will man nicht über 100 bis 120° hinausgehen, so braucht man nur die doppeltbrechende Platte auf eine dünne Glasplatte zu legen und diese wiederum auf die Öffnung, welche in der Mitte eines langen Kupferstreifens angebracht ist. Dieser Streifen wird der drehbaren Scheibe des vertikalen Mikroskops substituirt und an seinen beiden Enden mit Weingeistlampen erhitzt.

- 1) Bestimmt man direct den scheinbaren Winkel, den die optischen Axen einer vollkommen homogenen Krystallplatte unter sich in Luft oder irgend einer Flüssigkeit machen, so ergibt sich daraus mittelst dieser Formel der Index der Flüssigkeit auf eine einfache und hinreichend genaue Weise, wie schon Hr. Neumann bemerkt hat in seinem Aufsatz über die optischen Eigenschaften des Gypses, in Poggendorff's Annal. 1835.
- 2) Siehe mein *Mémoire sur un nouveau procédé propre à mesurer l'indice moyen et l'écartement des axes optiques dans certaines substances où cet écartement est très-grand*, in den *Compt. rend.* der Akademie vom 22. April 1861.

Will man 300 bis 350° erreichen, um die Veränderungen zu messen, welche mit Steigerung der Temperatur die Divergenz der optischen Axen erleidet, und, wenn diese in der Symmetrie Ebene liegen, auch die Dispersion ihrer Mittellinien erfährt, so kann man ein Oefchen *L* zu Hülfe nehmen, welches, 21 Centm. lang, 4,9 Centm. hoch und 1,6 Centm. dick, vertikal auf den Träger des horizontalen Mikroskops gestellt wird (Fig. 3 und 4, Taf. V). Eine Oeffnung in der oberen Wand, verschließbar durch zwei Klappen *BB*, die nur dem unteren Theil des senkrechten Stabes *F* Durchgang verstatten, erlaubt die doppelbrechende Platte einzuführen und sie zwischen die beiden Glasscheiben *S* zu bringen, die einander gegenüber in die Seitenwände eingelassen sind. Zwei Thermometer *t* und *t'*, das eine rechts und das andere links von der Platte befestigt, zeigen die Temperatur der heißen Luft an, in welche die Platte eingetaucht ist. Das Oefchen wird an seinen Enden mittelst zweier großer Alkohollampen erhitzt¹⁾.

- 1) Für große Platten, welche nicht den Gebrauch des Polarisationsmikroskops erfordern, genügt offenbar, zur Messung des Winkels, welchen die optischen Axen unter sich und mit der Normale der Platte machen, so wie der Dispersion der Mittellinien (im Fall diese Dispersion möglich ist) irgend ein Apparat, bestehend wesentlich aus einem mit Polarisator und Fadenkreuz versehenen Fernrohr, einem Goniometer mit verticalem oder horizontalem Limbus, und einem zweckmäßig beleuchteten Polarisator. Auf diese Weise hat Neumann beim Gyps operirt und ich selbst auch öfters.

Hr. Dr. Victor v. Lang hat seinerseits zur Messung der Divergenz der optischen Axen in Luft oder einer beliebig zu erwärmenden Flüssigkeit, ein specielles Instrument construiren lassen (Sitzung d. K. Akad. zu Wien vom 4. März 1862). Die Einrichtung dieses Instruments ist im Allgemeinen dieselbe wie die meines horizontalen Mikroskops; nur erfordert es, wie das Instrument des Hrn. Neumann, Platten von gewisser Größe und hinlänglicher Dicke, um die Farbenringe nicht zu groß zu erhalten. Der Zerleger ist nämlich ein kleines astronomisches Fernrohr, inwendig versehen mit einem Nicol'schen Prisma und einem Fadenkreuz, und der Polarisator ist ein anderer Nicol. Der durch Platten von Parallelglas verschlossene Napf mit Flüssigkeit hat einen quadratischen Querschnitt von 4 bis 5 Centm. Seite und ruht auf einer Art von Oefchen, bestimmt zur Aufnahme einer Alkohollampe. Im All-

Endlich kann für specielle Untersuchungen die Platte, die dann sehr klein genommen und in freier Luft durch eine Platinzange gehalten werden muß, zur Rothgluth gebracht werden, mittelst der Flamme eines Gasgebläses, welche man vorsichtig zwischen den Beleuchter und das Objectiv des Mikroskops hinführt¹⁾.

Man darf sich nicht schmeicheln, mittelst der in dieser Abhandlung gegebenen allgemeinen Anweisungen, immer auf den ersten Wurf alle hier aufgezählten Probleme zu lösen; nur die Praxis liefert die Mittel, Erscheinungen, die oft sehr fein sind, zu erkennen und zu bestimmen. Es scheint mir daher nicht recht nützlich, hinsichtlich der experimentellen Verfahrungsweisen in ein großes Detail einzugehen; ich halte es für besser, eine gewisse Anzahl von Beispielen auszuwählen, welche die einfachsten und zweckmäßigsten Methoden kennen lehren, zugleich auch die Hauptschwierigkeiten, denen sie in ihrer Anwendung ausgesetzt seyn können.

1. Krystalle des kubischen Systems und einfach-brechende Substanzen.

Wenn die einfach-brechenden Krystalle recht durchsichtig und vollkommen homogen sind (Diamant, Pollux, einige Flussspathkrystalle, Steinsalz, Blende usw.), so üben sie auf das parallele oder convergirende polarisirte Licht keine Wirkung aus und ihre Berechnung hinterläßt keine Unsicherheit²⁾. Bestehen sie aber aus einer Su-

gemeinen begnügt man sich, den Brechungsindex der Hülfsflüssigkeit bei gewöhnlicher Temperatur und für die verschiedenen Strahlen des Spectrums im Voraus zu messen; allein, da dieser Index beträchtliche Veränderungen erleidet, wenn man die Temperatur auf 200° oder 300° erhöht, so muß man den Werth desselben für die Temperaturen, bei denen man arbeitet, bestimmen, wenn man die scheinbare Divergenz der Axen in Luft oder die wahre Divergenz derselben aus ihrer Divergenz in der Flüssigkeit genau herleiten will.

1) Siehe meine *Observations sur les modifications permanentes et temporaires que l'action de la chaleur apporte à quelques propriétés optiques de plusieurs corps cristallisés* in den *Ann. d. Mines* (1862) T II. (Auch in dies. Ann. Bd. 119, S. 481.)

2) Bei pseudomorphen Substanzen und bei denen, welche die sogenannte

perposition von Schichten verschiedener Dichtigkeit (gewisse Hyalithe, gewisse Krystalle von Analcim, Alaun usw.), so können sie die Erscheinungen hervorrufen, welche Biot mit dem Namen *Polarisation lamellaire* belegt hat. Diese Erscheinungen, welche denen beim gehärteten Glase mehr oder weniger vergleichbar sind, unterscheiden sich leicht von denen der Doppelbrechung durch die Unregelmäßigkeit der Farben, welche sie in parallelen Strahlen von polarisirtem Licht zeigen, und besonders durch die Abwesenheit regelmäßiger Ringe im convergirenden Licht.

Einige, aus dünnen concentrischen Hüllen gebildete organische Substanzen, z. B. Stärkmehlkörner, zeigen ein schwarzes Kreuz, welches an das der einaxigen doppeltbrechenden Krystalle erinnert. Allein einerseits ist dieses Kreuz nur im parallelen Lichte sichtbar, und verschwindet im convergirenden. entgegen dem, was bei den Krystallen geschieht: andererseits verändert es seine Lage mit dem Gegenstande, der es zeigt, statt unbeweglich zu bleiben wie bei einer doppeltbrechenden, auf der Axe normalen Platte, die man in ihrer Ebene verschiebt. Ein analoges Phänomen, scheinbar herrührend von einer schaligen oder faserigen Structur unabhängig von der Krystallform, beobachtet man auch in Mineralproducten, z. B. in den feinen, recht sphärischen Perlen einigen Kalkconcretionen, dem Saspachit (Varietät des Stilbits in Kügelchen mit faserigem Bruch)

mikro-krystallinische Structur darbieten, ist es gut, ein gewöhnliches Mikroskop anzuwenden, welches eine lineare Vergrößerung von 100 bis 200 gewährt und versehen ist mit einem unteren Nicol, welcher das von einem Beleuchtungsspiegel durch das Objectiv hingesandte parallele Licht polarisirt, und einem zerlegenden Nicol über dem Ocular. Man entdeckt damit sehr schwache Wirkungen, die den eigentlichen Polarisationmikroskopen entgehen würden, da deren Vergrößerung immer sehr schwach ist. Das in Fig. 1 Taf. V abgebildete Instrument läßt sich übrigens durch eine einfache Abänderung der Brennweiten seiner Linsen in ein Mikroskop für parallele Strahlen mit etwa 5maliger Vergrößerung umwandeln. Es genügt dazu, die drei unteren plan-convexen Linsen des Objectives fortzunehmen und sie zu befestigen an einem der Enden eines 6 Centm. langen Rohrs, dessen anderes Ende an die Fassung der fest gebliebenen vierten biconvexen Linse angeschraubt wird.

und in gewissen künstlichen Salzen, die Brewster *circular Salze* nennt.

Zwei kubische Minerale, der *Boracit* und der *Senarmontit* (octaëdrisches Antimonoxyd), scheinen dennoch Doppelbrechung zu besitzen; unter dem Polarisationsmikroskop in einem Bündel convergirender Strahlen zeigen sie schöne Ringe, durchsetzt von dem charakteristischen Streif der zwei-axigen Krystalle. Untersucht man aber Platten, die den Flächen des Würfels oder Octaëders parallel geschnitten, so ist leicht zu sehen, daß die Ringe sich nicht gleichgültig in der ganzen Ausdehnung derselben zeigen, sondern daß doppelt-brechende Stellen zerstreut in einem einfach-brechenden Mittel liegen. Nun weiß man vom Boracit, daß seine Krystalle oft durchsichtige Theile neben halb durchsichtigen oder fast undurchsichtigen darbieten. Herr Volger¹⁾ schreibt dieses verschiedene Ansehen der Einlagerung einer doppeltbrechenden Substanz zu, die er *Parasit* nennt und die, in ihrer chemischen Zusammensetzung dem Boracit sehr nahe stehend, ihre Durchsichtigkeit durch Aufnahme von Wasser verliert. Die optische Untersuchung einer großen Zahl von Boracitkrystallen schien mir die Hypothese von Volger zu bestätigen; nur liefs mich das polarisirte Licht das Daseyn von Parasitlamellen in den durchsichtigsten Krystallen erkennen. Diese ungemein dünnen Lamellen bieten in ihrer Lagerung keine so große Regelmäßigkeit dar als Herr Volger annimmt; allein die Mehrzahl derselben ist doch winkelrecht gegen die Würfel Flächen gerichtet. Nach einigem Probiren kann man auch Plättchen ablösen, welche beinahe normal sind auf der scharfen *positiven* Mittellinie der optischen Axen des Parasits. Diese Axen, deren Dispersion fast Null ist und deren Divergenz in Oel für die rothen Strahlen $98^{\circ} 14'$ beträgt, würden mit einander einen Winkel von $83^{\circ} 34'$ machen, wenn man sie durch den Boracit allein sähe (der Index des angewandten Oels ist 1,466 und der des Boracits

1) Versuch einer Monographie des Borazites; von Otto Volger, Hannover 1855.

1,663 für dieselben Strahlen). Die Ringe der beiden Systeme sind fast kreisrund und zeigen nur einen kleinen Unterschied in ihrem Durchmesser; man kann also nicht mit voller Sicherheit sagen, ob der Parasit dem geraden oder dem schiefen Rhombenprisma angehöre.

Im *Senarmontit*, dessen Index bedeutend ist, für die rothen Strahlen = 2,073, für die gelben = 2,087, sind die Ringe ausgebreiteter und weniger scharf als im *Boracit*. Durch Platten hin, die parallel den Würfelflächen geschnitten sind, ist nur ein einziges Ringsystem sichtbar, und die entsprechende Axe erscheint, wie im *Boracit*, fast rechtwinklich auf diesen Flächen. Durchhin die Octaëderflächen dagegen gewahrt man mehr oder weniger regelmässige Arten von *Lemniscaten*. Da indess die Substanz sehr weich ist und leicht nach den Octaëderflächen spaltet, so bin ich noch nicht dahin gelangt, eine auf der Mittellinie hinreichend normale Platte zu erhalten, um darin die beiden Ringsysteme sey es in Luft oder in Oel zu beobachten. Jedoch kann man sagen, daß die entsprechenden Axen viel zu stark divergiren, als daß es erlaubt sey, sie als inneren Lamellen von *Exitel* (rhombischen Antimonoxyd) angehörig zu betrachten; denn ich habe Krystalle dieser Substanz von Bräunsdorf, Przibram und Algerien untersucht und alle besitzen zwei ungemein zusammen liegende Axen. Da die *Senarmontit*krystalle fast immer ein wenig arsenhaltig sind, so gehören die doppelt brechenden Lamellen, welche sie zu durchsetzen scheinen, vielleicht zur rhombischen arsenigen Säure, deren optische Eigenschaften bisher noch nicht studirt worden sind.

Anlangend die Krystalle, welche wie das chlorsaure *Natron* die Rotationspolarisation darbieten, so zeigen sie unter dem Polarisationsmikroskop mit convergirendem Licht und noch besser mit parallelem ein Gesichtsfeld von gleichförmiger und zu ihrer Dicke in Beziehung stehender Farbe. Dreht man den Zerleger von rechts nach links oder von links nach rechts, so erhält man eine Folge von Farben analog denen bei winkelrecht gegen die Axe geschnittenen

Quarzplatten von angemessener Dicke und es ist unmöglich sie zu verwechseln mit den unregelmäßigen Farben, die aus Zufällen der Structur und Härtung entstehen, und bei Drehung des Zerlegers verschwinden.

2. *Einaxige doppeltbrechende Krystalle des quadratischen und des rhomboëdrischen Systems.*

Unter dem Polarisationsmikroskop erscheint jeder einaxige von drehender Polarisation freie Krystall, der von zwei natürlichen oder künstlichen, auf der krystallographischen Hauptaxe normalen Flächen begrenzt ist, ohne Wirkung auf das parallele polarisirte Licht und zeigt in dem convergirenden Licht kreisrunde Ringe, durchschnitten von einem schwarzen Kreuz. Wenn die Krystallplatte recht homogen ist und man läßt sie in ihrer eigenen Ebene einen vollen Umgang beschreiben, so bleibt das vom parallelen Licht beleuchtete Feld des Mikroskops gleichförmig schwarz, und die vom Durchgang des convergirenden Lichts erzeugten Ringe behalten ihre vollkommene Kreisform, sowie auch der Kreuzpunkt der Zweige des Kreuzes keine Veränderung erleidet¹⁾. Ist aber der geringste Mangel an Homogenität vorhanden, entweder wegen eines Dichtigkeitsunterschiedes in den successiven Schichten des Krystalls (Beryll, Turmalin, Apophyllit usw.) oder wegen unvollkommenen Parallelismus der Axen der zahlreichen Individuen, aus welchen jeder Krystall besteht (gewisse Krystalle von Quarz, Zirkon, Mellit, Idokras usw.) oder wegen Zwischenlagerung dünner hemitroper Lamellen (sehr viele Kalkspathkrystalle), so können die Erscheinungen unendlich variiren und die Verschiebung der Ringe und des centralen Kreuzes scheinen oft das Daseyn zweier, meistens wenig divergirender optischer Axen anzuzeigen. Wenn die Entstehung der Ringe sehr unregelmäßig ist und sich der Anblick bei jeder Bewegung der Platte in ihrer Ebene verändert (die meisten Beryllkrystalle), so sind die Zweifel leicht gehoben,

1) Es braucht wohl nicht gesagt zu werden, daß diese Bedingung nur von Platten gut erfüllt wird, die vollkommen normal auf der optischen Axe sind.

besonders wenn man Stellen mit kreisrunden Ringen und scharfem Kreuze findet. Wenn aber die Entstellung schwach ist (Turmalin, Zirkon, Mellit, Kalkspath in hemitropischen Lamellen) geschieht es oft, dafs an einer und derselben Stelle anfangs kreisrunde Ringe bei einer gewissen Drehung der Platte oval werden, während das Kreuz sich in zwei Hyperbelzweige auflöst, deren Scheitel mehr oder weniger auseinander stehen. Es genügt dann, seine Aufmerksamkeit auf den centralen Ring zu richten, welcher gewöhnlich der schärfste ist, um zu sehen, dafs er nicht mehr eine zusammenhängende Curve bildet, wie im Fall der Krystall wirklich zweiaxig wäre, sondern dafs er im Allgemeinen aus zwei Bögen besteht, die einander nicht genau entgegenliegen.

Mann kann auch untersuchen, ob eine Steigerung der Temperatur und der Gebrauch monochromatischer Gläser und Lichter die in weifsem Lichte beobachteten Erscheinungen merklich abändern: denn während diese Art von Abänderung unverträglich ist mit der physischen Beschaffenheit der einaxigen Krystalle, die ohne Dispersion sind, geschieht es nur ausnahmsweise, dafs sie sich nicht in den zweiaxigen Krystallen zeigt ¹⁾).

- 1) Nach den Beobachtungen, die ich gegenwärtig verfolge, scheinen die mehr oder weniger auseinander liegenden, aber keine Dispersion besitzenden Hyperbeln, welche gewisse Stellen im *Beryll*, *Zirkon*, *Turmalin*, *Idokras*, *Pennin*, *Apophyllit*, *Kämmererit*, *Leuchtenbergit*, *Korund*, *Anatas* und *Scheelit* darbieten, durchaus dieselbe Entfernung zu behalten im rothen, gelben und blauen Lichte und bei Temperaturen von 15° bis 180° C. Die meisten zweiaxigen Krystalle erleiden dagegen unter denselben Umständen mehr oder weniger hervortretende Abänderungen, die man beim *Glauberit*, *Gyps* und *Topas* längst kannte, und die ich nachgewiesen habe beim *Schwerspath*, *Coelestin*, *Bleispath*, *Cymophan*, *Cordierit*, *Mesotyp*, *Brewsterit*, *Heulandit*, *Epistilbit*, *Galmei*, *Prehnit*, *Brookit*, *Struvit*, *Scorodit*, *Diopsid*, *Euclase*, *Klinocklor*, *Feldspath*, *Borax*. *Rohrzucker*, *ameisensauren Strontian*, *ameisensauren Kalk* usw. Einige, wie der *Aragonit*, die meisten *Glimmer* und der *Scolexit*, zeigen freilich in der Divergenz ihrer Axen, gesehen in homogenem Lichte zwischen 12° und 150° bis 175° C., nur eine Veränderung von weniger als 1°, und andere scheinen gar nicht

Bei hinreichend grofsen und durchsichtigen Platten kann man endlich das Dichroskop des Hrn. Dove zu Hülfe nehmen¹⁾. Dasselbe besteht wesentlich aus einer Glassäule, gefafst in einen rechtwinklichen Rahmen, dessen untere Basis durch ein rothes Glas verschlossen ist, während ein blaues Glas die obere Seitenwand verschließt, so dafs die von dem rothen Glase durchgelassenen Strahlen sich beim Durchgang durch die Glassäule vermöge Refraction polarisiren, die vom blauen Glase durchgelassenen aber durch Reflexion an ihrer Oberfläche polarisirt werden. Das Dichroskop, statt des gewöhnlichen Polarisators angewandt, erlaubt nach Hrn. Dove den Unterschied zu ermitteln, welchen wahre zweiaxige Krystalle und solche Krystalle darbieten, deren zweiaxiges Ansehen nur von einer unregelmäfsigen Constitution herrührt²⁾.

Krystalle, welche wahrhaft zwei optische Axen besitzen, (Feldspath, Heulandit, Klinochlor, Glauberit, Cymophan, Brookit, Exitel usw.) können zuweilen, selbst in gewöhnlicher Temperatur, analoge Phänomene wie die der einaxigen Krystalle zeigen. Wenn aber die Dispersion bedeutend ist, zeigen sich diese Phänomene gemeinlich nur für eine einzige Spectralfarbe zugleich und in einer bestimmten Temperatur; sie nehmen also ihren wahren Charakter wieder an, wenn man die Farbe des angewandten Lichtes und die Temperatur, bei der man operirt, entweder zusammen oder getrennt, verändert.

Zu den Körpern, deren optische Kennzeichen die gröfste Unsicherheit darbieten, mufs vor Allem das gelbe Blutlaugensalz gerechnet werden, welches, als dem quadratischen System angehörig, angesehen wird. In allen parallel der Basis abgespaltenen Lamellen zeigen die, an wenigen Stel-

von der Wärme afficirt zu werden, wahrscheinlich weil ihre drei Hauptindices proportional ihrer Gröfse modificirt werden; allein die letzteren müssen sehr selten seyn, weil ich bisher nur den *Karstenit* und den *Thomsonit* als solche gefunden habe.

1) Monatsberichte d. K. Akad. d. Wiss. zu Berlin, 1860 und Pogg. Ann. Bd. CX, S. 265.

2) Monatsberichte usw. 1864 April.

len manchmal kreisrunden Ringe, so häufige und oft so regelmäßige Entstellungen, daß man zu glauben geneigt wird, dieselben rühren von optischen Beimischungen her, analog denen, welche Senarmont hervorgebracht hat, als er Kali-Seignettesalz mit Ammoniak-Seignettesalz zusammen krystallisiren ließ; die Krystalle derivirten dann von einem geraden Rhombenprisma von fast 90° , dessen eine Diagonalebene die beiden optischen Axen enthielt.

Wenn die doppelbrechende Substanz ein Drehvermögen besitzt und man untersucht eine recht homogene Platte in einem convergirenden Bündel polarisirten Lichts, so weichen die aus der Doppelbrechung entspringenden kreisrunden Ringe in nichts von denen ab, welche in jedem einaxigen Krystall die Interferenz der polarisirten Strahlen, welche in einer der Axe benachbarten Richtung schief durch den Krystall gehen, hervorbringt; allein der centrale Theil des schwarzen Kreuzes, dessen Intensität in dünnen Platten bloß geschwächt ist, verschwindet in Platten von hinlänglicher Dicke vollständig¹⁾. Er wird alsdaun ersetzt durch einen runden Fleck von gleichförmiger Farbe, die im weißen Lichte zur Dicke der Platte in Beziehung steht. Dreht man den Zerleger von der Linken zur Rechten oder von der Rechten zur Linken, so zeigt der centrale Fleck dieselbe Reihe von Farben, wie wenn man paralleles Licht anwendete, und die Ringe scheinen, indem sie zerbrechen, sich *auszudehnen*, wenn die Bewegung des Zerlegers *dieselbe Richtung* hat, wie die Drehung des Krystalls, während sie sich *zusammenziehen*, wenn die Bewegung entgegen dieser Drehung gerichtet ist²⁾.

Handelt es sich nun um die Bestimmung des Zeichens

- 1) Das vollständige Verschwinden der Mitte des Kreuzes erfordert eine Dicke von etwa $0^{\text{mm}},19$ beim Zinnober, von $3^{\text{mm}},5$ beim Quarz und von 6 bis 7^{mm} beim octaëdrischen schwefelsauren Strychnin.
- 2) Bei den gewöhnlichen Krystallen, welche nicht die Ebene der ursprünglichen Polarisationssebene ablenken, nimmt die Drehung des Zerlegers den Ringen bloß ihre Farben und verwandelt sie in vier über Kreuz liegende Punkte, ohne eine Aenderung ihres scheinbaren Durchmessers herbeizuführen.

der Doppelbrechung in *einaxigen* Krystallen, und selbst in *zweiaxigen*, deren Axen sehr wenig divergiren, so besteht das einfachste Verfahren darin, daß man ein sehr dünnes *zweiaxiges* Glimmerblatt (die Maximum-Dicke darf nicht einer Viertelwelle übersteigen) zwischen die doppelbrechende Platte und das Objectiv des Polarisationsmikroskop einschaltet, und dabei die Ebene der optischen Axen des Glimmer auf 45° gegen die Polarisationssebene einstellt. Das schwarze Kreuz zerfällt alsdann gewöhnlich in zwei Hyperbelzweige oder zwei mehr oder weniger von einander stehende Sichel*n* (*croissant*)¹⁾. In den *positiven* Krystallen ist die Tangente am Scheitel jeder Sichel *parallel* der Ebene der Axen des Glimmers; in den *negativen* Krystallen dagegen ist diese Tangente *winkelrecht* auf derselben Ebene.

3. *Doppelbrechende Krystalle mit zwei optischen Axen.*

A. *Krystalle des rhombischen Systemes.* Bekanntlich liegen in Krystallen des rhombischen Systemes die optischen Axen entweder in einer der Basis parallelen Ebene oder in einer der Diagonal-Ebenen irgend eines der geraden Rhombenprismen, welche zur Primitivform genommen werden können. Die beiden in derselben Ebene liegenden Mittellinien sind also parallel entweder den beiden Diagonalen der Basen oder einer dieser Diagonalen und der lothrechten Kante des primitiven Prismas. Man hat also im Allgemeinen unter dem Polarisationsmikroskop drei Platten zu studiren, begrenzt jede von zwei natürlichen oder künstlichen Flächen parallel der Basis und den beiden Diagonal-Ebenen dieses Prismas; man muß dieselben von sol-

- 1) Wenn die Doppelbrechung des Krystalls schwach, und das Glimmerblatt zu dick wäre, so blieben vom Kreuze nur zwei ziemlich verwischene, unmöglich zu orientirende Flecke übrig; dann müßte man ein hinreichend dünnes Glimmerblatt zu Hülfe nehmen, um die Hyperbelstücke wieder herzustellen, deren Richtung man bestimmen könnte. Die vollkommensten Mikroskope, wie die von Amici selbst verfertigten, gestatten dieses Verfahren bei den mindest brechenden und meist absorbirenden Substanzen, an deren Spitze man den *Pennin* und den *Kämmererit* stellen muß.

cher Dicke wählen, daß die isochromatischen Curven, welche sich rings um die beiden Mittellinien und die auf ihrer Ebene winkelrechte Axe der mittleren Elasticität zeigen, möglichst scharf seyen. Wenn die optischen Axen in der Luft eine scheinbare Divergenz von nicht über 120 bis 122° haben, sind die beiden ovalen Ringsysteme, welche symmetrisch zur Rechten und Linken jeder Mittellinie liegen, zugleich in einer der drei Platten sichtbar, und man schließt dann daraus, daß diese Platte winkelrecht auf der *scharfen* Mittellinie sey. Wenn aber in Folge einer sehr großen scheinbaren Divergenz der optischen Axen die Ringe aus dem Gesichtsfeld des Mikroskops geworfen werden, muß man an zwei auf den beiden Mittellinien winkelrechten Platten den scheinbaren Winkel in Oel messen, und es ist klar, daß der kleinste Winkel dem scharfen wahren Winkel entspricht¹⁾. Kennt man den *mittleren* Index der Substanz, so ist eine einzige dieser Messungen hinreichend, weil die Relation

$$\sin V = \frac{n}{\beta} \sin H$$

so gut für den scharfen wahren Winkel gilt wie für den stumpfen. Was den Werth des wahren Halbwinkels V betrifft, den diese Relation liefert, so kann er bisweilen nur mit Hülfe der auf der scharfen Mittellinie winkelrechten Platte bestimmt werden; denn in gewissen Substanzen (schwefelsaurem Blei z. B.) ist die scheinbare Divergenz der optischen Axen um die stumpfe Mittellinie so groß, daß die entsprechenden Ringe selbst in Oel unsichtbar bleiben.

B. Krystalle des klinorhombischen Systems. — Das Erste, was man bei Krystallen dieses Systemes zu thun hat, ist: daß man eine der Symmetrie-Ebene parallele Platte dem Polarisationsmikroskop unterwirft. Diese Ebene nämlich schließt entweder die optischen Axen und ihre Mittellinie ein oder sie ist winkelrecht auf der Ebene der optischen

1) Mittelst dieser Methode wurde die Lage der scharfen Mittellinie nachgewiesen im *Peridot*, *Andalusit*, *Staurotid*, *Thenardit*, usw.

Axen und einer ihrer Mittellinien. Im ersten Fall zeigen die beiden rechtwinklichen Richtungen, nach welchen die Maximum-Auslöschung eines parallelen Bündels polarisirter Strahlen geschieht, die Lage der scharfen und stumpfen Mittellinie an. Zwei Platten, winkelrecht auf diese zwei Richtungen geschnitten und in Luft oder Oel untersucht, erlauben also die Lage und das Zeichen der *scharfen* Mittellinie zu bestimmen; streng genommen, würde eine einzige Platte hinreichen, wenn man den mittleren Index der Substanz bestimmen könnte, wie ich S. 416 gesagt habe. Im zweiten Fall zeigt entweder die der Symmetrie-Ebene parallele Platte ihre beiden Ringsysteme zugleich im Felde des Mikroskops und dann ist man sicher, daß sie winkelrecht ist auf der *scharfen* Mittellinie, oder sie zeigt nur den Anfang der Ringe, und um zu erfahren, auf welcher Mittellinie sie senkrecht sey, wird man die Messung der Divergenz der Axen in Oel vornehmen müssen.

Um strenge die Lage der Mittellinien in Bezug auf die krystallographischen Axen, sowie die Dispersion, deren sie fähig sind, zu bestimmen, ist es am besten, einen natürlichen oder künstlichen Zwillung anzuwenden, gebildet aus zwei zur Symmetrie-Ebene parallelen Platten, die nach einer Fläche oder Kante von bekannter Lage vereinigt sind. Wenn die Ebene der optischen Axen parallel ist der Ebene dieser Platten, so ist die Hälfte des Winkels zwischen den in jeder von ihnen symmetrisch gelegten Richtungen, worin sie die vollständigste Auslöschung zeigen, der Winkel, welchen eine der Mittellinien mit der Fläche oder Kante der Vereinigung bildet¹⁾. Die Dispersion dieser Mittellinie

1) Diese Messung, welche mittelst der drehbaren und graduirten Scheibe des durch parallele Strahlen beleuchteten Polarisationsmikroskops erhalten werden kann, ist einer großen Genauigkeit fähig, wenn man das Mikroskop ersetzt durch zwei rechtwinklich gekreuzte Nicol'sche Prismen, die gefast sind in der Axe eines offenen Gestells (*Support à jour*), welches mit einer Alhidade und einem graduirten Kreise von 8 bis 10 Centim. Durchmesser versehen ist, oder durch einen der großen Polarisationsapparate, welche aus den Beschreibungen und Arbeiten von Biot und Hrn. Dove bekannt sind.

für die verschiedenen Farben des Spectrums und für verschiedene Temperaturen, wenn sie existirt, kann nachgewiesen und gemessen werden, wenn man bei verschiedenen Temperaturen mit einfachen, rothen, gelben oder blauen Strahlen operirt¹⁾. Wenn es eine der auf der Symmetrieebene winkelrechten Mittellinien ist, so giebt die Beobachtung des Zwillings unmittelbar die Lage der Ebene der optischen Axen, entsprechend jeder Farbe des Spectrums, und erlaubt folglich, die Gröfse der *horizontalen* und *gekreuzten* Dispersion dieser Axen zu bestimmen.

C. *Krystalle des anorthischen Systems.* — Bei diesen Krystallen giebt es keine Regel für die Anstellung von Versuchen zur Auffindung der Lage der optischen Axen und ihrer Mittellinien, und man kann nur durchs Probiren dahin gelangen, welches natürlich zuvörderst auf die Blätterdurchgänge, wenn es deren giebt, gerichtet seyn muß.

Ist einmal die Lage der *scharfen Mittellinie* festgestellt, entweder direct oder durch Vergleich mit der der stumpfen Mittellinie, so besteht das einfachste Mittel, um ihr Zeichen oder ihre Gröfse in Bezug auf den ihr entsprechenden Hauptindex zu erkennen, darin, dafs man die von Biot empfohlenen prismatischen Quarzplatten anwendet²⁾.

Man weifs einerseits, dafs der Quarz positiv ist, und andererseits, dafs die *isochromatischen Curven*, welche das convergirende polarisirte Licht beim Durchgang durch dop-

1) Man findet leicht ein durch Kupfer roth gefärbtes Glas, welches nahezu nur den der Linie *B* entsprechenden rothen Theil des Sonnenspectrums durchläfst. Die gelben der Linie *D* entsprechenden Strahlen werden geliefert durch eine Alkohollampa, deren Flamme umgeben ist von einem Kügelchen geschmolzenen Kochsalzes. Endlich giebt eine Lösung von schwefelsaurem oder salpetersaurem Kupferoxyd, gesättigt mit Ammoniak, bei zweckmäßiger Dicke, ziemlich homogene blaue Strahlen aus der Gegend zwischen den Linien *E* und *H*.

2) Diese Platten, welche zu sehr scharfen Keilen geformt sind, um verschiedene Dicken darzubieten, müssen aus einem vollkommen homogenen Quarzkrystall geschnitten seyn (Die Krystalle von Brasilien und Madagascar sind die einzigen, welche man zu diesem Behufe verwenden kann); die eine ihrer Flächen ist der krystallographischen Hauptaxe parallel, die andere macht mit dieser einen Winkel von etwa 4 bis 5°.

peltbrechende auf den Mittellinien winkelrechte Platten erzeugt, desto weniger zahlreich und weniger dicht liegend sind, je geringer die Dicke der Platte ist. Gesetzt nun, es sey eine auf der *scharfen* Mittellinie winkelrechte Platte irgend eines zweiaxigen Krystalls so unter das Polarisationsmikroskop gelegt, daß die Ebene ihrer optischen Axen einen Winkel von 45° mit der Polarisationssebene macht. Je nachdem diese Axen mehr oder weniger divergiren, die Platte mehr oder weniger dick und die Substanz mehr oder weniger doppeltbrechend ist, sieht man im Felde des Mikroskops entweder eine Reihe von Lemniscaten, die mehr oder weniger entwickelte Ringstücke umgeben, oder geschlossene Curven in Gestalt einer 8, begränzt an beiden Enden durch mehr oder weniger zahlreiche ovale Ringe von Ellipsen ähnlicher Gestalt, durchschnitten von beuachtbaren Hyperbelzweigen. Im letzten Fall ist es fast immer am besten, die Ebene der Axen auf die Polarisationssebene zurückzuführen, um die beiden Hyperbelzweige in ein Kreuz zu verwandeln, und alsdann die Platte mit einem Glimmerblatt zu behandeln, wie wenn sie einaxig wäre. Wenn man in den beiden anderen Fällen eine prismatische Quarzplatte, deren krystallographische Axe bald parallel, bald winkelrecht zur Ebene der optischen Axen der Platte gerichtet ist, sanft unter das Objectiv des Mikroskopes schiebt und dabei mit der Schneide anfängt, gelingt es zuletzt immer eine Dicke zu finden¹⁾, bei der die Ringe im Durchmesser zu wachsen scheinen und gegen das Centrum vorrücken, während die Lemniscaten sich davon entfernen. Die Compensation durch Quarz hat also eine ähnliche Wirkung, wie wenn man die zweiaxige Substanz dünner machte. Wenn

1) Selten ist eine einzige Quarzplatte für alle Untersuchungen hinreichend und es ist gut, davon mehrere zur Verfügung zu haben, eine sehr dünne von 1° bis 2° Oeffnung und ein Paar dicke mit einem Winkel von 4° bis 5° welche man nach Bedürfnis auf einander legen kann, um im Stande zu seyn, die Compensation bei Platten von irgend einer Dicke und von mehr oder weniger starker Doppelbrechung vornehmen zu können.

also, um die Ringe gegen das Centrum hinwandern zu lassen, die Bewegung der prismatischen Platte *parallel* zur Ebene der optischen und folglich zu ihrer *stumpfen* Mittellinie gerichtet seyn mußte, so hat man anzunehmen, daß diese Mittellinie der Axe des Quarzes im Zeichen entgegengesetzt oder *negativ* ist, während die *scharfe* Mittellinie von gleichem Zeichen oder *positiv* ist. Eine zur stumpfen Mittellinie winkelrechte Bewegung führt natürlich zu einem entgegengesetzten Schluß und zeigt eine scharfe *negative* Mittellinie an ¹⁾.

Analoge Effecte entstanden bei einer auf der *stumpfen* Mittellinie winkelrechten Platte, selbst wenn die anfangs vollkommen unsichtbaren isochromatischen Curven sich nur unter der Quarzplatte zeigen würden; und wenn das Zeichen der stumpfen Mittellinie bekannt ist, ergiebt sich das der *scharfen* Mittellinie unmittelbar durch den Gegensatz.

Betrachten wir nun Krystalle, welche eine Gränz-Form oder unzulängliche Modificationen zur Bestimmung ihres Krystallsystemes darbieten.

Ein dem Würfel nahe kommendes Rhomboëder, ein Quadrat-Octaëder (Saures metawolframsaures Ammoniak, Kieselwolframsäure mit 33 Aeq. Wasser) oder ein basisches Rhomboëder (Basisch kieselwolframsaurer Baryt oder Kalk von Marignac) welche einem regelmäßigen Octaëder so nahe kommen, daß man sie geometrisch nicht davon unterscheiden kann, sind immer durch eine einaxige Doppelbrechung charakterisirt. Ein quadratisches und ein rectangularäres Prisma ohne Modificationen oder mit unvollständigen Modificationen, machen sich durch ihre ein- oder zweiaxige Doppelbrechung erkennbar ²⁾.

1) Dieselbe Beobachtungsweise ist offenbar anwendbar auf einaxige Krystalle, von denen man sich nur Platten parallel zur Axe verschaffen kann. Je nachdem diese Axe parallel oder winkelrecht zur Axe des Quarzes gestellt werden muß, um Hyperbel hervorzubringen, die sich in diesem Fall, wie um die *mittlere* Elasticitätsaxe der zweiaxigen Krystalle zeigen, ist der Krystall *negativ* oder *positiv*.

2) Der *Perowskit*, von dem Hr. Kokscharow und ich gewisse schwarze und opake Krystalle als abstammend von dem Würfel beschrieben haben, bietet ziemlich oft durchsichtige Exemplare in dünnen Lamellen dar, de-

Ein Rhombenprisma mit einem kaum von 90° abweichenden Winkel (Wöhlerit) unterscheidet sich von einem wahren rectangulären Prisma durch die Lage der Ebene seiner optischen Axen und deren Mittellinien.

Schiefe Rhombenprismen endlich unterscheiden sich von geraden durch die Dispersion der scharfen und stumpfen Mittellinie und durch den mehr oder weniger von 90° abweichenden Winkel, welchen die eine derselben mit der lothrechten krystallographischen Axe macht.

Gesetzt nun, ein Krystall ohne deutliche Begrenzungen biete eine einzige Zone dar, deren Flächen im Stande wären ein oder mehrere Rhombenprismen mit Abstumpfungen parallel den beiden Diagonal-Ebenen zu bilden; man bringe zwei, diese Ebenen parallel abgeschnittene oder, wenn es möglich ist, abgespaltene Platten unter das Polarisationsmikroskop. Die Maximum-Auslöschung findet statt, entweder parallel der Axe der Zone in beiden Platten, oder parallel in der einen und schief in der anderen. In dem ersten Fall wird eine der Platten nothwendig winkelmäßig auf der scharfen oder stumpfen Mittellinie der optischen Axen, und wenn zugleich die Dispersion dieser Axen, gesehen in Luft oder Oel, sich auf die eines geraden Rhombenprismas (Fig. I, Taf. IV) bezieht, so kann man schließen, wenn nicht mit voller Gewissheit, doch mit großer Wahrscheinlichkeit, daß der Krystall zum rhombischen System gehört (*Enstatit, Bronzit, Hypersthen, Antophyllit, Sillimanit, Tephroit, Zoisit* usw.). Betrachtete man ihn nämlich als dem klinorhombischen Systeme angehörig, so müßte man eine gänzliche Abwesenheit der *geneigten, horizontalen* und *gekreuzten* Dispersion bei den optischen Axen annehmen.

Die Doppelbrechung sich kund gebend durch zwei symmetrische Systeme von sehr auseinander liegenden Ringen und durch eine höchst charakteristische Dispersion der optischen Axen. Man ist genöthigt anzunehmen entweder daß das Mineral dimorph ist, oder daß seine Krystalle, deren Modificationen bekannten Formen im kubischen System ähnlich zu seyn scheinen, ohne jedoch die ganze Symmetrie derselben darzubieten, in Wirklichkeit einem geraden rectangulären Prisma angehören (*Ann. d. mines, T. XIV* (1856), p. 417).

men und auch, für alle Farben des Spectrums, eine zufällige Coïncidenz einer seiner Mittellinien mit der lotbrechten Krystallaxe oder mit einer Normale dieser Axe; denn die Coïncidenz oder Nicht-Coïncidenz der beiden Linien kann bis auf etwa einen halben Grad in einem natürlichen Zwilling ermittelt werden, und mit einer geringeren, aber doch noch hinlänglichen Genauigkeit in einem künstlichen Zwilling von zwei der Symmetrie-Ebene parallelen Platten. Eine solche Coïncidenz, obwohl theoretisch möglich, hat man indess bisjetzt niemals beobachtet¹⁾; und überdies, wenn sie auch in gewöhnlicher Temperatur existirte, ist es nach dem, was S. 396 über die Dispersion der Mittellinien in bis 100° oder 180° erhitzten Krystallen gesagt ist, fast gewiss, daß sie in einer hinreichend erhöhten Temperatur verschwinden würde.

Im zweiten Fall ist die Platte, in der die Maximum-Auslöschung schief gegen die Axe der Zone geschieht, parallel der Symmetrie-Ebene des Krystalls, und wenn diese Schiefe, entweder durch directe Messung mit Hülfe eines Zwillinges (*Petalit*) oder durch Beobachtung eines excentrischen Ringsystemes in einer auf der Symmetrie-Ebene winkelrechten Platte (*Diallage*, Hornblende ohne Scheitel *Cumingtonit*) wohl nachgewiesen ist, so wird man die Krystallform nothwendig als klinorhombisch betrachten müssen (*Diallage*, *Datolith*, *Whitmit*, *Petalit*, *Klinochlor*, *Eisenvitriol*, *Lirocouit* usw.), selbst wenn die *geneigte*, *horizontale* oder *gekreuzte* Dispersion, welche die optischen Axen darbieten können, in den auf den Mittellinien winkelrechten Platten ausbliebe.

Gewisse natürliche (*Carnallit* von *Stassfurth*) oder künstliche Salze, zeigen sich, obwohl krystallisirt, nur in form-

- 1) Beim *Epidot*, bezogen auf ein schiefes Rhombenprisma von 69° 56' ist die *scharfe* Mittellinie der optischen Axen negativ und fast parallel der verticalen Kante des Prismas. Dennoch ist es leicht darzuthun, daß diese beiden Linien einen Winkel von 2° 20' für die rothen Strahlen, und von 1° 16' für die blauen Strahlen mit einander machen. Zugleich beobachtet man in der Gestalt der Ringe und in der Anordnung ihrer Farben, gesehen in Oel, eine sehr hervortretende Dyssymmetrie.

losen Massen. Das deutlich ermittelte Daseyn einer der drei genannten Dispersionsweisen wird offenbar hinreichend seyn, um festzustellen, daß die Krystallform dieser Salze ein schiefes Rhombenprisma ist, allein ihre Abwesenheit (*Carnallit*) wird nur eine sehr große Wahrscheinlichkeit zu Gunsten eines geraden Rhombenprismas liefern ¹⁾.

Was die blättrigen Massen betrifft, deren unvollkommene oder an Zahl unzureichende Spaltbarkeiten erlauben, sie eben so gut auf schiefe Rhombenprisma als auf das doppelt schiefe Prisma zu beziehen, so zeigen sie, wenn sie diesem letzteren Systeme angehören, eine Dyssymmetrie die sich nicht verkennen läßt in der Richtung der Ebene ihrer optischen Axen gegen die der Basis und der Diagonal-Ebenen der Grundform, in der Lage der Mittellinien, verglichen mit der der krystallographischen Axen, und in der ganz eigenthümlichen Dispersion ihrer optischen Axen, hervorgehend aus der wechselseitigen Combination der drei Dispersionen, der *geneigten*, *horizontalen* und *gekreuzten* (*Amblygonit* z. B.). Die Bestimmung des Krystallsystems würde also nur in dem Fall unsicher seyn, daß, wenn diese Dispersion gänzlich fehlte und die vorausgesetzte Grundgestalt eine Gränzform wäre, zufällig eine Coincidenz stattfände zwischen der Ebene der optischen Axen und der Basis oder einer der Diagonalebeneu dieser Form.

Untersuchung der inneren Structur kleiner Krystalle.

Die kleinen Krystalle, deren inneres Gefüge insgemein als einfach betrachtet wird, geben oft den aller größten nichts nach hinsichtlich der Complication ihrer Zwillinge und ihrer Durchwachsungen (*enchetètréments*). Allein gewöhnlich sind diese Durchwachsungen nur im polarisirten

1) Künstliche Krystalle von *Carnallit* ($KCl + 2MgCl + 12Aq$), welche ganz das Ansehen von regelmäßigen sechsseitigen Pyramiden haben und welche von Hrn. Rammelsberg als dem rhomboëdrischen Systemen angehörend beschrieben wurden, zeigten mir in der Lage ihrer optischen Axen und deren Mittellinien alle Kennzeichen der Krystalle des rhombischen Systems.

Lichte sichtbar, und das beste Mittel sie zu studiren besteht in der Anwendung entweder des Polarisationsmikroskops mit schwacher Vergrößerung und mit Beleuchtung durch paralleles Licht oder des gewöhnlichen Mikroskops mit mehr oder weniger starker Vergrößerung, versehen mit zwei gekreuzten Nicols, wie ich in der Note zu S. 407 angegeben habe. Mit Hülfe dieser Instrumente verrathen sich die verschiedenen Theile, welche die Zwillinge oder die inneren Mosaiken, welche in die regelmäßige Krystallmasse eingeschlossen sind, durch die Mannigfaltigkeit der polarisirten Farben, welche sie bei hinreichender Düntheit annehmen, oder durch die verschiedenen Richtungen, nach welchen sie die Maximum-Auslöschung des Lichtes bewirken. Durch dergleichen Verfahrensarten kann man die so verwickelte Structur derjenigen Quarzkrystalle, die man *Hyacinten* von *Compostella* nennt, erkennen, ferner die der *Alstonitkrystalle*, die der kleinen *Morvenit-Krystalle* von *Strontian* in *Schottland*, welche auf dem ersten Blick eine Varietät von *Harmotom* zu seyn scheinen, die der *Prehnitkrystalle* von *Farmington*, des *Brewsterits* von *Schottland* usw. Es ist auch leicht sich durch dieses Mittel zu versichern, dafs in den Zwillingen und Hemitropien von der grössten Regelmäßigkeit in den äufsern Umrissen, die Vereinigung sehr selten durch ebene Flächen geschieht, wie es die Theorie der Zwillinge voraussetzt, sondern fast immer nach mehr oder wenig stark undulirten Flächen. Wenn man operirt hat mit Gruppierungen von fast parallelen Axen zweiaxiger Krystalle, die durch zwei Flächen winkelrecht auf der *scharfen* Mittellinie begrenzt sind, so braucht man nur im Mikroskop das parallele Licht durch convergirendes zu ersetzen, um die Lage der verschiedenen Bestandtheile herzuleiten aus der, welche die Ebene der optischen Axen in jeder von ihnen einnimmt (*Harmotom*, *Brewsterit*, *Aragonit*, *Witherit*, *Strontianit*, *Alstonit* usw.).

1. Salpeter	$s < v$	
2. Geneigte Dispersion		GYPS.
3. d°	d°	DIOPSID.
4. Horizontale d°		FELDSPATH.
5. Gekreuzte d°		BORAX.

Fig. 1.

Fig. 3.

Fig. 4.

Fig. 2.

Fig. 5.

Fig. 7.

Fig. 6.

Fig. 8.

d. Schütze in Stein gest.

Maßstab in $\frac{1}{5}$ der natürl. Größe.

3 décimètres.