

www.e-rara.ch

**Physikalische Krystallographie und Einleitung in der
krystallographische Kenntniss der wichtigeren Substanzen**

Groth, Paul von

Leipzig, 1885

ETH-Bibliothek Zürich

Persistent Link: <https://doi.org/10.3931/e-rara-119502>

**III. Abtheilung. Die Apparate und Methoden zu krystallographisch-physikalischen
Untersuchungen.**

www.e-rara.ch

Die Plattform e-rara.ch macht die in Schweizer Bibliotheken vorhandenen Drucke online verfügbar. Das Spektrum reicht von Büchern über Karten bis zu illustrierten Materialien – von den Anfängen des Buchdrucks bis ins 20. Jahrhundert.

e-rara.ch provides online access to rare books available in Swiss libraries. The holdings extend from books and maps to illustrated material – from the beginnings of printing to the 20th century.

e-rara.ch met en ligne des reproductions numériques d'imprimés conservés dans les bibliothèques de Suisse. L'éventail va des livres aux documents iconographiques en passant par les cartes – des débuts de l'imprimerie jusqu'au 20e siècle.

e-rara.ch mette a disposizione in rete le edizioni antiche conservate nelle biblioteche svizzere. La collezione comprende libri, carte geografiche e materiale illustrato che risalgono agli inizi della tipografia fino ad arrivare al XX secolo.

Nutzungsbedingungen Dieses Digitalisat kann kostenfrei heruntergeladen werden. Die Lizenzierungsart und die Nutzungsbedingungen sind individuell zu jedem Dokument in den Titelnformationen angegeben. Für weitere Informationen siehe auch [Link]

Terms of Use This digital copy can be downloaded free of charge. The type of licensing and the terms of use are indicated in the title information for each document individually. For further information please refer to the terms of use on [Link]

Conditions d'utilisation Ce document numérique peut être téléchargé gratuitement. Son statut juridique et ses conditions d'utilisation sont précisés dans sa notice détaillée. Pour de plus amples informations, voir [Link]

Condizioni di utilizzo Questo documento può essere scaricato gratuitamente. Il tipo di licenza e le condizioni di utilizzo sono indicate nella notizia bibliografica del singolo documento. Per ulteriori informazioni vedi anche [Link]

III. ABTHEILUNG.

DIE APPARATE UND METHODEN ZU KRYSTALLOGRAPHISCH-PHYSIKALISCHEN UNTERSUCHUNGEN.

III. ABTHEILUNG.

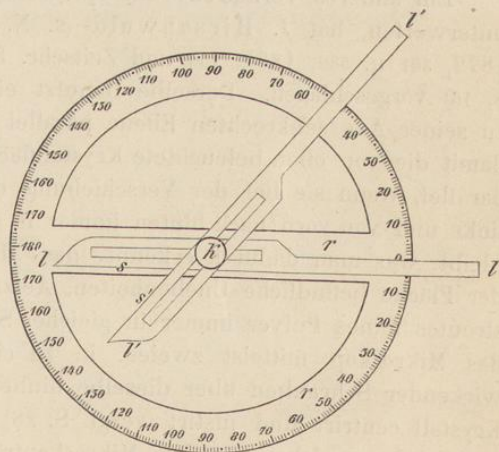
DIE APPARATE UND METHODEN
ZU KRISTALLOGRAPHISCH-PHYSIKALISCHEN
UNTERSUCHUNGEN.

A. Goniometer und Refractometer.

§. 110. Contactgoniometer.

1) Das Anlegegoniometer. Das Instrument, mit welchem zuerst Krystallwinkel gemessen wurden, ist das Anlegegoniometer, welches im vorigen Jahrhundert von dem Künstler Carangeot, der für den französischen Krystallographen Romé de l'Isle Krystallmodelle anfertigte, erfunden wurde. Dasselbe, in Fig. 565 in einer der jetzt üblichen Formen abgebildet, besteht aus zwei Linealen, ll und $l'l'$, welche um eine zu ihrer Ebene normale Axe drehbar sind. Dieselben können mittelst des Knopfes h von dem Kreise r , um dessen Centrum sie drehbar sind, abgehoben werden. Bringt man nun die zu messende Krystallkante so zwischen die beiden Schneiden s und s' , dass sie normal zu deren Ebene steht, und dreht die Schenkel der Lineale so weit, dass s auf der einen, s' auf der anderen Krystallfläche genau aufliegt (was man am besten sehen kann, wenn man das Ganze dabei gegen das Licht hält), so bilden die beiden Lineale offenbar denselben Winkel mit einander, welchen die beiden, in der zu messenden Kante einander schneidenden, Krystallflächen einschliessen. Steckt man nun die Axe derselben wieder in die im Centrum des Kreises r befindliche kreisrunde Oeffnung und dreht sie, bis der eine Schenkel an den Stift o anschlägt, so zeigt die durch das Centrum gehende Schneide des anderen unmittelbar auf dem Kreise den gesuchten Winkel an. Oft verbindet man

Fig. 565.



auch das eine Lineal fest mit der Kreistheilung, nimmt aber alsdann nur einen Halbkreis. Um auch aufgewachsene Krystalle messen zu können, bei denen oft ein Auflegen der Schenkel wegen der benachbarten Krystalle nicht möglich wäre, kann man dieselben beliebig verkürzen durch Parallelverschiebung beider Lineale.

Dieses Instrument kann natürlich nur bei sehr grossen und ganz ebenen Flächen eine grössere Genauigkeit geben, als etwa auf 1° ; es dient daher nur zur Anfertigung von Krystallmodellen, oder höchstens zur Orientirung an sehr grossen, für andere Goniometer etwa zu unbehelflichen Krystallen, während man sich sonst stets des Reflexionsgoniometers (s. S. 28) bedient. Dieses setzt aber voraus, dass die Flächen, deren relative Neigung man bestimmen will, spiegelnde seien, ist also nicht anwendbar, wenn es sich, wie es z. B. bei einzelnen Mineralien (Feldspath) der Fall ist, um matte, wenn auch ebene Flächen handelt. Man hat verschiedene Verfahren eingeschlagen, um solche Krystalle der Messung mit dem Reflexionsgoniometer zugänglich zu machen: entweder fertigt man von denselben Abdrücke, z. B. in Siegelack, an denen alsdann die Messung vorgenommen wird, oder man überzieht die Krystallflächen mit einer Harzlösung, welche nach dem Trocknen eine glänzende Oberfläche zeigt, oder endlich, man bedeckt sie mit Plättchen von dünnem Deckglase, welche durch möglichst wenig zwischengebrachten flüssigen Canadabalsam darauf festgehalten werden. Es leuchtet ein, dass die Genauigkeit der Messung bei Benutzung solcher künstlich hergestellter glänzender Flächen davon abhängt, bis zu welchem Grade die letzteren den eigentlichen Flächen des Krystalls parallel sind; die Abweichung beider vom Parallelismus kann unter Umständen eine recht beträchtliche sein, und es giebt kein Mittel, dieselbe genau zu bestimmen.

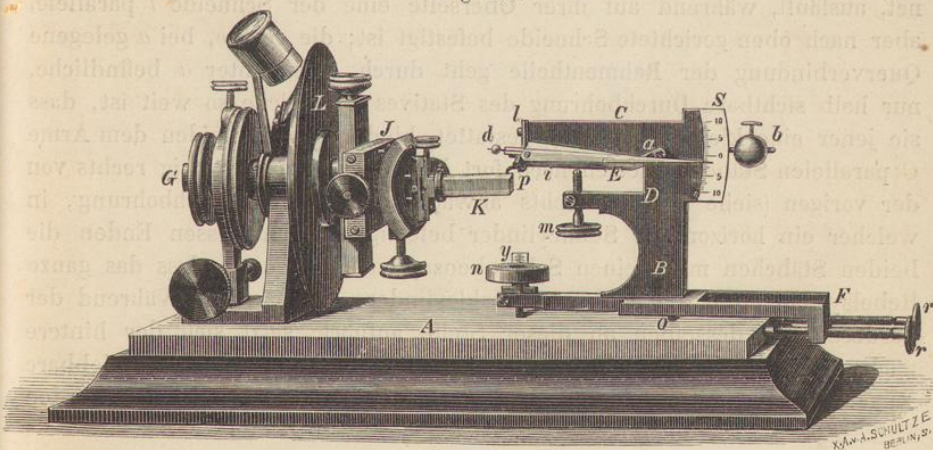
Ein anderes Verfahren, um spiegelungslose Flächen der Messung zu unterwerfen, hat J. Hirschwald (s. N. Jahrb. für Min., Geol. u. s. w. 1879, 301 u. 539, 1880, 156 und Zeitschr. f. Kryst. 4, 219, s. auch ebenda 8, 16) vorgeschlagen. Derselbe benutzt ein Mikroskop, welches in einer zu seiner Axe senkrechten Ebene parallel verschiebbar ist, und bestreicht damit die von oben beleuchtete Krystallfläche. Diese ist jener Ebene genau parallel, wenn sie bei der Verschiebung des Mikroskops von rechts nach links und von vorn nach hinten immer in gleicher Entfernung vom Objectiv bleibt, was man dadurch erkennt, dass ihre Umrisskanten und etwa auf der Fläche befindliche Unebenheiten, Aetzfiguren etc. oder ein darauf gestreutes feines Pulver immer in gleicher Schärfe sichtbar bleiben, während das Mikroskop mittelst zweier, in zu einander senkrechten Richtungen wirkender Schrauben über dieselbe hinbewegt wird. Hat man nun den Krystall centrirt und justirt (vergl. S. 28) auf der Axe eines Theilkreises angebracht, welcher mit dem Mikroskopträger in fester Verbindung steht, so kann man durch Drehung jener Axe eine zweite Krystallfläche in das Gesichtsfeld des Mikroskopes und auf gleiche Weise in dieselbe Lage bringen, welche vorher die erste Fläche einnahm. Werden nun beide

Stellungen des Kreises am Nonius abgelesen, so ist die Differenz beider Ablesungen offenbar der gesuchte Winkel. Es liegt aber auf der Hand, dass die Genauigkeit dieses Verfahrens davon abhängt, innerhalb welcher Grenzen die Entfernung der Fläche vom Objectiv des Mikroskopes variiren kann, ohne dass dieselbe aufhört, scharf sichtbar zu sein. Für manche Personen sind diese Grenzen sehr enge, für andere, welche eine grosse Accommodationsfähigkeit des Auges besitzen, ziemlich weite, daher die Genauigkeit der Messung mit diesem ziemlich complicirten, von seinem Erfinder »Mikroskopgoniometer« genannten Instrumente von subjectiven Verhältnissen abhängt.

Der geeignetste Apparat, um matte Flächen mit einer weit grösseren Genauigkeit, als mittelst des Anlegegoniometers, zu messen, ist das von R. Fuess erfundene »Fühlhebelgoniometer«, welches daher an dieser Stelle ausführlicher beschrieben werden soll.

2) Das Fühlhebelgoniometer. Auf einer matt und vollkommen eben geschliffenen Glasplatte, der »Grundplatte« *A* Fig. 566, ist ein Theilkreis *L*, dessen Ebene genau senkrecht zur Grundplatte steht, befestigt. Derselbe ist um eine zu *A* parallele Axe drehbar mittelst der grösseren der beiden links davon sichtbaren, am Rande gekerbten Messingscheiben oder mittelst der darunter befindlichen Feinstellschraube, wobei sich zugleich die innerste, durch den Knopf *G* auch unabhängig davon drehbare

Fig. 566.



Axe mit bewegt, welche an ihrem andern Ende die Centrir- und Justirvorrichtung *J* und den Krystall *K* trägt. Die erfolgte Drehung kann an einem Nonius durch die mittelst eines Armes mit der Goniometeraxe verbundene Lupe abgelesen werden. Dieser Theil des Instrumentes ist vollkommen übereinstimmend mit dem im nächsten § zu beschreibenden gewöhnlichen Reflexionsgoniometer, daher die nähere Einrichtung desselben hier übergangen werden kann.

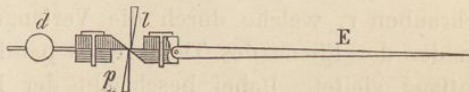
Hat man nun eine von zwei Krystallflächen gebildete Kante auf diesem Instrumente centrirt und justirt*), so ist man im Stande, durch Drehung des Limbus *L* einmal die eine, das andere Mal die andere Fläche der Grundplatte parallel zu stellen, und offenbar ist alsdann die Differenz der beiden Ablesungen am Nonius der gesuchte Winkel der Krystallkante. Es handelt sich also bei dieser Messung darum, den Parallelismus einer Fläche des am Goniometer befestigten Krystalls mit der horizontalen Grundplatte genau zu prüfen. Dies geschieht mit der Fuess'schen Fühlhebelvorrichtung, welche auf die rechte Seite der Grundplatte aufgesetzt wird. Dieselbe besteht aus einem Messingstativ *B*, welches mit drei konischen stählernen Füßchen, zwei festen *o* (von denen nur eines in der Figur sichtbar ist) und einem durch die Schraube *n* verstellbaren, auf der Grundplatte aufruhet. Von dem Stativ *B* laufen nach links zwei Arme *C* und *D* aus, von denen der erstere am Ende ein Stahlstück *l* trägt, dessen unterster Theil eine horizontale, senkrecht zur Zeichnungsebene verlaufende Schneide bildet. Durch den Arm *D* geht die mit einem feinen Gewinde versehene Schraube *m*, auf welcher das Hebelsystem *i* aufruhet. Dieses besteht aus zwei parallelen und gleich gestalteten, nach rechts aufgebogenen Stahlstäbchen, von denen das hintere in der Figur durch das vordere verdeckt ist, und welche bei *p* und *a* durch horizontale Querstücke verbunden sind; das erstere von diesen trägt in der Mitte eine Fortsetzung, welche in ein nach unten gebogenes Messingstiftchen, im Folgenden als »Fühler« bezeichnet, ausläuft, während auf ihrer Oberseite eine der Schneide *l* parallele, aber nach oben gerichtete Schneide befestigt ist; die rechte, bei *a* gelegene Querverbindung der Rahmentheile geht durch eine, unter *a* befindliche, nur halb sichtbare Durchbohrung des Statives *B*, welche so weit ist, dass sie jener eine kleine Bewegung gestattet, hindurch. Die beiden dem Arme *C* parallelen Stäbchen setzen noch fort bis zu einer ganz wenig rechts von der vorigen (siehe unter *a* rechts abwärts) befindlichen Durchbohrung, in welcher ein horizontaler Stahlcylinder befestigt ist, an dessen Enden die beiden Stäbchen mit kleinen Schraubenzapfen anliegen, so dass das ganze Hebelsystem *i* um die Axe jenes Stahlcylinders drehbar ist. Während der vordere Theil desselben an dieser Stelle aufhört, setzt sich der hintere nach rechts in einen langen Stahlstab fort, welcher die verschiebbare Kugel *b* trägt, mittelst deren das ganze Hebelsystem *i* balancirt werden

*) Dies geschieht bei diesem Instrumente mittelst eines in der Figur nicht mit abgebildeten Hilfsapparates, bestehend aus einer scharfen Stahlschneide, welche an einem Messingarme befestigt ist, dessen Untersatz auf drei Schrauben ruht, während eine seitliche Fortsetzung noch zwei horizontale Schraubchen trägt. Die Schneide befindet sich genau in der Richtung der Goniometeraxe, wenn man den kleinen Apparat so auf die Grundplatte aufsetzt, dass die beiden horizontalen Schrauben die vordere Randfläche desselben berühren. Der Krystall *K* wird nun mittelst der an *J* befindlichen Schrauben so gerichtet, dass die zu messende Kante die Stahlschneide fast berührt und ihr genau parallel läuft.

kann. Zwischen der an diesem befestigten und daher mit demselben beweglichen Schneide p und der früher erwähnten festen Schneide l befindet sich nun frei schwebend der eigentliche Fühlhebel E , dessen Construction aus Fig. 567 ersichtlich ist. Derselbe besteht aus zwei Stahlplatten (in der Figur ungleich schraffirt), welche durch Schrauben fest verbunden sind.

Aus beiden ist in ihrem mittleren Theile auf gleiche Art ein viereckiges Stück mit drei senkrechten und einer schiefen Seitenfläche ausgeschnitten; die Platten sind so aneinander ge-

Fig. 567.



legt, dass die schiefen Seiten des ausgeschnittenen Theiles parallel sind und beinahe in eine Ebene fallen. An dem so gebildeten Rahmen ist an einer Seite ein circa 7 cm langer, aus Elfenbein hergestellter Arm, der »Zeiger«, befestigt, welcher auf der andern Seite durch eine kleine verschiebbare Metallkugel d balancirt werden kann. Die ganze Vorrichtung wird so zwischen die beiden Schneiden eingelegt, dass Schneide l auf der oberen Seite der unteren Platte und Schneide p auf der unteren Seite der oberen Platte aufliegt. Da die Schneide l fest ist, so bildet sie die Drehungsaxe des Hebels E , dessen beide Theile durch Verschiebung der Kugel d so balancirt werden, dass der linke ein sehr kleines Uebergewicht besitzt. Am Niedersinken wird derselbe dadurch verhindert, dass die bewegliche Schneide p von unten her ihn berührt, ein Contact, welcher durch die Stellung der Schraube m bewirkt wird (vergl. Fig. 566); das mit der Schneide p in Verbindung stehende Hebelsystem i ist durch die Kugel b so genau balancirt, dass die leiseste Berührung des an p befindlichen »Fühlers« sofort eine Hebung der linken und eine Senkung der rechten Seite zur Folge hat. Dadurch wirkt die Schneide p auf den Fühlhebel, indem sie dessen linke Seite hebt, und da der horizontale Abstand der beiden Schneiden p und l ein äusserst geringer ist, so entspricht einer sehr kleinen Aufwärtsbewegung der ersteren ein grosser Ausschlag des Zeigers E nach unten. Hat also die Schraube m diejenige Stellung, bei welcher die bewegliche Schneide p nur eben den Fühlhebel in der Lage schwebend erhält, dass der Zeiger E desselben auf den Nullpunkt der bei S auf dem Stativ angebrachten Theilung gerichtet ist, so genügt offenbar die leiseste Berührung des Fühlers, um einen merkbaren Ausschlag des Zeigers auf der Skala hervorzubringen*).

*) Betreffs der Fig. 566 muss bemerkt werden, dass an den neuesten Fuess'schen Instrumenten sich der Nullpunkt am oberen Ende der Theilung, in der Mitte also 40 und unten 20, befindet, so dass die Gleichgewichtsstellung des Fühlhebels nicht, wie in der Figur, horizontal, sondern eine schräg nach rechts ansteigende ist. Da es sich nur um die Beobachtung von abwärts gerichteten Ausschlägen handelt, ist diese unerhebliche Aenderung der in Fig. 566 abgebildeten Anordnung vorzuziehen. Am unteren

Diese Empfindlichkeit wird nun benutzt, um den Parallelismus einer horizontal gestellten Krystallfläche mit der Grundplatte zu prüfen. Ist die zu messende Kante des Krystalls genau justirt, d. h. der Grundplatte parallel, so genügt es offenbar, den Parallelismus einer zur Kante senkrechten, in der Krystallfläche gelegenen Linie mit der genannten Platte zu constatiren. Zu diesem Zwecke kann man den ganzen Fühlhebelapparat von vorn nach hinten verschieben, wobei derselbe mit den Enden der beiden Stahlschrauben r , welche durch die Verlängerungen F des Statives B gehen, an der der Ebene des Theilkreises parallelen Seitenfläche der Grundplatte entlang gleitet. Dabei beschreibt der Fühler auf der Krystallfläche eine Gerade, welche die erforderliche, zur Kante senkrechte Richtung besitzt, und wird bei vollkommenem Parallelismus der Fläche mit der Grundplatte, welcher durch Drehung des Krystalls mittelst der Feinstellschraube bewirkt wird, an allen Stellen die Fläche eben berühren, vorausgesetzt, dass vorher dem Fühler durch Heben oder Senken mittelst der Schraube n , wobei sich der ganze Fühlhebelapparat um die beiden festen Stahlspitzen o dreht, die erforderliche Höhenstellung ertheilt ist. Ein solches Gleiten ist aber natürlich nur auf einer sehr glatten Fläche möglich. Die matten Flächen der hier in Betracht kommenden Krystalle besitzen nun häufig Hervorragungen und andere Unebenheiten und erfordern deshalb das folgende Verfahren: Der Fühler wird durch die Schraube n so hoch gestellt, dass er über alle Stellen der Fläche frei hinweg gehen kann, aber derselben stets sehr nahe bleibt; nun sucht man auf der Krystallfläche nahe der Kante und möglichst entfernt davon in der dazu senkrechten Richtung zwei möglichst ebene Stellen aus, bringt den Fühler über die eine und senkt ihn durch Drehung der Schraube n bis zur Berührung. n ist eine Mikrometerschraube, deren Windungen je 0,5 mm hoch sind und deren Rand in 400 Theile getheilt ist, so dass eine Hebung des Fühlers um 0,005 mm direct abgelesen und eine solche von 0,004 mm noch geschätzt werden kann; die ganzen Umdrehungen werden an dem in halbe Millimeter getheilten Index y abgelesen. Mittelst dieser Vorrichtung kann man also sehr genau bestimmen, um wie viel der Apparat gesenkt werden musste, um die Berührung des Fühlers mit der Krystallfläche hervorzubringen, wobei man die Genauigkeit noch durch mehrmalige Wiederholung des Versuches an mehreren nahe benachbarten Punkten und durch Mittelziehung der einzelnen Ablesungen erhöhen kann; alsdann wiederholt man das Gleiche nach einer entsprechenden Verschiebung des Fühlhebelapparates an der zweiten der beiden ausgesuchten Stellen der Krystallfläche. Ist die hier bis zur Berührung erforderliche Senkung die gleiche, so ist offenbar die Krystallfläche der Grundplatte parallel; andernfalls corrigirt man durch die

Ende der Skala ist ein Knöpfchen angebracht, welches über die Theilung hinausgehende Ausschläge des Zeigers verhütet.

feine Drehung der Goniometeraxe die Stellung des Krystalls so lange, bis beide Sondirungen genau das gleiche Resultat ergeben.

Ueber die bei derartigen Messungen zu erreichende Genauigkeit, sowie über die Prüfung des Instrumentes s. die Arbeit von A. Schmidt, über das Fuess'sche Fühlhebelgoniometer, Zeitschr. f. Kryst. 8.1.

3) **Mikrogoniometer.** Zu den Contactgoniometern kann man endlich auch diejenigen Vorrichtungen rechnen, in denen die Winkelmessung mittelst eines optischen Contactes geschieht, und solche Vorrichtungen, »Mikrogoniometer«, sind es, welche besonders zur Messung mikroskopischer Krystalle benutzt werden. Da man unter dem Mikroskope nur die in einer Ebene liegenden Theile eines Krystalls scharf erblickt, so kann mit diesem Instrumente nur die Messung ebener Winkel vorgenommen werden, d. h. derjenigen, welche je zwei Kanten einer auf dem Tische des Mikroskopes horizontal liegenden Krystallfläche mit einander bilden. Hierzu benutzt man am einfachsten ein Mikroskop, in dessen Ocularsysteme ein rechtwinkeliges Fadenkreuz angebracht ist, welches man gleichzeitig mit dem Krystall im Gesichtsfelde erblickt, und dessen Tisch um seinen Mittelpunkt drehbar und so eingerichtet ist, dass man seine Drehung an einer am Rande desselben befindlichen Theilung ablesen kann. Die Drehungsaxe des Tisches muss mit der optischen Axe des Mikroskopes zusammenfallen, welche durch den Kreuzungspunkt der Fäden in der Mitte des Gesichtsfeldes bezeichnet ist. Behufs der Messung wird nun zunächst der Eckpunkt der Krystallfläche, in welchem die beiden Kanten, deren ebenen Winkel man sucht, einander schneiden, durch Verschiebung des Krystalls mit dem Kreuzungspunkte der Fäden zur Deckung gebracht; alsdann wird durch Drehung des Tisches mit dem darauf liegenden Krystall eine der beiden Kanten parallel eingestellt mit einem der beiden Fäden, was sich besonders genau erreichen lässt, wenn man die Kante ein wenig neben dem Faden einstellt, statt beide vollkommen zur Deckung zu bringen. Nachdem diese Stellung des Mikroskoptisches an dessen Theilung abgelesen worden ist, wird derselbe gedreht, bis die zweite Kante in gleiche Richtung gelangt ist, welche vorher die erste inne hatte, und dann wiederum abgelesen; die Differenz beider Ablesungen ist der gesuchte Winkel.

Diese Methode der Winkelmessung unter dem Mikroskope ist besonders wichtig für petrographische Untersuchungen, bei denen es sich oft um die Bestimmung der Gestalt von Krystallen handelt, von welchen in einem Gesteinsschliffe (s. S. 74) sehr dünne Querschnitte vorliegen. Obgleich deren Orientirung gegen die krystallographischen Axen unbekannt und natürlich für jeden Durchschnitt eine andere ist, so kann doch aus der Umrissfigur eines solchen Durchschnittes, d. h. aus den ebenen Winkeln desselben, wenn diese nach der angegebenen Methode gemessen worden sind, ein Schluss

auf die Richtung der Durchschnittsebene und daraus auf die Form des Krystalls gezogen werden, namentlich wenn man noch andere Hilfsmittel hinzuzieht, z. B. die in derselben Weise zu bestimmende Richtung etwa sichtbarer Spaltungsrisse, die Schwingungsrichtungen des polarisirten Lichtes, einen etwaigen Axenausritt im convergenten Lichte u. s. w. So würde man z. B. unter den in einem solchen Gesteinsschliff vorhandenen Krystallschnitten eines monosymmetrischen Minerals mit prismatischer Spaltbarkeit, durch das Vorhandensein von Spaltungsrisen nach einer einzigen Richtung, leicht diejenigen herausfinden, deren Ebene der Kante des Spaltungsprisma parallel geht, und unter diesen wieder die zur Symmetrieebene ungefähr senkrechten dadurch, dass in ihnen die Schwingungsrichtungen des polarisirten Lichtes den Spaltrissen parallel gehen. Bei Auffassung des Spaltungsprisma als $\{110\}$ hätte man in einem Schnitte der letzterwähnten Art einen solchen nach dem Orthopinakoid $\{100\}$ vor sich, dessen Gestalt, verglichen mit denen der andern verticalen Schnitte, d. h. derjenigen, in denen alle Spaltungsrisse parallel verlaufen, ein Urtheil über die an den Krystallen auftretenden Endflächen und deren ungefähre Winkel gestattet. Andererseits sind unter den Durchschnitten, in denen beide Spaltungsrichtungen beobachtet werden, diejenigen, in welchen dieselben ungefähr den Winkel des Spaltungsprisma mit einander bilden, offenbar annähernd senkrecht zur Kante dieses Prismas; die Gestalt der Umrisse liefert hier also direct die Winkel der am Krystall ausgebildeten verticalen Flächen. J. Thoulet hat für die petrographisch wichtigsten Mineralien (Pyroxene, Amphibole, Feldspäthe) die ebenen Winkel berechnet, welche die Spaltungsrichtungen in verschiedenen, den Hauptzonen der Krystalle angehörigen Ebenen bilden; und dadurch die Aufgabe, die Orientirung dieser Mineralien in Gesteinsschliffen zu bestimmen, sehr erleichtert (Annales d. mines (7) 1878, 14, 3).

Eine weniger häufig, als die vorstehend beschriebene, gebrauchte Methode der mikroskopischen Winkelmessung besteht darin, dass man, anstatt den Tisch des Mikroskopes drehbar zu machen, ein Fadenkreuz anwendet, dessen einer Faden um die Mitte drehbar ist und dessen Drehung an einer aussen am Oculare angebrachten Theilung abgelesen werden kann. Man bringt hierbei ebenso, wie bei der gewöhnlichen Methode, den Schnittpunkt der beiden Kanten des Krystalls in den Kreuzpunkt der beiden Fäden, stellt alsdann den beweglichen Faden einmal auf die erste, das andere Mal auf die zweite Kante der Krystallfläche ein und bestimmt am Kreise die dazwischen erfolgte Drehung. Eine solche Vorrichtung ist an dem mit dem Elasticitätsapparate (s. §. 125) verbundenen Mikroskope angebracht und soll deren Anwendung für bestimmte Zwecke a. a. O. erläutert werden.

Endlich werde noch eine von Leeson vorgeschlagene Einrichtung zur genauen Messung der ebenen Winkel mikroskopischer Krystalle beschrieben, welche in Fig. 568 im Durchschnitt, in Fig. 569 in perspectivischer

Ansicht dargestellt ist. Der Apparat wird auf dem Ocularrohr des Mikroskopes mittelst des Ringes *a* befestigt, welcher durch den Träger *b* mit dem getheilten Kreise *cd* fest verbunden ist; auf diesem ist eine abgeschrägte

Fig. 568.

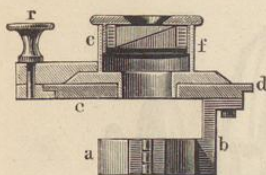
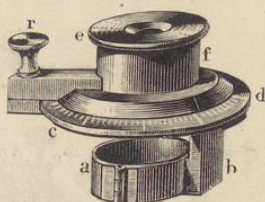


Fig. 569.



kreisförmige Platte mit der Hülse *ef* drehbar; die letztere enthält ein doppeltbrechendes Prisma von Quarz, dessen Dispersion dadurch beseitigt ist, dass ein ebenso stark dispergirendes Glasprisma mit demselben in umgekehrter Stellung verbunden ist. Durch diese Combination erblickt man daher die im Mikroskope sichtbaren Gegenstände doppelt, jedoch ohne störende Farbenzerstreuung. Befindet sich nun z. B. eine Krystallfläche von der Form eines Rhombus *abcd* eingestellt im Gesichtsfelde, so erscheint dieselbe doppelt, etwa wie Fig. 570. Durch Drehen des Quarzprismas mittelst des Knopfes *r* werden die beiden Bilder einmal in die gegenseitige Lage Fig. 571, das andere Mal in die Fig. 572 dargestellte gebracht, und

Fig. 570.

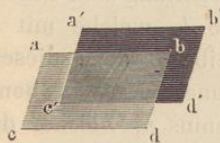


Fig. 571.

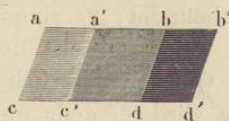
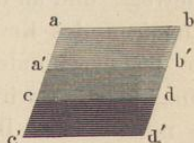


Fig. 572.

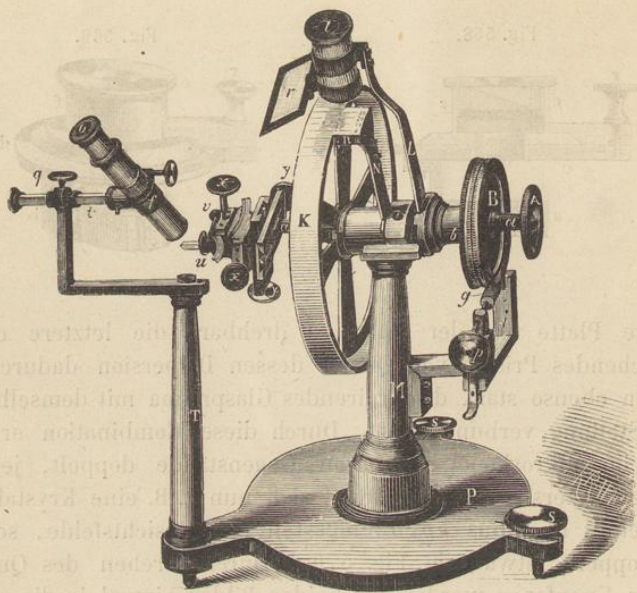


durch Ablesen beider Stellungen am Kreise die dazu erforderliche Drehung, welche offenbar dem Winkel des Rhombus gleich resp. supplementär ist, bestimmt. Es leuchtet ein, dass diese Messung des ebenen Winkels um so genauer ausfällt, je vollkommener es gelingt, das eine Mal die Kante *ab* mit *a'b'*, resp. *cd* mit *c'd'*, das andere Mal *ac* mit *a'c'* und *bd* mit *b'd'* in eine gerade Linie zu bringen.

§. 111. Reflexionsgoniometer mit verticalem Kreise. Das Reflexionsgoniometer, 1809 von Wollaston erfunden, wurde bereits S. 28 im Princip besprochen. Die Einrichtung eines solchen Instrumentes in verbesserter Form kann aus Fig. 573 gesehen werden.

Auf einer Metallplatte *P*, welche durch die Schrauben *ss* horizontal gestellt werden kann, ruht eine Messingsäule *M*, durch deren oberen ver-

Fig. 573.



stärkten Theil die Axe des drehbaren Theilkreises *K* geht. Diese Axe ist eine doppelte: 1) eine innere *a*, welche mittelst der am Rande gekerbten Messingscheibe *A* leicht gedreht werden kann, ohne dass sich der Kreis mit bewegt, und an deren anderem Ende sich die Vorrichtung zum Centriren und Justiren des Krystalls befindet; 2) eine äussere *b*, welche mit dem Kreise fest verbunden ist, daher mittelst der Scheibe *B* auch dieser in Drehung versetzt wird, an welcher natürlich die innere Axe *a* ebenfalls Theil nimmt. Die Drehung wird an dem festen Nonius *n*, welcher durch den Arm *N* mit der Messingsäule *M* verbunden ist, mittelst der Lupe *l* abgelesen. Damit jede Stelle der Theilung des Nonius in die Mitte des Gesichtsfeldes der Lupe gebracht werden kann, ist *L* innerhalb eines kleinen Kreisbogens beweglich. Durch das in einen Rahmen gespannte weisse Papier *r* endlich wird behufs leichterer Ablesung das Licht des Tages oder einer rechts vom Instrumente aufgestellten Beleuchtungsflamme auf die Theilung geworfen.

Die Centrirvorrichtung bestand bei den älteren Wollaston'schen Instrumenten einfach aus einem senkrecht zur Axe *a* verschiebbaren Schlitten und einem in einer Hülse normal zu beiden verschiebbaren Stift, auf dessen in eine Platte auslaufendem Ende der Krystall mit Wachs befestigt wurde; diese zwei zu einander senkrechten Bewegungen gestatteten, die ausserhalb der Axe befindliche Krystallkante parallel sich selbst so weit zu

verschieben, bis sie beim Drehen der Axe an ihrem Orte verblieb und der Krystall dabei gleichsam um dieselbe rotirte. Die Justirung geschah durch Drehung des letzterwähnten Stiftes in seiner Hülse und durch ein Gelenk in dem Bügel, welcher, auf dem Centrirschlitten befestigt, die Hülse trug. Diese beiden Drehungen fanden in zwei senkrecht zu einander stehenden Ebenen statt, daher man durch dieselben die irgendwie schief gegen die Ebene des Kreises stehende Krystallkante senkrecht gegen diese stellen konnte. Da sowohl die Verschiebungen behufs der Centrirung, als die Drehungen behufs der Justirung aus freier Hand ausgeführt werden mussten, so gestatteten diese älteren Instrumente nur nach oftmaligem Hin- und Herprobiren eine ungefähre Richtigstellung des Krystalls zu erreichen.

Man hat deshalb an die Stelle der soeben beschriebenen Centrir- und Justirvorrichtung eine solche gesetzt, welche die Parallelverschiebung des Krystalls in zwei zu einander senkrechten Richtungen durch zwei Schlitten erlaubt, deren Bewegung mittelst Schrauben (*yy* in Fig. 573) erfolgt; ebenso wird die Justirung durch zwei Schrauben *xx* ausgeführt, welche eine Neigung des Krystalls in zwei zu einander senkrechten Ebenen bewirken. Die nähere Construction dieser Vorrichtung, welche eine leichte und sichere Einstellung des Krystalls in die gewünschte Orientirung ermöglicht, soll im folgenden § vermittelt eines Durchschnittes erläutert werden. Das Ende derselben bildet eine kleine, durch das Schraubchen *v* darin befestigte gestielte Metallplatte, das Tischchen *u*, auf welches der Krystall mit Wachs aufgeklebt wird.

Bei den älteren, einfachen Reflexionsgoniometern wurde nun, nachdem die Krystallkante soweit centriert war, dass dieselbe bei einer Drehung der Axe um 360° ihren Ort nicht merklich änderte, die Justirung so ausgeführt, dass ein entfernter Gegenstand, welcher als Signal diente (ein Fensterkreuz, eine Dachkante u. dergl.), in beiden Flächen nach einander gespiegelt beobachtet wurde, wobei das Auge der spiegelnden Fläche sehr stark genähert werden musste; war die Fläche nicht normal zu der senkrechten Kreisebene, so erschienen horizontale Linien des Bildes schräg gestellt, und die Neigung der Fläche musste durch die Justirungsbewegungen so lange geändert werden, bis jene Linien im Bilde horizontal erschienen. War dies bei beiden Flächen erreicht, so war die zwischen ihnen befindliche Kante justirt. Es wurde dann einmal das von der einen, das andere Mal das von der andern Fläche gespiegelte Bild des Signals mit einer in der Sehrichtung auf dem Stativ des Instrumentes befindlichen Linie (oder mit dem Spiegelbild desselben Signals, welches eine feste, am Stativ passend angebrachte, kleine schwarze Glasplatte reflectirte) zur Deckung gebracht, und die zwischen beiden Einstellungen erfolgte Drehung des Kreises am Nonius bestimmt.

Es liegt nun auf der Hand, dass bei diesem Verfahren sowohl die Centrirung, als die Justirung der Kante nur angenähert möglich ist, und dass die Einstellung der beiden, von den Krystallflächen reflectirten Bilder

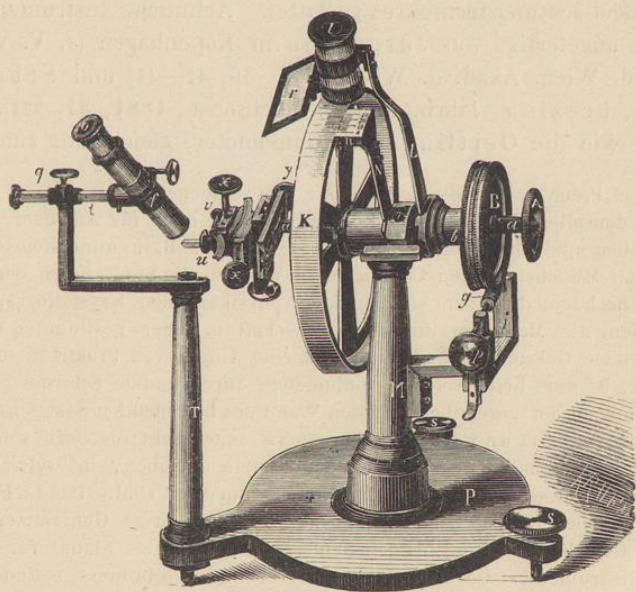
des benutzten Objectes nicht absolut genau vorgenommen werden kann. Wenn daher auch die Genauigkeit, mit welcher man mittelst des älteren Wollaston'schen Reflexionsgoniometers Krystallwinkel messen kann, weit grösser ist, als bei dem Anlegegoniometer, so ist sie doch andererseits nicht so gross, wie es in vielen Fällen wünschenswerth erscheint; eine derartige Messung ist nämlich, wenn die Krystallflächen sehr gut reflectiren, und alle oben genannten Bedingungen nach Möglichkeit erfüllt sind, höchstens auf etwa $\frac{1}{10}^0$ genau. Es wurden daher schon frühe Verbesserungen an dem Instrumente vorgenommen. Zuerst Malus, und dann namentlich Mitscherlich verbanden damit ein dem Kreise paralleles Fernrohr, durch welches das reflectirte Bild des Signals betrachtet wird; bringt man in der Bildebene desselben ein Fadenkreuz an, so kann man durch Drehen des Krystalls einen bestimmten Punkt in dem Signalbilde mit grosser Schärfe auf die Mitte dieses Fadenkreuzes einstellen. Mitscherlich (s. Abhandlungen der Berliner Akad. d. Wiss. 1843, S. 189) wies darauf hin, dass das Fernrohr wenig oder gar nicht vergrössern dürfe, weil sonst das von kleinen Krystallflächen reflectirte Bild zu lichtschwach wird, um deutlich gesehen zu werden. Wir haben aber S. 537 gesehen, dass gerade kleine Krystalle am ehesten frei von Störungen der Ausbildung sind, während unter den grösseren sehr häufig solche vorkommen, deren Flächen geknickt und gebrochen sind; da man mit dem Fernrohr ein sehr scharfes Bild des Objectes erblickt, so gewahrt man durch dasselbe auch viel leichter, als mit blossen Auge, derartige Unebenheiten der Flächen, indem diese dann mehrere Bilder reflectiren, namentlich, wenn man als Signal eine kleine Gasflamme im dunklen Zimmer anwendet.

Für dieses Verfahren ist das in Fig. 573 dargestellte Instrument eingerichtet und daher mit einem Fernrohr f verbunden, welches um eine zur Ebene des Kreises senkrechte Axe um einen bestimmten Winkel gedreht werden kann. Hebt man das Ocular o desselben, so ist diese Drehung nur bis zu einer, durch einen Anschlag an der Axe bezeichneten Stellung möglich; in dieser, welche die Figur darstellt, ist das Fernrohr genau auf die Drehungsaxe des Theilkreises K gerichtet. Ausser der Drehung kann man das Fernrohr auch parallel sich selbst verschieben mittelst der Schiene t , welche durch die Schraube q fixirt wird. Hierdurch ist es möglich, je nach der Grösse des Krystalls das Fernrohr so zu stellen, dass sich die spiegelnden Flächen gerade vor der Mitte des Objectivs befinden. Das Fernrohr ist durch die Säule T fest mit dem Stativ des Apparates verbunden.

Um eine Messung mit dem Instrumente vorzunehmen, wird zunächst das Fernrohr nach aufwärts gerichtet und dadurch, wie durch Drehung des ganzen Apparates um eine Senkrechte, auf das als Signal dienende Object, welches sich in möglichst grosser Höhe und Entfernung am andern Ende des Beobachtungsraumes befindet, eingestellt, so dass der Apparat diejenige Orientirung erhält, bei welcher das Object in der dem Kreise parallelen Drehungsebene des Fernrohres gelegen ist. Alsdann wird das letztere

wieder bis zum Anschlag herabgedreht, d. h. auf die Axe des Theilkreises gerichtet, wie es in Fig. 573 dargestellt ist. Nachdem so das Instrument zur Ausführung der eigentlichen Messung vorbereitet ist, befestigt man den Krystall mit Wachs auf dem Tischchen *u* und centrirt und justirt denselben nach der im §. 113 auseinandergesetzten Methode, wobei man alle Drehungen nur an der inneren, leicht beweglichen Axe *a* ausführt; ist dies erfolgt, so werden die von den Krystallflächen gespiegelten Signalbilder einzeln im Fernrohr eingestellt, indem mittelst der Scheibe *B* die äussere Axe und dadurch der Kreis gedreht wird. Da die genaue Einstellung einer bestimmten Stelle des Signalbildes in das Fadenkreuz des Fernrohres durch die minder leichte Drehbarkeit der Axe *b* erschwert wird, kann man die letzte Feinstellung mittelst einer Schraube *g* bewirken, deren Gewinde in die Zähne der Scheibe *B* eingreift, so dass man durch Drehen des Knopfes *p* sehr kleine Drehungen von *B* hervorbringen und dadurch eine genaue Einstellung erzielen kann. Um behufs der groben Einstellung die Axe *b* frei drehen zu können, macht man die Scheibe *B* von dem Gewinde der Feinstellschraube *g* unabhängig, indem man den Knopf *p* niederdrückt bis zu einer Stellung, in welcher die darunter befindliche stählerne Feder mit

Fig. 573.



ihrem nach innen vorspringenden Knöpfchen in eine Oeffnung des Rahmens *i*, der mit dem Stative des Instrumentes fest verbunden ist, einspringt und die Feinstellschraube in dieser tieferen Lage festhält, bis man sie behufs der Einstellung durch Zurückziehen der Feder wieder löst.

Die vorstehende Beschreibung des Reflexionsgoniometers bezieht sich auf kleine, in Fig. 573 in $\frac{1}{3}$ der natürlichen Grösse dargestellte Instrumente wie sie von der Firma Böhm und Wiedemann in München geliefert werden *) und für gewöhnliche Krystallmessungen vollkommen ausreichend sind. Für alle Zwecke, bei denen es sich nicht um die Erreichung grosser Genauigkeit handelt, sind dieselben namentlich deshalb zu empfehlen, weil sie in Folge der bequemen Lage der Arme des Beobachters und der während der ganzen Arbeit gleichbleibenden Stellung der Goniometertheile eine sehr rasche Arbeit gestatten **).

Dasselbe Princip der Construction hat man nun aber auch angewendet auf grössere, für die Zwecke krystallographischer Untersuchungen, welche einen höheren Grad der Genauigkeit und eine kritische Prüfung des letzteren erheischen, bestimmte Instrumente. Auf den Vorschlag Mitscherlich's, nach dessen Angaben Oertling in Berlin seine Goniometer construirte, wurden diese Apparate mit zwei dem Kreise parallelen Fernröhren versehen, von denen das eine zur Beobachtung, das andere als Collimator dient. Letzteres bildet mit dem Beobachtungsfernrohr einen stumpfen Winkel und kehrt wie dieses sein Objectiv dem Krystall zu; das in seiner Brennebene befindliche Fadenkreuz stellt das Signal dar, dessen Bild, von der Krystallfläche reflectirt, eine sehr genaue Einstellung auf das Fadenkreuz des Beobachtungsfernrohres gestattet. Aehnliche Instrumente wurden neuerdings angefertigt von Jürgenson in Kopenhagen (s. V. von Lang, Denkschr. d. Wien. Akad. d. Wiss. 1876, 36, 41—44) und Schneider in Wien (s. A. Brezina, Jahrb. d. geol. Reichsanst. 1884, 34, 321), und zwar sind diese, wie die Oertling'schen Goniometer, gleichzeitig zum Gebrauch

*) S. das Preisverzeichniss am Schlusse dieses Buches.

**) Aus denselben Gründen sind diese Instrumente auch für Anfänger in der praktischen Krystallographie besonders geeignet. Sie dienen z. B. im mineralogischen Institute der Universität München zu den Uebungen, in welchen die Studirenden der Chemie und Mineralogie, nachdem dieselben sich mit der physikalischen Krystallographie vertraut gemacht haben, die Methoden dieser Wissenschaft in einem bestimmten Cursus praktisch anzuwenden Gelegenheit finden. Damit eine Anzahl von Praktikanten gleichzeitig messen kann, ist eine Reihe solcher Goniometer, durch dunkle Schirme getrennt, fest aufgestellt, und an der gegenüberliegenden Wand des betreffenden Saales nahe der Decke dieselbe Zahl von Argand'schen Gasbrennern angebracht; letztere sind mit einem Glimmercylinder und mit einem eisernen Schornstein umgeben, in welchen ein Kreuz eingeschnitten ist, dessen Arme 3 cm lang und 3 mm breit sind. Das Licht jedes dieser kreuzförmigen beleuchteten Schlitzes fällt auf das zugehörige Goniometer durch eine Oeffnung in dem dasselbe umgebenden Schirme und dient als Signal für die Messung mit diesem Instrumente. Da hierbei der Saal verdunkelt sein muss, befindet sich neben jedem Goniometer zur Ablesung der Theilung ein Leuchtbrenner, dessen Flamme, damit dieselbe in der Zwischenzeit bei der Einstellung nicht stört, durch Drehen des Hahnes gelöscht werden kann, während unter einer Metallhülle ein kleines Flämmchen weiter brennt, so dass beim Zurückdrehen des Hahnes die Leuchtflamme wieder erzeugt wird (Flürscheim's Patent s. Böhm u. Wiedemann's Preiscour.). Hierdurch ist es ermöglicht, dass der Beobachter die vollständige Messung durchführen kann, ohne seine Stellung am Tische zu ändern.

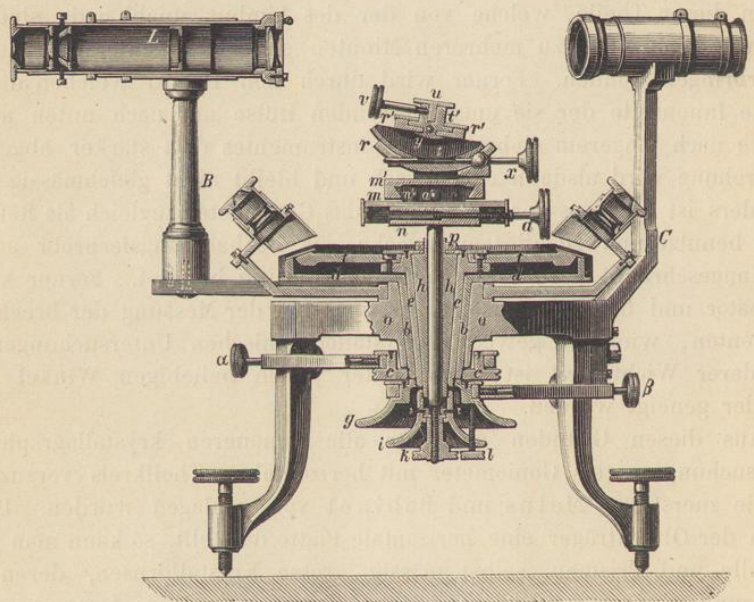
als Refractometer (zur Bestimmung der Brechungsexponenten) eingerichtet. Alle diese grösseren Instrumente, deren Theilkreise eine Ablesung auf Bruchtheile einer Minute gestatten, besitzen jedoch in der horizontalen Richtung ihrer Drehungsaxe eine Fehlerquelle, welche, bei den kleineren Instrumenten meist nicht in Betracht kommend, die Verwendung derartig construirter grösserer Apparate zu genauen Messungen ungeeignet machen. Zunächst, und dieser Nachtheil betrifft natürlich auch die vorbeschriebenen kleinen Goniometer, können mit denselben nur verhältnissmässig kleine Krystalle, resp. Prismen, untersucht werden, da grössere entweder beim Drehen durch ihr Gewicht sich senken oder überhaupt gar nicht mit Wachs an dem Ende der horizontalen Axe befestigt werden können. Aber selbst bei der Messung mässig grosser Krystalle bewirkt die ungleiche Einwirkung der Schwere auf die ungleichförmig um die Axe vertheilten Massen eine Biegung der letzteren und des Justirapparates, welche um so grösser ist, je mehr der Schwerpunkt jener Massen von der Axe abweicht; hierdurch entstehen während der zur Messung erforderlichen Drehung Bewegungen dieser Theile, welche von der des Limbus unabhängig sind und erfahrungsgemäss bis zu mehreren Minuten steigende Fehler der Messung hervorbringen können. Ferner wird durch den Druck, welchen die Axe auf die Innenseite der sie umschliessenden Hülse nur nach unten ausübt, letztere nach längerem Gebrauch des Instrumentes dort stärker abgenutzt; die Drehung wird alsdann excentrisch und bleibt nicht gleichmässig sanft. Besonders ist letzteres der Fall, wenn das Goniometer zugleich als Refractometer benutzt und zu diesem Zwecke das Beobachtungsfernrohr an den Kreis angeschraubt wird und denselben einseitig belastet. Ferner können Collimator und Beobachtungsfernrohr, was bei der Messung der Brechungsexponenten, wie bei gewissen krystallographischen Untersuchungen von besonderer Wichtigkeit ist, nicht unter jedem beliebigen Winkel gegen einander geneigt werden.

Aus diesen Gründen sind für alle genaueren krystallographischen Untersuchungen stets Goniometer mit horizontalem Theilkreis vorzuziehen, wie sie zuerst von Malus und Babinet vorgeschlagen wurden. Da bei diesen der Objectträger eine horizontale Platte darstellt, so kann man grosse Krystalle und Prismen, selbst mässig grosse Krystalldrusen, deren Zerkleinerung man zu vermeiden wünscht, darauf befestigen; ferner kann man unter beliebigen Incidenzwinkeln mit gleicher Leichtigkeit beobachten; kurz: bei verticaler Stellung der Drehungsaxe werden sämmtliche oben aufgeführte Uebelstände vermieden. Diejenigen Instrumente, welche den Anforderungen grösserer Genauigkeit und vielseitiger Verwendbarkeit am vollkommensten entsprechen und daher für krystallographische Untersuchungen jetzt fast allgemein benutzt werden, sind die von R. Fuess in Berlin gelieferten *), welche deshalb im folgenden § ausführlich beschrieben werden sollen

*) S. Dessen Preisverzeichniss am Schlusse dieses Buches.

§. 112. **Reflexionsgoniometer mit horizontalem Kreise.** Für fast alle krystallographischen Untersuchungen ausreichend, namentlich in Folge der mannigfachen von M. Websky vorgeschlagenen Verbesserungen, ist das Fuess'sche Goniometer No. 2, welches in Fig. 574 in $\frac{1}{4}$ nat. Gr. dargestellt ist. Diese Figur ist so gezeichnet, dass der mittelste Theil des Instrumentes, d. h. die in einander geschobenen Axen, der Kreis und die Centrir- und Justirvorrichtung sowie auch das Beobachtungsfernrohr im Durchschnitt, die übrigen Theile dagegen in der Ansicht erscheinen. Das Ganze ruht auf drei mit Schrauben versehenen Füßen, und der Kreis kann daher, was jedoch für die Messungen nicht erforderlich ist, genau horizontal gestellt werden. Die Füße sind an die kreisrunde dicke Messingplatte *o* (vergl. auch die Ansicht Fig. 575 S. 564) angeschraubt, welche, in der Mitte conisch durchbohrt, die hohlen Axen und den Kreis trägt. In der weiten Durchbohrung derselben sitzt zunächst eine conische Axe *b*; diese ragt nach

Fig. 574.



unten nur wenig über die Hülse, welche den untersten Theil von *o* bildet, hervor und ist oben fest verbunden mit einem Kreis *d*, der an zwei diametral entgegengesetzten Stellen eine Nonientheilung (Ableseung auf 30") besitzt; an diese Kreisscheibe ist endlich von unten her der horizontale Arm, welcher auf einer senkrechten Säule *B* das Beobachtungsfernrohr *L* trägt, angeschraubt, so dass durch Bewegung des letzteren sich auch der Nonienkreis *d* und die hohle Axe *b* um die Centralaxe des Instrumentes drehen. Diese Drehung kann durch Anziehen der Schraube α an jeder beliebigen Stelle arretirt werden, indem dadurch die an das untere Ende von

b angeschraubte Scheibe *c*, deren Rand ringförmig ausgeschnitten ist, gegen einen in diesem Ausschnitt liegenden und mit der Klemmschraube in Verbindung stehenden Ring gepresst wird. Dieselbe Arretirung kann aber auch mittelst einer von vorn durch *o* hindurchgehenden Schraube*) bewirkt werden, deren Ende, wenn sie fest angezogen ist, gegen einen Punkt der Aussenseite des Conus *b* drückt und diesen daher an der Drehung hindert. Für die Krystallmessung kann somit der Beobachter dem Fernrohr *L* diejenige Stellung geben, welche ihm die bequemste ist, und dasselbe dann in dieser fixiren, indem er die zuletzt erwähnte Schraube oder *a* fest anzieht, wodurch auch der Ort der beiden Nonien ein unveränderlicher geworden ist.

In *b* bewegt sich concentrisch die ebenfalls hohle Axe *e*, welche oben mit dem eigentlichen Theilkreise *f*, unten mit der am Rande gekerbten hohlen Scheibe *g* durch Verschraubung fest verbunden ist; durch Drehen der letzteren mit der Hand bewegt man somit, wenn Nonien und Fernrohr auf die oben angegebene Art fixirt sind, den Kreis und die inneren Axen, also auch den aufgesetzten Krystall, und kann daher die erfolgte Drehung an jedem der beiden Nonien ablesen. Diese Drehung kann nun arretirt werden durch die Schraube *β*, welche in Verbindung steht mit einem starken Ringe (im quadratischen Durchschnitt auf der linken Seite sichtbar), der den oberen Theil der Scheibe *g* umfasst; zieht man *β* an, so klemmt sie mit einem an ihrem Ende befindlichen parallelepipedischen Stück die Axe an jenen Ring fest. Die Schraube *β* ist aber ihrerseits nicht unmittelbar mit dem Stativ verbunden, sondern das lange Metallstück, welches die Schraubenmutter von *β* enthält, liegt auf der Hinterseite nur lose an dem Ende einer Schraube an, die den rechts befindlichen Fuss horizontal von hinten nach vorn durchbohrt, und deren Knopf in der Zeichnung nur zum kleinen Theil sichtbar ist; gegen das Ende dieser Schraube wird aber jenes Metallstück angepresst durch eine stählerne Feder. Dreht man die Schraube mittelst des Knopfes vorwärts, so giebt die Feder nach, das Metallstück und der Ring, folglich auch die darin festgeklemmte Axe *e* mit dem Krystall drehen sich, als wenn keine Arretirung existirte; dreht man die Schraube zurück, so folgt ihr das Metallstück wegen des Druckes der Feder nach, und der Krystall dreht sich nach der entgegengesetzten Seite, als vorher. Da man mittelst der Bewegung einer Schraube es viel besser in der Gewalt hat, eine kleine Drehung auszuführen, als mit freier Hand, so stellt man durch Drehen an der Scheibe *g* das von der Krystallfläche reflectirte Bild nur ungefähr im Gesichtsfeld des Fernrohrs ein, klemmt alsdann die Axe *e* und corrigirt die Einstellung mittelst der Feinstellschraube.

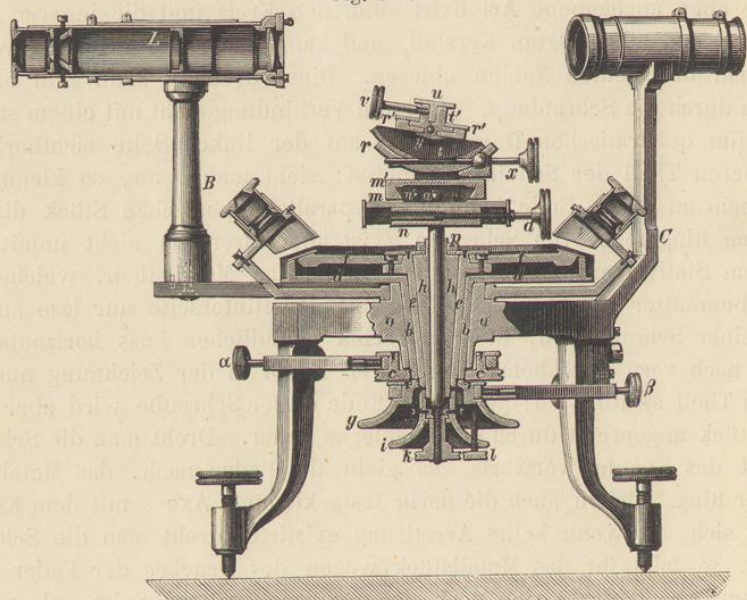
Innerhalb *e* ist die ebenfalls noch hohle Axe *h* sehr leicht drehbar, welche durch die Scheibe *i* bewegt wird, um die beim Centriren und

*) Da die Vorderseite in dem Durchschnitt Fig. 574 fortgenommen gedacht ist, konnte diese Schraube nicht zur Darstellung gelangen.

Justiren nöthigen Drehungen auszuführen, ohne zugleich den ganzen Kreis mitdrehen zu müssen, was eine überflüssige Abnutzung des Instrumentes zur Folge haben würde. Da die Einstellung mittelst der Drehung von *g* nur dann richtige Resultate liefern kann, wenn *h* und *i* ganz gleichmässig an der Drehung theilnehmen, so können diese durch Anziehen der Schraube *l* fest mit *g* verbunden werden. Für einen einigermaassen geübten Beobachter ist übrigens diese Verbindung überflüssig, da die Scheibe *g* so weit über *i* vorragt, dass man sie leicht drehen kann, ohne *i* zu berühren und dessen Stellung gegen *g* zu verändern.

In *h* steckt nun endlich die innerste cylindrische Axe, welche oben die Centrir- und Justirvorrichtung trägt. In ihrem untersten Theile ist dieselbe verjüngt und mit einem Schraubengewinde versehen, welches in einer Hülse läuft, deren unterster Theil die kleine, am Rande gekerbte Scheibe *k* bildet. Da der obere Theil dieser Hülse mit *i* so verbunden ist,

Fig. 574.

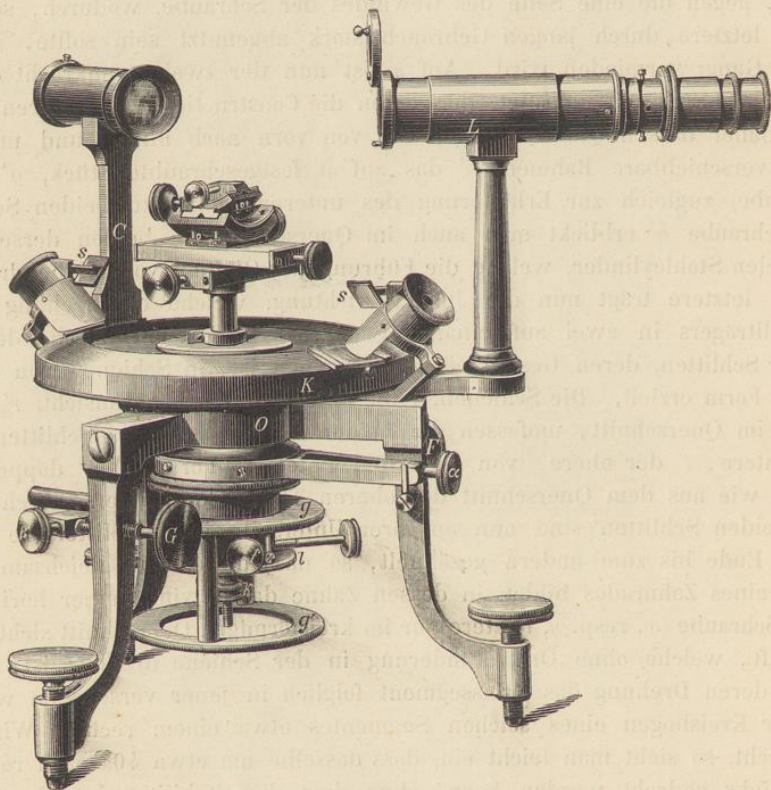


dass er zwar gedreht werden kann, aber immer in derselben Höhe bleiben muss (wie aus Fig. 574 deutlich zu ersehen), so bewirkt eine Drehung von *k* eine Bewegung der inneren Axe in verticaler Richtung (eine Drehung der letzteren ist durch eine eigene Vorrichtung verhindert). Man kann somit durch Drehen von *k* die innere Axe mit der Centrir- und Justirvorrichtung so weit heben oder senken, dass die zu messenden Flächen des Krystalls sich genau vor der Mitte des Objectivs des Beobachtungsfernrohrs befinden. Schliesslich kann man die innere Axe in der erforderlichen Höhe durch Anziehen der Klemmvorrichtung *p* (mittelst eines beigegebenen Schlüssels) fixiren.

Die Fuess'sche Centrir- und Justirvorrichtung ist in Fig. 574 ebenfalls im Durchschnitt sichtbar. Auf die zuletzt erwähnte innerste Axe des Goniometers ist das Metallstück n aufgeschraubt, welches von dem reet-angulären Kasten m auf der Vorder- und Hinterseite so umfasst wird, wie es der darüber befindliche Querschnitt $m'n'$ zeigt. Der Kasten m kann daher durch die Schraube a von rechts nach links oder umgekehrt verschoben werden und wird dabei in seiner Richtung geführt nicht nur durch die schrägen Seitenschienen, sondern auch noch durch zwei, das Metallstück n der Länge nach durchbohrende Stahlcylinder, welche mit m fest verbunden sind. Eine die Schraube a (auf der rechten Seite in der Figur) umwindende Spiralfeder presst das Stück n , die Schraubenmutter von a , gegen die eine Seite des Gewindes der Schraube, wodurch, selbst wenn letztere durch langen Gebrauch stark abgenutzt sein sollte, jeder »tote Gang« vermieden wird. Auf m ist nun der zweite senkrecht dazu bewegliche Schlitten befestigt, der genau die Construction des ersteren besitzt, daher dessen Querschnitt (m' der von vorn nach hinten und umgekehrt verschiebbare Rahmen, n' das auf m festgeschraubte Stück, a' die Schraube) zugleich zur Erläuterung des unteren dient; zu beiden Seiten der Schraube a' erblickt man auch im Querschnitt die beiden derselben parallelen Stahlcylinder, welche die Führung des Gleitens von m' bewirken. Dieses letztere trägt nun die Justirvorrichtung, welche die Drehung des Krystallträgers in zwei auf einander senkrechten Ebenen durch Gleiten zweier Schlitten, deren Gestalt ein Kreissegment ist, in Schienen von derselben Form erzielt. Die Schienen, r die untere in der Längsansicht, r' die obere im Querschnitt, umfassen die beiden Seitenränder des Schlittens, t der untere, t' der obere, von oben und unten in Form einer doppelten Rinne, wie aus dem Querschnitt des oberen Theils deutlich ersichtlich ist. Die beiden Schlitten sind nun an ihrer Unterseite in der Mittelzone von einem Ende bis zum andern gezähnt, so dass diese Zone gleichsam ein Stück eines Zahnrades bildet, in dessen Zähne das Gewinde einer horizontalen Schraube (x , resp. y , letztere nur im kreisförmigen Querschnitt sichtbar) eingreift, welche ohne Ortsveränderung in der Schiene drehbar ist, und durch deren Drehung das Kreissegment folglich in jener verschoben wird. Da der Kreisbogen eines solchen Segmentes etwa einem rechten Winkel entspricht, so sieht man leicht ein, dass dasselbe um etwa 40° nach rechts oder links gedreht werden kann, ohne dass die Stabilität des Krystallträgers gefährdet ist; diese Weite der Grenzen, innerhalb deren man den Krystall neigen kann, hat aber den grossen Vortheil, dass man zwei Flächen noch immer zu justiren im Stande ist, selbst wenn man sie, weil ihre Kante nicht sichtbar (zerbrochen oder durch andere Flächen weggenommen), sehr schief auf den Krystallträger aufgesetzt hatte. Beide Segmente haben einen gemeinsamen Drehungspunkt, welcher so hoch über dem Krystallträger u liegt, dass man die zu messende Kante eines kleinen, wie eines ziemlich grossen Krystalls leicht in jene Höhe bringen kann, in welcher er

seinen Ort beim Justiren nicht mehr wesentlich ändert. In den oberen Schlitten ist ein kreisrundes Loch eingebohrt, in welchem der Fuss des horizontalen Tischchens *u*, auf das der Krystall mit Wachs aufgesetzt wird, durch eine kleine Schraube *v* festgehalten ist. Um auch in den Justirschrauben jeden todtten Gang zu vermeiden, werden dieselben durch eine horizontale Feder gegen das Schraubengewinde der Schlitten angepresst; den Querschnitt der zu *x* gehörigen und mit *r* vorn und hinten verbundenen Feder sieht man in Fig. 574 unter dem linken Ende der Schraube *x*. Noch besser sind diese Federn sichtbar in der, zugleich zur Verdeutlichung der vorstehenden Beschreibung zu vergleichenden Ansicht Fig. 575.

Fig. 575.



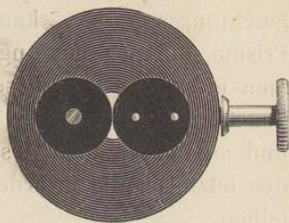
Betreffs der Kreistheilung des Instrumentes ist noch anzuführen, dass dieselbe auf einer schräg nach aussen abfallenden conischen Fläche angebracht ist und in einer Ebene liegt mit den beiden auf *d* befindlichen Nonientheilungen. Beide Theilungen sind durch eine ringsum laufende Messingkappe (in Fig. 575 mit *K* bezeichnet), welche unten mit *d* fest verbunden ist, verdeckt und so gegen Verunreinigungen geschützt. An der Stelle der beiden Nonientheilungen sind in diesen Schutzring rectanguläre Fenster eingeschnitten und durch ebene Glasplatten geschlossen. Durch

die letzteren hindurch erfolgt die Ablesung mittelst zweier diametraler Lupen, welche mit je einem halbeylindrischen Hornblatt behufs Zerstreuung des durch einen kleinen Spiegels *s* (s. die Ansicht Fig. 575) auf die Theilung geworfenen Lichtes versehen sind; durch einen Träger steht jede Lupe mit einem den Stativtheil *o* umfassenden Ringe in Verbindung, welcher drehbar ist, so dass man die Lupe längs der Nonientheilung verschieben kann.

Durch den Arm *C* ist fest mit dem Stativ verbunden das Collimatorrohr, welches an der den Krystallen zugewandten Seite eine achromatische Linse trägt, in deren Brennpunkt die verschiedenen Signale durch Einschieben derselben am anderen Ende des Rohres gebracht werden können. Es sind dies die folgenden:

a) Der sogenannte Websky'sche Spalt (s. Fig. 576 in natürl. Grösse), welcher aus zwei, vor einer kreisrunden Oeffnung angebrachten und durch eine Schraube bis zur Berührung verschiebbaren, kreisförmigen, geschwärzten Metallscheiben besteht; diese Vorrichtung vereinigt die Vortheile eines engen und eines weiten Spaltes, da die Verengerung in der Mitte des hellen Bildes eine sehr genaue Einstellung gestattet, andererseits Licht genug durch den Spalt hindurchgeht, um auch bei der Reflexion von sehr kleinen oder unvollkommenen Flächen noch den oberen und unteren Theil als zwei helle Flecke erscheinen zu lassen, welche wenigstens eine approximative Einstellung ermöglichen.

Fig. 576.

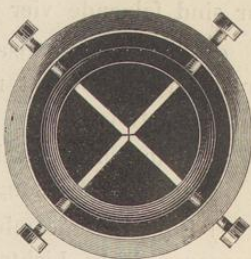


b) Ein geradliniger Spalt, wie er besonders bei der Messung von Brechungsexponenten benutzt wird, durch eine Schraube von der totalen Berührung der beiden Schneiden bis zur Breite von $1\frac{1}{2}$ mm verstellbar.

c) Eine runde Oeffnung von 0,5 mm Durchmesser, welche dazu dient, geringe Abweichungen von Flächen aus der Zone oder die Gruppierung der mehrfachen Reflexe geknickter, aus mehreren Facetten bestehender Flächen zu bestimmen.

d) Das sogenannte Schrauf'sche Signal (s. Fig. 577, nat. Gr.), welches vortheilhaft an Stelle des früher verwendeten Fadenkreuzes (s. S. 558) in hellem Felde gesetzt wird, weil letzteres das Auge sehr ermüdet. Dasselbe besteht aus einem unter 45° gerichteten Kreuzspalt, in dessen Mitte sich ein aufrechtes Fadenkreuz befindet, welches bei der Reflexion an sehr vollkommenen Flächen auch im Spiegelbilde erkennbar ist und die genaueste Einstellung gestattet. Das Signal hat nun den weiteren Vortheil vor dem gewöhnlichen Fadenkreuz, dass es auch verwendbar ist, wenn die zu messenden Krystallflächen nicht so vollkommen

Fig. 577.



und so gross sind (und dies ist der bei weitem häufigste Fall), dass das von ihnen gespiegelte Bild das feine Fadenkreuz noch erkennen lässt: man stellt alsdann auf die Mitte des hellen Kreuzes ein, was offenbar, wenn das Bild einigermaassen scharf ist, immer noch mit ziemlicher Genauigkeit bewerkstelligt werden kann (s. A. Schrauf, Zeitschr. f. Kryst. 3, 356).

Vor das jedesmalige Signal wird, um es zu beleuchten, ein Argand'scher Gasbrenner oder eine Petroleumlampe gesetzt, deren Licht durch einen passenden Schirm vom Beobachter abgehalten wird, so dass dasselbe nur auf das Signal fällt. Eine weit grössere Helligkeit des letzteren erhält man durch Concentration des Lichtes mittelst einer Beleuchtungslinse; zu diesem Zwecke wird ein mit einem seitlichen Fenster versehenes Rohr, welches vorn eine Linse von etwas grösserem Durchmesser, als das Objectiv des Collimators, enthält, vor dem Signal aufgesteckt; die Lampe wird so vor die Beleuchtungslinse gestellt, dass gerade auf dem Signal ein scharfes umgekehrtes Flammenbild entsteht, was man durch das seitliche Fenster des Rohres zu beobachten im Stande ist. In das Rohr dieses Beleuchtungsapparates kann vor dem Aufstecken desselben ein Nicol'sches Prisma (bei der Messung der Brechungsexponenten doppeltbrechender Prismen erforderlich) eingeschoben und auch nach dem Aufstecken (durch das Fenster) um die Axe des Rohres gedreht werden; durch Marken an letzterem und an der Fassung des Nicols ist es ermöglicht, hierbei dem Hauptschnitt des letzteren die erforderliche Stellung mit genügender Genauigkeit zu verleihen.

Das Beobachtungsfernrohr L ist, wie schon erwähnt, durch den horizontalen Arm, auf welchem die Säule B ruht, fest mit dem Nonienkreise verbunden. Vor dem Objectiv, welches aus einer, dem Objectiv des Collimators ähnlichen achromatischen Linse besteht, kann eine in einen Anschlag fallende Lupe vorgeschlagen werden; damit wird das Fernrohr in ein schwach vergrösserndes Mikroskop umgewandelt, durch welches man den auf dem Träger u befindlichen Krystall erblickt und daher im Stande ist, die Centrirung der zu messenden Kante durch Einstellung auf das Fadenkreuz des Oculars sehr genau vorzunehmen. Dem Beobachtungsfernrohr sind folgende vier verschiedene Oculare beigegeben:

α) Eine achromatische Doppellinse, welche eine sechs- bis siebenfache Vergrösserung bewirkt und daher eine sehr genaue Einstellung des Signalbildes gestattet.

β) Eine achromatische Doppellinse mit dreifacher Vergrösserung, welche für die meisten Messungen ausreicht und daher häufiger verwendet wird.

γ) Eine Linsencombination, welche kaum zweimal vergrössert und daher wegen ihrer Lichtstärke bei schwachen und gestörten Reflexen mit Vortheil verwendet wird.

δ) Zwei Linsen, von denen eine vor das Objectiv gesetzt wird; diese Combination bewirkt eine Verkleinerung des Signalbildes um das dreifache

und lässt im dunklen Raume und bei guter Abblendung noch die Reflexe der allerkleinsten, nur mit der Lupe sichtbaren Flächen erkennen.

Jedes der Rohre, in welchen sich diese Oculare befinden, kann in das Objectivrohr *L* eingeschoben werden, und damit seine richtige Stellung in demselben jedesmal rasch gefunden werde, ist es mit einem Klemmring umgeben, welcher eine vorspringende dreieckige Nase besitzt; der Ring ist durch eine Schraube so auf dem Ocularrohr festgeklemmt, dass letzteres richtig eingeschoben ist, wenn die Nase des Ringes in einen ihr entsprechenden Kerb des Objectivrohres genau passt. Ebensolche Klemmringe tragen zu demselben Zwecke auch die in den Collimator einzuschiebenden Rohre mit den verschiedenen, S. 565 erwähnten Signalen.

Ueber die Prüfung und Justirung des vorbeschriebenen Instrumentes s. M. Websky, Zeitschr. f. Kryst. 4, 545 f.

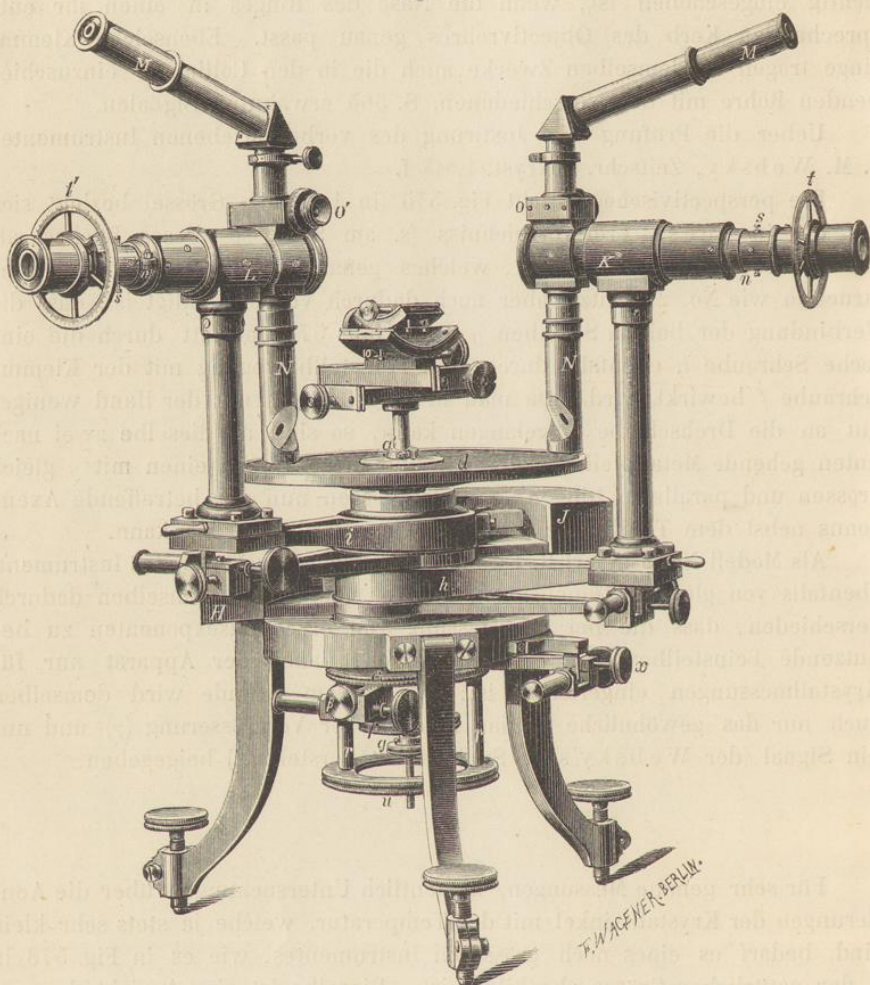
Die perspectivische Ansicht Fig. 575 (in $\frac{1}{3}$ natürl. Grösse) bezieht sich auf das in Fuess' Preisverzeichniss (s. am Schlusse dieses Buches) als No. 2a bezeichnete Goniometer, welches genau dieselbe Grösse und Construction wie No. 2 besitzt, aber noch dadurch vervollständigt ist, dass die Verbindung der beiden Scheiben *g* und *i* (Fig. 574), anstatt durch die einfache Schraube *l*, ebenfalls durch eine Feinstellbewegung mit der Klemmschraube *f* bewirkt wird. Da man in Folge dessen mit der Hand weniger gut an die Drehscheibe *g* gelangen kann, so sind an dieselbe zwei nach unten gehende Metallpfeiler angesetzt, und diese tragen einen mit *g* gleich grossen und parallelen Ring *g'*, mittelst dessen nun der betreffende Axenconus nebst dem Theilkreise sehr bequem gedreht werden kann.

Als Modell No. 3 liefert R. Fuess ein einfacher ausgerüstetes Instrument, ebenfalls von gleichen Dimensionen wie No. 2, aber von demselben dadurch verschieden, dass die bei der Messung von Brechungsexponenten zu benutzende Feinstellbewegung α weggelassen, daher der Apparat nur für Krystallmessungen eingerichtet ist; aus diesem Grunde wird demselben auch nur das gewöhnliche Ocular mit 2facher Vergrösserung (γ) und nur ein Signal (der Websky'sche Spalt, nicht verstellbar) beigegeben.

Für sehr genaue Messungen, namentlich Untersuchungen über die Aenderungen der Krystallwinkel mit der Temperatur, welche ja stets sehr klein sind, bedarf es eines noch grösseren Instrumentes, wie es in Fig. 578 in $\frac{1}{5}$ der natürlichen Grösse abgebildet ist. Dieselbe ist eine Ansicht des von Fuess als Modell No. 4 gelieferten grossen Goniometers, während Fig. 579 den mittleren Theil im Durchschnitt darstellt. Zwischen Dreifuss und Kreis befindet sich ein fest mit dem Stativ des Goniometers verbundener, verhältnissmässig hoher und starker Metallcylinder *a*, welcher von den inneren Axen durchbohrt wird. Um diese Hülse drehen sich, der eine über dem andern und durch Rinnen geführt, zwei Ringe, deren jeder nach einer

Seite einen horizontalen Arm (*i*, resp. *h*), an welchem auf einer Säule ein Fernrohr ruht, nach der andern ein Gegengewicht (*J* und *H*) trägt. Die beiden Fernröhre *K* und *L* sind daher ganz von einander unabhängig beweglich und können in jede beliebige Stellung gebracht (zu welchem Zwecke die Fernrohrträger mit kleinen Handhaben versehen sind) und durch Klemmschrauben darin fixirt werden; eine bestimmte Stellung eines jeden der-

Fig. 578.

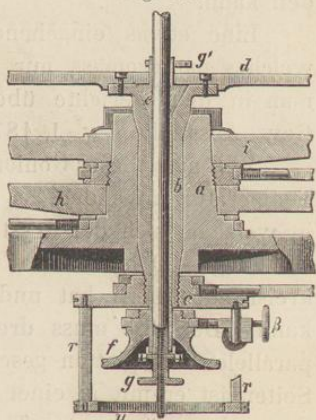


selben kann ferner durch eine Feinstellschraube (die am linken Fernrohr befindliche ist in der Figur dem Beobachter zugekehrt) in beliebiger Schärfe hergestellt werden. Hierdurch ist man im Stande, mit dem Instrument alle Arten von optischen Untersuchungen anzustellen, bei denen es sich um Bestimmung der Richtung von auffallenden, reflectirten oder gebrochenen Strahlen handelt; um hierbei auch polarisirtes Licht anwenden zu können,

ist auf das Ocular jedes Fernrohrs ein um seine Axe drehbares Nicol'sches Prisma mit einem kleinen Theilkreis, der die Stellung des ersteren anzeigt, aufzustecken. Die Oculare, wie die Signale und der Beleuchtungsapparat dieses Instrumentes sind die entsprechenden, wie bei Modell 2, nämlich a, b, d und α, β, γ (s. S. 565, 566), und werden in derselben Weise je nach Bedarf in die Objectivrohre eingeschoben; die Klemmringe n , welche hierbei die richtige Stellung angeben, sind in Fig. 578 deutlich sichtbar, derjenige des Fernrohrs L mit der Seite, an welcher die Klemmung mittelst eines Schlüssels ausgeführt wird.

Durch die oben erwähnte cylindrische Hülse a , um welche sich die Fernrohrträger drehen, geht nun zunächst eine hohle, oben und unten conische Axe b (s. Fig. 579). Diese trägt oben den horizontalen Theilkreis d ; ihre Bewegung wird mittelst der obersten und grössten c der drei zwischen den Füßen des Goniometers befindlichen Scheiben oder, noch bequemer, mittelst der durch die Pfeiler r damit fest verbundenen Scheibe u ausgeführt. Diese Drehung wird bei einer Krystallmessung benutzt, und kann die betreffende Axe durch die Schraube x geklemmt und mit der zugehörigen Feinstellschraube fein gestellt werden. In dieser Axe steckt concentrisch eine zweite e , ebenfalls hohl (der Axe h in der Fig. 574 entsprechend) und durch die zweite kleinere Scheibe f von unten her zu bewegen; auch hier kann eine feine Einstellung durch Anziehen der Klemmschraube β und Drehung der zugehörigen Mikrometerschraube erfolgen. Diese Axe trägt oben die Centrir- und Justirvorrichtung, welche gleich der vorher beschriebenen ist, nur dass auf dieselbe nach Erforderniss auch ein grösseres Tischchen aufgesetzt werden kann. Sie kann ebenso wie bei dem Instrument Fig. 574 in das erforderliche Niveau gebracht werden dadurch, dass die letzte und innerste Axe, auf der sie befestigt ist, unten ein Schraubengewinde trägt, welches durch Drehen des untersten in Fig. 578 u. 579 sichtbaren Knopfes g auf und nieder bewegt wird. Die Ablesung geschieht bei diesem grossen Instrumente durch zwei Mikroskope, welche mit den Fernröhren fest verbunden sind. Der untere, senkrechte Theil derselben N enthält das Objectiv, auf welches das Licht von der Theilung durch eine Oeffnung in der schrägen weissen Fläche fällt; letztere dient dazu, die Theilung zu beleuchten, indem sie das Licht einer seitlich aufgestellten Lampe zerstreut reflectirt. Die Strahlen passiren dann das Innere des Fernrohrs und über demselben einen Kasten o , an welchem eine Mikrometerschraube o' befestigt ist; alsdann werden sie durch ein totalreflectirendes Prisma abgelenkt und gehen endlich durch den schräg gerichteten, das Ocular enthaltenden

Fig. 579.



Theil *M*, welcher, auf dem senkrechten Theile drehbar, in jede dem Beobachter bequeme Richtung gebracht werden kann. Dieser erblickt nun im Mikroskop ausser der Theilung des Kreises *d* noch einen in der Bildebene befindlichen und durch die Mikrometerschraube *o'* beweglichen Doppelfaden, dessen Ort auf der Theilung dadurch bestimmt wird, dass man denselben durch Drehen von *o'* auf den vorhergehenden Theilstrich zurück verschiebt. Da der Abstand der Theilstriche auf dem Kreise 40' beträgt, die Trommel *o'* aber in 60 Theile getheilt ist, so entspricht die Drehung der Trommel um einen Strich einer Verschiebung des Fadens um 40", und da die Zehntel eines Theiles auf der Trommel noch geschätzt werden können, so vermag man mit diesem Instrumente die einzelnen Secunden abzulesen. Es leuchtet aus der Beschreibung des Apparates ein, dass mit dieser Genauigkeit sowohl der Winkel zwischen den beiden Fernröhren, resp. die Grösse einer mit denselben ausgeführten Drehung, als auch der Winkel, um welchen, bei fester Stellung der Fernröhre, der Kreis *d* mit einem darauf befestigten Krystall gedreht worden ist, gemessen werden kann.

Eine etwas eingehendere Beschreibung dieses grossen Goniometers, welches naturgemäss nur verhältnissmässig selten gebraucht wird, findet man in dem Berichte über die wissenschaftlichen Instrumente der Berl. Gew.-Ausstellung v. J. 1879 (Berlin 1880), S. 321 f.

Will man dieses Goniometer zur Messung von Krystallwinkeln in höherer Temperatur anwenden, so muss man mit demselben ein Luftbad verbinden, in welchem sich der Krystall befindet. Man kann hierzu einen Metallkasten von 40 — 50 mm Höhe verwenden, dessen Boden in der Mitte ein kreisrundes Loch hat und der durch einen Deckel geschlossen werden kann. Derselbe muss drei Fenster, d. h. kurze Ansatzröhren mit planparallelen Glasplatten geschlossen, besitzen. Nach zwei gegenüberliegenden Seiten ist er mit je einer am Ende geschlossenen Metallröhre in Verbindung, deren äusserster Theil durch Gasflammen erhitzt wird, bis der ganze Innenraum eine constante Temperatur angenommen hat, welche durch zwei Thermometer gemessen wird, die durch den Deckel hineinreichen. Den Erhitzungskasten legt man mit beiden Enden auf je eine Gabel eines eisernen Stativs, an welchem zugleich ein Bunsen'scher Brenner befestigt ist, so auf, dass die Oeffnung in dem Boden des Mittelraums sich unmittelbar über der Centrir- und Justirvorrichtung befindet. Auf letztere wird statt des Tischchens eine kleine verticale Messingpincette zum Halten des Krystalls angeschraubt, welche sich zum grösseren Theile im Innern des Kastens befindet, so dass der Krystall gerade in dessen Mitte durch die beiden gegenüberliegenden Fenster gesehen werden kann. Um die zur ungehinderten Drehung nothwendig weite Oeffnung an der Unterseite des Luftbades möglichst zu schliessen, dient ein kreisförmiges Metallplättchen, welches halbirt und mit Charnier wie eine Scheere geschlossen werden kann; dasselbe hat in der Mitte ein Loch von dem Durchmesser des Stiels

der Pincette und verschiebt sich mit dieser, wenn es um dieselbe herumgelegt worden ist. Zur Krystallmessung stellt man das eine Fernrohr senkrecht auf die Glasscheibe des hinteren Fensters, das andere normal zu dem seitlich gelegenen vorderen; alsdann bilden beide einen Winkel von 135° mit einander, und bei passender Stellung einer Krystallfläche wird das Bild des Fadenkreuzes des hinteren Fernrohrs, von derselben reflectirt, in das vordere gelangen. Denselben Apparat kann man auch dazu benutzen, die Brechungsexponenten eines in höherer Temperatur befindlichen Prismas zu bestimmen. Giebt man demselben nämlich einen so grossen Winkel, dass die im Minimum dadurch hervorgebrachte Ablenkung etwa 45° beträgt, so kann man, durch die beiden gegenüberliegenden Fenster blickend, das directe Bild des am hinteren Fernrohr angebrachten Spaltes und durch das seitliche Fenster das abgelenkte Bild desselben im Beobachtungsfernrohr einstellen.

Ueber die Ausführung von Messungen mit diesem grossen Apparate bei verschiedenen Temperaturen siehe namentlich A. Arzruni, Zeitschr. f. Kryst. 1, 169; L. Calderon, ebenda 4, 505; J. Beckenkamp, ebenda 5, 440 und 6, 450; A. Schrauf, ebenda 9, 435.

Anmerkung: Ein kleines, aber für gewöhnliche Krystallmessungen ausreichendes Goniometer mit zwei Fernröhren bildet zugleich einen Theil des in §. 117—120 beschriebenen krystallographisch-optischen Universalapparates, s. §. 120.

§. 113. Methode der Messung mit dem Reflexionsgoniometer.

Die Genauigkeit der Messung einer Krystallkante hängt hauptsächlich ab von der Beschaffenheit der sie bildenden Flächen; sind diese uneben, gebrochen oder wenig spiegelnd*), so kann auch das genaueste Instrument den Beobachter nicht zu einer andern als einer approximativen Kenntniss der Winkel verhelfen, die nur dadurch der Wahrheit mehr genähert wird, dass Derselbe eine grössere Zahl von Krystallen untersucht und das Mittel

*) Es versteht sich von selbst, dass die Krystalle in sorgfältig gereinigtem Zustande auf das Goniometer gebracht werden müssen. Sind die Flächen derselben nicht vollkommen rein, so reibt man sie trocken oder mit Alkohol in einer Falte vom weichsten Putzleder und fasst sie dann an einer Stelle, welche zur Messung nicht benutzt werden soll, mit der Spitze eines kleinen Kegels von gelbem Wachs, das man durch Kneten mit den Fingern zuvor möglichst weich gemacht hat. Dieser Wachskegel wird dann auf den Krystallträger des Instrumentes aufgesetzt; derselbe muss daher, wenn der Krystall schwer ist, ziemlich massig sein, um Senkungen des letzteren zu vermeiden. Bei sehr genauen Messungen grösserer Krystalle ist es jedenfalls zu empfehlen, als Unterlage Siegelack zu nehmen, auf welchem die Befestigung mit wenig Wachs vorgenommen wird, oder nach dem Aufsetzen bis zur Vornahme der Messung einige Zeit zu warten. Bei der Messung kleiner Flächen ist es vorthailhaft, das Wachs durch eingekneteten Russ zu schwärzen, da das von dem hellen Wachskegel in das Gesichtsfeld geworfene zerstreute Licht bei der Einstellung sehr lichtschwacher Reflexe einigermaassen stört.

aus den Resultaten zieht. Trotzdem muss der Beobachter es sich stets zur Vorschrift machen, alle Fehler, welche durch mangelhafte Centrirung, Justirung und dergl. hervorgebracht werden können, so weit zu vermeiden, dass die erhaltenen Resultate so genau sind, als es bei der Beschaffenheit der Flächen nur irgend möglich ist.

Im Folgenden sollen nun die verschiedenen zur Messung gehörigen Manipulationen und die bei denselben möglichen Fehler behandelt werden.

1) Wahl des Signales. Die Wahl desjenigen leuchtenden Objectes, dessen Bild von den Krystallflächen reflectirt werden soll, muss ganz von deren Beschaffenheit abhängig gemacht werden. Das vortheilhafteste ist, wie schon früher bemerkt, das Fadenkreuz eines zweiten Fernrohrs, aber dieses lässt sich nur bei sehr vollkommenen Flächen anwenden. Bei Weitem in den meisten Fällen erhält man kein Reflexbild desselben von den Flächen und muss sich daher nach einem lichtstärkeren Object umsehen. Als solches ist bei den S. 553 f. beschriebenen kleinen Instrumenten zu empfehlen ein durch eine Gasflamme beleuchteter kreuzförmiger Schlitz in genügender Entfernung (s. S. 575); hierbei muss aber ein dunkles Zimmer zur Verfügung stehen und womöglich auch die Ablesung des Instrumentes bei künstlicher Beleuchtung stattfinden (s. S. 558 Anmerk.). Will man das letztere vermeiden, so kann man an einem Fenster in 6—8 m Entfernung vom Goniometer einen schwarzen Schirm mit einer kreisförmigen Oeffnung anbringen und auf diese einstellen. Doch müssen alsdann die Krystallflächen schon ziemlich gross und gut spiegelnd sein, um bei Tageslicht ein genügend helles Bild im Fernrohr erkennen zu lassen.

Je kleiner das Bild des leuchtenden Objectes ist, desto besser gestattet es ein Urtheil über die Beschaffenheit der spiegelnden Fläche; ist diese nicht ganz eben, so erblickt man im Fernrohr mehrere Bilder des Objectes, oder ein verwaschenes, in die Länge gezogenes oder sonstwie entstelltes Bild. Es ist zu empfehlen, bei jeder Einstellung eines Reflexbildes dessen Beschaffenheit bei der Ablesung zu notiren; dies kann am kürzesten durch eine der Fläche ertheilte Censur (a, b, c) geschehen; zwei nahe gleich helle Bilder sind einzeln einzustellen und abzulesen. Hierdurch ist man im Stande, bei Herleitung der Endresultate die einzelnen Zahlen mit Rücksicht auf ihre Zuverlässigkeit zu benutzen.

Die in §. 442 beschriebenen Goniometer mit horizontalem Kreise bedürfen keiner Distanz zur Aufstellung des Signals, da dieses sich im Collimatorrohr befindet und durch eine dicht vor letzteres zu stellende Lampe beleuchtet wird. Von den bereits S. 565 besprochenen Signalen dient dasjenige mit der kleinen kreisrunden Oeffnung nur dazu, sehr kleine Knickungen und sonstige Unvollkommenheiten der spiegelnden Fläche zu erkennen, und ist wegen der Kleinheit des Bildes, wie aus dem Vorhergesagten hervorgeht, hierzu ganz vorzüglich geeignet. Zu den eigentlichen Messungen bedient man sich entweder des Websky'schen Spaltes oder des Schrauf'schen Signales, über welche S. 565 das Nöthige gesagt ist.

Ehe man die Messung beginnt, hat man das Ocular des Beobachtungsfernrohrs so einzustellen, dass das Object, sei es eine entfernte beleuchtete Oeffnung, sei es das Fadenkreuz oder der Spalt des andern Fernrohrs, direct gesehen ganz scharf erscheint, ebenso das Fadenkreuz des Beobachtungsfernrohrs, und dass beide bei einer Bewegung des Auges sich gar nicht gegen einander verschieben, d. h. dass das Bild des Objects und das Fadenkreuz genau in einer Ebene liegen.

Centrirung. Um diese vorzunehmen, muss der Krystall selbst, resp. die zu centrirende Kante, in dem auf die Axe des Goniometers gerichteten Beobachtungsfernrohre sichtbar gemacht werden. Bei den kleinen S. 553f. beschriebenen Instrumenten geschieht dies einfach dadurch, dass man das Ocularrohr des Fernrohrs entfernt, dessen Objectiv alsdann wie eine Lupe wirkt, durch welche man den Krystall erblickt und somit sehen kann, ob die zu messende Kante bei der Drehung an ihrem Orte verbleibt (s. S. 554). Bei dem vollkommneren, in §. 112 behandelten Goniometern wird die Vorschlaglinse (s. S. 566) bis zum Anschlag herabgedrückt und dadurch das Fernrohr in ein Mikroskop verwandelt, welches auf den Krystall eingestellt ist.

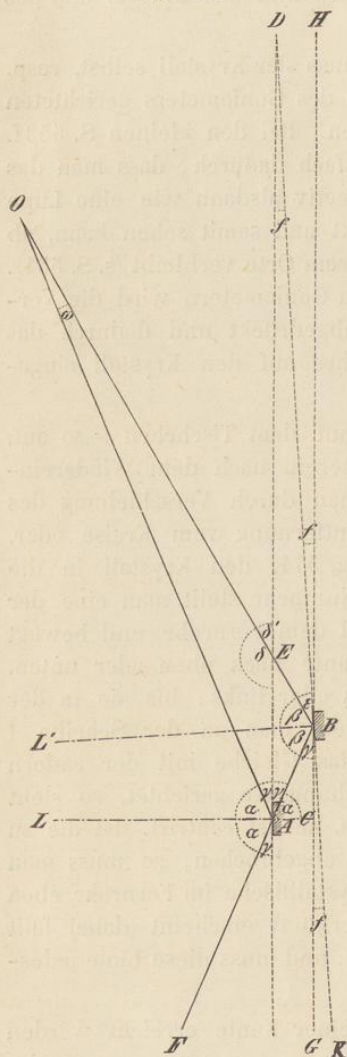
In allen Fällen setzt man den letzteren auf dem Tischchen *u* so auf, dass die zu messende Kante schon von vornherein nach dem Wiedereinsetzen nahezu centirt ist; alsdann bringt man durch Verschiebung des Fernrohrs *f* Fig. 573 dieses in die gleiche Entfernung vom Kreise oder, bei den horizontalen Instrumenten, z. B. Fig. 574, den Krystall in die richtige Höhe durch Drehen der Scheibe *k*. Nunmehr stellt man eine der beiden Centrirschrauben (*y* Fig. 573*) parallel dem Fernrohr und bewegt durch die zweite die zu centrirende Krystallkante nach oben oder unten, bei den horizontalen Instrumenten nach rechts oder links, bis sie in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheint; alsdann dreht man an der Scheibe *A* Fig. 573 (*i* Fig. 574) um 90° und wiederholt das Gleiche mit der andern Schraube; ist das Fernrohr genau auf die Drehungsaxe gerichtet, so steht nunmehr die Kante im Gesichtsfelde still, d. h. sie ist centirt. Ist die zu messende Kante jedoch nicht ausgebildet oder abgebrochen, so muss man jedesmal die Axe so weit drehen, dass die Krystallfläche im Fernrohr eben verschwindet, d. h. zu einer geraden Linie verkürzt erscheint (dabei fällt die Fernrohraxe in die Ebene der Krystallfläche), und muss diese Linie jedesmal in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen.

Mit welcher Genauigkeit die Centrirung einer Kante erreicht werden muss, darüber erhält man am besten Rechenschaft, wenn man untersucht, welchen Einfluss auf das Resultat der Messung eine ungenaue Centrirung ausübt.

*) Noch besser sind diese beiden Schrauben mit den durch sie zu verschiebenden parallelepipedischen Kästen zu sehen in Fig. 575.

Sei in Fig. 580 A ein Punkt der reflectirenden Krystallfläche, deren Durchschnittsrichtung mit der Ebene, in welcher die Reflexion stattfindet, AD ; sei O das leuchtende Object, OA der unter dem Winkel α auffallende Lichtstrahl, AF der in das Fernrohr reflectirte; ausserdem reflectiren auch

Fig. 580.



die andern Punkte der Fläche, so dass divergente Strahlen auf das Objectiv des Beobachtungsfernrohrs auffallen; diese werden aber alle zu einem Bilde von O vereinigt, da ihre Richtung so ist, als ob sie alle herkämen von einem Punkte, der symmetrisch zu O in Bezug auf die Spiegelebene liegt. Demnach ist es gleichgültig, an welcher Stelle innerhalb der Ebene AD die reflectirende Fläche liegt; das Bild wird auch an derselben Stelle im Fernrohr zu Stande kommen, wenn es von der andern Fläche (nach der Drehung) reflectirt wird, wenn diese nur parallel AD und zugleich in dieselbe Ebene, nicht rechts oder links, fällt. Ist dagegen der letzten Bedingung nicht genügt, so ist das virtuelle Bild von O hinter dem Spiegel jetzt an einem andern Ort, also auch die Richtung der von ihm herkommenden Strahlen, d. h. die Stellung seines Bildes im Fernrohr eine andere, und es muss die Krystallfläche um einen Winkel vor oder zurück gedreht werden, um dieselbe Einstellung zu erhalten. Um so viel aber, als diese Drehung beträgt, wird das Messungsergebnis falsch, da der gesuchte Kantenwinkel gleich ist dem Winkel, um welchen man den Krystall drehen muss, damit die zweite Krystallfläche derjenigen Ebene, in welcher sich vorher die erste befand, parallel wird. Sei nun B Fig. 580 ein Punkt der zweiten Krystallfläche, BD deren Lage, nachdem der Krystall so weit gedreht worden ist, bis das reflectirte Bild von O im Fernrohr

an derselben Stelle (Mitte des Fadenkreuzes) erscheint, wie vor der Drehung das von der ersten Fläche zurückgeworfene, d. h. bis die Richtung BF mit AF zusammenfällt; sei ferner $GH \parallel AD$, so ist offenbar die Differenz der abgelesenen Drehung und des gesuchten Winkels, d. h. der Fehler des Resultats = dem Winkel f , welchen die beiden Ebenen AD

und BD mit einander bilden. Dessen Grösse ergiebt sich auf folgende Weise:

Da $\delta' = \varepsilon + f$ zugleich der Aussenwinkel des Dreiecks AEO , so ist

$$\gamma + \omega = \varepsilon + f,$$

und da

$$\varepsilon = \gamma + f$$

(weil $KBL' = \gamma + f + \beta = L'BD = \varepsilon + \beta = 90^\circ$), so ist

$$\omega = 2f.$$

Da ferner

$$AB = \frac{AC}{\sin \gamma}$$

und da im Dreieck ABO

$$\sin \omega = \frac{AB \cdot \sin 2\gamma}{BO} = \frac{AC}{\sin \gamma} \cdot \frac{\sin 2\gamma}{BO},$$

so ist, weil $\sin 2\gamma = 2 \sin \gamma \cdot \cos \gamma$,

$$\sin \omega = \frac{AC}{BO} \cdot 2 \cos \gamma.$$

Hieraus sieht man, dass der Fehler f , d. i. $\frac{\omega}{2}$, um so kleiner wird, je grösser BO , d. h. die Entfernung des Objects vom Krystall; benutzt man also, wie es bei den kleinen Goniometern Fig. 573 geschieht, eine erleuchtete Oeffnung in einem dunklen Schirme als Object, so hängt es von deren Entfernung ab, wie gross f wird; ferner von dem Winkel γ , denn ω , also auch f , wächst mit abnehmendem γ (gewöhnlich stellt man das Fernrohr so, dass $\gamma = 30^\circ - 40^\circ$). Sei z. B. der Abstand AC der beiden Ebenen, in welche wegen unvollkommener Centrirung die eine und die andere Krystallfläche zu liegen kommen, = 1 Millimeter, der Abstand der Flamme = 5 Meter, $\gamma = 30^\circ$, so wird der entstehende Fehler $f = 0' 36''$; setzt man dagegen die Flamme auf eine Entfernung von 10 Meter, so wird, bei sonst gleichen Verhältnissen, $\omega = 0' 36''$, d. h. $f = 0' 18''$. Man hat also wöglich die Flamme so entfernt aufzustellen, als es die Flächenbeschaffenheit gestattet, um noch ein deutliches Reflexbild zu erhalten. Hält man an Stelle des Krystalls eine beleuchtete Millimeterskala, so kann man ein für allemal bestimmen, der wie vielte Theil des Gesichtsfeldes (nach Entfernung des Oculars) einem Millimeter entspricht, und kann unter Berücksichtigung der Gestalt des Krystalls nach Obigem leicht, wenn derselbe aufgesetzt ist, beurtheilen, ob die erreichte Centrirung noch Fehler von störender Grösse hervorbringen kann. Habe man z. B. ein rhombisches Prisma, dessen beide Flächenpaare, das eine 2, das andere 3 Millimeter gegenseitigen Abstand haben, so kann man getrost die Mitte desselben centriren und, ohne neu zu centriren, alle vier Winkel messen, denn es ist klar, dass alsdann die Ebenen, in welche beim Drehen die verschiedenen Flächen zu liegen kommen, nicht weiter von einander abstehen können, als $\frac{1}{2}$ Millimeter; bei 10 Meter Flammendistanz giebt dies nur einen Fehler von ca. $9''$, ja selbst bei 5 Meter Abstand würde derselbe in den meisten Fällen noch weit geringer sein, als die aus Unvollkommenheiten der Flächen entstehenden, nämlich $18''$. Würden die Flächen einer Zone zufällig alle

genau gleich weit von der Mitte des Krystalls abstehen, so wäre der Fehler bei der Centrirung dieser Mitte für die Messung aller ihrer Kantenwinkel absolut gleich Null.

Da der aus einer Excentricität der zu messenden Kante entspringende Fehler $f = \frac{\omega}{2}$, so wird derselbe Null, wenn $\omega = 0$, d. h. wenn die auf die Krystallfläche auffallenden Strahlen parallel sind. Dies ist aber der Fall, wenn das Goniometer mit einem Collimator ausgerüstet ist, bestehend aus einer Objectivlinse, in deren Brennpunkt sich ein beleuchtetes Signal (Spalt) befindet; denn die von dem letzteren ausgehenden Strahlen treten aus dem Objective parallel aus und fallen so auf die Krystallfläche. Bei den in §. 442 beschriebenen vollständigeren Goniometern ist daher eine Centrirung der Krystallkanten eigentlich gar nicht nöthig; wenn man dieselbe trotzdem vornimmt, so geschieht es, um auch kleine, aus einem etwaigen nicht vollkommenen Parallelismus der aus dem Collimator austretenden Strahlen entstehende, Fehler zu vermeiden, hauptsächlich aber, um die spiegelnde Fläche in die Axe des Beobachtungsfernrohrs zu bringen, so dass die reflectirten Strahlen durch die Mitte des Objectives dringen und in der Focalebene ein möglichst helles und scharfes Bild hervorbringen. Zu dem Zwecke wird vor das Objectiv die Lupe vorgeschlagen, wie es in Fig. 574 dargestellt ist, und die Kante oder, wenn der Krystall nicht allzu gross ist, die Mitte der zu messenden Zone so verschoben, dass sie beim Drehen constant am senkrechten Faden des Fernrohrs bleibt, welcher die Mitte des Gesichtsfeldes bezeichnet. Nach geschehener Centrirung, welche in der S. 573 angegebenen Weise ausgeführt wird, ist die vor dem Objectiv befindliche Lupe zu entfernen, zu welchem Zwecke sie an einem Charnier beweglich ist (vergl. Fig. 575).

Justirung. Um diese zu erleichtern, ist es nothwendig, die zu messende Kante (oder Zone) schon nach dem Augenmaasse so genau wie möglich normal zum Kreise aufzusetzen; man nimmt zu diesem Zwecke das kleine Tischchen *u* Fig. 573 (nach Lösung der Schraube *v*) ab und befestigt nun mit Wachs den Krystall so, dass die Flächen der zu messenden Zone sich ungefähr im Drehungscentrum der Justirbögen (*r* Fig. 574) befinden, und deren Axe normal zum Tischchen steht, was man dadurch controlirt, dass man dasselbe gegen das Licht hält; ausserdem muss eine der vorherrschenden Flächen der betreffenden Zone so orientirt sein, dass sie ebenfalls so genau, wie es mit dem Augenmaass möglich, nach dem Aufsetzen und Festschrauben des Tisches parallel einer der beiden Justirschrauben ist, also entweder in die Ebene des Durchschnittes Fig. 574 fällt oder dazu senkrecht steht. Ist das Tischchen in dieser Weise auf dem Goniometer befestigt und sind vorher die Segmente der Justirvorrichtung in die Mittelstellung gebracht, so erhält man gewöhnlich die reflectirten Bilder beim Drehen schon in das Fernrohr, wenn sie auch (bei Anwendung des kleinen Goniometers Fig. 573) rechts oder links vom Fadenkreuz das

Gesichtsfeld passiren. Sollten sie jedoch noch ausserhalb desselben fallen, so muss man durch Sehen neben dem Fernrohr entlang unter Hin- und Herbewegung des Auges die Reflexe suchen, um zu erkennen, ob sie zu weit rechts oder links sind, und dann mit den beiden Schrauben eine erste Correction anbringen; hat man die Bilder aber einmal im Gesichtsfeld des Beobachtungsfernrohrs, so ist die genaue Justirung der Kante leicht: man stellt zuerst das von derjenigen Fläche, welche einer Justirschraube parallel ist (s. vor. S.), reflectirte Bild ein und dreht an der anderen Schraube, bis es am verticalen Mittelfaden des Fadenkreuzes steht; alsdann stellt man das Bild von einer zweiten Fläche ein und corrigirt dieses mit der ersteren Schraube, wobei die Justirung der ersten Fläche um so weniger geändert wird, je genauer sie dieser Schraube parallel ist; durch ein oder zwei kleine Nachcorrectionen gelingt es dann leicht, zu erreichen, dass die von beiden Flächen, folglich auch von allen übrigen derselben Zone, gelieferten Bilder beim Drehen genau am verticalen Mittelfaden entlang sich bewegen. Ganz ebenso verfährt man natürlich mit den Goniometern, deren Limbus horizontal ist, nur dass hier selbstverständlich die Reflexe der noch nicht justirten Flächen zu hoch oder zu tief erscheinen und die Justirung erst dann erreicht ist, wenn die Mitte des Signalbildes beim Drehen der Goniometeraxe genau am Horizontalfaden des Beobachtungsfernrohrs entlang läuft. Ist dies nur für die beiden justirten Flächen, nicht auch für die übrigen der Fall, so sind die Theile des Krystalls nicht vollkommen parallel (s. S. 537) oder die betreffende dritte, vierte, fünfte Fläche liegt überhaupt nicht in der Zone der beiden ersteren*). Eine genaue Justirung auf dem Goniometer ist daher das sicherste Mittel, um zu erkennen, ob eine Krystallfläche in der Zone zweier anderer liegt, und verwendet man zu dieser Prüfung entweder den horizontal gestellten (um 90° gedrehten) Websky'schen Spalt oder das auf S. 565 unter c) beschriebene Signal.

Messung. Sind die oben genannten Bedingungen für Justirung und Centrirung erfüllt, so kann zur Messung geschritten werden. Benutzt man eines der kleinen in Fig. 573 abgebildeten Goniometer und als Signal ein entferntes kleines helles Kreuz (s. S. 558), so stellt man das Fadenkreuz des Fernrohrs unter 45° gegen die Arme des Signals, weil bei dieser Stellung sich die Coincidenz der Kreuzungspunkte beider am genauesten erreichen lässt. Während man bei der Centrirung und Justirung mit der

*) In diesem Falle ist sie eine der justirten Zone vicinale (s. S. 542) Fläche, deren Zeichen meist sehr complicirt ist. Um dasselbe zu bestimmen, genügt es nicht, ihren Reflex auf den Verticalfaden des Fadenkreuzes einzustellen (welchen er über oder unter der Mitte passirt), da man auf diesem Wege nicht den wahren Bogenabstand der Fläche von der nächsten der justirten Zone, sondern eine Projection dieses Bogens auf die Ebene des justirten Zonenkreises erhalten würde. Es ist daher nöthig, auch noch die Abweichung des Reflexes von dem letzteren zu messen. Die beste Methode, die Abweichung einer Fläche aus einer benachbarten Zone zu bestimmen, hat M. Websky angegeben (dieselbe wird in §. 448 beschrieben werden).

Scheibe *A* nur die innere Axe *a* bewegte, dreht man jetzt mit *B* zugleich den Kreis, stellt das Bild zunächst durch Drehen mit freier Hand ungefähr ein und bewirkt die genaue Einstellung mittelst der Schraube *g*; alsdann liest man die Stellung des Kreises am Nonius ab, drückt die Feinstellschraube *g* nach abwärts, um *B* wieder frei bewegen zu können, dreht an letzterem, bis das Signalbild der zweiten Fläche in's Gesichtsfeld kommt, und wiederholt mit diesem die gleiche Operation. Kann man alle Flächen der Zone mit einer einzigen Centrirung messen, so dreht man, bis die erste Fläche derselben noch einmal eintritt, und sieht zu, ob man für diese die gleiche Ablesung wie im Anfang erhält, um sich zu vergewissern, dass nicht inzwischen irgend eine Verschiebung vorgekommen ist. Ist jedoch der Krystall so gross, dass jede Kante einzeln centriert werden muss, so werden natürlich für jede Kante beide Flächen neu eingestellt und abgelesen; die Justirung bleibt aber die gleiche für die ganze Zone.

Bei den horizontalen Goniometern Fig. 574 ist es die Scheibe *g*, durch deren Drehung die Fläche eingestellt wird, wobei die genaue Coincidenz der Mitte des Signals mit der des Fadenkreuzes nach Klemmung von β mit der zugehörigen Feinstellschraube (*G* Fig. 575) ausgeführt wird. Benutzt man als Signal, wie es gewöhnlich geschieht, den Websky'schen Spalt, so wird der enge mittlere Theil desselben mit dem verticalen Faden des Beobachtungsfernrohres zur Deckung gebracht.

Nur vollkommen ebene Flächen von einer gewissen Ausdehnung reflectiren das Bild eines Signals ohne jede Entstellung seiner ursprünglichen Gestalt; hier entspricht also die Genauigkeit der Messung derjenigen Präcision, mit welcher das Signal vermöge der Vergrösserung des Oculars eingestellt werden kann, und der Genauigkeit der Theilung des Kreises. Derartige Flächen, bei denen somit die Präcision des Instrumentes voll ausgenutzt werden kann, sind jedoch verhältnissmässig selten.

Eine Dilatation des Reflexbildes, welche natürlich mit Abnahme der Lichtstärke verbunden ist, tritt bereits ein bei einer vollkommen ebenen Fläche, wenn diese schmal, d. h. durch zwei wenig von einander entfernte parallele Kanten begrenzt ist; eine solche Fläche wirkt nämlich auf das reflectirte Licht, wie ein schmaler Spalt auf durchfallende Strahlen; es entstehen Interferenzerscheinungen, welche man als »Beugung« des Lichtes bezeichnet. Dieselben bedingen eine Verzerrung des Bildes in der Richtung, welche senkrecht zu den die schmale Fläche begrenzenden Kanten ist, also in derjenigen, in welcher die Messung erfolgt, wenn die Zone jener Kanten justirt ist. Beträgt die Breite der Fläche nicht viel weniger als $\frac{1}{2}$ mm, so ist die Dilatation so gering, dass noch mit genügender Genauigkeit auf die Mitte des verbreiterten Reflexes eingestellt werden kann, besonders, wenn man als Signal den Websky'schen Spalt benutzt; ist die Fläche schmäler, so erscheint nicht nur das Bild in die Breite gezogen, sondern es treten auch zu beiden Seiten desselben gefärbte Nebenbilder auf, deren Abstand von einander und von der Mitte immer grösser wird, je schmäler die

reflectirende Fläche ist. Wenn in diesem Falle die Erkennung der einzustellenden Position auch durch das ungefärbte Mittelbild immer [noch ermöglicht ist, so wird dieses doch um so schwächer, je mehr Licht auf die seitlichen Beugungsbilder entfällt und je mehr durch Interferenz vernichtet wird, und bei Flächen von einigen Hundertsteln Millim. Breite würde man von einem schmalen erleuchteten Spalt als Signal kein Licht mehr erhalten, während man vom Websky'schen Spalt bei Anwendung eines lichtstarken verkleinernden Oculars (δ s. S. 566) und vollständiger Abblendung alles störenden Nebenlichtes im verdunkelten Raume noch einen äusserst schwachen und breit verwaschenen Reflex des oberen und unteren breiten Theiles erblickt, dessen Einstellung natürlich nur ganz angenähert erfolgen kann. Die seitlichen Lichtmaxima eines derartigen Beugungsbildes unterscheiden sich von normalen Reflexen benachbarter, wenig geneigter Krystallflächen durch ihre Färbung und dadurch, dass ihr Winkelabstand vom Mittelbild und von einander abhängt vom Incidenzwinkel des Lichtes, weil, wenn dieser grösser ist, d. h. die auffallenden und die von der Fläche reflectirten Strahlen einen spitzeren Winkel mit der Krystallfläche bilden, die letztere in der Richtung des Fernrohrs gesehen schmaler erscheint, also so wirkt, als ob ihre Breite geringer sei. Aendert man also den Einfallswinkel des Lichtes durch Aenderung der Stellung des Beobachtungsfernrohrs gegen den Collimator — und aus diesem Grunde sind die in §. 112 beschriebenen horizontalen Goniometer so eingerichtet, dass man unter sehr verschiedenen Incidenzwinkeln beobachten kann — so ändern sich auch jene Abstände, sobald es sich um secundäre, durch Interferenz entstandene Beugungsbilder handelt, während die normalen Reflexbilder benachbarter Krystallflächen natürlich bei der Messung stets dieselben Winkeldistanzen ergeben. Sind zwei benachbarte, einen kleinen Winkel mit einander bildende Flächen beide so schmal, dass sie zusammengesetzte Reflexe liefern, so beeinflussen die von ihnen reflectirten Strahlen sich gegenseitig, so dass die Lichtculminationen des einen Bildes je nach dem Incidenzwinkel die des andern schwächen oder verstärken. Die im letzteren Falle helleren Lichtmaxima, welche man leicht für eigentliche Reflexe von Krystallflächen halten könnte, unterscheidet man von solchen ebenfalls am sichersten durch Aenderung des Incidenzwinkels, wobei ihre Winkelabstände sich ändern und ebenso ihre Helligkeit, so dass sie unter gewissen Einfallswinkeln des Lichtes ganz verschwinden. Näheres über die mannigfachen, hierbei vorkommenden Erscheinungen s. Websky, Zeitschr. f. Kryst. 3, 241.

Geben schon vollkommen ebene Flächen, wenn sie nach einer Richtung geringe Dimensionen besitzen, Anlass zu complicirten Reflexionserscheinungen, so ist dies natürlich noch mehr der Fall mit nicht vollkommen ebenen. Es ist klar, dass die Krümmung einer Fläche in einer bestimmten Zone eine Verzerrung des Reflexbildes parallel der letzteren bewirken muss. Weit häufiger, als eine derartige regelmässige Krümmung, ist aber eine mehr oder minder unregelmässige Knickung einer Fläche in verschiedene

ebene Elemente, deren jedes ein Reflexbild des Signals liefert. Die in Folge dessen eintretende Erscheinung einer Gruppe von mehreren Reflexen im Gesichtsfeld beweist eine Zusammensetzung des Krystalls aus nicht parallelen Theilen (s. S. 537) und erfordert die Abblendung (durch Bedecken mit einer nicht reflectirenden Leimfarbe oder dergl.) derjenigen gestörten Flächentheile, welche von der zu messenden Kante entfernter liegen. Da aber auch für die unmittelbar in einer Kante aneinander stossenden Flächenelemente keine volle Sicherheit für ihre richtige gegenseitige Neigung gegeben ist, so muss in solchen Fällen entweder eine grössere Zahl von Krystallen gemessen werden (um im Mittel die einzelnen Störungen möglichst auszugleichen) oder nach einem oder mehreren, annähernd regelmässig ausgebildeten Krystallen gesucht werden, wenn eine genaue krystallographische Bestimmung erzielt werden soll. Eine wichtige Prüfung betreffs der regelmässigen Ausbildung eines Krystalles besteht darin, dass die Winkelabstände paralleler Flächen auf ihre Abweichung von 180° untersucht werden; hierdurch gelingt es oft, von mehreren Reflexen einer Fläche denjenigen, welcher dem richtig gelagerten Flächentheil angehört, zu bestimmen, indem man nachweist, dass derselbe, in verschiedenen Zonen gemessen, von der parallelen Gegenfläche, falls diese gut und einfach ausgebildet ist, um 180° absteht. Geben die meisten oder alle Flächen eines Krystalls zusammengesetzte Reflexbilder anstatt einfacher, so ist natürlich eine genaue Messung desselben nicht möglich; aus den Winkelabständen der äussersten Signalbilder in der einer Krystallfläche angehörigen Gruppe von Reflexen lässt sich auf den Grad der Ungenauigkeit der Messungen ein angenäherter Schluss ziehen.

Sind endlich die Flächen eines Krystalls so unvollkommen, dass sie überhaupt kein Signalbild mehr liefern, andererseits aber zu klein, um das S. 547f. erläuterte Verfahren zur Messung matter Flächen zu gestatten, so bleibt zur approximativen Bestimmung ihrer Winkel nur folgender Weg übrig: Man setzt, wenn man das kleine Goniometer Fig. 573 benutzt, nach dem Centriren das Ocular des Fernrohrs nicht wieder ein, resp. man lässt, wenn man mit einem Fuess'schen Instrumente arbeitet, die Vorschlaglupe vor dem Objectiv, so dass man den Krystall deutlich erblickt. Alsdann bewirkt man durch die Justirschrauben, dass die Flächen der zu messenden Zone beim Drehen nach einander durch das vom Signal ausgehende Licht vollständig erleuchtet erscheinen, womit eine angenäherte Justirung erreicht ist. Die Einstellung jeder einzelnen Fläche erfolgt nun ebenfalls unter Benutzung des Umstandes, dass dieselbe am vollkommensten erleuchtet gesehen wird, wenn die von ihr reflectirten Strahlen genau parallel der Axe des Beobachtungsfernrohrs in dieses eintreten. Um diese Stellung möglichst richtig zu finden, dreht man in demjenigen Sinne, in welchem die Messung der Zone erfolgt, bis das Maximum der Beleuchtung der Fläche eintritt, liest diese Stellung am Kreise ab, dreht weiter, bis der Reflex verschwindet, dann wieder zurück, bis das Maximum der Beleuchtung wieder eintritt,

und liest diese Stellung ebenfalls ab. Da man bei diesem Verfahren sich der wahren Position von beiden entgegengesetzten Seiten her in gleicher Weise genähert hat, so ist das Mittel beider Ablesungen der wahrscheinlichste Werth der richtigen Einstellung, und die Differenz der beiden Ablesungen, — d. h. der Winkel, um welchen man die Krystallfläche drehen kann, ohne dass sie aufhört, vollkommen beleuchtet zu erscheinen, — ist offenbar eine kleine Grösse, wenn die Fläche recht eben ist, und alsdann liefert diese Methode ein ziemlich genaues Resultat; die in Rede stehende Differenz ist aber um so beträchtlicher und bewirkt eine um so grössere Ungenauigkeit der Messung, je mehr die Fläche gekrümmt oder geknickt ist; im letzteren Falle erscheinen die einzelnen Theile derselben, wenn ihre gegenseitige Neigung eine merkliche ist, nicht gleichzeitig erleuchtet, und man muss alsdann auf diejenigen Theile der Fläche einstellen, welche man ihrer Lage nach für die richtigeren hält. Diese Messungsmethode nennt man die »Schimmermessung« oder »Einstellung auf den allgemeinen Reflex«. Es versteht sich von selbst, dass man dieselbe nur auf die Flächen anwendet, welche kein Reflexbild mehr liefern; besteht also eine zu messende Zone z. Th. aus genügend gut spiegelnden Flächen, z. Th. aus solchen, welche kein Reflexbild des Signals geben, so wendet man ein gemischtes Verfahren an: man stellt die ersteren Flächen in der gewöhnlichen Weise, welche in allen Fällen die genauere ist, ein, die nicht genügend spiegelnden dagegen durch Wegnahme des Oculars, resp. Vorschlagen der Lupe, auf Schimmer.

Ganz von der Berücksichtigung auszuschliessen sind zwei Arten von Reflexen, denen man bei der Messung einer Zone nicht selten begegnet. Der erste dieser Fälle betrifft die von fein gestreiften Krystallflächen gelieferten Bilder. Die Streifung einer Fläche entsteht bekanntlich dadurch, dass zwei verschiedene Ebenen, seien es zwei benachbarte Flächen desselben Krystalls (Combinationsstreifung s. S. 539) oder gleichwerthige Flächen zweier verschiedener Krystalle (Zwillingsstreifung s. S. 360 u. 530), vielfach mit einander alterniren. Sind nun die einzelnen Streifen nicht allzu schmal, so geben alle unter einander parallelen Streifen der einen Richtung ein gemeinsames einfaches Reflexbild, diejenigen der andern Richtung, nach erfolgter Drehung des Krystalls um den Winkel der beiden Flächen, ebenfalls ein einziges Bild. Ganz anders wird die Erscheinung, wenn die einzelnen Streifen schmal sind: alsdann treten nämlich die oben bereits erwähnten Beugungserscheinungen auf; bei einer recht feinen und regelmässigen Streifung der Fläche verschwinden die den beiden sie zusammensetzenden Ebenen entsprechenden Reflexe ganz, und statt ihrer erscheint in einer mittleren Position ein ungefärbtes helles Reflexbild, welches alle Eigenschaften eines normalen, von einer ebenen Fläche gelieferten Signalbildes hat, und zu beiden Seiten desselben eine Reihe von farbigen Nebenbildern, deren Abstände von der Feinheit der Streifung und von dem Incidenzwinkel des Lichtes abhängen. Die bei jeder Incidenz unveränderliche

Position des Mittelbildes, welches um so heller und schärfer erscheint, je feiner die Fläche gestreift ist, entspricht nun der Tangentialebene an die parallelen ein- und ausspringenden Kanten, welche die Streifung erzeugen, also einer Ebene, welcher keinerlei krystallographische Bedeutung zukommt, da ihre Lage von der zufälligen relativen Breite der Streifen abhängt. Aus der Theorie der Beugung des Lichtes geht hervor, dass eine derartige Scheinfläche, sobald die Breite der sie zusammensetzenden Streifen nicht allzu gross im Vergleich zur Wellenlänge des Lichtes ist, genau nach demselben Gesetze, wie eine vollkommen ebene Fläche, ein normales Bild reflectirt und daneben gefärbte Seitenbilder, deren Abstand nur abhängt von der Feinheit der Streifung und vom Incidenzwinkel der Strahlen. Daraus folgt, dass in diesem Falle in der Reflexion des Lichtes kein Mittel mehr gegeben ist, um die wahre krystallographische Lage der die Scheinfläche zusammensetzenden Ebenen zu bestimmen, und dass feingestreifte Flächen überhaupt von der Messung auszuschliessen sind, um so unbedingt, je feiner und regelmässiger ihre Streifung ist. Nur in dem Falle, dass man eine der Streifung nicht parallele Zone justirt hat, und beim Drehen das gegliederte Lichtband einer gestreiften Fläche, welches dann natürlich eine schräge Richtung hat, das Gesichtsfeld passirt, kann man die Position einstellen, in welcher der helle Streifen durch die Mitte des Fadenkreuzes geht, weil diese Position zwei Zonen des Krystalls angehört, also die Existenz einer ihr entsprechenden Fläche, deren Indices rationale sein müssen, unter den die Streifung bildenden wenigstens sehr wahrscheinlich ist. Näheres über die Interferenzerscheinungen fein gestreifter Flächen s. Förstner, Zeitschr. f. Kryst. 8, 143f.

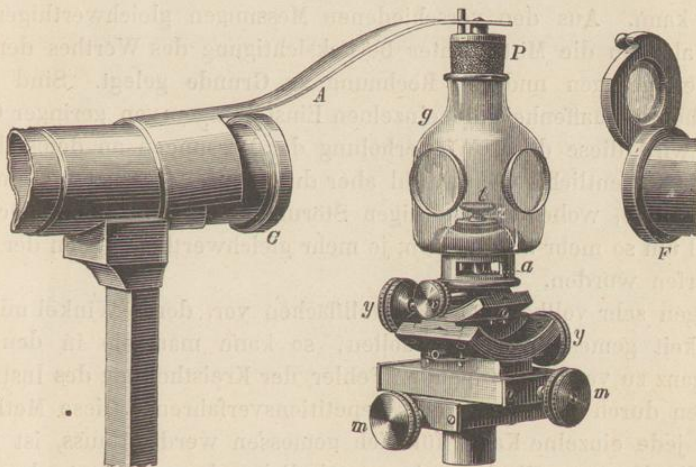
Die zweite Art von Bildern, welche bei der Messung einer Zone nicht berücksichtigt werden dürfen, kommen nur bei recht durchsichtigen Krystallen vor. Dieselben entstehen durch Totalreflexion des ins Innere des Krystalls eingetretenen Lichtes an einer vom Beobachter abgewendeten Fläche und Austritt der Strahlen durch eine vordere Fläche; da letzterer mit einer Brechung verbunden ist, sind diese Bilder*) farbig und ausserdem leicht durch ihre eigenthümliche Bewegung zu erkennen, wenn man den Krystall dreht und mit dem Beobachtungsfernrohr in demselben Sinne der Drehung folgt; dieselben werden nämlich an gewissen Stellen, d. h. bei gewissen Incidenzwinkeln rückläufig. Ausserdem sind derartige falsche Reflexe auch dadurch zu vermeiden, dass man die Drehung des Krystalls, um von einer Fläche zur andern zu gelangen, mit vorgeschlagener Lupe (bei den kleinen verticalen Goniometern mit abgenommenem Ocular) vornimmt; man sieht dann sofort, ob die erleuchtete Fläche dem Signale zu-

*) Fällt ein solches Bild mit einem normalen Reflexbilde zusammen und stört dessen Einstellung, so hat man nur nöthig, den Einfallswinkel des Lichtes zu ändern, um jenen Reflex in einer andern Richtung aus dem Krystall austreten zu lassen.

gekehrt ist*) oder nach der entgegengesetzten Seite gelegen und daher eine durch Totalreflexion erleuchtete Innenfläche des durchsichtigen Krystalls ist.

Zum Schluss mögen noch diejenigen Vorkehrungen erwähnt werden, welche man zu treffen hat, um Krystalle zu messen, die sich an der Luft verändern, z. B. Feuchtigkeit anziehen und zerfliessen oder dergl. Für verticale Goniometer hat Brezina (Jahrb. d. geol. Reichsanst. 1884, S. 329) eine ziemlich complicirte, durchsichtige Stopfbüchse angegeben, in welcher sich die Krystalle in einer zu ihrer Erhaltung geeigneten Atmosphäre befinden und von aussen centrirt und justirt werden können. Einfacher ist eine von Fuess construirte Vorrichtung, welche den von Demselben gelieferten horizontalen Instrumenten angepasst ist und im Folgenden nach einer von Liebisch verfassten Notiz im Jahrb. f. Min. 1885, 4, 76 beschrieben werden möge: An Stelle des Tischchens wird auf die Centrir-

Fig. 581.



und Justirvorrichtung des Goniometers ein kurzer, an drei Seiten durchbrochener Hohlcylander aufgesetzt, in dessen oberem Theil die kleine Kugel z (s. Fig. 581) allseitig drehbar eingelassen ist; ihre Drehung, sowie die des darauf befindlichen Tischchens t erfolgt durch einen kleinen Schlüssel an dem mit ihr in Verbindung stehenden Stiele a und ermöglicht eine angenäherte Justirung des aufgesetzten Krystalls, welche schliesslich durch die Justirschrauben vollendet wird. Auf den sphärisch gewölbten Obertheil des Cylinders ist ein Glasfläschchen mit eingedrücktem Boden so abgeschliffen, dass jener, mit etwas Oel benetzt, das letztere luftdicht abschliesst, auch wenn er

*) Dabei ist zu berücksichtigen, dass das mit der Lupe montirte Beobachtungsfernrohr der horizontalen Goniometer ein umgekehrtes Bild des Krystalls liefert, die beleuchtete Fläche also dem Lichte abgekehrt erscheint!

geneigt oder gedreht wird. Damit hierbei die Stellung des Fläschchens unverändert bleibe, ist auf das Collimatorrohr eine federnde Klammer aufgesetzt, welche auf den Gummipfropfen *P* des Fläschchens drückt, während ein zweiter Stift eine Drehung desselben verhindert. Der Ein- und Austritt des Lichtes geschieht durch angesetzte planparallele Glasplatten. Der rinnenförmige Bodenraum des Fläschchens dient zur Aufnahme von Schwefelsäure, Chlorcalcium, Wasser oder dergl.

Ueber jede Messungsreihe ist ein ausführliches Protokoll zu führen unter Beifügung einer Skizze des Krystalls, welche jede einzelne Fläche zu identificiren gestattet; das Protokoll der Messung jeder Zone muss enthalten: Angabe der Fläche, Ablesung am Kreise und eine Notiz über die Beschaffenheit des Reflexbildes, aus welcher die Genauigkeit der Messung beurtheilt werden kann. Aus den verschiedenen Messungen gleichwerthiger Kanten werden alsdann die Mittel unter Berücksichtigung des Werthes der Einzelmessungen gezogen und der Rechnung zu Grunde gelegt. Sind in Folge der Flächenbeschaffenheit die einzelnen Einstellungen von geringer Genauigkeit, so wird diese durch Wiederholung der Messungen an demselben Krystall nicht wesentlich erhöht, wohl aber durch die Untersuchung einer Reihe von Krystallen, wobei die zufälligen Störungen der einzelnen Flächen sich im Mittel um so mehr ausgleichen, je mehr gleichwerthige Zonen der Messung unterworfen wurden.

Liegen sehr vollkommene Krystallflächen vor, deren Winkel mit grosser Genauigkeit gemessen werden sollen, so kann man die in den übrigen Fällen ganz zu vernachlässigenden Fehler der Kreistheilung des Instrumentes eliminiren durch das sogenannte Repetitionsverfahren. Diese Methode, bei welcher jede einzelne Kante für sich gemessen werden muss, ist folgende: man stellt die erste Fläche, wie gewöhnlich, ein und liest ab; nachdem die zweite feingestellt worden ist, löst man die Klemmschraube *f* Fig. 575 und führt durch Zurückdrehen der inneren Axe den Reflex der ersten Fläche an das Fadenkreuz, auf welches man ihn ebenfalls fein einstellt, so dass diese Fläche jetzt genau die Lage zu den Nonien hat, wie vorher die zweite; löst man nun β und dreht in demselben Sinne, wie zuerst, die äussere Axe mit dem Limbus so weit, bis wieder die zweite Krystallfläche eingestellt ist, so giebt die Ablesung dieser Position gegen die Ausgangsstellung den doppelten Winkel der Krystallkante. Man kann dasselbe Verfahren nun wiederholen und so durch Ablesen der ersten und letzten Stellung den vier- oder sechsfachen Winkel finden, welcher, durch 4 resp. 6 dividirt, einen Werth des gesuchten Winkels liefert, welcher von den Theilungsfehlern, namentlich von einer etwaigen Excentricität des Theilkreises unabhängig ist.

§. 114. **Anwendung des Goniometers als Refractometer.** Einen Apparat, welcher zur Messung der Brechungsexponenten mittelst der Ablenkung (Refraction) der Lichtstrahlen in einem Prisma (s. S. 30—33) dient, nennt man »Refractometer« oder »Spectrometer«. Es wurde bereits S. 339 erwähnt, dass die den verticalen Kreisen zukommenden Fehlerquellen in noch erhöhtem Maasse zur Wirksamkeit gelangen, wenn man jene Instrumente zugleich zur Messung der Brechungsexponenten benutzt, und es soll daher im Folgenden nur die Verwendung horizontaler Kreise in's Auge gefasst werden.

Um Brechungsindices nach der erwähnten Methode auf einige Einheiten der 4. Decimale genau bestimmen zu können, genügt das Fuess'sche Goniometer Nr. 2*). Als Signal benutzt man entweder den geradlinigen Spalt, wie es von den meisten Beobachtern geschieht, oder wie bei der Krystallmessung den Websky'schen Spalt, was vielleicht noch mehr zu empfehlen ist, da derselbe auch bei abgelenkten Strahlen eine sehr scharfe Einstellung gestattet. Das Signal wird durch eine monochromatische Flamme (s. S. 36) erleuchtet, welche am geeignetsten nach dem Vorschlage von Laspeyres hinter einem Glas- oder Glimmerfenster in einem dunkeln Kasten aufgestellt wird; der letztere ist so einzurichten, dass er den von der Flamme entwickelten Dämpfen einen Abzug aus dem Beobachtungsraume gestattet, was besonders bei Anwendung der sehr giftigen Thalliumdämpfe von Wichtigkeit ist. Das Goniometer wird so vor dem Kasten aufgestellt, dass das Signal des Collimators, resp. die aufgesteckte Beleuchtungslinse sich unmittelbar vor dem Fenster befindet, und ebenso wird die im Innern befindliche Flamme dem letzteren so viel als möglich genähert.

Das zu untersuchende Prisma wird auf den Krystallträger aufgesetzt, centrirt und justirt, und zunächst der brechende Winkel desselben nach der gewöhnlichen goniometrischen Methode gemessen, worauf es ungefähr in diejenige Stellung gebracht wird, welche in Fig. 22 S. 33 dargestellt ist. Alsdann wird die Klemmschraube β , s. Fig. 374, angezogen und damit der hohle Conus e und der Theilkreis f fixirt, dagegen α gelöst, so dass der Nonienkreis d mit dem Beobachtungsfernrohr frei gedreht werden kann. Man richtet nun das letztere auf das erleuchtete Signal des festen Collimators so, dass beide Fernröhre genau 180° mit einander bilden, entsprechend der Richtung BP in Fig. 22, wozu man die Klemmschraube α wieder anzieht und die Einstellung mit der zugehörigen Feinstellschraube vollendet, und liest die Stellung des Nonienkreises ab. Hierbei erhält man, auch wenn das Prisma bereits in seiner richtigen Stellung auf dem

*) Ausserdem kann man, wie in §. 120 auseinandergesetzt werden soll, den zum sogenannten optischen Universalapparat gehörigen horizontalen Theilkreis des Axenwinkelinstrumentes, mit zwei kleinen Fernröhren montirt, zur Messung der Brechungsexponenten benutzen. Die Genauigkeit dieses Theilkreises ist eine etwas geringere, als die des Goniometers Nr. 2, aber immerhin für viele Fälle noch eine genügende.

Krystallträger sich befindet, doch ein scharfes direct gesehenes Bild des Signals mittelst der am Prisma vorbeigehenden Strahlen, weil dieses, wenn es centrirt ist, höchstens die Hälfte des Objectivs für die erwähnten Strahlen verdeckt. Nach abermaligem Lösen der Klemmschraube α führt man nun das Beobachtungsfernrohr nach derjenigen Seite, nach welcher die Brechung der Strahlen durch das Prisma stattfindet, bis man das abgelenkte Bild des Signals im Gesichtsfelde erblickt. Nunmehr muss man diejenige Stellung des Prismas aufsuchen, in welcher dasselbe den durchgehenden Strahlen die kleinste Ablenkung ertheilt: sei dieselbe nach links gerichtet, so dreht man mittelst der Scheibe i Fig. 574 (welche deshalb nicht geklemmt sein darf, das Prisma so, dass das gebrochene Signalbild sich im Gesichtsfelde nach rechts bewegt (die entgegengesetzte Drehung würde eine Zunahme der Ablenkung bewirken); verlässt es dabei noch das Gesichtsfeld, so geht man mit dem Beobachtungsfernrohre nach; bei weiterer Drehung in demselben Sinne wird man nun bald bemerken, dass das Bild sich langsamer bewegt, an einer bestimmten Stelle stehen bleibt und bei weiterer Drehung des Prismas (immer in demselben Sinne) anfängt, sich rückwärts zu bewegen. Die erwähnte Stelle, d. h. diejenige, welche dem Minimum der Ablenkung entspricht, bringt man nun durch Drehen des Beobachtungsfernrohrs genau in die Mitte des Gesichtsfeldes und beobachtet, ob bei mehrmaligem Hin- und Herdrehen des Prismas das Signalbild, wenn es seine äusserste Elongation nach rechts erreicht, von dem senkrechten Faden des Beobachtungsfernrohrs genau halbirt wird; ist dies noch nicht vollständig der Fall, so wird das Fernrohr durch die Feinstellschraube (F in Fig. 575) noch um die erforderliche Grösse bewegt. Ist endlich die vollkommene Coincidenz erreicht, so giebt die Ablesung des Nonius das Minimum der Ablenkung an.

Ist das Prisma einem doppeltbrechenden Krystalle angehörig, so erscheinen natürlich zwei verschieden stark abgelenkte Bilder des Signals, deren jedes für sich durch Drehen des Prismas auf das Minimum der Ablenkung einzustellen und zu messen ist. Die Schwingungsrichtung der beiden Strahlen wird durch einen vor das Beobachtungsfernrohr gehaltenen oder auf dessen Ocular aufgesetzten Nicol leicht erkannt, da hierbei dasjenige Bild verschwindet, dessen Schwingungsebene senkrecht zu der des Nicols steht. Noch bequemer, als durch einen mit der Hand vor das Auge gehaltenen Nicol, kann man die beiden polarisirten Bilder von einander trennen durch Einsetzen des Nicol'schen Prismas in das S. 566 beschriebene, auf den Collimator aufzusteckende Rohr der Beleuchtungslinse, welches mittelst Marken die Stellung des Nicolhauptschnittes zu erkennen und durch den viereckigen Ausschnitt auch eine Drehung des Polarisators vorzunehmen gestattet. Diesen Beleuchtungsapparat setzt man überhaupt stets dann auf das Signal auf, wenn man die Brechungsexponenten eines sehr kleinen, wenig Licht hindurchlassenden Prismas messen will, wobei es also auf möglichste Lichtstärke des Signals ankommt.

Ganz analog ist das Verfahren, wenn man mit dem grossen Goniometer Fig. 578 arbeitet: In eines der beiden Fernröhre wird an Stelle des Oculars der Signalspalt eingesetzt und dieses Fernrohr durch Anziehen der an seinem Fusse befestigten Klemmschraube fixirt, während das andere zur Einstellung des directen und des abgelenkten Signalbildes beweglich bleibt. Da sich bei diesem Instrumente jedes der beiden Fernröhre vom Kreise unabhängig bewegt, so kann die Drehung desselben auf dem Limbus mittelst des zugehörigen Mikroskopes abgelesen werden. Die Drehung des Prismas behufs der Einstellung auf die Minimalablenkung geschieht mittelst der Scheibe f , welche durch β geklemmt und mit der zugehörigen Mikrometerschraube fein geführt wird. Die Scheibe c , welche mit dem Theilkreis verbunden ist, bleibt während des ganzen Verfahrens durch Anziehen der Klemmschraube x fixirt.

Ueber die zur Bestimmung der optischen Constanten erforderliche Richtung der Flächen eines Prismas ist bereits in der I. Abtheilung das Nöthige gesagt worden. Allgemein gilt, dass der brechende Winkel desselben nicht so gross sein darf, dass die Incidenz beim Austritt der Strahlen aus der zweiten Fläche (d. i. der Winkel mNL' in Fig. 24 S. 32) den Winkel der totalen Reflexion erreicht oder übertrifft, da in diesem Falle kein Austritt des Lichtes mehr erfolgt. Während aber bei einem einfach brechenden Krystalle im Uebrigen die Richtung der beiden Prismenflächen eine ganz beliebige ist, muss bei einem einaxigen Krystalle das Prisma zur Bestimmung von ω und ϵ eine der S. 57 angegebenen Orientirungen besitzen. Man sieht leicht ein, dass bei der ersten und zweiten derselben stets ein Strahl parallel, der andere normal zur brechenden Kante schwingt, und, da letztere auf dem horizontalen Goniometer senkrecht steht, das eine der beiden Bilder aus verticalen, das andere aus horizontalen Vibrationen bestehen muss, deren Unterscheidung auf oben angegebene Weise dadurch erfolgt, dass der Hauptschnitt des in den Gang der Lichtstrahlen eingebrachten Nicols einmal senkrecht, einmal horizontal gestellt wird. Zu einem Prisma der ersten Orientirung können zwei natürliche Krystallflächen aus der Zone der Hauptaxe dienen, z. B. zwei einander unter 60° innerem Winkel schneidende Flächen eines hexagonalen Prismas oder die Flächen (100) und $(\bar{1}10)$ eines tetragonalen Krystalls (brechender Winkel 45°); zu einem Prisma der zweiten Orientirung zwei gegenüberliegende Flächen einer spitzen hexagonalen oder tetragonalen Pyramide. Die dritte Orientirung erfordert eine der optischen Axe parallele Fläche, daher ein natürliches Prisma dieser Art aus einer prismatischen und einer pyramidalen Fläche von geeigneter gegenseitiger Neigung bestehen muss. Sind z. B. an einem tetragonalen Krystalle die beiden Flächen (110) und $(\bar{1}\bar{1}1)$ gross und eben ausgebildet, und der innere Winkel ihrer Kante zwischen 40° und 60° , so ist ein solches natürliches Prisma sehr geeignet zur Messung der Brechungsexponenten,

denn da es eine zur Hauptaxe normal laufende Kante (parallel einer Zwischenaxe) besitzt, so sind bei senkrechtem Einfallen des Lichtes auf die erste Fläche die Schwingungsrichtungen der beiden Strahlen parallel und senkrecht zur optischen Axe. Ein beispielsweise von den Flächen (100) und ($\overline{111}$) gebildetes Prisma hat eine zur Hauptaxe geneigte (einer Polkante von {111} parallele) Kante; bei senkrecht auf (100) einfallendem Licht wird zwar auch eine Zerlegung in parallel und senkrecht zur Axe stattfindende Schwingungen erfolgen, die letzteren sind aber schief gegen die brechende Kante geneigt, was bei der Stellung des Nicols am Goniometer zu berücksichtigen ist. Bei Prismen dieser dritten Art der Orientirung handelt es sich also darum, die Strahlen des festen oder (bei Anwendung des grossen Goniometers) festgeklemmten Collimators genau senkrecht auf die Eintrittsfläche des Prismas fallen zu lassen, denn nur in diesem Falle pflanzen sich dieselben im Innern so fort, dass der eine ω , der andere ε zu berechnen gestattet. Das hierzu erforderliche Verfahren, welches ganz allgemein zur Herstellung senkrechter Incidenz der Lichtstrahlen dient, ist folgendes:

Man stellt die betreffende Fläche unter einem beliebigen Winkel, z. B. ungefähr 45° , gegen die feste Collimatoraxe, dreht das Beobachtungsfernrohr, bis das von der Fläche gespiegelte Bild des Signales eingestellt ist, und liest diese Stellung am Nonius ab. Ausserdem bestimmt man die Position des Collimators, indem man das Beobachtungsfernrohr auf das Signal direct einstellt und von der abgelesenen Position 180° abzieht oder ebenso viel addirt. Die Differenz dieses Werthes von dem vorher abgelesenen giebt den Winkel zwischen den vom Collimator auf die Fläche fallenden und den von letzterer ins Beobachtungsfernrohr reflectirten Lichtstrahlen; die Hälfte desselben ist der Incidenzwinkel. Fixirt man nun das Beobachtungsfernrohr nebst dem Nonienkreise und dreht das Prisma zusammen mit dem Limbus (so wie man bei einer Krystallmessung verfährt) genau um den so gefundenen Incidenzwinkel im entsprechenden Sinne, so steht alsdann die Fläche exact senkrecht auf den aus dem Collimator austretenden parallelen Strahlen.

Die Berechnung der Refractionsindices aus der Ablenkung des Lichtes in einem Prisma der zuletzt besprochenen Orientirung erfolgt ganz ebenso, wie in dem völlig analogen Falle, welcher bei den zweiaxigen Krystallen S. 404 behandelt wurde. In letzterem muss ebenfalls die soeben angegebene Methode, mittelst deren man senkrecht auf eine Fläche auffallende Strahlen erhält, angewandt werden, während bei den S. 99f. beschriebenen Prismen zweiaxiger Krystalle das gewöhnliche Verfahren der Minimalablenkung zur Anwendung kommt.

Ebenso wie die Beschaffenheit der Krystallflächen den wichtigsten Einfluss ausübt auf die Genauigkeit der goniometrischen Resultate, so ist das Gleiche auch der Fall mit der Beschaffenheit derjenigen Flächen, welche bei der Messung der Brechungsexponenten als Ein- und Austrittsfläche des Lichtes dienen. Benutzt man hierzu natürliche Krystallflächen, so geben dieselben nur dann ein einfaches und scharfes abgelenktes Bild des Signals, wenn sie vollkommen eben sind; jede Krümmung, Streifung oder sonstige Unvollkommenheit derselben documentirt sich durch eine Verzerrung des gebrochenen Bildes, welches je nach der Grösse dieser Dilatation mit geringerer Schärfe eingestellt werden kann. Sind die Unvollkommenheiten der Flächen so gross, dass letztere kein einstellbares Bild mehr liefern, oder sind am Krystall überhaupt keine Flächen in der geeigneten Richtung und von genügender Grösse ausgebildet, so hat man die Seiten des zur Messung zu benutzenden Prismas künstlich durch Schleifen herzustellen.

Namentlich bei härteren Substanzen gelingt es leicht, ebene Flächen zu schleifen und denselben einen so hohen Grad von Politur (s. §. 126) zu geben, dass die durch solche Prismen gebrochenen Signalbilder die schärfste Einstellung gestatten. Nur ein Fehler kann bei solchen Schliifflächen vorkommen, besonders wenn sie eine erhebliche Grösse besitzen, d. i. eine durch die Methode des Schleifens bewirkte schwach sphärische Krümmung. Ist eine solche recht regelmässig, so ist sie bei der Messung ohne Weiteres nicht zu bemerken, weil ein von zwei schwach kugelförmig gekrümmten Flächen begrenztes Prisma wie eine in den Gang der Lichtstrahlen eingefügte schwache Linse wirkt und, da diese gegen die Axe des Beobachtungsfernrohrs geneigt ist, den Ort des in letzterem sichtbaren Bildes verschiebt, ohne an der Schärfe desselben etwas zu ändern. Es ergibt sich also dann eine falsche Einstellung, was man dadurch zu erkennen vermag, dass man die grössere Hälfte des Prismas abblendet und einmal den nahe der Kante gelegenen Theil der Flächen, das andere Mal den möglichst von der Kante entfernten Theil frei lässt; ist die Fläche sphärisch gekrümmt, so ist der brechende Winkel im ersteren Falle grösser, als im zweiten, und man findet daher verschiedene Werthe der Ablenkung. Dieser Fehler kommt jedoch nur bei grossen Prismen und bei sehr genauen Messungen in Betracht, während kleinere Flächen leicht genügend eben geschliffen werden können.

Die Schliifflächen weicherer Substanzen nehmen oft nur sehr unvollkommene Politur an und geben dann nur ganz verwaschene abgelenkte Signalbilder. In solchen Fällen bedeckt man dieselben mit gleich grossen Platten von dünnem Spiegel- oder sogenanntem Birmingham-Glas (wie es zum Bedecken mikroskopischer Präparate verwendet wird); zur Befestigung derselben bringt man einen Tropfen Canadabalsam auf die Fläche des Prismas und drückt die Glasplatte so fest auf, dass der Balsam eine sehr dünne, gleichmässig ausgebreitete Schicht zwischen beiden bildet. Ist diese Schicht nicht überall gleich dick, so schliessen offenbar die beiden Glasplatten,

welche nun als Ein- und Austrittsfläche des Lichtes dienen, nicht genau denselben Winkel ein, wie die beiden Flächen des Prismas; da die letzteren matt sind, also keine scharfen Reflexe liefern, so kann eine exacte Controle des so entstehenden Fehlers nicht stattfinden. Trotzdem sollte man immer, wenn man gezwungen ist, zu dieser Methode seine Zuflucht zu nehmen, vorher den Winkel der ursprünglichen Flächen, so gut es eben möglich ist, messen, um wenigstens grobe Fehler beim Auflegen der Glasplatten zu vermeiden. Ausserdem darf man die letzteren nicht über die Prismenflächen überstehen lassen, da es sonst beim Aufsetzen des Prismas auf den Goniometertisch leicht geschieht, dass die Platten verschoben und dabei der Winkel derselben geändert wird.

Es versteht sich von selbst, dass man zur Bestimmung der Brechungsexponenten möglichst klare und durchsichtige Krystalle auswählt. Eingewachsene fremde Theilchen, Hohlräume u. a. Unvollkommenheiten der Raumauffüllung im Innern des Prismas entziehen nicht nur dem gebrochenen Signalbilde einen Theil des Lichtes, so dass es weniger hell erscheint, sondern bringen auch Störungen desselben durch Zerstreuung, Beugung und Interferenz der Lichtstrahlen hervor. Es ist daher vortheilhaft, etwaige unreine Stellen des Prismas durch Bedecken mit Staniol und dergleichen ganz abzublenden, so dass das Licht nur durch den am meisten homogenen Theil des Prismas hindurchgelangen kann. Liegt dieser von der brechenden Kante entfernt, so würde bei genauer Centrirung der letzteren das hindurchgehende Licht ganz am Rande der Objectivlinse, vielleicht theilweise ausserhalb derselben auffallen, und deshalb ein wenig helles und unvollkommenes Bild im Fernrohre entstehen. Um dies zu vermeiden, hat man nur nöthig, das Prisma parallel sich selbst zu verschieben, bis die betreffende Partie desselben sich genau vor der Mitte der Objectivlinse des Fernrohrs, d. h. in der Drehungsaxe des Kreises befindet*). Alsdann ist natürlich das Prisma nicht mehr centriert; aber man sieht leicht ein, dass der Gang der Lichtstrahlen vollständig unverändert bleibt, an welchem Orte sich auch Ein- und Austrittsfläche des Prismas befinden, sobald nur die den Collimator verlassenden Strahlen genau parallel sind und das Beobachtungsfernrohr auf Unendlich eingestellt ist. Um auch die Messung des Prismenwinkels bei unveränderter Centrirung und Justirung vornehmen zu können, ist es zu empfehlen, den betreffenden Theil des Prismas so zu centriren, dass die Drehungsaxe so genau als möglich gleich weit von den beiden Prismenflächen absteht, weil dann auch bei kleinen Abweichungen der Strahlen des Collimators vom Parallelismus der Fehler der Excentricität in Wegfall kommt (s. S. 574).

*) Ist das Prisma so gross, dass bei dieser Stellung desselben gar keine directen Strahlen mehr aus dem Collimator auf das Objectiv des Beobachtungsfernrohrs fallen können, so muss die S. 585 erwähnte Einstellung natürlich vor dem Aufsetzen des Prismas erfolgen.

Die Winkelmessung des Prismas kann man, ausser nach der gewöhnlichen goniometrischen Methode, auch mit beweglichem Beobachtungsfernrohr und feststehendem Prisma ausführen. Man stellt nämlich das letztere so, dass es seine brechende Kante dem Collimator zukehrt, dreht das Beobachtungsfernrohr, bis das von der einen Fläche reflectirte Spiegelbild erscheint, und liest ab; dann dreht man das Beobachtungsfernrohr auf die andere Seite, stellt es auf das Spiegelbild der zweiten Prismenfläche ein und liest wieder ab. Die Differenz einer jeden Ablesung von der Winkelposition des Collimators, welche man durch directe Einstellung auf letzteren erhält (s. S. 385), wird halbiert und dadurch der Winkel erhalten, welchen einmal die Normale der ersten, das andere Mal die der zweiten Fläche mit der Richtung des Collimators bildet; die Summe dieser beiden Winkel ist gleich der Neigung zwischen den Normalen der beiden Prismenflächen, d. h. das Supplement des brechenden Winkels. Eine einfache Ueberlegung lehrt, dass hierbei sogar die Einstellung auf den Collimator überflüssig ist; die Hälfte desjenigen Bogens zwischen den beiden Positionen der gespiegelten Signalbilder, innerhalb dessen der Collimator sich befindet, ist der Winkel zwischen den Normalen der Prismenflächen.

§. 443. Bestimmung der Brechungsexponenten durch Totalreflexion.

1) **F. Kohlrausch's Totalreflectometer.** Nachdem das Princip dieses Instrumentes bereits in der I. Abth. S. 34—35 auseinandergesetzt worden ist, soll nun im Folgenden die nähere Beschreibung des Apparates in der mehrfach verbesserten Form, wie er z. Z. von dem Universitätsmechanikus W. Apel in Göttingen *) geliefert wird, und die Anweisung zum Gebrauch desselben gegeben werden.

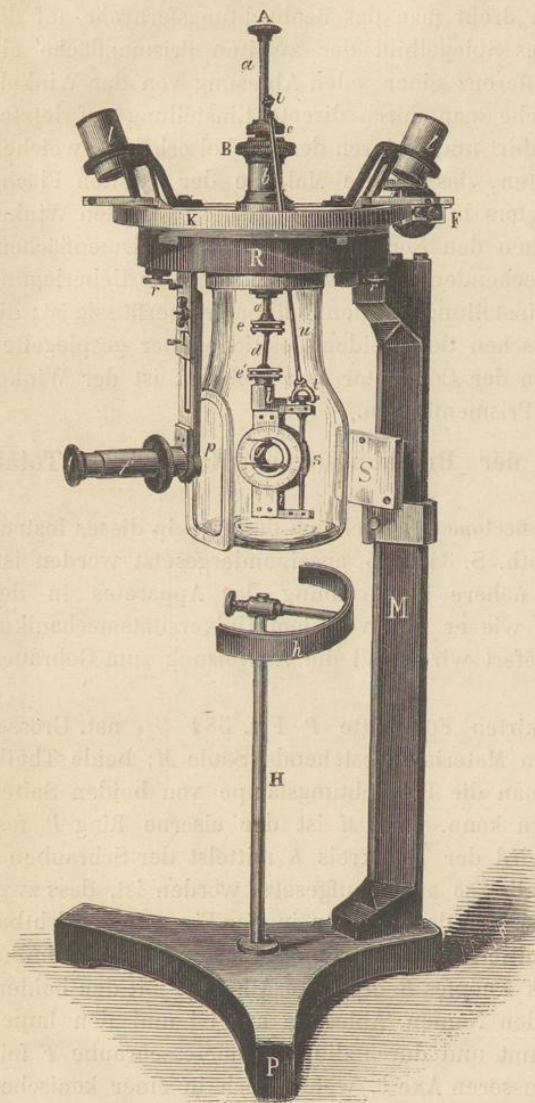
Auf einer eisernen lackirten Fussplatte *P* Fig. 382 ($\frac{1}{3}$ nat. Grösse) erhebt sich eine aus gleichem Materiale bestehende Säule *M*; beide Theile sind so abgeschrägt, dass man die Beleuchtungslampe von beiden Seiten dem Apparate beliebig nähern kann. Mit *M* ist der eiserne Ring *R* fest verbunden, und an diesen wird der Theilkreis *K* mittelst der Schrauben *r* aufgeschraubt, nachdem derselbe so auf *R* aufgesetzt worden ist, dass zwei parallelepipedische Vorsprünge, von denen einer in der Figur links sichtbar ist, in gleichgestaltete Einschnitte des Ringes *R* eingreifen. Auf dem Limbus befindet sich die mittelst des Knopfes *B* drehbare Alhidade mit den beiden, 180° von einander abstehenden Nonien (Ablesung auf $1'$) und den Lupen *l*; die Alhidade kann geklemmt und durch die Mikrometerschraube *F* fein geführt werden **). In der äusseren Axe *b*, welche sich in einer konischen

*) S. Dessen Preiscourant am Schlusse dieses Buches.

**) W. Apel liefert auch ein etwas einfacheres, aber für die meisten Fälle vollkommen ausreichendes Instrument mit Ablesung auf $3'$, ohne Lupen und ohne Feinstellschraube; die Drehung geschieht bei diesem durch zwei senkrechte Messingstifte, welche an Stelle der Lupenträger auf die Alhidade aufgesetzt sind.

Durchbohrung des Kreises dreht, kann die innere Axe a gedreht und mittelst des Knopfes A auf- und niedergeschoben, endlich in jeder beliebigen Stellung durch Anziehen der Schraubenmutter c , welche hierbei den in

Fig. 582.



eine geschlitzte Hülse auslaufenden Obertheil von B zusammenpresst, fixirt werden. Die Axe a trägt unten zwei Kugelgelenke e und e' , die man ziemlich schwer drehbar machen kann, indem man die Schraubchen, durch welche die, eine jede der drehbaren Kugeln umfassenden, kleinen Platten verbunden sind, fester anzieht. Am unteren Kugelgelenk e' ist entweder eine kleine federnde Klammer zum Fassen der Objectplatte oder der von *Apel* als »Spitzenplatte« bezeichnete Krystallträger, welcher aus einem einfachen Metallstück mit zwei Spitzen besteht, angeschraubt; auf letztere wird eine Korkplatte aufgespiesst, welche die zu untersuchende Platte mit Gummi arabicum festgeklebt trägt. Um behufs der genaueren Einstellung der Fortpflanzungsrichtung der Strahlen auch eine Drehung der Objectplatte in ihrer eigenen Ebene zu ermöglichen, kann man nach dem Vorschlage von *W. Kohlrausch* an das

untere Kugelgelenk e' auch den doppelknieförmigen Theil i (s. Fig.) anschrauben, dessen unterstes und längstes Stück sich zu einem Ringe erweitert, in welchem ein kleiner Theilkreis (durch die auf i angebrachte Nonientheilung auf 1° abzulesen) drehbar ist; auf diesem wird die Platte be-

festigt und mittelst eines von aussen durch ein Loch in der Kreisplatte *K* eingeführten Drahtes mit dem kleinen Kreise in der Flüssigkeit gedreht. Diese Vorrichtung wurde schliesslich von C. Klein in diejenige Form gebracht, wie sie in der Figur dargestellt ist: in die cylindrische Durchbohrung des Kreises kann die kleine Hülse *g* eingeschoben werden, auf deren drei vorstehende Spitzen der Kork mit der zu untersuchenden Krystallplatte befestigt wird (der Deutlichkeit wegen ist dieser in der Figur weggelassen); die Drehung des kleinen Theilkreises geschieht von aussen durch den Schlüssel *u*, welchen man mit dem Knopfe *U* fasst und in die viereckige Oeffnung des kleinen Bügels *t* einführt; durch Drehen von *u* wird die Schraube ohne Ende *s* und dadurch der Theilkreis, in dessen gezähnten Rand diese eingreift, gedreht. Die zuletzt beschriebene Vorrichtung ist besonders geeignet, das S. 103 auseinandergesetzte Verhalten einer der optischen Axenebene parallelen zweiaxigen Krystallplatte zu demonstrieren, während man bei gewöhnlichen Messungen meist mit bequemeren Objectträgern, mit der einfachen Pincette oder der Spitzenplatte, auskommt. An Stelle der letzteren wendete F. Kohlrausch auch eine direct an *a* ange setzte, geschwärzte Metallplatte von lang parallelepipedischer Gestalt an, welche in ihrem unteren Theile einen rechteckigen fensterartigen Ausschnitt mit abgeschrägten Seiten besitzt, und deren Rückseite ein für allemal genau centrirt und justirt ist; die in die Ebene der letzteren fallende Drehungsaxe wird durch einen, von der Vorderseite aus befestigten, das Fenster senkrecht halbirenden feinen Platindraht markirt; an der Rückseite wird durch eine Feder die Objectplatte, nöthigenfalls mit Unterlegung eines Korkes, so angedrückt, dass die spiegelnde Fläche das Innere des Fensters bildet. Diese Einrichtung gestattet schon eine ziemlich gute Einstellung der Platte in eine bestimmte Orientirung und genügt fast für alle Messungen an Stelle des in der Figur abgebildeten Objectträgers, welcher den Nachtheil hat, dass er bei einigermaassen schiefer Stellung der Kugelenke leicht während der Drehung an die Wand des Gefässes anstösst, wodurch natürlich die bis dahin vorgenommene Arbeit verloren ist.

Das Eintauchen des betreffenden Objectträgers mit der zu untersuchenden Platte in die stärker brechende Flüssigkeit geschieht nun in der Weise, dass letztere in das vorn mit der planparallelen Glasplatte versehene Glasgefäss bis zu dem engen Theil eingefüllt und dann das Gefäss mit dem Instrumente verbunden wird. Zu dem Zwecke trägt die Metallfassung desselben einen Ring, in dem sich drei durch Schlitzte verlängerte Oeffnungen befinden, in welche die flachen Köpfe dreier an der Unterseite von *K* befindlicher Schrauben passen; durch eine kleine Drehung bringt man diese in die seitlichen Schlitzte, über deren Rand sie übergreifen und so das Glasgefäss an *K* festhalten, und zwar in derjenigen Stellung, in welcher die Glasplatte *p* senkrecht zu dem auf die Drehungsaxe des Kreises gerichteten kleinen Fernrohre *f* steht. Dieses letztere ist an der Unterseite des Theilkreises mittelst eines Metallarmes *T* befestigt, welcher eine Auf- und

Niederbewegung, sowie eine Correction der Richtung desselben gestattet. Es besitzt eine $1\frac{1}{2}$ fache Vergrößerung und ein Fadenkreuz, daneben aber auch eine Mikrometertheilung zur genaueren Bestimmung des Abstandes der beiden Grenzen der totalen Reflexion, welche doppeltbrechende Krystalle zeigen. Um die Objectplatte, behufs ihrer richtigen Orientirung, durch das Fernrohr sichtbar zu machen, kann vor dessen Objectiv, ähnlich wie beim Goniometer (S. 566), eine Vorschlaglupe aufgesetzt werden.

Da der Brechungsexponent der in dem Glasgefäß befindlichen Flüssigkeit sich mit der Temperatur derselben ändert, so muss diese während der Messung bestimmt werden. Zu diesem Zwecke kann man an einem an der Unterseite des Theilkreises angebrachten Häkchen ein kleines Thermometer anhängen, dessen Stand unmittelbar vor und nach der Messung notirt wird, so dass man in dem Mittel dieser beiden Ablesungen mit genügender Genauigkeit die während der Messung in der Flüssigkeit herrschende Temperatur erhält.

Ehe man zur Messung des Winkels der totalen Reflexion des Lichtes an einer natürlichen oder künstlichen ebenen Fläche eines Krystalles schreitet, hat man diese zuerst zu justiren und auch angenähert zu centriren, damit auch bei schräger Stellung derselben noch hinreichend Licht in der Axe des Fernrohrs einfällt. Bei dem festen Objectträger genügt es, die spiegelnde Fläche direct hinter das in denselben eingeschnittene Fenster zu legen. Bei Anwendung der Kugelgelenke bringt man die Fläche zunächst ungefähr in die erforderliche Lage und Richtung durch eine verticale Schneide, deren Stiel an Stelle von *H* in die Fussplatte eingesetzt wird, und welche alsdann die Drehungsaxe des Kreises bezeichnet. Die genaue Parallelstellung der reflectirenden Fläche mit der Axe des Kreises wird erreicht mittelst des kleinen, aus schwarzem Glase gefertigten Spiegels *S*, welcher an der Säule *M* befestigt und der genannten Axe parallel gerichtet ist; die Objectplatte wird nämlich durch die Kugelgelenke so lange justirt, bis das Spiegelbild des Auges in derselben und im Spiegel *S* in gleicher Höhe erscheint, oder, was noch genauer ist, bis die Spiegelbilder einer entfernten Flamme, welche sich mit beiden reflectirenden Flächen in einer dem Kreise parallelen Ebene befindet, in beiden gesehen gleich hoch erscheinen. Die erwähnte Schneide gestattet, bei der Justirung die angenäherte Centrirung beizubehalten; nach Ausführung der ersteren wird sie wieder entfernt. Will man bei Anwendung des in Fig. 582 dargestellten Objectträgers die Platte in ihrer Ebene drehen und in verschiedenen Stellungen ihre Totalreflexion bestimmen, so muss sie so aufgesetzt werden, dass ihre spiegelnde Vorderfläche (die nicht in Betracht kommende Hinterfläche wird am besten matt geschliffen, damit man in keinem Falle störende Reflexe von derselben erhält) senkrecht zur Drehungsaxe von *g* liegt; dies erkennt man daraus, dass das Bild eines entfernten Gegenstandes bei ruhendem Auge seinen Ort nicht ändert, wenn man die Platte in ihrer Ebene dreht. Diese Orientirung ist natürlich vor der Centrirung und Justirung auszuführen.

Nachdem der Objectplatte die erforderliche Orientirung gegeben und das Thermometer neben derselben aufgehängt worden ist, wird das mit der stark brechenden Flüssigkeit gefüllte Glasgefäß in der oben angegebenen Weise an den Kreis angesetzt. Zur Füllung benutzt man am besten*) α -Bromnaphtalin, dessen Brechungsexponent nach Fock (Zeitschr. f. Kryst. 4, 590) für Natriumlicht $= 1,66264$ bei $+ 8^{\circ}\text{C.}$ beträgt und für 4°C. Temperaturzunahme um $0,00045$ sich verringert. Befindet sich das gefüllte Glasgefäß an seinem Orte, so steckt man in die Oeffnung der Fussplatte den Metallstab H , welcher oben das verschiebbare gekrümmte Doppelblech h trägt; in dieses wird ein schwarzer Cartonschirm von der Form eines das Glasgefäß zur Hälfte umhüllenden Halbcylinders eingeklemmt, in dessen Mitte in geeigneter Höhe ein Fenster mit ölgetränktem Papier oder mattem Glase angebracht ist, um das durchgehende Licht in diffuses zu verwandeln. Der Schirm wird nun so gedreht, dass er den Hintergrund des Glasgefäßes, auf den das Fernrohr gerichtet ist, verdunkelt und das Licht einer seitlich aufgestellten monochromatischen Flamme (gewöhnlich wird der grösseren Helligkeit wegen Natronlicht angewendet) in der erforderlichen Richtung durch das Fenster auf die Platte fallen lässt. Man entfernt nun das Fernrohr, bringt das auf grosse Entfernung accommodirte Auge**) nahe an die Glaswand p und dreht den Objectträger, bis die Grenze der totalen Reflexion sichtbar wird. Alsdann setzt man das vorher genau auf Unendlich eingestellte Fernrohr wieder ein, bringt, wenn nöthig mit Hilfe der Feinstellschraube F , die erwähnte Grenze in das Fadenkreuz oder an den mittelsten Strich des Mikrometers im Fernrohr und liest die Stellung der Nonien ab. Hierauf dreht man H mit dem Schirme auf die andere Seite des Glasgefäßes und stellt die Flamme so vor denselben, dass beide zu ihrer vorigen Stellung in Bezug auf die durch die Axen des Fernrohrs und des Kreises bestimmte Ebene symmetrisch stehen, dreht die Platte mittelst des Knopfes B (gleichzeitig mit den Nonien) ebenfalls nach der entgegengesetzten Seite, stellt die Grenze der totalen Reflexion ein und liest abermals ab. Die Differenz der beiden Ablesungen ist der doppelte Winkel der totalen Reflexion, aus welchem sich nach S. 35 der Brechungsexponent ergibt.

Da die Grenzen der totalen Reflexion bei kleinen oder nicht sehr vollkommen spiegelnden Platten nur schwach sichtbar sind, ist es in allen Fällen zu empfehlen, in einem ganz verdunkelten Zimmer zu arbeiten und zur Ablesung einen Fürsheim'schen Patentbrenner (s. S. 558, Anmerk.) zu benutzen. Auch schwärzt man vortheilhaft die nicht benutzten Flächen der Platte, den Kork, auf welchen sie aufgesetzt wird u. s. w., mit Tusche, damit dieselben kein Licht in das Fernrohr reflectiren. Die günstigste

*) Ueber die mannigfachen Nachtheile des früher verwendeten Schwefelkohlenstoffs s. Fock l. c.

**) Man darf also nicht etwa die Krystallplatte fixiren! Solche, denen die Accommodation des Auges auf Unendlich nicht gelingt, was namentlich bei Kurzsichtigen vorkommt, müssen eine Zerstreuungslinse vor das Auge halten.

Stellung des Schirmes und der monochromatischen Flamme, d. h. diejenige, bei welcher die Grenzen am schärfsten hervortreten, muss durch Probiren ermittelt werden. Um die Temperatur der Flüssigkeit nicht unnütz zu steigern, entfernt oder löscht man die Flamme, sobald die Einstellung erfolgt ist; es empfiehlt sich, für diesen Zweck einen Bunsen'schen Brenner mit Selbstanzünder (ebenfalls Fürsheim'sches Patent) zu benutzen, wie solche mit Vorrichtung zur Einführung des färbenden Metallsalzes (nach Feussner) von Böhm und Wiedemann in München geliefert werden.

Was nun die Orientirung der Platten in Bezug auf die im Falle der totalen Reflexion horizontal in denselben sich fortpflanzenden Strahlen betrifft, so ist dieselbe natürlich ganz gleichgültig für eine Krystallplatte des regulären Systems, ferner für eine zur optischen Axe senkrechte Fläche eines einaxigen Krystalls, welche stets zwei Grenzen liefert, deren eine dem Brechungsexponenten ω , die andere ε entspricht. In allen übrigen Fällen erfordert die Bestimmung der Hauptbrechungsindices einer ein- oder zweiaxigen Krystallplatte eine bestimmte Orientirung derselben in Bezug auf die Fortpflanzungsrichtung der Strahlen. Diese Orientirung kann entweder erfolgen durch eine an der Platte vorhandene Kante, welche so gerichtet wird, dass sie mit dem horizontal in der Grenzschicht sich fortpflanzenden Strahle den erforderlichen Winkel einschliesst. Ist dieser 0° oder 90° , d. h. sollen sich die Strahlen parallel oder senkrecht zu einer die Platte begrenzenden Kante fortpflanzen, so gestattet der feste Objectträger eine sehr rasche und genügende Orientirung der Krystallplatte: dieselbe wird nämlich so an dem Träger befestigt, dass die fragliche Kante einen der horizontalen resp. verticalen Ränder des rechteckigen Querschnittes fast berührt und demselben parallel läuft. Für die meisten Messungen genügt es sogar, das Object an der einfachen Spitzenplatte oder in der Klammer zu befestigen und ihm nach dem Augenmaasse die erforderliche Richtung zu geben. Benutzt man den complicirten, in Fig. 382 abgebildeten Objectträger, so kann man durch Drehen der Platte in ihrer Ebene die Stellung aufsuchen, in welcher das Maximum oder Minimum des Abstandes der beiden Grenzen der totalen Reflexion beobachtet wird*); da nach S. 403 dieser Abstand die Differenz der beiden gleichgerichteten Radian der Wellenfläche darstellt, so muss deren grösster oder kleinster Abstand immer einer optischen Elasticitätsaxe oder deren Normale entsprechen, und eine solche Richtung ist es stets, welche bei der Einstellung der Platte in Betracht kommt**).

*) Wobei die Mikrometerskala im Fernrohr gute Dienste leistet.

**) Bei einer einaxigen Krystallplatte von beliebiger Orientirung muss die zur optischen Axe senkrechte Richtung offenbar stets dem Maximum des Abstandes der beiden Grenzen entsprechen. Dadurch kann, auch wenn man die krystallographische Orientirung der Platte nicht kennt, jene Richtung gefunden und somit ω und ε bestimmt wer-

Schliesslich kann man eine Krystallplatte auch nach dem Vorschlage von C. Klein durch ihre, im durchfallenden parallelen polarisirten Lichte beobachteten Auslöschungsrichtungen orientiren. Zu diesem Zwecke kann der Theilkreis K von dem Ringe R , nach Lösung der Schrauben r , abgehoben und um 90° gedreht werden, welche Stellung dadurch bestimmt ist, dass die beiden an der Unterseite der Platte vorspringenden parallelepipedischen Stücke in zwei andere Einschnitte von R (deren einer rechts in Fig. 582 sichtbar ist) eingreifen. Ist K in dieser neuen Stellung mittelst der Schrauben r wieder befestigt, so ist das Fernrohr f nunmehr so gerichtet, dass der Beobachter die Säule M zur Seite hat. Statt des gewöhnlich benutzten Glasgefässes wird jetzt ein anderes, welches durch zwei gegenüberliegende planparallele Glasplatten geschlossen ist, angesetzt, und ausserdem mit dem Kreise ein zweites, f gegenüberstehendes Fernrohr verbunden; beide Fernröhre werden mit drehbaren Nicols versehen und diese zu einander gekreuzt. Alsdann lässt man Licht durch das eine Fernrohr, von da durch die Hülse g und die darauf befestigte Krystallplatte, welche natürlich auch auf der Hinterseite eine spiegelnde Fläche haben muss und dort nicht mit Kork bedeckt sein darf, endlich durch das vordere Fenster fallen; durch Drehen der Platte in ihrer Ebene wird dann ihre Dunkelstellung zwischen den gekreuzten Nicols und dadurch ihre Orientirung bestimmt.

Das zuletzt beschriebene Verfahren macht natürlich das Totalreflectometer zu einem sehr complicirten und theuren Instrumente, daher es entschieden vorzuziehen ist, die Platte, falls sie keine Kante besitzt, durch welche die Orientirung ermöglicht wird, vorher im gewöhnlichen Polarisationsinstrumente zwischen gekreuzten Nicols optisch zu orientiren und dann in der erforderlichen Richtung auf einer Seite eine Fläche anzuschleifen (oft ist die Herstellung einer orientirenden Randfläche auch durch Spaltbarkeit möglich), oder jener Richtung parallel eine Linie mit dem Diamanten einzuritzen.

Welcher dieser Wege für den einzelnen Fall auch als der geeignetste befunden werden mag, immer wird es möglich sein, auch bei Anwendung der einfachen, weiter oben beschriebenen Objectträger die Platte mit einer für die Messungen ausreichenden Genauigkeit zu orientiren. Jede weitere Complication des Kohlrausch'schen Totalreflectometers ist deshalb nicht zu empfehlen, weil das Instrument doch in allen Fällen nur zu angenäher-ten Messungen geeignet ist. Will man durch sehr sorgfältige Orientirung der Krystallplatte einen höheren Grad von Genauigkeit erreichen, so ist es viel vortheilhafter, sich des weiterhin beschriebenen Fuess-Liebisch'schen Totalreflectometers zu bedienen, welches mit dem Fuess'schen Goniometer Nr. 2 verbunden werden kann und weit genauere Messungen gestattet.

In welcher Weise eine Krystallplatte von bestimmter krystallographischer Orientirung auf dem Objectträger des Totalreflectometers befestigt

den; dreht man dann die Platte in ihrer Ebene um 90° , so bildet offenbar nun die Fortpflanzungsrichtung der Grenzstrahlen denselben Winkel mit der optischen Axe, wie die Ebene der Platte; von deren Neigung zur Axe hängt aber die Geschwindigkeit des ausserordentlichen Strahles ab; es lässt sich daher aus dem für diesen gefundenen Werthe ε' die Neigung α der Platte zur Axe berechnen und zwar nach F. Kohlrausch mittelst der Formel:

$$\sin^2 \alpha = \frac{\varepsilon'^2 - \omega^2}{\varepsilon^2 - \omega^2}.$$

werden muss, um die Hauptbrechungsindices zu liefern, ergibt sich in jedem einzelnen Falle aus ihrer krystallographischen Orientirung und aus den allgemeinen Bemerkungen S. 57 und 102. Ebenso ergeben sich für jeden Fall aus der Orientirung der Platte die beiden Schwingungsrichtungen des in derselben, bei horizontaler Fortpflanzung in der Grenzschicht, doppelt gebrochenen Lichtes. Um einen der Strahlen für sich zu beobachten, hat man einen Nicol so vor das Fernrohr zu halten*), dass sein Hauptschnitt parallel der betreffenden Schwingungsrichtung ist, wie sie für das beobachtende Auge erscheint (also ihre Projection auf die Ebene senkrecht zur Sehrichtung); alsdann wird die zweite Grenze, welche dem dazu senkrecht schwingenden Strahle entspricht, vollkommen zum Verschwinden gebracht. Diese erscheint natürlich am schärfsten, und die erste verschwindet, wenn man den Nicol um 90° dreht.

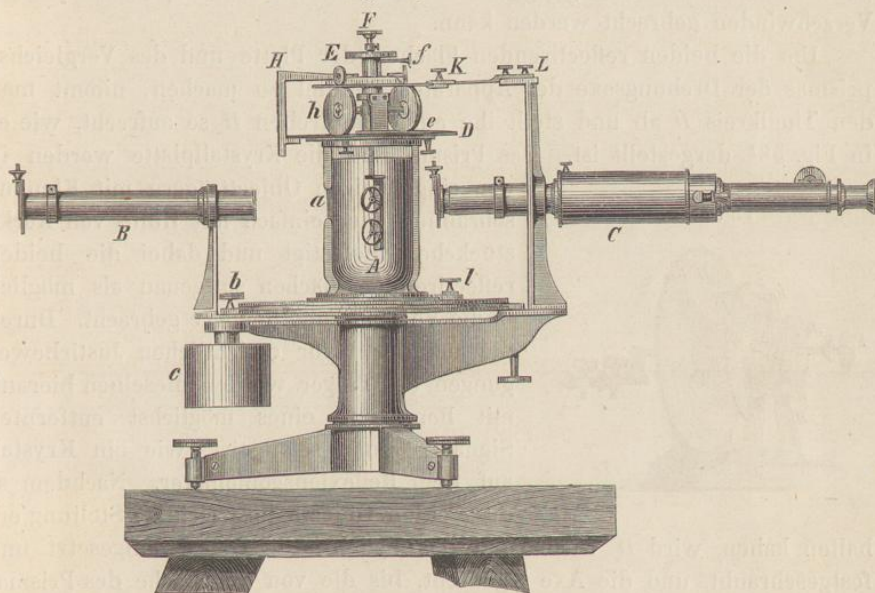
2) **Ch. Soret's Refractometer.** Während der Apparat von Kohlrausch nur für gewisse monochromatische Lichtarten, am bequemsten für Natriumlicht, angewendet werden kann, hat Ch. Soret ein allerdings weit complicirteres Instrument construirt, welches die Bestimmung der Brechungsexponenten durch Totalreflexion für alle Theile des Spectrums gestattet.

Um in derselben Weise, wie bei genauen Messungen der Dispersion von Prismen, die Bestimmung für die verschiedenen Fraunhofer'schen Linien ausführen zu können, bedarf es des Sonnenlichtes, welches mittelst eines Heliostaten in das verdunkelte Zimmer und auf den Spalt des Collimators *B* Fig. 583 ($\frac{1}{8}$ natürl. Grösse) geworfen wird. Von letzterem fallen die parallelen Strahlen durch eine planparallele Glasplatte *a* in das mit der stark brechenden Flüssigkeit gefüllte cylindrische Gefäss *A*, in welchem sich die zu untersuchende Platte befindet; nach der Reflexion an letzterer werden dieselben durch die cylindrische Austrittsfläche, welche wie eine sogenannte Cylinderlinse wirkt, concentrirt und fallen so auf den Spalt des durch Drehung um die Axe des Instrumentes in die richtige Stellung gebrachten, geradsichtigen Spectroskops *C*, welches sie zu einem breiten Spectrum dispergirt. Das cylindrische Gefäss ist oben durch den mit drei Schrauben befestigten Theilkreis *D* geschlossen, welcher in der Mitte von zwei Axen durchbohrt ist, deren kürzere äussere *E* mit dem Nonius *e* (vergl. auch Fig. 584) verbunden ist, während die innere bis in die Flüssigkeit reicht und die Objectplatte trägt. Mit *E* sind beiderseits zwei verticale Scheiben *h* in Verbindung, gegen welche die kreisförmige horizontale Platte *G* durch die Streben *H* mittelst der Knöpfe *k* angepresst wird. Dreht man nun das, durch ein Gegengewicht *c* balancirte Spectroskop *C* um die verticale Axe des Instrumentes, so nimmt, wenn die Klemmschraube *K* angezogen ist, die horizontale Platte *G* an dieser Drehung Theil

*) Auf Verlangen wird von M. Apel auch ein Nicol geliefert, welcher mit seiner Fassung auf das Ocular des Fernrohrs aufgesetzt und um die Axe des letzteren gedreht werden kann.

und zwingt dadurch die beiden Scheiben *h*, auf dem Theilkreise *D* zu rollen; hierdurch erfährt die Axe *E* mit dem Nonius eine Winkelbewegung, welche halb so gross ist, als die des Spectroskops, so dass die von der Objectplatte reflectirten Strahlen nicht aufhören, auf den Spalt des Spectroskops zu fallen, während der Einfallswinkel geändert wird. Ist der letztere sehr gross, so werden alle Strahlen total reflectirt und das Spectrum erscheint sehr hell. Vermindert man nun nach und nach den Incidenzwinkel, so erreichen allmählich die verschiedenen Strahlen die Grenze ihrer totalen Reflexion und werden alsdann nur noch theilweise, also mit geringerer Intensität, reflectirt. Man sieht in Folge dessen im Spectrum gleichsam einen dunklen Vorhang vom Roth zum Violett vorschreiten, wenn,

Fig. 583.



wie es gewöhnlich der Fall ist, die Flüssigkeit eine grössere Dispersion hat, als der eingetauchte Körper. Stellt man nun die Grenze zwischen dem helleren und dem minder hellen Theile des Spectrums durch gemeinsame Drehung der Platte und des Spectroskops auf eine Fraunhofer'sche Linie ein, so hat man den der letzteren entsprechenden Grenzwinkel der totalen Reflexion; man braucht also nur den Einfallswinkel dieser Strahlen zu bestimmen, was in derselben Weise, wie beim Kohlrausch'schen Instrumente, durch Ablesen der mit der Platte vorgenommenen Drehung von dieser Stellung bis zu der dazu symmetrischen geschieht.

Wegen der Variabilität des Brechungsexponenten der Flüssigkeit wird die letztere bei dem Soret'schen Apparate ganz aus der Bestimmung eliminirt, indem jede Messung doppelt vorgenommen wird, einmal an der zu

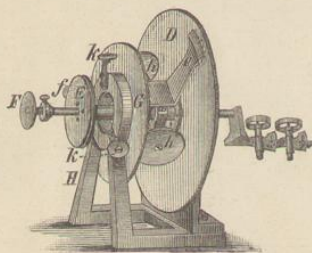
untersuchenden Platte, das andere Mal an einem Glasprisma, dessen Brechungsindices für die Fraunhofer'schen Linien ein- für allemal nach der Methode der Minimalablenkung bestimmt worden sind. Zu diesem Zwecke wurden am Ende der Axe *F* zwei Krystallträger angebracht, der obere für das Prisma, der untere für die Platte, von denen jeder durch Auf- oder Niederschieben der Axe *F* in den Gang der Lichtstrahlen gebracht werden kann. Ist *n* der gesuchte Brechungsexponent, *φ* der Grenzwinkel der Platte, *N* und *Φ* die entsprechenden Werthe für das Vergleichsprisma, so hat man

$$n = \frac{N \sin \varphi}{\sin \Phi}.$$

Bei doppeltbrechenden Platten sieht man natürlich zwei Grenzen, von denen eine durch Einfügung eines Polarisators in das Spectroskop zum Verschwinden gebracht werden kann.

Um die beiden reflectirenden Flächen der Platte und des Vergleichsprismas der Drehungsaxe des Apparates parallel zu machen, nimmt man den Theilkreis *D* ab und stellt ihn auf den Streben *H* so aufrecht, wie es in Fig. 584 dargestellt ist. Das Prisma und die Krystallplatte werden in

Fig. 584.



den ringförmigen Objectträgern mit Klemmschrauben oder einfach mit Hilfe von Korkstückchen befestigt und dabei die beiden reflectirenden Flächen so genau als möglich in die Verlängerung der Axe gebracht. Durch die aus der Figur ersichtlichen Justirbewegungen der Träger werden dieselben hierauf, mit Benutzung eines möglichst entfernten Signals, genau so justirt, wie ein Krystall auf dem Reflexionsgoniometer. Nachdem so die beiden Objecte ihre richtige Stellung erhalten haben, wird *D* wieder auf das cylindrische Gefäß aufgesetzt und festgeschraubt, und die Axe *F* gedreht, bis die von der Fläche des Prismas reflectirten Strahlen in das seitlich gestellte Spectroskop fallen; dann werden die concentrischen Axen *E* und *F* durch die Klemmschraube *f* mit einander verbunden, ebenso durch *K* der ganze Krystallträger mit dem Spectroskop und letzteres in dem einen oder dem anderen Sinne gedreht, bis der in das Spectrum eintretende Schatten die Fraunhofer'sche Linie, für welche man die Messung ausführen will, berührt. Nachdem diese Stellung abgelesen ist, wird die Schraube *K* gelöst, das Spectroskop auf die andere Seite geführt und der Krystallträger mit der Hand gedreht, bis die reflectirten Strahlen von Neuem auf den Spalt des Spectroskops fallen, worauf in derselben Weise die Grenze eingestellt wird, wie vorher. Die halbe Differenz der beiden Positionen giebt den Winkel der totalen Reflexion für das Vergleichsprisma. Hierauf wird die Axe *F* nach oben verschoben und die ganze Operation für die zu untersuchende Platte wiederholt, endlich

halten haben, wird *D* wieder auf das cylindrische Gefäß aufgesetzt und festgeschraubt, und die Axe *F* gedreht, bis die von der Fläche des Prismas reflectirten Strahlen in das seitlich gestellte Spectroskop fallen; dann werden die concentrischen Axen *E* und *F* durch die Klemmschraube *f* mit einander verbunden, ebenso durch *K* der ganze Krystallträger mit dem Spectroskop und letzteres in dem einen oder dem anderen Sinne gedreht, bis der in das Spectrum eintretende Schatten die Fraunhofer'sche Linie, für welche man die Messung ausführen will, berührt. Nachdem diese Stellung abgelesen ist, wird die Schraube *K* gelöst, das Spectroskop auf die andere Seite geführt und der Krystallträger mit der Hand gedreht, bis die reflectirten Strahlen von Neuem auf den Spalt des Spectroskops fallen, worauf in derselben Weise die Grenze eingestellt wird, wie vorher. Die halbe Differenz der beiden Positionen giebt den Winkel der totalen Reflexion für das Vergleichsprisma. Hierauf wird die Axe *F* nach oben verschoben und die ganze Operation für die zu untersuchende Platte wiederholt, endlich

wird dieselbe noch einmal mit dem Vergleichsprisma vorgenommen, so dass man, um den Einfluss der Temperaturschwankungen zu eliminiren, das Mittel der vorher und nachher für das Prisma gefundenen Zahlen mit dem dazwischen für die Objectplatte gefundenen Werthe vergleicht. Durch genügende Wiederholung der einzelnen Einstellungen kann man auf diesem Wege Brechungsexponenten bis zur vierten Decimale bestimmen.

Der Apparat ist so construirt, dass er nicht nur leicht aus einander genommen und gereinigt werden kann, sondern dass auch beim Zusammen setzen alle Theile, namentlich die obere und die untere Fassung des cylindrischen Gefässes, unmittelbar so in einander passen, dass sie unveränderlich alle genau die gleiche Drehungsaxe besitzen. Das Instrument wird von der »Société genevoise, pour la construction d'instruments de physique« (Plainpalais, Genève) für den Preis von 800 Fr. geliefert und hat in neuester Zeit noch einige kleine Verbesserungen seitens des Autors erfahren.

3) **Totalreflectometer nach Wollaston.** Die älteste von Wollaston benutzte Methode, Brechungsexponenten mittelst Totalreflexion zu bestimmen, besteht in Folgendem: Man lässt Licht durch die Seitenfläche eines Glasprismas eintreten, an dessen Hinterfläche reflectiren und durch die zweite Seitenfläche wieder austreten. Gegen die reflectirende Hinterfläche wird eine ebene Fläche der zu untersuchenden Substanz mittelst eines stark brechenden durchsichtigen flüssigen Kittes befestigt. Da letzterer eine planparallele Schicht bildet, findet die Brechung genau so statt, als wenn die Objectplatte direct an der Hinterfläche des Prismas anläge*). Ist nun die Richtung der einfallenden Strahlen derart, dass dieselben im Innern des Prismas auf der Grenzfläche zwischen Glas und Objectplatte unter kleinerem Winkel auffallen, als der Grenzwinkel der totalen Reflexion beträgt, so werden sie nur zum Theil reflectirt, und die Hinterfläche des Prismas erscheint dunkler, als wenn die Objectplatte nicht vorhanden wäre. Dreht man das Prisma, bis der Grenzwinkel erreicht ist, so werden die Strahlen nun an der Hinterseite desselben total reflectirt, und diese erscheint heller. Man sieht nun leicht ein, dass man aus der Richtung der Strahlen beim Austritt in Bezug auf die Flächen des Prismas und aus dem Brechungsexponenten des letzteren den Gang der Strahlen im Innern und damit den Grenzwinkel der totalen Reflexion für die Brechung aus der Glassorte des Prismas in die zu untersuchende Platte berechnen kann.

Diese Methode hat folgende Voraussetzungen: 1) muss der Brechungsindex des Prismas grösser sein, als derjenige der zu untersuchenden Substanz, daher man zur Anfertigung jenes schwere, stark brechende Glas sorten nimmt (mittelschweres Flintglas hat den Brechungsindex 1,64, das schwerste, zu solchen Zwecken noch verwendbare Glas 1,80, doch ist

*) Eine vollständige Berührung ist hierbei zwischen zwei sehr vollkommenen polirten Ebenen durch Andrücken zwar auch zu erreichen, so dass auf einer genügend grossen Strecke directer Lichtübergang stattfindet, viel leichter und sicherer aber durch eine äusserst dünne, dazwischen gebrachte Flüssigkeitsschicht.

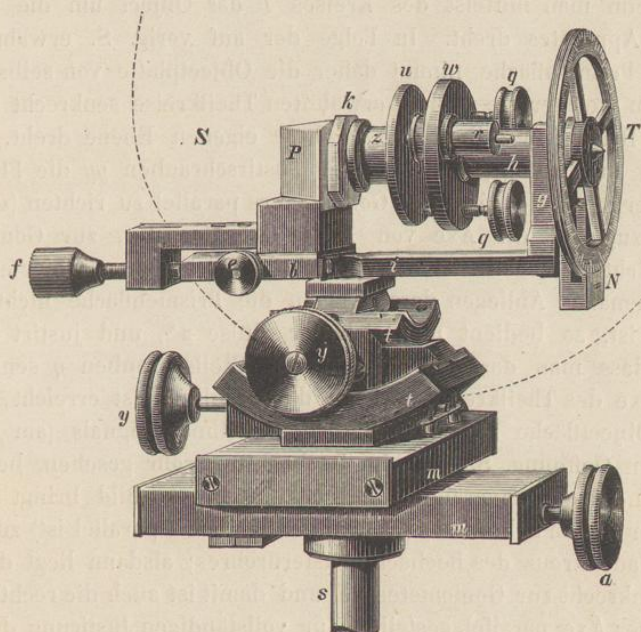
solches, da es leicht mechanischen Beschädigungen unterworfen ist, nur dann zu verwenden, wenn gewöhnliches Flintglas nicht mehr ausreicht); 2) muss die zwischen Prisma und Object gebrachte Flüssigkeitsschicht mindestens eine stärkere Brechbarkeit besitzen, als die Objectplatte, weil sonst an ihr die Totalreflexion früher eintritt, als an der Grenzfläche des Objectes; besonders vortheilhaft ist es jedoch, wenn der Brechungsexponent der Flüssigkeit auch noch höher ist, als derjenige des Prismas, weil dann überhaupt keine Totalreflexion an ersterer stattfindet und eine solche immerhin störend bei der Beobachtung wirken kann. Da zur Vermeidung derselben der Unterschied zwischen der Brechbarkeit der Flüssigkeit und des Prismas nur klein zu sein braucht, reicht man bei den meisten Substanzen mit Cassiaöl (Brechungsexponent für Natriumlicht 1,58—1,64) oder α -Bromnaphtalin (s. S. 595) aus, doch kann man auch, da bei dieser Methode nur minimale Quantitäten der Flüssigkeit in Anwendung kommen, Substanzen benutzen, mit denen andernfalls nicht gut zu manipuliren wäre, z. B. Arsenbromür $AsBr^3$, dessen Brechungsindex für Na-Licht = 1,784, oder eine Lösung von Phosphor in Schwefelkohlenstoff (Brechungsexponent 1,95) oder die stark brechenden Körper P^4S resp. P^2S .

Durch Abbe, welcher zuerst zeigte, dass die Grenze der totalen Reflexion sich in einem auf Unendlich eingestellten Fernrohre als scharfe Linie zeige und wie ein Signalbild mit dem Fadenkreuz zur Deckung gebracht werden könne, und durch Feussner, in dessen am Schlusse dieses § citirter Arbeit eine ausführliche Darstellung der Entwicklung der Totalreflexionsmethode gegeben ist, wurde die Verbindung des Wollaston'schen Verfahrens mit der Anwendung eines feiner getheilten Refractometers hergestellt und dadurch eine weit grössere Genauigkeit der Messung ermöglicht. Dieselbe wird auch dadurch wesentlich erhöht, dass die Temperatur der Flüssigkeit, deren Schwankungen bei dem Kohlrausch'schen Apparate die Genauigkeit sehr beeinträchtigen, bei der Wollaston'schen Methode nicht in Betracht kommt, da es auf den Brechungsexponenten der dünnen planparallelen Flüssigkeitsschicht zwischen Prisma und Object überhaupt gar nicht ankommt, so lange derselbe nicht geringer wird, als derjenige der Objectplatte, was man natürlich immer durch Wahl einer genügend stark brechenden Flüssigkeit vermeiden kann.

Um die zu untersuchenden Platten in bestimmter Weise gegen die Lichtstrahlen zu orientiren, verband zuerst Feussner mit dem Prisma eine kleine Vorrichtung, welche gestattete, die Objectplatte in ihrer Ebene zu drehen und den Drehungswinkel zu bestimmen. Wesentlich verbessert wurde diese Vorrichtung in dem von Liebisch beschriebenen und von Fuess ausgeführten Apparate, der nunmehr, nach einigen vom Verf. zugefügten Abänderungen, wohl allen, bei der Untersuchung von Krystallen zu stellenden Anforderungen entspricht. Dieser möge zuerst in derjenigen Form behandelt werden, in welcher er ein Attribut des Fuess'schen Reflexionsgoniometers (Modell Nr. 2, s. S. 560) bildet.

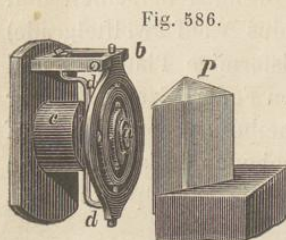
Fig. 585 ($\frac{3}{4}$ nat. Grösse) stellt in ihrem unteren Theile die Centrir- und Justirvorrichtung des Fuess'schen Goniometers dar, auf welche an Stelle des Krystallträgers eine horizontale Schiene *i* aufgeschraubt wird, deren rechtes Ende das Lager *g* und die Hülse *h* trägt. In dieser befindet sich drehbar die Axe des Theilkreises *T*, welcher zur Drehung derselben und zur Messung des Drehungswinkels (mittelst des Nonius *N* auf Zwölftelgrade) dient. Das andere Ende dieser Axe trägt die kreisförmige Platte *w*, und mit dieser ist durch zwei Stellschrauben *qq* und den Federbolzen *r* die zur Aufnahme und Justirung des Objectes bestimmte Scheibe *u* verbunden. Auf dieser sitzt ein kurzes Rohrstück mit der aufgeschobenen Hülse *z*, deren Ende durch eine Platte geschlossen ist, auf welcher die Objectplatte *k* mit

Fig. 585.



erhärtendem Kitt so befestigt wird, dass die spiegelnde Fläche annähernd parallel *u* ist. Der linke, beiderseits abgeschrägte Theil der Schiene *i* wird von dem Schieber *b* umfasst, welcher durch die Schraube *e* fixirt werden kann und mittelst des Winkelstückes mit der Schraube *f* verbunden ist; diese wird so gestellt, dass ihr Ende an die linke Endfläche der Schiene *i* antrifft, wenn das auf *b* befindliche Flintglasprisma *P* der Objectplatte *k* genügend genähert ist. Das Prisma *P* ist in seinem Lager festgekittet und so justirt, dass seine rechte Fläche senkrecht zur Drehungsaxe des Kreises *T* steht, während es mit seinem Lager zusammen in horizontaler Richtung, senkrecht zur Schiene *i*, auf *b* verschoben werden kann.

Statt der Hülse z kann auf das Rohrstück der Platte u die in Fig. 586 in nat. Grösse abgebildete Vorrichtung mittelst der Hülse c aufgeschoben werden. Vor letzterer befindet sich, in einer Gabel l leicht drehbar, ein sogenanntes Cardani'sches Ringsystem, auf dessen gerieftem



Mittelstück das Object festgekittet wird, zu welchem Zwecke man, um die Spitzengelenke des Ringsystems zu schonen, das letztere aufwärts dreht und auf ein ebenes Klötzchen auflegt. Nach der Befestigung der Objectplatte wird das Prisma P so an dieselbe herangeschoben, dass die spiegelnde Objectfläche der Prismenfläche mit sanftem Drucke, welcher durch die Feder d bewirkt wird, vollkommen anliegt und anliegend

bleibt, wenn man mittelst des Kreises T das Object um die horizontale Axe des Apparates dreht. In Folge der auf vorig. S. erwähnten Justirung der Prismenfläche nimmt daher die Objectplatte von selbst diejenige Lage ein, in welcher sie zu dem erwähnten Theilkreise senkrecht steht, folglich beim Drehen desselben sich in ihrer eigenen Ebene dreht. Man hat also dann nur nöthig, mittelst der Justirschrauben yy die Flächen des Prismas der verticalen Axe des Goniometers parallel zu richten (zu justiren), wodurch zugleich die Axe von T die erforderliche, zur Goniometeraxe normale Richtung erhält. Ist die spiegelnde Fläche eines Objectes so klein, dass ein genaues Anliegen derselben an die Prismenfläche nicht sicher zu erreichen ist, so bedient man sich der Hülse z^*) und justirt das Object dadurch, dass man dasselbe mittelst der Stellschrauben q senkrecht zur Drehungsaxe des Theilkreises richtet; diese Stellung ist erreicht, wenn das von der Objectfläche reflectirte Bild des Collimatorsignals (am besten der kreisrunden Oeffnung, S. 565), im Beobachtungsrohr gesehen, beim Drehen von T seine Lage unverändert beibehält. Dieses Bild bringt man dann mittelst der linken Schraube y (welche der Schiene i parallel ist) zur Deckung mit dem Fadenkreuz des Beobachtungsfernrohres; alsdann liegt die Axe des Kreises senkrecht zur Goniometeraxe, und damit ist auch die rechte Prismenfläche dieser Axe parallel gestellt. Zur vollständigen Justirung des Prismas genügt also eine Drehung der nach vorn gerichteten Schraube y .

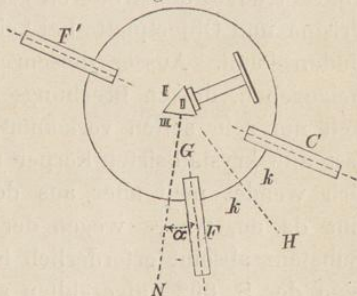
Bei etwas grösseren Platten bedient man sich am besten der selbstthätigen Andrückvorrichtung Fig. 586, welche die immerhin mühsame Justirung mittelst der Schrauben q überflüssig macht. Um nun die Platte in ihrer Ebene zu orientiren, so dass die Strahlen im Falle der totalen Reflexion sich in der Grenzschicht derselben genau in einer krystallographisch bestimmten Richtung fortpflanzen, welche alsdann der horizontalen

*) Für provisorische Versuche mit kleinen Platten ist noch eine ähnliche Hülse, aber mit convexer Oberfläche, beigegeben, in deren Innerem sich eine schwache Spiralfeder befindet, welche das Object an das Prisma andrückt.

Ebene des Goniometerkreises parallel liegt, d. h. in die Einfallsebene des Lichtes fällt, — benutzt man eine Kante der Krystallplatte, welche durch eine Randfläche gebildet wird, und welcher die Einfallsebene des Lichtes parallel sein oder mit der sie einen bestimmten Winkel bilden soll. Diese Kante muss zuerst in Bezug auf den Theilkreis des Goniometers justirt werden. Zu dem Zwecke wird der Prismenträger auf b so verschoben, dass die Platte ein wenig über die Prismenkante vorragt und daher ihre Seitenfläche zur Reflexion des Lichtes frei wird. Andererseits gestattet das Cardani'sche Ringsystem dadurch, dass in den Krystallträgertheil a ein kleines Tischchen eingesetzt wird, noch die von dem Collimator ausgehenden Strahlen, wenn auch bei senkrecht zur Hauptfläche stehender Seitenfläche der Platte nur unter spitzem Incidenzwinkel, auf die letztere fallen zu lassen und dadurch die Kante beider Flächen durch Drehen des Kreises T genau zu justiren. Ist dies geschehen, so dreht man die Platte in ihrer Ebene weiter um den erforderlichen Winkel, den man an T abliest (soll die Kante der Einfallsebene des Lichtes parallel werden, um 90°), und verschiebt das Prisma wieder bis zur vollständigen Verdeckung der Objectplatte, auf deren Oberfläche man nun einen Tropfen Bromnaphthalin bringt. Um störendes Nebenlicht abzuhalten, kann man auf das Objectiv des Beobachtungsfernrohres eine im Innern geschwärzte Hülse aufsetzen. Um eine der Grenzen allein und schärfer zu sehen, muss man bekanntlich ein Nicol'sches Prisma in den Gang der Lichtstrahlen einschalten; den mit vorstehend beschriebenen Totalreflectometern ausgerüsteten F u e s s'-schen Goniometern wird daher ein eigens hierzu eingerichtetes, mit einem drehbaren Nicol versehenes Ocular beigegeben. Zwischen die monochromatische Flamme und das Instrument bringt man einen Schirm von Oelpapier oder dergl., welcher durch den Kreis in Fig. 585 angedeutet ist. Das hierdurch zerstreute Licht fällt auf die in Fig. 587 mit I bezeichnete Fläche des Prismas, wird an der Hinterseite (II) desselben von der Objectplatte reflectirt und tritt durch die Fläche III aus. Den Winkel α , welchen die der Grenze der totalen Reflexion entsprechenden Strahlen mit der Normalen

N zur Fläche III bilden, kann man sehr einfach dadurch bestimmen, dass man das Beobachtungsfernrohr F vorher in die Stellung F' bringt und dann aus dieser, dem Collimator C parallelen Position um einen bestimmten, am Kreise abgelesenen Winkel $F'F$ dreht; man kennt alsdann den Winkel zwischen F und C , welcher $= 2k$ gesetzt werden möge. Hierauf stellt man, bei festgeklammtem Nonienkreise, durch Drehung des Prismas die Grenze der totalen Reflexion auf die Mitte des Fadenkreuzes in F ein, liest ab, dreht das Prisma weiter, bis das Signal des Collimators, an der Fläche III

Fig. 587.



gespiegelt, im Fadenkreuz erscheint, und liest wiederum die Stellung des Limbus ab. Da in der letzteren Stellung die Normale der Prismenfläche *III* mit der Richtung *H* zusammenfällt, so hat dieselbe bei der Drehung zwischen den beiden abgelesenen Positionen den Winkel $k + \alpha$ (resp. $k - \alpha$, wenn die Richtung *G* der Grenzstrahlen links von *N* liegt) beschrieben. Da *k* bekannt ist, folgt hieraus α , d. i. die Richtung der austretenden Grenzstrahlen in Bezug auf die Austrittsfläche *III* des Prismas; bildet nun letztere mit *II*, an welcher die Objectplatte anliegt, den Winkel A^*), und ist *n* der Brechungsexponent des Prismas, so bildet der Grenzstrahl im Innern mit der Normale der Austrittsfläche den Winkel *l*, für welchen die Gleichung gilt

$$\sin l = \frac{\sin \alpha}{n}$$

Der gesuchte Incidenzwinkel, unter welchem die totale Reflexion an der Fläche *II* stattfindet, ist daher

$$i = A + l,$$

wenn der Strahl *G*, wie in Fig. 587, rechts von *N* austritt,

$$i = A - l,$$

wenn er links von *N* liegt. Das erstere ist der Fall, wenn der Brechungsexponent des Prismas nicht sehr hoch über demjenigen der zu untersuchenden Substanz liegt, wenn also *i* einen ziemlich grossen Werth besitzt.

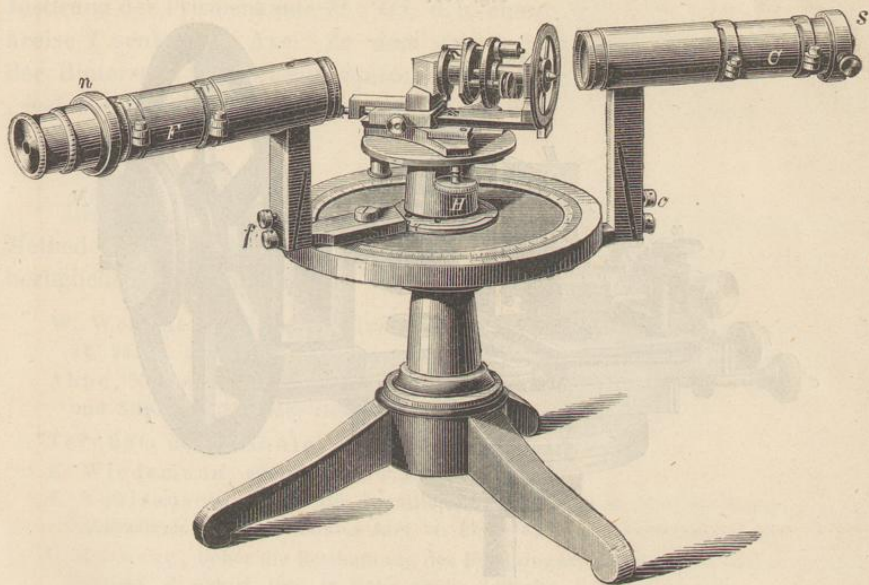
Das an den von Fuess gelieferten Instrumenten mit *A* bezeichnete Prisma hat nun bei gewöhnlicher Temperatur für Natriumlicht den Brechungsindex 1,6497, kann also mit Vortheil für alle Substanzen benutzt werden, welche eine, wenn auch nur sehr wenig niedrigere Brechbarkeit besitzen, und dies ist die grosse Mehrzahl. Wendet man als Flüssigkeit hierbei Bromnaphtalin an, so hat man, da nach S. 595 dessen Brechungsexponent bei $15^\circ = 1,6595$, den weiteren Vortheil, dass an der Flüssigkeitsschicht zwischen Prisma und Objectplatte bei keiner Stellung des ersteren Totalreflexion stattfinden kann. Ausser diesem Prisma ist dem Instrumente ein zweites *B* beigegeben, dessen Brechungsexponent 1,7849. Da noch höhere Brechbarkeit nur sehr selten vorkommt, so ist man hierdurch in den Stand gesetzt, fast alle krystallisirten Körper nach dieser Methode zu untersuchen. Natürlich wendet man aber aus dem S. 602 erwähnten Grunde das Prisma *B* nur da an, wo es wegen der hohen Brechbarkeit der zu untersuchenden Substanz absolut erforderlich ist, und verbindet es mit dem Object durch eine der S. 602 aufgezählten stark brechenden Flüssigkeiten.

Das beschriebene Totalreflectometer wird von Fuess auch als besonderes Instrument (s. Fig. 588) geliefert. Auf einem Dreifuss befindet sich ein fester Kreis mit zwei gegenüberliegenden Nonientheilungen, in welchen ein Limbus

*) Dieser Werth beträgt ungefähr 60° , da die Fuess'schen Prismen nahezu gleichseitig geschliffen werden; derselbe muss aber natürlich vorher ein- für allemal genau ermittelt werden. Ebenso hat jeder Beobachter nöthig, den Brechungsexponenten seiner Prismen sorgfältig zu bestimmen, da kleine Verschiedenheiten in der Beschaffenheit des Glases der zu verschiedenen Zeiten gelieferten Prismen unvermeidlich sind.

drehbar so eingelassen ist, dass die Oberflächen beider in eine Ebene fallen. An dem ersteren ist der unbewegliche Collimator *C*, mit dem Spalte *s*, befestigt, an dem letzteren das Beobachtungsfernrohr *F*, welches mit einem Nicol vor dem Ocular versehen ist, dessen Stellung an einer kleinen Kreistheilung auf *n* abgelesen werden kann. Von der Drehung dieses Fernrohrs, welche also mit dem Limbus gleichzeitig stattfindet, ist diejenige der in der Mitte aufgesetzten, schwach conischen Hülse *H* unabhängig. Letztere

Fig. 588.

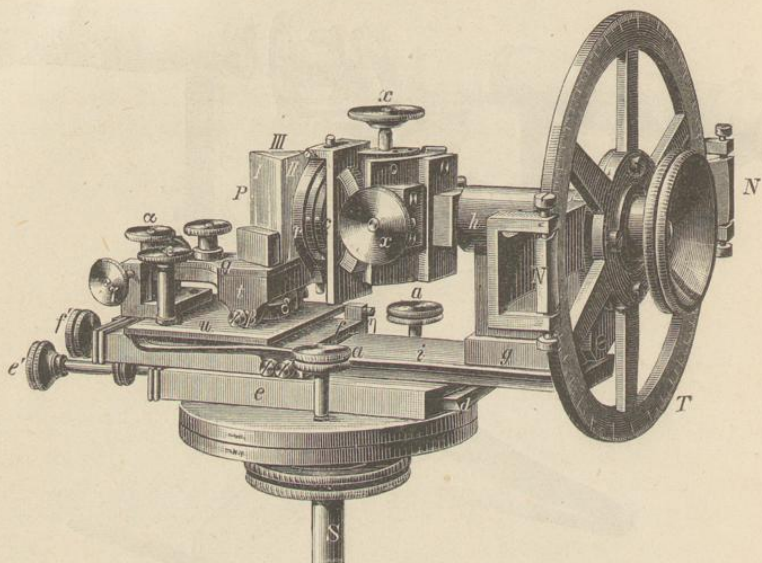


trägt eine kreisrunde Platte und auf dieser, durch einen Federbolzen und zwei Schrauben justirbar, eine dreieckige Platte mit zwei Schienen, zwischen welche die Schiene *i* des Fig. 585 abgebildeten eigentlichen Totalreflexionsapparats einfach eingeschoben ist. Die Messung geschieht nun mit diesem Instrumente in folgender einfacher Weise: Nachdem die Position des Collimators durch directe Einstellung des Spaltes bestimmt ist, wird das Beobachtungsfernrohr in eine ähnliche Stellung gebracht, wie *F* in Fig. 587, welche am Kreise abgelesen wird, und hierauf das Prisma gedreht, bis die Grenze der totalen Reflexion mit dem Fadenkreuz zusammenfällt; diese Stellung des Prismas kann durch eine an *H* befindliche Klemmschraube fixirt werden. Alsdann wird das Beobachtungsfernrohr gedreht, bis das Bild des Signals im Faden eingestellt ist, und diese Position abgelesen. Wie eine einfache Betrachtung lehrt, ergibt sich hieraus die Richtung der Normalen der Austrittsfläche der Strahlen aus dem Prisma und damit der Winkel, welchen die Grenzstrahlen mit jener Richtung bilden. Die Justirung

der Platte ist bei diesem Apparate natürlich ganz die gleiche, wie bei dem mit dem gewöhnlichen Goniometer verbundenen.

Da die Genauigkeit der Messung von Brechungsexponenten mittelst der vorbeschriebenen Methode, wenn genügend grosse und vollkommene Platten vorliegen, ebenso hoch gesteigert werden kann, wie bei der bisher für genauere Bestimmungen fast ausschliesslich angewendeten Methode der Ablenkung durch ein Prisma, so hat Fuess endlich noch ein grösseres Instrument derselben Art construirt, welches in Fig. 589 in $\frac{1}{2}$ nat. Grösse

Fig. 589.



abgebildet ist. Die Goniometeraxe *S* trägt zwei runde Messingplatten, deren obere durch die Schrauben *a* gegen die untere etwas geneigt werden kann, um die Axe des Theilkreises *T* senkrecht zur Goniometeraxe zu richten. Auf der oberen Platte sitzt die Schiene *d*, auf welche der Apparat mittelst des Schlittens *e*, der durch die Schraube *e'* bewegt wird, aufgeschoben ist. Mit *e* ist die Schiene *i* fest verbunden, welche rechts das Lager *g* für die Axe *h* des Theilkreises *T* trägt; an letzterem können mittelst der Nonien *N* die Drehungen auf *1'* abgelesen werden. Auf dem anderen Ende von *h* ist eine aus zwei Cylinderschlitten bestehende Justirvorrichtung befestigt, welche genau derjenigen des Goniometers (s. S. 563) gleicht. Indem man an Stelle des Cardani'schen Ringsystems *c* einen Spiegel aufsetzt, kann man die S. 604 erwähnte Einstellung desselben senkrecht zur Axe *h* und alsdann durch die Schrauben *a* die Justirung der genannten Axe zur Goniometeraxe ausführen. Auf der Schiene *i* wird der Schlitten *f* aufgeschoben, dessen Bewegung durch die Schraube *f'* bewirkt wird. Das auf dem Schlitten befindliche Prisma *P* ist auf einer Messingplatte befestigt,

welche mit zwei an ihrer Unterseite angebrachten Stiften in die Platte t eingesetzt und mittelst q festgeschraubt wird; t hat nach unten zwei Fortsetzungen, welche mit den Schrauben β (die hintere ist nur z. Th. sichtbar) in die kreisförmige Platte δ eingreifen; durch die Schraube α wird eine Drehung des Prismas um die horizontale Axe $\beta\beta$ bewirkt. δ ist auf der Platte u drehbar, so dass durch die Bewegung der Schrauben γ (deren hintere fast ganz verdeckt ist) das Prisma um eine senkrechte Axe gedreht wird. Durch diese beiden Bewegungen kann demnach die Prismenfläche II genau senkrecht zur Axe h gerichtet werden. Es bedarf also nur noch der Justirung der Prismenkante $II : III$, d. h. einer Drehung um eine zum Theilkreise T senkrechte Axe. Zu dem Zwecke ist die Platte u um zwei auf der Hinterseite angebrachte Spitzenschrauben η drehbar, und ihre Drehung geschieht mittelst der Schraube ε , welcher eine vorn sichtbare Feder entgegenwirkt.

Zum Schluss möge noch eine Zusammenstellung der wichtigsten auf die Methode der Bestimmung von Brechungsexponenten durch Totalreflexion bezüglichen Literatur gegeben werden:

W. Wollaston, Philosoph. Transact. 4802, 365, und Gilbert's Annalen d. Phys. 31, 235 u. 398.

Abbe, Neuere Apparate zur Bestimmung des Brechungsvermögens etc. Jena 1874 und Sitz.-Ber. d. Jenaer Ges. f. Med. u. Naturw. Febr. 1879.

Terquem und Trannin, Poggend. Ann. 457, 302.

E. Wiedemann, ebenda 458, 375.

F. Kohlrausch, Ueber die Ermittlung von Lichtbrechungsverhältnissen durch Totalreflexion. Wiedemann's Ann. d. Phys. 4, 1 und Zeitschr. f. Kryst. 2, 100.

G. Quincke, Ueber die Bestimmung des Brechungsexponenten mit totaler Reflexion. Festschr. d. naturf. Ges. in Halle 1879; Zeitschr. f. Kryst. 4, 540.

W. Kohlrausch, Ueber die exper. Best. v. Lichtgeschwindigkeiten in Krystallen. Wiedemann's Ann. 1879, 6, 86 und 7, 427; s. auch Zeitschr. f. Kryst. 4, 621.

F. Kohlrausch, Ueber Prismenbeobachtungen mit streifend einfallendem Lichte und über eine Abänderung der Wollaston'schen Bestimmungsmethode für Lichtbrechungsverhältnisse. Wiedemann's Ann. 46, 603, Zeitschr. f. Kryst. 7, 507.

Ders., Ueber die Einstellung eines Objectes am Totalreflectometer. Wiedem. Ann. 46, 609, Zeitschr. f. Kryst. 7, 509.

K. Feussner, Ueber eine neue Methode der Brechungsexponentbestimmung mittelst Totalreflexion; Dissert. Marburg 1882; s. auch Zeitschr. f. Kryst. 7, 505.

Ch. Soret, Ueber ein Refractometer z. Mess. d. Brechungsexpon. u. d. Dispersion fester Körper. Arch. sc. ph. nat. 9 und Zeitschr. f. Kryst. 7, 528.

Th. Liebisch, Neuere Apparate für die Wollaston'sche Methode zur Bestimmung von Lichtbrechungsverhältnissen. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1884, 185 und 1885, 13.

§. 446. Spectralphotometer. Im Anschluss an die Refractometer möge denjenigen Apparaten eine kurze Betrachtung gewidmet werden, welche dazu dienen, für die verschiedenen Farben des Spectrums die Absorption in einer Krystallplatte quantitativ zu bestimmen. Die hierzu

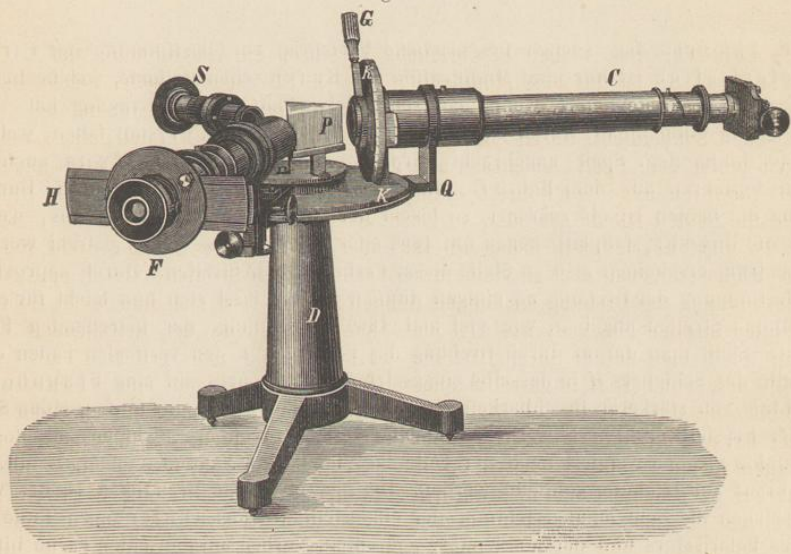
benutzte Methode von Vierordt ist die folgende: Der Spalt eines Spectralapparates ist in zwei Theile getheilt, so dass jede Hälfte desselben für sich weiter oder enger gestellt, und die Breite einer jeden an der Trommel der zur Verstellung benutzten Mikrometerschraube abgelesen werden kann. Vor den einen Spalt wird nun die zu untersuchende Platte gebracht und derselbe so weit geöffnet, dass das ihn passirende Licht nach der Absorption in der Platte die gleiche Helligkeit besitzt, wie das durch die andere, engere Spalthälfte frei hindurchgegangene Licht. Um hierbei die Untersuchung für eine einzelne Farbe vornehmen zu können, ist im Ocular des zum Spectralapparat gehörigen Beobachtungsfernrohres ein Schieber mit Schlitz angebracht. Durch letzteren erblickt man dann nur einen schmalen Streifen des Spectrums, dessen obere Hälfte von dem durch die Platte bedeckten Spalte, dessen untere Hälfte von dem freien Spalte erleuchtet ist, und kann nun leicht durch Aenderung der ersten Spaltweite beide Hälften gleich hell machen. Aus dem an den Mikrometerschrauben abgelesenen Verhältniss der beiden Spaltweiten kann die Stärke der Absorption berechnet werden. (Vierordt, Anwendung der Spectralanalyse zur Photometrie der Absorptionsspectren, Tübingen, 1873. H. W. Vogel, Praktische Spectralanalyse, Nördlingen 1878).

Noch genauer und für die Untersuchung der Absorptionsverhältnisse in Krystallen besonders geeignet ist das von Glan construirte Spectralphotometer, welches von Schmidt und Hänsch in Berlin*) geliefert wird. Dasselbe ist Fig. 590 in $\frac{1}{4}$ der nat. Grösse dargestellt. Der kurze Spalt des Collimatorrohres *C*, durch welchen das weisse Licht eines starken Petroleum Brenners eintritt, ist durch ein quer übergelegtes schmales Metallplättchen in zwei Hälften getheilt. Vor die eine derselben wird, wie bei dem vorigen Apparat, die absorbirende Platte gebracht; die beiden Hälften haben aber hier gleiche und constante Breite. In dem Collimatorrohr befindet sich ferner ein doppeltbrechender Körper (ein sogenanntes Rochonsches Quarzprisma), welcher von jeder der beiden rechteckigen Spalthälften ein doppeltes Bild entwirft; bei richtiger Stellung des Instrumentes erscheinen in der Mitte des Gesichtsfeldes das ordentliche Bild der einen Hälfte und das ausserordentliche der andern unmittelbar über einander, um die Vergleichung ihrer Helligkeit zu erleichtern. Aus dem doppeltbrechenden Prisma gelangen die Strahlen in einen, im verstärkten Theile von *C* befindlichen Nicol, welcher mittelst des Griffes *G* drehbar ist und dessen Drehung an dem Kreise *k* abgelesen werden kann. Stellt man den Nicol auf 0° , so fällt sein Hauptschnitt mit dem des doppeltbrechenden Prismas zusammen, und das ordentliche Bild ist vollkommen verschwunden; durch Drehung des Nicols ruft man dasselbe wieder hervor und findet leicht diejenige Stellung, in welcher beide Bilder gleich hell erscheinen. Sei der hierzu erforderliche und am Kreise *k* abgelesene Drehungswinkel $= \alpha$, so

*) S. Stallschreiberstr. 4. Der Preis des Instrumentes ist 450 Mark.

ist das Verhältniss der Intensitäten des durch den oberen und des durch den unteren Spalt gegangenen Lichtes $= \tan^2 \alpha$. Um die so erhaltene Bestimmung der Absorption für jede Farbe einzeln vornehmen zu können, gehen die Strahlen durch das Prisma P und bringen in dem Beobachtungsfernrohr F ein Spectrum hervor, von welchem durch einen Schlitz des Schiebers H nur der, der betreffenden Farbe entsprechende, schmale Streifen beobachtet wird. Durch eine im Rohre S angebrachte Skala, welche, von einer Flamme beleuchtet und an dem Prisma P gespiegelt, gleichzeitig im Fernrohr F gesehen wird, kann die Stelle im Spectrum, welche man beobachtet, näher bestimmt werden. Auch kann man die Stellung

Fig. 590.



des Beobachtungsfernrohres an dem Kreise K ablesen, wie bei einem Refractometer (s. Glan, Wiedemann's Annalen 1877, 4, 351; H. W. Vogel, Practische Spectralanalyse; Schwebel, Zeitschr. f. Kryst. 7, 155; Zenker, Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1884, 83).

Bodländer benutzte den Glan'schen Apparat zur Messung der Drehung der Polarisationssebene in circularpolarisirenden Krystallen, indem er das Rochon'sche Prisma und das Plättchen, welches den Spalt in zwei Hälften theilt, entfernte und hinter dem letzteren eine Quarzdoppelplatte anbrachte, welche in der oberen Hälfte aus Rechtsquarz, in der unteren aus Linksquarz, beide gleich dick, besteht. Das Licht eines Petroleumbrenners, durch eine Linse parallel gemacht und durch einen Nicol polarisirt, fällt, nachdem es durch Spalt und Doppelplatte gegangen ist, auf den drehbaren Nicol des oben abgebildeten Apparates. Werden die Hauptschnitte beider Nicols gekreuzt und die Grenze der beiden Hälften der Quarzplatte senkrecht zur Kante des Prismas gestellt, so erscheint in der oberen und unteren

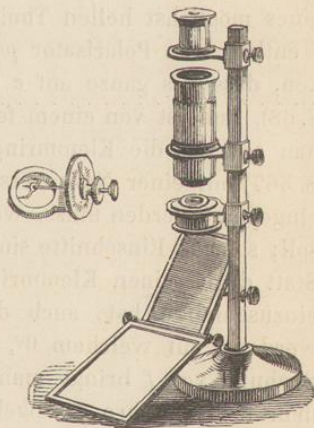
Halbte des beobachteten Spectrums dieselbe Farbe ausgelöscht, nämlich das im Rechts- und im Linksquarze um 180° gedrehte Gelb, und daher ein senkrecht durchgehender schwarzer Streifen. Fügt man nun vor dem Spalt eine circularpolarisirende Platte in den Gang der Lichtstrahlen ein, welche das mittlere Gelb um α° rechts dreht, so wirkt diese so, als ob der Rechtsquarz um ebenso viel dicker, der Linksquarz dünner geworden wäre; man muss den Nicol am Ende des Collimatorrohres um α° nach rechts drehen, um den dunklen Streifen in beiden Hälften des Spectrums wieder an derselben Stelle zu sehen. (G. Bodländer, Ueber das optische Drehungsvermögen isomorpher Mischungen aus den Dithionaten des Bleis und des Strontiums, Dissert. Breslau 1882, s. auch Zeitschr. f. Kryst. 9, 309).

*) Anmerk. Das soeben beschriebene Verfahren zur Bestimmung der Circularpolarisation ist nur eine Modification der Broch'schen Methode, welche besonders genaue Resultate liefert, wenn man sehr dicke Platten zur Verfügung hat. Man lässt alsdann Sonnenlicht, durch einen Nicol polarisirt, auf den Krystall fallen, welcher vor oder hinter dem Spalt angebracht wird (das Rochon'sche Prisma wird auch bei diesem Verfahren aus dem Rohre *C* entfernt). Hat man ursprünglich durch Dunkelstellung die beiden Nicols gekreuzt, so löscht der Analysator alle Farben aus, welche durch die dicke Krystallplatte genau um 180° oder ein Vielfaches davon gedreht werden, im Spectrum erscheinen also an Stelle dieser Farben dunkle Streifen. Durch approximative Bestimmung der Drehung an einigen dünnen Platten lässt sich nun leicht für einen bestimmten Streifen angeben, wie viel mal 180° die Drehung der betreffenden Farbe beträgt. Stellt man darauf durch Drehung des Fernrohrs *F* den verticalen Faden eines an Stelle des Schiebers *H* in dasselbe eingesetzten Fadenkreuzes auf eine Fraunhofer'sche Linie von stärkerer Brechbarkeit ein und dreht den Analysator in demselben Sinne wie der Krystall dreht, so werden nunmehr stärker brechbare Strahlen ausgelöscht, der dunkle Streifen wandert nach der Seite des Violett und kann also ebenfalls mit dem Fadenkreuz zur Deckung gebracht werden. Die hierzu nöthige Drehung α ist der Winkel, welchen die Schwingungsrichtung der eingestellten Fraunhofer'schen Linie mit der des Polarisators und der um $n \cdot 180^\circ$ gedrehten, vorher ausgelöschten Farbe bildet; die Drehung für die eingestellte Linie beträgt also $n \cdot 180^\circ + \alpha^\circ$. In derselben Weise kann man einen bestimmten dunklen Streifen nach und nach auf alle Fraunhofer'schen Linien einstellen und die Drehung für die ihnen entsprechenden Wellenlängen bestimmen (über einige Abänderungen der Broch'schen Methode behufs noch genauerer Messung s. V. von Lang, Sitz.-Ber. d. Wien. Akad. 74 (2), 209, und R. Lüttke, Poggendorff's Ann. d. Phys. 137, 271).

B. Polarisationsapparate.

§. 117. **Polarisationsinstrumente nach Nörremberg.** Das Polarisationsinstrument für paralleles und convergentes Licht ist bereits in der I. Abth. S. 68—71 dem Princip seiner Construction nach erläutert worden. Die verschiedenen gebräuchlichen Formen desselben unterscheiden sich meist nur durch die Zahl und Anordnung der Linsensysteme, welche statt der Sammellinse *n* Fig. 54 und des Objectivs *o* ebendasselbst dienen. Der ursprünglichen Nörremberg'schen Construction am nächsten steht das in Fig. 594 abgebildete Instrument, welches von dem optischen Institut von Steeg und Reuter in Homburg*) geliefert wird; dasselbe hat den Vortheil eines sehr grossen Gesichtsfeldes, so dass selbst bei sehr grossem Axenwinkel die Lemniscatensysteme noch zu übersehen sind; nur sind freilich die Bilder nahe dem Rande des Gesichtsfeldes stets weniger vollkommen und daher für feinere Farbenunterschiede, z. B. für Erkennung des Sinnes der Dispersion durch die Säume der Hyperbeln (vergl. S. 111), nicht zuverlässig; endlich ist auch die Polarisation des der Billigkeit wegen angewandten Glassatzes nicht so vollkommen, wie die eines Nicols als Polarisator. Derartige einfache Apparate, wie sie in ähnlicher Weise auch von Fuess in Berlin geliefert werden*), sind da ausreichend, wo es sich nicht um genauere Bestimmungen, sondern nur um Demonstration der Erscheinungen handelt. Dieselben können auch, wie aus der Figur ersichtlich, mit einer einfachen Vorrichtung zur Messung des Winkels der optischen Axen versehen werden. Etwas kleiner ist das Gesichtsfeld bei dem von Des Cloizeaux (Poggendorff's Ann. 426. Bd.) angegebenen Instrumente, welches jenen in mehrfacher Beziehung vorzuziehen

Fig. 594.



*) S. die Preisverzeichnisse am Schlusse.

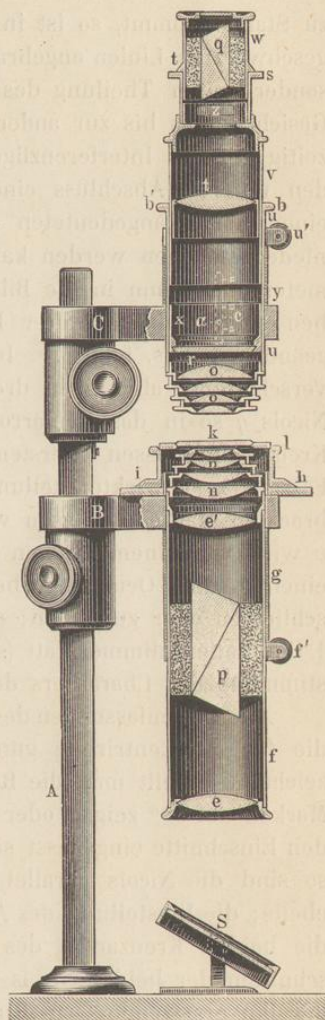
ist, während sein Gesichtsfeld doch gross genug ist, um in allen Fällen zu genügen (bei scheinbarem Axenwinkel von 125° sind noch beide Axenbilder innerhalb desselben sichtbar). Des Cloix² verband sein Instrument mit einem zur Messung des optischen Axenwinkels eingerichteten Theilkreise, welchen, mit $\frac{1}{2}$ zwei kleinen Fernröhren montirt, er zugleich zur Messung von Brechungsexponenten benutzte. Der Verfasser (Poggendorff's Ann. 144. Bd.) vervollständigte diesen Apparat derart, dass er, mit möglichster Benutzung einzelner Theile für mehrere Zwecke, alle Instrumente, welche bei krystallographisch-optischen Untersuchungen häufiger gebraucht werden, inclusive eines Goniometers zur Bestimmung der Krystallwinkel und der Brechungsexponenten, umfasst. In dieser, von Fuess in Berlin ausgeführten Zusammenstellung, welche in neuerer Zeit noch mancherlei kleine Verbesserungen erfahren hat, ist er unter dem Namen »krystallographisch-optischer Universalapparat« so allgemein verbreitet, dass es geeignet erscheint, im Folgenden die einzelnen optischen Instrumente in der Form zu beschreiben, wie sie die Theile jenes Apparates bilden und wie sie natürlich auch einzeln bezogen und benutzt werden können.

Das Polarisationsinstrument für convergentes Licht ist in Fig. 592 ($\frac{1}{3}$ nat. Grösse) im verticalen Durchschnitt dargestellt, bis auf die Theile *A*, *B* und *C*, welche mit ihren Schrauben in Vorderansicht erscheinen. Der einfache Spiegel *S* wird bei parallelen Nicols um seine Axe so gedreht, dass er, wenn das Instrument nahe am Fenster steht, das Licht eines möglichst hellen Theils des Himmels in dasselbe reflectirt. Das Rohr *f* enthält den Polarisator *p* und die beiden Glaslinsen *ee'*, welche bewirken, dass das ganze auf *e* fallende Licht in das Instrument gelangt (vergl. S. 68), und ist von einem fest angezogenen Klemmringe *f'* umgeben, der genau so, wie die Klemmringe der Ocularsysteme bei den Goniometern (s. S. 567) mit einer Nase versehen ist, welche in einen Einschnitt des Rohres *g* eingepasst werden muss, wenn *f* in richtiger Lage in *g* eingeschoben werden soll; solcher Einschnitte sind zwei, mit 90° und 45° bezeichnet, vorhanden. Statt durch einen Klemmring kann die Stellung, bis zu welcher man *f* in *g* einzuschieben hat, auch durch einen auf *f* festgelötheten Ring bestimmt werden, auf welchem 0° , 45° , 90° durch Marken bezeichnet sind; durch Drehung von *f* bringt man die betreffende dieser Marken mit einer auf dem festen Rohre *g* angebrachten Marke zur Coincidenz. Das Sammellinsensystem besteht aus vier planconvexen Linsen *n*, welche durch Verschraubung mit einander verbunden sind; die Fassung der untersten derselben passt genau in das Rohr *f*, so dass das ganze Linsensystem durch einfaches Einsetzen in den obersten Theil dieses Rohres seine richtige Stellung erhalten und mit *f* zusammen nach abwärts herausgezogen werden kann, wenn man den Spiegel *S* zur Seite geschoben hat*). Mit dem Träger

*) In den älteren Instrumenten von Fuess befand sich an der Stelle zwischen *e'* und der untersten Sammellinse *n*, auf welche nach S. 70 eingestellt wird, d. h. in der Focalebene des Sammellinsensystems, ein Diaphragma mit einem Fadenkreuz, welches

B fest verbunden ist nun eine kreisrunde Platte, welche an der Stelle unter *h* eine Nonientheilung trägt, und ein kurzes cylindrisches Rohrstück. Auf das letztere wird das oben mit einem gerieften vorspringenden Rande *l* versehene Rohrstück aufgesetzt, dessen unteren Theil der abgeschrägte kleine Theilkreis *hi* bildet, welcher beim Drehen des Rohrstücks auf der festen Nonienplatte schleift. Auf *l* wird oben die kreisförmige, durch einen Messingring gefasste Glasscheibe *k*, auf der bei der Beobachtung der Krystall liegt, in einer bestimmten Stellung aufgelegt; diese ist dadurch fixirt, dass der Rand jenes Messingringes an einem Punkte einen Einschnitt hat, in welchen genau ein an *l* festgemachter kleiner Stift passt. Durch Drehen des vorspringenden Wulstes *l* mit zwei Fingern wird also die Krystallplatte in ihrer Ebene gedreht um einen Winkel, welcher mittelst des Nönus auf dem Kreise *hi* abgelesen werden kann. Der Träger *B* ist mit seinem hohlprismatischen unteren Theile durch eine Schraube an das dreiseitige Stahlprisma *A*, welches mit einem hufeisenförmigen Fuss das Stativ des Instrumentes bildet, angeklemt. Das ebenso gestaltete Stück *C*, durch eine Stell-

Fig. 592.



daher bei richtiger Einstellung des Instrumentes scharf sichtbar war. Dieses diente dazu, eine geschliffene Platte annähernd auf den Parallelismus ihrer Flächen zu prüfen. Man legte dieselbe nämlich einfach auf den Krystallträger *k*: war sie merklich keilförmig, d. h. wichen ihre beiden Flächen mehr als 40° vom Parallelismus ab, so wurde das Bild des unteren Fadenkreuzes etwas abgelenkt, und man sah deutlich, dass die vorher zusammenfallenden beiden Fadenkreuze sich nun nicht mehr deckten. Diese Methode genügt indessen nur bei sehr kleinen Platten, welche man höchstens bis auf 40° genau parallel schleifen kann; bei grösseren hat man, wenn es auf eine höhere Genauigkeit ankommt, den Winkel, welchen die beiden parallel sein sollenden Flächen mit einander bilden, mit dem Goniometer zu messen. Das untere Fadenkreuz, dessen Zweck somit auch auf anderem Wege und zwar noch vollkommener erreicht werden kann, wurde später weggelassen, weil es die Klarheit der Interferenzbilder beeinträchtigte, ferner weil die erforderliche genaue Centrirung desselben schwer zu erreichen war und bei dem zur Reinigung des Instrumentes nöthigen Auseinandernehmen der Theile jedesmal wieder aufgehoben wurde.

Stativ eingreift, auf und nieder beweglich, trägt den Ring y und das ebenso bezeichnete, fest damit verbundene kurze Rohr. In letzteres wird das mit einem Klemmring, dessen Nase in einen mit 90° bezeichneten Einschnitt des Rohres y passt, oder mit Marken versehene Rohr u eingeschoben, in welches die vier den Sammellinsen ganz gleichen Objectivlinsen o eingeschraubt sind. Da vermöge der kurzen Brennweite dieses Systems das zu beobachtende Bild ganz nahe über jenen, in der Ebene r , zu Stande kommt, so ist in letzterer eine Glasplatte mit eingerissenen und geschwärzten Linien angebracht, aber nicht bloß mit einem einfachen Kreuz, sondern einer Theilung des einen der beiden Arme von einer Seite des Gesichtsfeldes bis zur andern. Dieses »Glasmikrometer« r ist daher gleichzeitig mit der Interferenzfigur eines Krystalls deutlich sichtbar; es bildet den unteren Abschluss eines kurzeylindrischen Rohres x , welches durch einen bei a angedeuteten Schlitz in der Wand des Rohres u auf- und niedergeschoben werden kann, wodurch es ermöglicht wird, das Mikrometer auch dann in die Bildebene zu bringen, wenn man durch Abschrauben einer oder mehrerer Linsen o die Brennweite des Objectivsystems geändert hat (s. folg. S.). In u ist das Ocularrohr v mit der Ocularlinse t verschiebbar, aber nicht drehbar, während die Fassung des analysirenden Nicols q so in das Ocularrohr eingesetzt wird, dass der kleine getheilte Kreis t auf dessen oberstem Rand s schleift, und die durch Drehen der Fassung w bewirkte Stellung des Nicolhauptschnittes an einer auf s angebrachten Marke abgelesen werden kann. Der unter s liegende Theil von v wird von einem dünnen Messingring umfasst, dessen Drehung gestattet, einen in dem Ocularrohr befindlichen horizontalen Schlitz z entweder zu schliessen oder zu öffnen; der letztere dient dazu, ein lang rectanguläres $\frac{1}{4}$ Undulationsglimmerblatt (s. S. 125) oder einen Quarzkeil (S. 122) zur Bestimmung des Charakters der Doppelbrechung einzuschieben.

Alle Linsenfassungen des Instrumentes sind mit Marken versehen, welche die für die Centrirung günstigste Stellung der Theile des Apparates bezeichnen. Stellt man die Rohre f und u so, dass die aussen angebrachten Marken auf 90° zeigen oder die Nasen der Klemmringe in die entsprechenden Einschnitte eingepasst sind, und dreht den Analysator ebenfalls auf 90° , so sind die Nicols parallel, und ihr Hauptschnitt fällt in die Zeichnungsebene; die Einstellung des Analysators auf 0 liefert somit gekreuzte Nicols; die beiden Kreuzarme des Glasmikrometers r sind alsdann den Hauptschnitten der beiden Nicols parallel. Ausserdem ist der Klemmring f' , resp. der ihn ersetzende feste Ring, so angebracht, dass nach dem vollständigen Einschieben des Rohres f die oberste Sammellinse n ganz nahe an die Glasplatte h heranreicht. Ebenso muss man, um ein grosses Gesichtsfeld zu erhalten, das unterste Objectiv o dem Krystall so weit als möglich nähern, und derselbe darf nicht zu dick sein. Hat man es mit einer zweiaxigen Platte, senkrecht zur ersten Mittellinie, zu thun, so kann das Glasmikrometer r zu einer schnellen approximativen Bestimmung des schein-

baren optischen Axenwinkels dienen, indem man die optische Axenebene der Theilung jenes parallel stellt, die Nicols um 45^0 dreht, so dass die schwarzen Hyperbeln erscheinen, und den Abstand derselben in Theilen des Mikrometers bestimmt; wie viel Grade des scheinbaren Axenwinkels einem Theilstrich des Mikrometers entsprechen, erkennt man mittelst einiger Krystallplatten von bestimmtem Axenwinkel (im Durchschnitt beträgt bei den Fuess'schen Instrumenten 1 Theilstrich 6^0).

Das beschriebene Polarisationsinstrument dient hauptsächlich zur Aufsuchung der Lage der optischen Axen, wenn dieselben nicht unter allzuschiefem Winkel austreten, durch deren Richtung man, im Vergleich mit dem Habitus der Krystallform, in vielen Fällen sofort das Krystallsystem bestimmen kann. Will man dabei durch unvollkommene Flächen, z. B. Bruchflächen, Richtungen unvollkommener Spaltbarkeit oder dergl. sehen, so hat man dieselben mit einem Tropfen Canadabalsam zu bedecken und dann ein kleines Stückchen sehr dünnen Glases (sogen. Birminghamglases) darauf anzudrücken, um die Zerstreuung der Lichtstrahlen an der unregelmässigen Fläche zu eliminiren. Bei dickeren Platten bleibt der Brennpunkt des Objectivs über demjenigen der Sammellinsen, man wird also nur im mittleren Theile des Gesichtsfeldes die Interferenzerscheinungen erblicken; um sie im ganzen Gesichtsfelde zu sehen, welches aber dann einem kleineren Winkel entspricht, kann man eine oder mehrere der Objectivlinsen *o* abschrauben. Was die Flächenausdehnung der zu den Beobachtungen nöthigen Platten betrifft, so kann dieselbe sehr gering sein, namentlich wenn man das neben derselben vorübergehende Licht abblendet; so kann man z. B. von einem Glimmerblättchen mit grossem Axenwinkel, dessen Oberfläche $= \frac{1}{270}$ Quadrat-Millimeter (erhalten durch Bedecken einer Glimmerplatte mit Stanniol, in welchem eine entsprechend grosse Oeffnung durch einen Stich mit einer feinen Nadel hergestellt ist), noch ein recht deutliches Axenbild erhalten. Ein so lichtstarkes Instrument ist daher auch geeignet zur Aufsuchung der Axen kleinerer Mineralpartikel in Dünnschliffen feinkörniger Gesteine, falls diese nur noch dick genug sind und durch übergeklebtes Stanniol das Licht der benachbarten Theile abgehalten wird.

Zur Untersuchung im parallelen polarisirten Lichte kann man dasselbe Instrument benutzen, wenn es sich nur um eine ungefähre vorläufige Bestimmung der Auslöschungsrichtungen eines kleinen Krystalls handelt. Man legt denselben alsdann auf den Krystallträger *k* genau in die Mitte und schraubt den oberen Theil des Apparates so hoch, dass man durch denselben, statt der Brennebene des Sammellinsensystems, den Krystall deutlich erblickt; durch Vergleichung mit den Kreuzarmen des Glasmikrometers, denen bei richtiger Stellung der Marken die Nicolhauptschnitte parallel sind, kann man leicht annähernd beurtheilen, ob in denjenigen Stellungen, in welchen der Krystall beim Drehen dunkel erscheint, gewisse Kanten desselben den Diagonalen der Nicolquerschnitte parallel sind oder nicht.

Will man dagegen einen grösseren Krystall im parallelen Lichte unter-

suchen, das Interferenzbild gepresster oder gekühlter Gläser, einer Alaunplatte oder dergl. beobachten, so hat man das Rohr u mit seinem gesammten Inhalte zu entfernen und durch das einfache kürzere Rohr z Fig. 593 zu ersetzen, in welches oben der Nicol q passt (die unten angesetzte Kappe δ dient für die Stauroskopmessung und ist daher für diesen Fall fortzulassen, ebenso ist auf l der gewöhnliche Krystallträger k zu denken). Ferner hat man das Sammellinsen-System aus dem Rohre f zu entfernen und letzteres wieder in die Hülse g des Trägers B einzuschieben, wie es Fig. 593 zeigt.

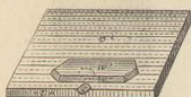
Will man Platten, welche eine complicirte Zwillingsbildung oder Zusammensetzung aus verschiedenen, optisch anomalen Partien zeigen, im parallelen Lichte untersuchen, so empfiehlt sich eine mässige Vergrößerung der Objecte. Nach dem Vorschlage von Klocke liefert Fuess auf Verlangen zu seinen Apparaten ein besonders hierzu eingerichtetes Rohr, welches unten eine Convexlinse trägt und oben mit zwei Schlitten zum Einschieben eines empfindlichen Gypsblättchens (s. S. 124) versehen ist. Dasselbe wird an Stelle von z eingeschoben und der Analysator q wie sonst aufgesetzt.

§. 118. **Das Stauroskop.** Dieses Instrument soll im Folgenden zunächst in derjenigen Form beschrieben werden, wie sie jetzt von Fuess geliefert wird, und welche sich hauptsächlich dadurch von der älteren unterscheidet, dass an Stelle der S. 491 beschriebenen Brézin'schen Doppelplatte die von Calderon (Zeitschr. f. Kryst. 2, 68 ff.) vorgeschlagene Platte zur Einstellung der Schwingungsrichtungen benutzt wird. Dieselbe besteht in einem künstlichen Zwilling von Kalkspath, in der Weise hergestellt, dass man ein Rhomboëder nach der kurzen Diagonale durchschneidet, von jeder Hälfte eine keilförmige Partie abschleift und beide mit den Schliffflächen an einander kittet. Durch Abschleifen des ein- und ausspringenden Winkels erhält man eine planparallele Platte, halbirt durch die Trennungsebene der beiden Kalkspathstücke, welche Ebene, von oben gesehen, als eine äusserst feine gerade Linie erscheint. Die beiden Hälften dieser Platte zeigen genau den gleichen Grad der Auslöschung, wenn die Nicols des Instrumentes gekreuzt sind und der Hauptschnitt des einen genau der Trennungslinie der Doppelplatte parallel ist. Fügt man eine Krystallplatte, deren Schwingungsrichtung abweicht, in den Gang der Lichtstrahlen ein, so werden die beiden Hälften wieder ungleich erhellt resp. gefärbt erscheinen, und erst wenn der Krystall so weit gedreht ist, dass seine Schwingungsrichtungen genau mit denen der Nicols zusammenfallen, ist die Gleichheit der beiden Hälften der Doppelplatte wieder hergestellt.

Als Stauroskop dient die in Fig. 593 dargestellte Zusammensetzung des verticalen Polarisationsinstrumentes, in welcher dasselbe für paralleles Licht eingerichtet ist. Da jede Abweichung der Sehrichtung von der Axe des Apparates wieder eine Ungleichheit der beiden Plattenhälften hervorbringt, so kommt es bei dieser optischen Einstellung hauptsächlich auf den Parallelismus der Strahlen an. Es wird deshalb auf die gewöhnliche, über dem Analysator befindliche Kappe eine andere (ε) mit ganz kleiner Oeffnung

zwischen den Punkten 90° und 270° auf dem Theilkreise hi , mit welchem die Platte γ ja in fester Verbindung steht. Auf letztere wird nun eine kleine reetanguläre, aus Spiegelglas gefertigte Platte so aufgelegt, dass sie den viereckigen Ausschnitt von γ völlig bedeckt und zugleich durch eine kleine Feder mit einer Seitenfläche an die Schneide der aufgeschraubten Stahlplatte gegengedrückt wird. Diese Seitenfläche ist genau senkrecht zur Oberfläche geschliffen und polirt. Aus dem Bisherigen folgt nun, dass die von der rechtwinkeligen Seitenfläche gebildete Kante der Glasplatte, wenn diese in der erwähnten Weise befestigt ist, genau parallel sein muss der Verbindungslinie zwischen den Punkten 90° und 270° am Theilkreise, welche der beiden grossen Flächen auch nach oben gekehrt sei. Auf die Glasplatte wird der Krystall mit möglichst wenig Canadabalsam aufgeklebt. Zu diesem Zwecke wird die Glasplatte herabgenommen, die Krystallkante, mit welcher man die Schwingungsrichtung vergleichen will, ungefähr parallel und möglichst nahe an diejenige Kante der Glasplatte, mit welcher letztere an der Stahlplatte anliegt, gebracht und so der Krystall angekittet (s. Fig. 594). Möge die Oberfläche der Glasplatte mit v' , deren rechtwinkelige Seitenfläche mit v'' , die Oberfläche der

Fig. 594.



Krystallplatte mit w' , die Randfläche, welche die erwähnte Kante mit ihr bildet, mit w'' bezeichnet werden. Es wird nun die Glasplatte mit dem Krystall auf den Tisch eines Reflexionsgoniometers aufgesetzt und die Kante $v' v''$ centriert und justirt; war der Krystall

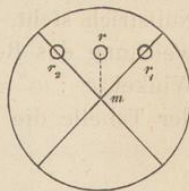
vorher fest angedrückt, so muss seine Fläche w' parallel v' sein, also die von beiden gelieferten Reflexbilder des Collimatorsignals im Fernrohr zusammenfallen; das von der andern Krystallfläche w'' reflectirte Bild*) wird jedoch nur dann in der Zone $v' v''$ liegen, wenn die Kante $w' w''$ wirklich genau der Kante $v' v''$ parallel ist. Statt diesen Parallelismus herzustellen, was ein langes Probiren erfordern würde, verfährt man in einfacherer Weise so, dass man den Winkel bestimmt, um welchen der von w'' reflectirte Strahl von der Ebene abweicht, in welcher die Reflexion von v', v'', w' stattfindet, und aus diesem Winkel berechnet, wie viel die beiden Kanten gegen einander gedreht sind.

Für die Bestimmung dieser Correction ist das in §. 420 beschriebene, dem optischen Apparat beigegebene kleine Goniometer besonders eingerichtet, Das Fernrohr desselben hat ein Gesichtsfeld von $5-6^\circ$, so dass nach dem Justiren der Flächen v' und v'' das Bild von w'' noch im Gesichtsfelde sichtbar ist, wenn selbst die Krystallkante um $2-3^\circ$ schief angelegt worden war.

*) Wenn die Krystallplatte sehr dünn, die Fläche w'' also sehr schmal ist, kann es kommen, dass der vorspringende Theil der Glasplatte die Spiegelung an w'' ganz verhindert. Für solche Fälle benutzt man eine Glasplatte, wie sie in Fig. 594 abgebildet ist, an welcher ein Stückchen der vorspringenden Kante ausgeschliffen ist, um den Lichtstrahlen den Zugang zur Fläche w'' zu gestatten.

Daraus, ob dasselbe zu hoch oder zu tief ist, ersieht man, nach welcher Seite die Kante $w'w''$ gegen diejenige $v'v''$ gedreht ist; und wie viel die Abweichung des von w'' reflectirten Strahls aus der Reflexionsebene der justirten Flächen beträgt, bestimmt man durch ein feines, in der Brennebene des Fernrohres befestigtes Glasmikrometer, von dem vorher durch Messung festgestellt worden ist (s. §. 120), welchem Winkel ein Theilstrich desselben entspricht. Dreht man das Mikrometer so, dass seine Theilung vertical aufrecht im Gesichtsfelde, dessen Mittelpunkt dem Nullpunkt jener entspricht, steht, so gehen die Reflexbilder der beiden justirten Flächen beim Drehen genau durch den Nullpunkt, das der Fläche w'' nicht; man stellt letzteres nun auf die Theilung ein, liest an dieser die Abweichung in Strichen und (durch Schätzung) deren Theilen ab, und findet durch Umrechnung in Winkelwerth den Winkel δ , die Abweichung des von w'' reflectirten Strahls von der Ebene der übrigen. Um aus δ die gesuchte Grösse α , d. i. den Winkel, welchen die Kante $w' : w''$ mit $v' : v''$ bildet, zu berechnen, bedarf es der Kenntniss des Einfallswinkels der Strahlen bei der Reflexion und des Winkels der Flächen $w' : w'' = \gamma$. Der letztere muss durch Messung bestimmt sein; was den ersteren betrifft, so macht man denselben $= 45^\circ$, d. h. stellt die optische Axe des Fernrohrs auf dem Goniometer genau normal zum Collimator, indem man erst auf diesen direct einstellt und dann das Beobachtungsfernrohr genau um 90° dreht. Um die Justirung der Kante $v'v''$ des Glases und die Abweichung des Reflexes aus der Zone recht genau bestimmen zu können, stellt man alsdann den Websky'schen Spalt horizontal. Natürlich kann man sich auch zur Messung der Abweichung aus der Zone des noch genauer getheilten Fuess'schen Goniometers No. 2 bedienen und benutzt alsdann am besten das Signal c (s. S. 565) und eine von Websky (Zeitschr. f. Kryst. 4, 568) vorgeschlagene Methode: Das Fadenkreuz des Beobachtungsfernrohres wird unter 45° gestellt (s. Fig. 595), was durch einen entsprechenden Kerb, in den die Nase des Klemmringes geschoben wird, genau erzielt werden kann; nachdem die Zone $v'v''$ so justirt ist, dass die Reflexe beim Drehen durch die Mitte des Fadenkreuzes passiren, stellt man das Reflexbild der abweichenden Fläche w'' einmal in den einen Faden (Position r_1), das andere Mal in den zweiten Faden (Pos. r_2) ein; die zwischen diesen beiden Positionen abgelesene Drehung des Krystallträgers misst den halben Bogen r_1r_2 und somit den gesuchten Abstand $rm = \delta$. Stehen bei dieser Messung Beobachtungsfernrohr und Collimator senkrecht zu einander, so folgt die gesuchte Correction aus den Winkeln δ und γ nach der Formel (s. Websky, Zeitschr. f. Kryst. 4, 567; Liebisch, ebenda 7, 304):

Fig. 595.



$$\sin \alpha = \frac{\sin \delta}{\sin \gamma \sqrt{2}}.$$

Zu grösserer Bequemlichkeit ist die folgende Tabelle berechnet worden, welche gestattet, die gesuchte Correction α für bestimmte Werthe von γ und δ unmittelbar abzulesen, resp. sehr einfach zu interpoliren:

Tabelle der Correction α für die Stauroskopmessung.

	$\gamma = 20^0$	$= 25^0$	$= 30^0$	$= 35^0$	$= 40^0$	$= 50^0$	$= 60^0$	$= 70^0$	$= 80^0$	$= 90^0$
$\delta = 0^0 40'$	$0^0 21'$	$0^0 47'$	$0^0 44'$	$0^0 42'$	$0^0 44'$	$0^0 9'$	$0^0 8'$	$0^0 8'$	$0^0 7'$	$0^0 7'$
— 20	0 44	0 33	0 28	0 25	0 22	0 18	0 16	0 15	0 14	0 14
— 30	1 2	0 50	0 42	0 37	0 33	0 28	0 24	0 23	0 22	0 21
— 40	1 23	1 7	0 57	0 49	0 44	0 37	0 33	0 30	0 29	0 28
— 50	1 43	1 24	1 14	1 2	0 55	0 46	0 44	0 38	0 36	0 35
1 0	2 4	1 40	1 25	1 15	1 6	0 55	0 49	0 45	0 43	0 42
— 10	2 25	1 57	1 39	1 26	1 17	1 5	0 57	0 53	0 50	0 49
— 20	2 45	2 14	1 53	1 39	1 28	1 14	1 5	1 1	0 58	0 57
— 30	3 6	2 34	2 7	1 51	1 39	1 23	1 13	1 8	1 5	1 4
— 40	3 27	2 47	2 24	2 3	1 50	1 32	1 22	1 15	1 12	1 11
— 50	3 48	3 4	2 36	2 16	2 1	1 42	1 30	1 23	1 19	1 18
2 0	4 8	3 21	2 50	2 28	2 12	1 51	1 38	1 30	1 26	1 25
— 10	—	3 38	3 4	2 40	2 23	2 0	1 46	1 38	1 33	1 32
— 20	—	3 54	3 18	2 53	2 34	2 9	1 54	1 45	1 41	1 39
— 30	—	4 11	3 32	3 5	2 45	2 18	2 2	1 53	1 48	1 46
— 40	—	—	3 46	3 17	2 56	2 28	2 11	2 0	1 55	1 53
— 50	—	—	4 1	3 30	3 7	2 37	2 19	2 8	2 2	2 0
3 0	—	—	4 15	3 42	3 18	2 46	2 27	2 15	2 9	2 7

Beispiel: Werde das in §. 420 beschriebene Goniometer angewendet, und sei 1 Theilstrich des Mikrometers gleich einem Winkel von $18' 30''$, seien die Flächen v' und v'' so genau justirt, dass das Signalbild auf dem Nullstrich steht, wenn es in die Mitte eingestellt wird, und sei die Abweichung des Reflexes von $w'' = 3,3$ Theilstrich, d. h. $\delta = 4^0 4'$; sei der Winkel $w' : w'' = \gamma$ mit Vernachlässigung der Minuten $= 54^0$, so folgt aus der Tabelle die Correction α

für $4^0 4' = 0^0 56$ (Columnne 50^0)

— — — $= 0^0 50$ (— 60^0),

der Werth für die zu interpolirende Columnne 54^0 ist also

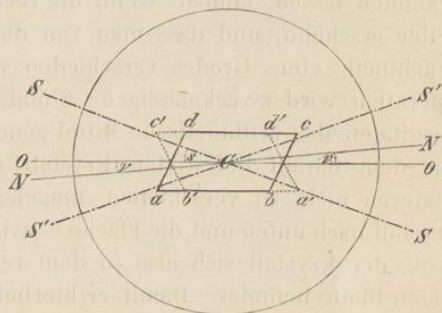
$\alpha = 0^0 54'$.

Hieraus ist ersichtlich, dass man die Lage der Kante des Krystals, gegen die Nullrichtung des Nonius am Instrument ebenso genau bestimmen kann, wie man Krystallwinkel zu messen im Stande ist. Würde man die Schwingungsrichtung des unteren Nicols ganz genau jener Richtung parallel machen können, welche den Nullpunkt mit dem Mittelpunkt des festen Nonienkreises verbindet, so gäbe die Drehung des Theilkreises (mit der Krystall-

platte) von 0 bis zu der Position, wo die optische Einstellung erkennen lässt, dass eine Schwingungsrichtung des Krystalls parallel der des Polarisators ist, — unmittelbar den Winkel der ersteren mit der Nullrichtung des Kreises, und — nach Zufügung der Correction α — denjenigen mit der Krystallkante. Jenen Parallelismus herzustellen, ist jedoch mittelst der am Instrumente angebrachten Marken, resp. Klemmringe, nicht so genau möglich, als es die Messung erfordert. Der hierdurch hervorgebrachte Fehler lässt sich aber leicht eliminiren, wie folgende Betrachtung zeigt:

Sei in Fig. 596: OO die Richtung 90° — 270° an dem drehbaren Kreise, wenn dieser genau auf 0 gestellt ist (wie es die obere Fig. 593 darstellt), und sei das Rohr f so eingeschoben, dass die Schwingungsrichtung des einen der beiden gekreuzten Nicols nicht genau parallel OO sei, vielmehr die Richtung NN habe, welche mit OO den unbekannten Winkel ν einschliesst; sei ferner der ausgezogene Rhombus $abcd$ die Krystallplatte, deren eine Kante ab genau parallel OO *), SS deren Schwingungsrichtung, so ist der Winkel $s = SCO$ derjenige, welcher mittelst des Stauroskeps gefunden werden soll. Dreht man

Fig. 596.



nun den Krystall bis zur Gleichheit der beiden Hälften der Calderon'schen Doppelplatte, d. h. bis $SS \parallel NN$, so ist der abgelesene Drehungswinkel $SCN = s + \nu$, also um ν grösser, als der gesuchte. Legt man nunmehr die Platte um, so dass die vorher oben befindliche Fläche unten zu liegen kommt, die vorher OO parallele Kante ab es auch jetzt ist, der Krystall also die durch den punktirten Umriss $a'b'c'd'$ bezeichnete Stellung hat, bei welcher $S'S'$ dessen Schwingungsrichtung ist, und dreht wieder bis zum Eintritt gleicher Auslöschung der Doppelplatte, d. h. bis $S'S' \parallel NN$, so ist der abgelesene Drehungswinkel $S'CN$, d. h. $s - \nu$, also um ν zu klein gegen den gesuchten. Addirt man aber die beiden, so gefundenen Drehungen

$$s + \nu$$

$$\text{und } s - \nu,$$

so erhält man $2s$, d. h. das arithmetische Mittel beider ist der gesuchte Winkel s .

Hieraus ergibt sich nun folgendes Verfahren zur Bestimmung des Winkels, welchen eine Schwingungsrichtung mit einer Kante eines Krystalls bildet:

*) Dieser Parallelismus braucht nicht erfüllt zu sein, wenn nur die Abweichung davon bekannt ist; diese ist aber die soeben besprochene Correction α .

Das Polarisationsinstrument für paralleles Licht wird derart eingerichtet, wie es Fig. 593 darstellt; der Polarisator wird so gestellt, dass seine Schwingungsrichtung ungefähr parallel der Richtung 0^0 auf dem Nonienkreise ist, der Analysator genau senkrecht dazu, also auf vollständige Dunkelheit. Alsdann wird die Kappe δ , welche die Calderon'sche Doppelplatte enthält, über das Rohr z geschoben: letzteres hat unten einen Schlitz, in welchen das Ende eines in δ sitzenden Schraubchens passt; dadurch wird die Kappe an der Drehung verhindert und in derjenigen Stellung festgehalten, in welcher die beiden Hälften der Doppelplatte genau den gleichen Grad der Auslöschung zeigen. Alsdann wird die Glasplatte mit dem aufgeklebten Krystall, an welcher Combination vorher die Correction α festgestellt worden ist, auf den weiten Ausschnitt der in Fig. 593 oben dargestellten Platte vorsichtig aufgesetzt, wobei man die Feder γ etwas zurückzieht, und nun der vorher auf 0 gestellte Kreis gedreht bis zum Eintritt des gleichen Grades der Auslöschung der beiden durch die Halbierungslinie der Doppelplatte getrennten Hälften des Krystalls. Diese Stellung wird am genauesten so gefunden, dass man diejenigen Positionen abliest, welche eben noch eine Ungleichheit der beiden Hälften erkennen lassen, einmal, wenn die rechte, das andere Mal, wenn die linke heller erscheint, und dass man von diesen beiden Ablesungen, welche nur Bruchtheile eines Grades verschieden sein sollen, das Mittel nimmt. Diese Operation wird zweckmässig 5—6 mal wiederholt und von den erhaltenen Resultaten das arithmetische Mittel genommen. Alsdann wird die Glasplatte mit dem darauf befestigten Krystall abgehoben und vorsichtig, um den letzteren nicht zu verschieben, umgelegt, so dass die Oberfläche mit dem Krystall nach unten und die Fläche v'' wieder an die Stahlschneide angedrückt liegt, der Krystall sich also in dem rectangulären Ausschnitt der kreisförmigen Platte befindet. Damit er hierbei nicht an den Rand des Ausschnittes anstösst, muss er etwas von der Kante $v' : v''$ entfernt sein (s. Fig. 594). Nach dem oben über die Construction der Stahl- und der Glasplatte Bemerkten sieht man leicht ein, dass durch diese Manipulation der Krystall ganz genau so gedreht worden ist, wie es Fig. 596 darstellt; wiederholt man also jetzt die Einstellungen durch Drehen nach der anderen Seite ganz in derselben Weise, nimmt von deren Mittel und dem zuerst erhaltenen die halbe Summe und corrigirt endlich die resultirende Zahl noch mit dem Werthe von α in positivem oder negativem Sinne, je nach der Seite, nach welcher die Krystallkante $w' : w''$ schief angelegt war, so hat man den gesuchten Winkel, welchen die Schwingungsrichtung mit jener Kante einschliesst.

Die Calderon'sche Doppelplatte hat vor der S. 494 beschriebenen Brezina'schen den Vortheil, dass man den Krystall während der ganzen Operation im Instrumente erblickt. Was die Genauigkeit der Einstellung bei Anwendung der einen oder der andern betrifft, so hängt diese wohl von der Beschaffenheit des Auges ab, d. h. von der Empfindlichkeit des

einzelnen Beobachters für geringe Unterschiede der Helligkeit oder für kleine Ortsveränderungen in einer Interferenzfigur. Will man mit der Brézina'schen Platte arbeiten, so bedarf man schwach convergirenden Lichtes, um die in Fig. 544 abgebildete Interferenzerscheinung zu sehen. Man schraubt zu dem Zwecke von dem verticalen Polarisationsinstrumente Fig. 592 nur die drei untersten Objectivlinsen *o* ab und behält die oberste grösste derselben im Rohre *u**). Auf das letztere wird dann {von unten die, die Doppelplatte enthaltende, Kappe aufgeschoben, welche eine ähnliche Gestalt hat, wie δ in Fig. 593, aber kürzer ist und keine Diaphragmen enthält. Durch Drehen dieser Kappe giebt man der Doppelplatte die erforderliche Stellung gegen die Hauptschnitte der vorher sorgfältig gekreuzten Nicols und führt die optische Einstellung des zu untersuchenden Krystalls nach S. 494 aus. Da hierbei kein Licht neben dem Krystall vorbeigehen darf, wird die S. 620 beschriebene Glasplatte durch eine solche von schwarzem Glase ersetzt, in welcher sich eine Oeffnung befindet; die Krystallplatte wird so aufgeklebt, dass sie diese (in Fig. 594 durch einen punktierten Kreis angedeutete) Oeffnung vollständig verdeckt. Das ganze übrige Verfahren ist natürlich das gleiche, wie bei Anwendung der Calderon'schen Platte.

Ueber die Prüfung und Justirung des Staurosopes s. Laspeyres, Zeitschr. f. Kryst. 6, 429. Derselbe Autor hat ferner eingehende Untersuchungen darüber angestellt (ebenda 8, 97), wie eine noch grössere Genauigkeit der staurosopischen Messungen durch Anwendung eigens construirter Polarisatoren zu erzielen sei, und hat auf Grund der gesammelten Erfahrungen die Construction eines »Präcisionsstaurosops« in Aussicht gestellt, welches von Fuess ausgeführt und baldigst in der Zeitschrift für Krystallographie beschrieben werden soll.

Da die vorstehende Untersuchung fast nur bei monosymmetrischen und asymmetrischen Krystallen vorgenommen wird, bei denen die Schwingungsrichtungen für die verschiedenen Farben dispergirt sind, so versteht es sich von selbst, dass das Instrument hierbei mit homogenem Lichte erleuchtet werden muss. Am besten verwendet man einen Bunsen'schen Brenner, dessen Rohr oben eine plattgedrückte Form besitzt, so dass das Gas aus einem circa 30 Millim. langen und 3 Millim. breiten Schlitz austritt; man erhält dann eine circa 40 Millim. breite und hohe Flamme, welche man in ihrer ganzen Flächenausdehnung färbt, indem man in den unteren Theil derselben von jeder Seite her eine, an einem Platindraht befindliche Perle von geschmolzenem schwefelsaurem Lithium (roth), schwefelsaurem Natrium (gelb) oder schwefelsaurem Thallium (grün) einführt. Diese Flamme stellt man dann möglichst nahe vor dem Spiegel des Polarisationsinstrumentes

*) Da nunmehr die Bildebene des Objectivs viel höher liegt, als vorher, muss man das Ocularrohr *v* so weit als möglich herausziehen, um ein scharfes Interferenzbild zu erhalten.

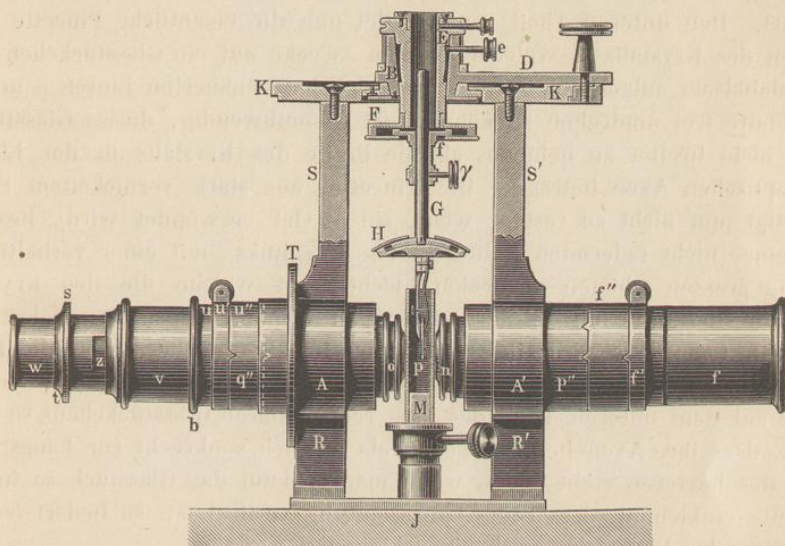
auf und dreht diesen so, dass ihr Bild gerade in die Mitte des Gesichtsfeldes reflectirt wird*).

§. 449. **Einrichtung des optischen Universalapparates zur Axenwinkelmessung.** Um den Winkel der optischen Axen in Luft oder in Oel zu messen (s. §. 26), werden die optischen Theile des Polarisationsinstrumentes Fig. 592 benutzt, aber in ein anderes Stativ eingesetzt, welches in Fig. 597 in $\frac{1}{3}$ nat. Grösse dargestellt ist. Dasselbe besteht aus einer hölzernen oder eisernen Fussplatte *J*, auf welcher zwei horizontale Messingrohre *A* und *A'* mittelst zweier verticaler Säulen befestigt sind. In das eine wird nun das Rohr *u* des verticalen Instrumentes mit allen seinen Theilen, in das andere ebenso das Rohr *f* mit den Sammellinsen *n* eingeschoben, und die Nicols beider Theile so gestellt, dass ihre Schwingungsrichtungen mit der Horizontalebene 45° , mit einander 90° bilden, welche Stellungen durch Einpassen der Nasen an den Klemmringen *u'* und *f'* in entsprechende Einschnitte der festen Rohrstücke *q''* und *p''* gegeben sind. Zwischen Objectiv- und Sammellinsen muss genügender Zwischenraum bleiben, um die zu untersuchende Krystallplatte frei umdrehen zu können. Die beiden Rohre *A* und *A'* tragen je eine verticale Säule, *S* und *S'*, auf welche der horizontale Theilkreis *K*, der in der Mitte eine weite Durchbohrung hat, aufgeschraubt ist; in dieser Durchbohrung dreht sich der Ring *B*, welcher mittelst des Armes *D*, der

*) Wie bereits S. 585 erwähnt wurde, ist es bei derartigen Arbeiten zu empfehlen, den Bunsen'schen Brenner unter einen Abzug zu stellen, welcher mit dem Schornstein in Verbindung steht. Für die monochromatischen Flammen hat H. Laspeyres in der Zeitschr. f. Instrumentenk. 1882, 79, eine sehr praktische Lampe beschrieben, mit welcher ein senkrecht Metallstück mit drei horizontalen Armen verbunden ist, an deren Ende sich je eine Rolle von Platindraht oder Platingaze (für das Thalliumsalz seiner leichten Reducirbarkeit wegen ein Bündel Asbestfasern) befindet, welche mit dem geschmolzenen Salze getränkt werden und, in die Flamme gebracht, die ganze Breite derselben intensiv und andauernd färben. Eine einfache Drehung der Arme genügt, um die Färbung durch Natrium mit der durch Lithium oder Thallium zu vertauschen. Will man diese breite monochromatische Flamme auch zu andern Zwecken (Bestimmung der Schwingungsrichtung unter dem Mikroskop, Messung der Brechungsexponenten, des optischen Axenwinkels u. s. w.) benutzen, so empfiehlt sich die in den mineralogischen Instituten zu Strassburg und München getroffene Einrichtung: der Brenner mit der erwähnten Vorrichtung ist mittelst eines knieförmigen Trägers an einem Holzstück befestigt, welches zwischen zwei an der Wand unter dem Abzugskasten angebrachten Holzschienen verschiebbar ist und durch eine Schraube in der gewünschten Höhe geklemmt werden kann. Der knieförmige Träger ist so hoch, dass der Brenner sich in dem unten offenen Abzugskasten befindet und zwar dicht an einem an der Vorderseite angebrachten, ziemlich hohen Glas- oder Glimmerfenster, vor welchem der Apparat aufgestellt wird; je nach dessen Höhe wird die Flamme hinter dem Fenster in die erforderliche Höhe gestellt. Um sie anzünden und die Färbung derselben reguliren zu können, hat der Abzugskasten an der Seite eine Thür. Das Innere in der Nähe des Fensters wird zweckmässig mit Asbestpappe ausgefüllt, damit man die Flamme der Vorderseite ohne Gefahr möglichst nähern kann. Brenner der beschriebenen Art mit dem knieförmigen Träger liefern Böhm und Wiedemann in München (s. Preisverz. am Schluss).

am Ende durch eine Schraube am Kreise festgeklemmt werden kann, bewegt wird. Ausserdem sind an *B* zwei diametral entgegengesetzte Arme mit Nonien angebracht, beide rechtwinkelig zu *D*. Der Ring *B* ist innen conisch ausgebohrt und umfasst den ringförmigen Conus *E*, welcher durch die kleine Schraube *e* festgeklemmt werden muss, wenn man den Axenwinkel messen will. Auf das Ende von *E* wird nun von unten her die kreisförmige Metallscheibe *F* aufgeschraubt, welche auf ihrem verdickten Rande eine federnde, kreisförmig ausgeschnittene, dünnere Platte trägt, so dass in dem zwischen beiden befindlichen Raume die Scheibe *f* und mit ihr die den Krystall *p* tragende Pincette horizontal verschoben werden kann. Diese Verschiebung dient zum Centriren der Krystallplatte: man

Fig. 597.



lässt *G* durch Lösen der Klemmschraube γ so weit nieder, bis man, durch das Instrument blickend, die Interferenzfigur am besten sieht, also eine klare, zur Messung geeignete Stelle des Krystalls sich in der verlängerten Axe des Rohres *u* befindet; dann zieht man das letztere in dem Rohre *A* so weit zurück, dass man den Krystall selbst deutlich erblickt, und centriert ihn, ebenso wie einen Krystall bei einer Goniometermessung, durch Hin- und Herschieben von *f* in seiner Ebene, bis die zur Messung zu benutzende klare Stelle desselben bei jeder Drehung der Pincette und des Conus *E* still steht. Nähert man jetzt wieder die Objectivlinsen *o* der Platte und stellt durch Drehung derselben die beiden Axenbilder im Gesichtsfelde des Instrumentes ein, so wird man finden, dass diese nicht in die Mitte zu bringen sind, weil die optische Axenebene des Krystalls noch nicht genau horizontal gestellt ist; entweder sind beide zu hoch, oder zu niedrig, oder

ihre Verbindungslinie ist nicht parallel dem Horizontalstrich im Mikrometer, d. h. die Platte ist noch zu justiren. Dies geschieht mittelst der Kugerverschiebung des Theiles H der Pincette; H bildet nämlich ein kreisförmiges Segment einer Kugeloberfläche, auf deren verdicktem Rande ein zweites, concentrisch mit dem ersten und in der Mitte mit weitem kreisförmigem Ausschnitt versehen, aufgeschraubt ist. Zwischen beide ist die kreisrunde, ebenfalls ein Kugelsegment bildende, kleinere Scheibe, welche das untere Ende von G bildet, eingeklemmt; man kann demnach den unteren Theil der Pincette nach jeder beliebigen Richtung um einen gewissen Winkel neigen. Dabei ist das Drehungscentrum dieses Kugelgelenks (des sogen. Petzval'schen Trägers) einige Millimeter unter dem Ende der Pincette, an welcher Stelle sich die Krystallplatte befindet, deren Centrirung also durch das Neigen derselben nach irgend einer Seite keine erhebliche Aenderung erfährt. Den unteren Theil von H bildet nun die eigentliche Pincette zum Halten des Krystalls p , welcher zu dem Zwecke auf ein Glasstückchen mit Canadabalsam aufgekittet ist (um bei möglichst genäherten Linsen o und n die Platte frei umdrehen zu können, ist es nothwendig, dieses Glasstückchen nicht breiter zu nehmen, als die Breite des Krystalls in der Ebene der optischen Axen beträgt). Die Pincette, aus stark vernickeltem Stahl gefertigt (um nicht zu rosten, wenn sie in Oel verwendet wird), besteht aus einer nicht federnden Hälfte (in Fig. 597 links), mit einer verhältnissmässig grossen ebenen verticalen Fläche, auf welche die den Krystall tragende Glasplatte mittelst der horizontalen Schneide der andern, federnden Hälfte fest gepresst wird; in Folge dessen behält die Platte stets die Lage jener ebenen Fläche. Es versteht sich von selbst, dass man die Krystallplatte auf dem unteren Theil des lang rectangulären Glasstückchens so aufkittet, dass ihre Axenebene so genau als möglich senkrecht zur Längsrichtung des letzteren steht; denn wenn man alsdann das Glasstück so in die Pincette einklemmt, dass seine Längsrichtung vertical ist, so bedarf es zur Justirung der Platte nur noch einer kleinen Correction.

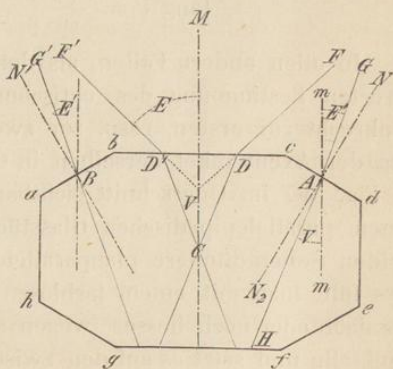
Bei der einfachen Messung des Axenwinkels in Luft hat man das in Fig. 597 gezeichnete Oelgefäss M wegzulassen und, wie schon bemerkt, mit den Linsen o und n so nahe an die Krystallplatte heranzugehen, als es möglich ist, ohne dass dieselbe beim Herumdrehen an einen der beiden Theile anstreift. Je grösser die Breite der Platte, desto weiter muss der Abstand der Linsen bleiben, desto kleiner ist das Gesichtsfeld; doch bleibt dieses selbst bei sehr grossen Platten immer noch gross genug, um bei einiger Uebung schnell die Lage der Axen aufzufinden, wenn man nur den Krystall in der oben angegebenen Weise nahezu richtig eingesetzt hatte, wozu man ihn vorher im verticalen Instrumente zu betrachten hat. Nach der Centrirung und Justirung nimmt man nun die Messung so vor, wie es S. 113 und 116 (vergl. Fig. 85) angegeben wurde, während man zur Beleuchtung die im vorigen § erwähnte breite Flamme eines nahe vor das Rohr f gesetzten Bunsen'schen Brenners benutzt, welche einmal durch

Lithium-, die andern Male durch Natrium- und Thalliumsulfat gefärbt wird. Die Drehung der Pincette geschieht jetzt durch den Arm *D*, indem man dessen Klemmschraube fasst, und die Ablesung mittelst der dazu rechtwinkligen Nonien. Will man ein möglichst genaues Resultat erzielen, so stelle man bei jeder Farbe die schwarze Hyperbel nicht nur auf den mittelsten Strich des Mikrometers, sondern auch auf mehrere benachbarte ein, aber gleich viel zu beiden Seiten (z. B. -2 , -1 , 0 , $+1$, $+2$), und nehme das arithmetische Mittel; ganz ebenso verfähre man bei der Einstellung der zweiten Axe: die Differenz der beiden Mittel ist der gesuchte scheinbare Axenwinkel $2E$. Die Einstellung einer Hyperbel auf einen Mikrometerstrich kann am genauesten ausgeführt werden, wenn die Ringe der Interferenzfigur ziemlich klein, aber doch noch deutlich sichtbar sind; weit weniger genau, wenn dieselben so eng sind, dass man sie nicht deutlich sieht, sondern nur die hyperbolischen dunklen Büschel erblickt, ebenso, wenn die Platte so dünn ist, dass ganz weite, dann auch stets sehr verwaschene, Interferenzstreifen auftreten. Hat man also in Bezug auf die der Platte zu gebende Dicke freie Wahl, so schleife man sie so, dass recht deutliche, aber nicht zu weite Lemniscaten entstehen.

Es ist S. 117 gezeigt worden, dass man den wahren Axenwinkel $2V$ aus dem gemessenen scheinbaren, $2E$, berechnen kann, wenn man den mittleren Brechungsexponenten β kennt. Ist dies nicht der Fall, so muss man zwei Platten, eine senkrecht zur ersten, die andere senkrecht zur zweiten Mittellinie, haben und deren Messung in Oel vornehmen (s. S. 120). Es giebt indessen einen Fall, in welchem man den wahren Axenwinkel $2V$ mit einer einzigen Platte durch Messung in Luft bestimmen kann, und dieser soll jetzt erörtert werden.

Sei Fig. 598 der Durchschnitt eines rhombischen Krystalls nach der optischen Axenebene desselben, und sei letzterer demnach gebildet von den beiden Pinakoiden, welche normal zu den beiden Mittellinien stehen (von denen das zur zweiten Mittellinie senkrechte übrigens auch fehlen kann), und einem Prisma. Man wird alsdann in den meisten Fällen sowohl durch das Pinakoid *bc* (*fg*) beide Axen sehen, als auch je eine durch ein Paar paralleler Prismenflächen. Centriert man also im Axenwinkelapparat die Mitte der Fläche *bc*, so kann man den scheinbaren Winkel $2E$ messen, welchen *DF* mit *D'F'* macht (wenn *CD* und *CD'* die Richtungen der wahren optischen Axen des Krystalls sind). Centriert man darauf einen Punkt des Krystalls, welcher auf der Geraden *CM* so weit

Fig. 598.



nach rückwärts gelegen ist, dass beim Drehen einmal die Prismenfläche ab , das andere Mal cd gerade in die Mitte des Gesichtsfeldes kommt, wenn die Richtung der gebrochen aus derselben austretenden optischen Axe, d. i. AG , resp. BG' , der Axe des Instrumentes entspricht, — so kann man durch Einstellung der Axenbilder, welche aus den beiden Prismenflächen austreten, den Winkel messen, welchen der Strahl AG mit BG' einschliesst. Werde dieser Winkel mit $2E'$ bezeichnet, ferner der Winkel, welchen die Normalen zu den beiden Prismenflächen, AN und BN' , bilden, mit $2P$, und seien $2E$, $2E'$ und $2P$ gemessen worden, so ist daraus der wahre Axenwinkel $2V$ zu finden, wie folgende Betrachtung lehrt:

Bekanntlich ist

$$\beta \cdot \sin V = \sin E \quad (1)$$

und, da $\frac{\sin GAN}{\sin HAN_2} = \beta$ und $mm \perp bc$,

$$\beta \cdot \sin (P-V) = \sin (P-E') \quad (2)$$

Dividirt man Gleichung (1) durch (2), so folgt:

$$\frac{\sin V}{\sin (P-V)} = \frac{\sin E}{\sin (P-E')}.$$

Um diese Gleichung auf eine Form zu bringen, welche eine leichte Berechnung der Unbekannten V gestattet, setzen wir

$$\frac{\sin E}{\sin (P-E')} = p;$$

dann ist:

$$\sin V = p \cdot \sin P \cdot \cos V - p \cdot \cos P \cdot \sin V,$$

durch $\cos V$ dividirt:

$$\tan V = p \cdot \sin P - p \cdot \cos P \cdot \tan V$$

$$\tan V = \frac{p \cdot \sin P}{1 + p \cdot \cos P};$$

für p seinen Werth eingesetzt und gekürzt, folgt

$$\tan V = \frac{\sin E}{\cos E' - \cotang P (\sin E' - \sin E)}.$$

In allen andern Fällen, als dem soeben besprochenen, bedarf es zu der directen Bestimmung des optischen Axenwinkels zweier Platten, welche senkrecht zur ersten, resp. zur zweiten Mittellinie geschliffen sein müssen. Um den Axenwinkel derselben in Oel zu bestimmen, bedient man sich des in Fig. 597 im Querschnitt sichtbaren Oelgefässes M . Dasselbe besteht aus einem parallelepipedischen Glasstück mit einem Einschnitte, an welches zu beiden Seiten dünnere planparallele Glasplatten angekittet sind; dieses Gefäss füllt man mit einem farblosen Oel (gebleichtem Oliven- oder Mohnöl, Cassiaöl) oder noch besser (wegen seiner starken Brechbarkeit) mit α -Bromnaphthalin und setzt es auf den zwischen den beiden Säulen RR' befindlichen Träger, welcher in einer Hülse nach oben und unten verschiebbar ist. Hat das Gefäss die richtige Stellung, so schiebt man die optischen Theile des Instrumentes derart an dasselbe heran, dass Sammel- und

Objectivlinse dessen Wände berühren. Da es, besonders bei kleinen Krystallen, wünschenswerth ist, ein möglichst grosses Gesichtsfeld zu haben, d. h. die Linsen denselben möglichst nähern zu können, so empfiehlt es sich, ein so schmales Oelgefäss zu nehmen, wie es in Fig. 597 gezeichnet ist. Bei einer grossen Platte dagegen kann man eher auf ein weites Gesichtsfeld verzichten, weil diese leichter zu centriren und zu justiren ist, und kann daher für solche ein zweites Oelgefäss verwenden, weit genug, um sie darin umdrehen zu können, d. h. etwa mit dem doppelten Abstände der beiden Glaswände von dem des ersten.

Zur Messung des Axenwinkels in höherer Temperatur bringt man an Stelle des Oelgefässes ein metallenes Luftbad, d. h. einen parallelepipedischen Kasten, von ca. 22 cm Länge und 3 cm Höhe, mit zwei, bis 300° getheilten Thermometern und einer in der oberen Fläche befindlichen Oeffnung zur Einführung der Pincette mit dem Krystall; jene kann alsdann mit einem die Pincette umfassenden Metallscheibchen wieder geschlossen werden. Dieser Kasten wird (mit seiner Längsrichtung senkrecht zur Zeichnungsebene der Fig. 597) an Stelle des Oelgefässes so auf den Träger aufgesetzt, dass ein an seiner Unterseite befindlicher dicker Messingstift in eine Oeffnung des Trägers eingreift und durch die in Fig. 597 sichtbare Schraube festgeklemmt wird. Der Kasten wird von seinen beiden, ca. 10 cm auf beiden Seiten des Axenwinkelapparates hervorragenden Enden durch zwei Flammen erhitzt. In der Mitte der beiden grossen Wände befindet sich je ein Fenster, durch eine eingesetzte planparallele Glasplatte gebildet, an welche die Linsen des Instrumentes von beiden Seiten nahe herangeschoben werden. Um auch hier bei kleinen Krystallen den Vortheil eines grossen Gesichtsfeldes zu haben, andererseits aber auch grosse Krystalle frei umdrehen zu können, ist die Weite des mittleren Theils veränderlich, indem die beiden Metallscheiben, in welche je ein rundes Planglas eingesetzt ist und durch eine kleine Feder festgehalten wird (um es austauschen zu können, wenn es ja einmal durch zu schnelles Erhitzen springen sollte), in röhrenförmigen Ansatzstücken, welche in das Innere des Kastens hineinreichen, mittelst eines Schlüssels hereingeschraubt und dadurch einander genähert oder so weit herausgeschraubt werden können, bis sie sich in einer Ebene mit den Seitenwänden des Erhitzungskastens befinden. Man schraubt die beiden Fenster für jede Messung in denjenigen gegenseitigen Abstand, welcher den Dimensionen der Krystallplatte entspricht, bringt den Kasten durch Verschiebung des Trägers in die richtige Höhe, führt die Platte mit dem untersten Theil der Pincette hinein und centrirt und justirt ganz ebenso wie in freier Luft; alsdann schliesst man die obere Oeffnung und erhitzt das Luftbad von unten her durch zwei kleine Flämmchen, bis der Stand der Thermometer constant geworden ist; etwa eine halbe Stunde später notirt man denselben und führt die Messung des Axenwinkels ganz so aus wie bei gewöhnlicher Temperatur. Verträgt der Krystall einen höheren Wärmegrad, so vergrössert man nun die Flammen und wiederholt den Versuch.

Um sich davon zu überzeugen, dass die zur Messung des Axenwinkels benutzte Platte normal zur Mittellinie der Axen sei, genügt es in den meisten Fällen, dass man sie auf den Krystallträger des verticalen Polarisationsinstrumentes auflegt und sieht, am besten in homogenem Licht, ob der Mittelpunkt des Lemniscatensystems mit demjenigen des Gesichtsfeldes (dem Nullpunkt des Mikrometers) zusammenfällt. Will man jedoch genau ermitteln, ob beide optische Axen denselben Winkel mit der Normale der Platte einschliessen, was der Fall sein muss, wenn diese genau senkrecht zur Mittellinie ist, so kann man dies auf folgende Weise: In das Ocularrohr des Axenwinkelapparates Fig. 597 wird nach Wegnahme des Nicols *w* ein, den Fuess'schen Apparaten beigegebenes, geschwärztes kleines Rohr so eingeschoben, dass ein Ausschnitt, welcher an einer Seite desselben befindlich ist, gerade mit einem der beiden rechteckigen Schlitze des Ocularrohrs coincidirt; jenes Rohr enthält eine kleine Spiegelglasplatte, welche man von vorn mittelst eines in die Fassung einzusteckenden Stahlstäbchens drehen kann. Lässt man nun das Licht einer seitlich aufgestellten Flamme durch den Schlitz *z* fallen und von dem unter 45° Neigung aufgestellten Spiegel parallel der Axe der Linsen reflectiren, bis es an die Oberfläche der Krystallplatte gelangt, so wird es hier (besonders wenn man hinter die Platte mattes schwarzes Papier schiebt) in derselben Richtung zurückgeworfen, wenn jene polirte oder mit Glas bedeckte Oberfläche genau senkrecht zur Axe des Linsensystems steht. Man wird also im andern Falle das von der Platte reflectirte Bild der Glasmikrometerstriche neben dem direct gesehenen Bilde erblicken und beide durch Drehen der Krystallplatte (mittelst des Armes *D* Fig. 597) zur Deckung zu bringen haben. Nachdem man bei dieser Stellung den Nonius abgelesen, hat man einzeln die Einstellungen der beiden Axen vorzunehmen; ist die Platte genau senkrecht zur Mittellinie, so ist die erstere Einstellung das Mittel zwischen den beiden letzten *). Dieselbe Methode wendet man auch an, wenn man zu dem S. 527 angeführten Zwecke den Winkel einer einzigen, durch eine Fläche austretenden optischen Axe mit der Normale der Fläche messen will. Man kann diese Bestimmung, gemäss einem älteren Vorschlage von Neumann, noch genauer, als es mit dem Axenwinkelapparat möglich ist, ausführen mit dem Fuess'schen Goniometer No. 2 wobei man folgendermaassen verfährt: Die Krystallplatte wird zuerst justirt und zwar mit derjenigen Schraube des Justirapparates, zu welcher senkrecht sie auf dem Goniometer befestigt ist; alsdann wird das Signal des Collimators durch ein Rohr mit einer einfachen Linse ersetzt und auf dieses das Beleuchtungsrohr mit eingeschobenem Nicol (s. S. 566), dessen Hauptschnitt auf 45° gestellt wird, aufgesetzt;

*) Es ist klar, dass eine solche Prüfung ganz unnöthig ist, wenn die Platte von natürlichen Krystallflächen gebildet wird, welche vermöge der Symmetrie des Krystalls die erforderliche Lage haben müssen, oder wenn nur eine derartige Fläche vorhanden ist, weil man alsdann die zweite, durch Schleifen herzustellende, mit dem Goniometer auf ihren Parallelismus mit der ersten prüfen kann.

ebenso wird vor dem Ocular γ der drehbare Nicol (s. S. 605) angebracht und mit dem ersteren gekreuzt. Durch Drehen der justirten Platte in ihrer Ebene mit Hülfe der zweiten Justirschraube kann man bewirken, dass die optische Axe, welche durch die Platte austritt, in die horizontale, dem Limbus parallele Ebene fällt, also beim Drehen der inneren Axe in die Richtung des Collimators gebracht werden kann. Richtet man nun das Beobachtungsfernrohr ebenfalls auf den Collimator (welche Position vor dem Wegnehmen des Signalspaltes genau bestimmt worden ist), so erblickt man die dunkle Hyperbel mit dem innersten Theil der Interferenzringe und kann die erstere, durch Klemmung der Axe und Feinstellbewegung, mit dem Fadenkreuze zur Deckung bringen. Indem man die Platte in ihrer Position fixirt lässt, hat man nun die Klemmschraube am Nonienkreise zu lösen und diesen mit dem Beobachtungsfernrohr zu drehen, bis das von der Rückseite gespiegelte Bild des inzwischen wieder eingesetzten Collimatorsignals im Fernrohre erscheint. Diese Position, am Kreise abgelesen und mit der des Collimators verglichen, ergiebt die Richtung der Normale der Platte, welche letztere selbstverständlich genau planparallel sein muss. Dass man in der soeben beschriebenen Zusammensetzung das Goniometer No. 2 auch als einen sehr genauen Axenwinkelapparat benutzen kann, folgt aus dem Gesagten von selbst.

Der zum Universalapparat gehörige, in Fig. 597 dargestellte Axenwinkelapparat kann auch zur Messung der durch eine Krystallplatte hervorgerufenen Drehung der Polarisationssebene des Lichtes benutzt werden. Zu diesem Zwecke werden aus dem Rohre f die Sammellinsen n entfernt, um paralleles Licht zu erhalten, und das Rohr u mit seinem gesammten Inhalt herausgezogen. Statt des letzteren wird auf das links von T hervorragende feste Rohrstück eine den Apparaten beigegebene Kappe aufgesetzt, welche in den Figg. 599 und 600 mit abgebildet ist, und in diese das Nicolrohr w so eingesetzt, dass Analysator und Polarisator das Maximum der Dunkelheit zeigen, d. h. so genau als möglich gekreuzt sind. T besitzt eine Kreistheilung, auf welcher diese Stellung mittelst einer am Rande der Kappe angebrachten Nonientheilung abgelesen werden kann; ist dies geschehen, so wird letztere wieder entfernt und das Rohr u ohne Nicol, aber mit der a. vor. S. beschriebenen kleinen Spiegelglasplatte, eingesetzt. Die nunmehr in der Pincette befestigte Krystallplatte wird jetzt mit Hülfe des S. 632 beschriebenen Verfahrens genau senkrecht zur Axe des Instrumentes gerichtet, weil sonst die Strahlen dieselbe in einer schiefen Richtung, in welcher sie eine grössere Dicke besitzt, durchsetzen würden. Nachdem dies geschehen und das Rohr u wieder durch die Kappe mit dem Nicol ersetzt worden ist, erscheint jetzt durch die in den Gang der Lichtstrahlen eingefügte circularpolarisirende Platte das Gesichtsfeld aufgehellt, und man muss um denselben Winkel, um welchen sie die Polarisationssebene dreht, in dem gleichen Sinne die Kappe mit dem Nicol nachdrehen, um wieder Dunkelheit zu erzeugen. Hat man bei Abnehmen und Aufsetzen der Kappe

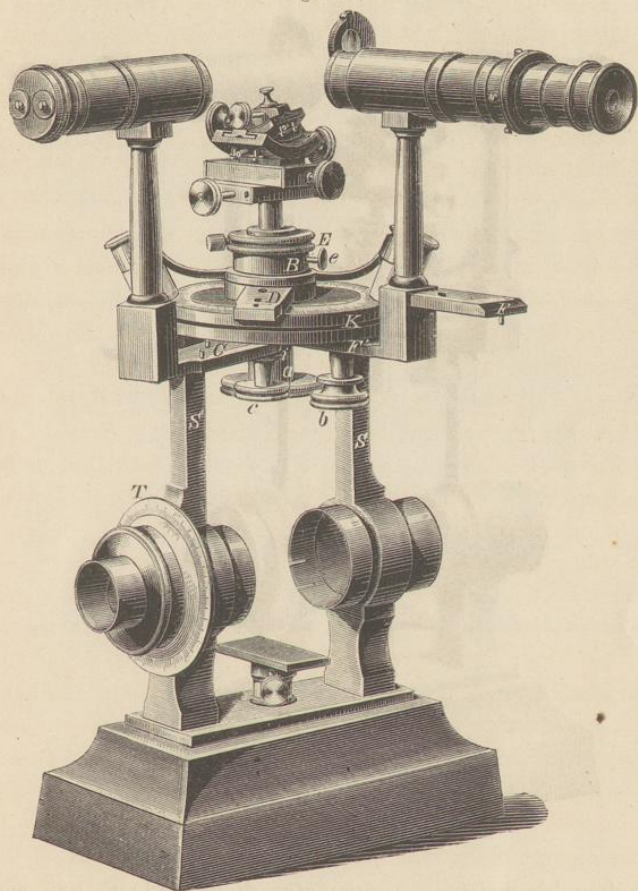
die Stellung des Nicols in derselben nicht verändert, weshalb man sie immer an dem gekerbten Rande des weiteren Theiles anfassen muss, so ergibt die Differenz der Dunkelstellung vor und nach Einfügung der Krystallplatte deren Drehung für das Licht der angewandten, selbstverständlich monochromatischen Flamme. Die Auslöschungsposition findet man am genauesten, wenn man auf den Eintritt der maximalen Dunkelheit einmal von rechts, einmal von links her einstellt und von beiden so erhaltenen Ablesungen das Mittel nimmt.

§. 120. **Einrichtung des optischen Universalapparates als Goniometer und Refractometer.** Der Kreis *K* des Axenwinkelapparates, welcher mittelst der Nonien eine Ablesung auf $1'$ gestattet, kann zu einem sehr brauchbaren kleinen Goniometer benutzt werden. Die Zusammensetzung dieses Instrumentes zeigt die perspectivische Ansicht Fig. 599 in $\frac{1}{3}$ nat. Grösse. An den festen Kreis *K* wird von unten her der Arm *F'* eines Beobachtungsfernrohres (mit Vorsatzlupe zum Centriren) mittelst der Schraube *b* angeschraubt; die radiale Stellung des Armes *F'* wird durch zwei kleine Stellstifte, welche in zwei entsprechende Oeffnungen der Unterseite des Kreises passen, bestimmt. In den Conus *E* wird eine cylindrische Axe eingeschoben, welche oben eine vollständige Fuess'sche Centrir- und Justirvorrichtung trägt und durch die kleine, im obersten Theile von *E* befindliche Schraube (vgl. auch den Durchschnitt Fig. 597) in der erforderlichen Höhe fixirt wird; an das untere Ende von *E* wird dagegen ein stärkerer Cylinder *a* mit einer am Rande gekerbten Scheibe zu bequemerer Drehung angeschraubt; mit diesem bewegt man beim Centriren und Justiren den Conus *E* (nachdem man die Schraube *e* gelöst hat) und mit ihm die innere Axe, auf welcher sich der Krystall befindet. Beginnt man die eigentliche Messung, so hat man *e* wieder anzuziehen und den Arm *D* mittelst der daran befestigten Klemmschraube (in der Fig. der Deutlichkeit wegen fortgelassen) zu drehen; der Träger des Fernrohres ist so construirt, dass er der Klemmschraube freien Durchgang gestattet, daher man *D* und somit den Krystall ungehindert um 360° drehen kann. Mittelst einer zweiten Durchbohrung des Kreises wird der mit einem Websky'schen Spalt ausgestützte Collimator fest mit dem Theilkreise verbunden. Zu dem Zwecke wird in die weite Oeffnung des Trägers *C* eine, in der Fig. mit *i* bezeichnete runde geschwärzte Messingscheibe eingelegt, durch diese die Schraube *c* hindurchgesteckt und in die Kreisplatte eingeschraubt, wobei man dem Arm *C* und damit dem Collimator eine möglichst genau radiale Richtung zum Kreise geben muss.

Will man das Goniometer zur Messung von Brechungsexponenten benutzen, so wird, wie Fig. 600 (S. 636) zeigt, der Träger des Beobachtungsfernrohres umgekehrt aufgesetzt, d. h. der Arm *F* auf dem beweglichen Arme *D* festgeschraubt; steckt man zu dem Zwecke das Fernrohr in entgegengesetzter Richtung in seine Hülse, so hat es nunmehr genau die gleiche Lage, wie in Fig. 599, nur dass es jetzt mit *D* und den Nonien um den Mittelpunkt

des Kreises *K* drehbar ist, und daher seine Drehung abgelesen werden kann. Das Prisma, dessen Brechungsexponent gemessen werden soll, wird, wie in der Zusammensetzung Fig. 599, auf den Tisch der Centrir- und Justirvorrichtung aufgesetzt; seine Drehung muss aber jetzt unabhängig gemacht werden von derjenigen des Armes *D* und des Beobachtungsfernrohrs. Dies ist dadurch erreicht, dass der Arm *C* des Collimators jetzt in anderer Weise an den Kreis angeschraubt wird, als vorher, nämlich so, dass die

Fig. 599.

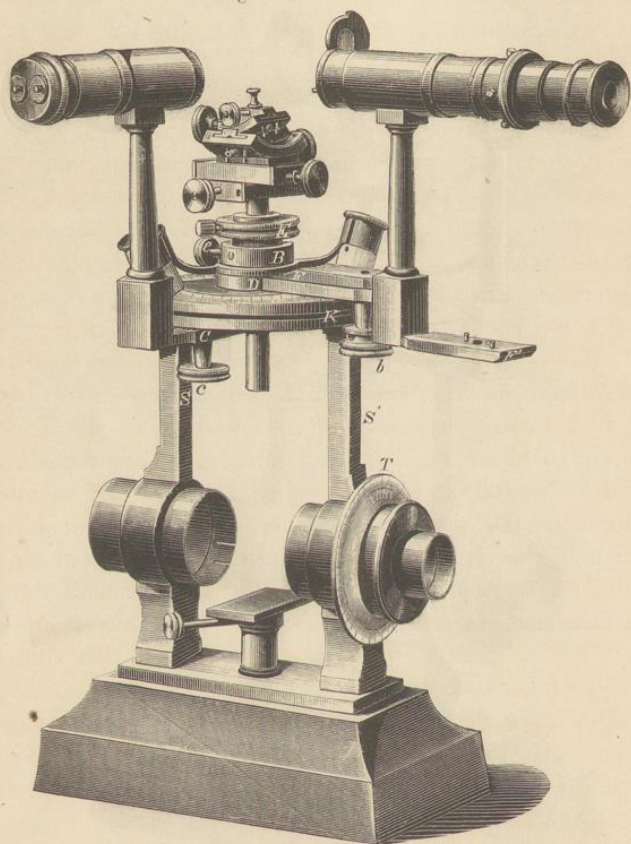


beiden in Fig. 599 sichtbaren Stellstifte in zwei entsprechende Oeffnungen an der Unterseite der Kreisplatte *K* eingreifen und daher der weite kreisförmige Ausschnitt von *C*, in welchen vorher die Metallplatte *i* gelegt war, unter die Mitte des Kreises kommt; in diesen mit Schraubengewinde versehenen kreisförmigen Ausschnitt wird der Conus *E* eingeschraubt.)* Da

*) Bei der Zusammensetzung des Instrumentes muss der Conus *E* herausgenommen werden, ehe man den Collimator anschraubt, und erst, wenn dies geschehen, wieder eingesetzt werden.

der Arm *C* der Unterseite des Kreises unmittelbar anliegt, so berührt der Conus *E*, selbst wenn er ganz fest eingeschraubt wird, noch nicht sein Lager, die Hülse *B*, ist also jetzt von deren Drehung vollkommen unabhängig. Dabei bleibt aber die innere Axe für sich immer noch drehbar (und zwar dadurch, dass man das kleine, im Conus *E* befindliche Schraubchen löst), so dass man das aufgesetzte Prisma bequem centriren, justiren und in diejenige Stellung bringen kann, in welcher es das Minimum der Ablenkung zeigt.

Fig. 600.



Das soeben beschriebene Goniometer dient, wie S. 620 erwähnt, zugleich zur Bestimmung der Correction α bei der Stauroskopmessung, und ist zu diesem Zwecke das Beobachtungsfernrohr mit einem feinen Strichmikrometer versehen. Um dessen Strichwerth in Winkelmaass zu bestimmen, d. h. ausfindig zu machen, welchen Winkel zwei Bündel paralleler Strahlen mit einander einschliessen, deren Bilder im Gesichtsfelde einen Abstand von 1 Theilstrich haben, wählt man die in Fig. 599 dargestellte Zusammensetzung des Goniometers, setzt auf den Krystallträger einen Körper mit einer vollkommen ebenen spiegelnden Fläche, z. B. eine der zum Stauroskop gehörigen

Glasplatten, auf, bringt diese Fläche durch Centriren genau über den Mittelpunkt des Kreises und justirt sie, so dass beim Drehen derselben das von ihr reflectirte Bild des Collimatorsignals längs der horizontalen Mittellinie des Mikrometers durch das Gesichtsfeld des Fernrohrs läuft. Alsdann dreht man den Arm *D*, wie bei einer gewöhnlichen Krystallmessung, stellt das Bild des Signals auf zwei benachbarte Theilstriche des Mikrometers und liest beide mal den Nonius ab. Die Differenz beider Ablesungen ist, wie eine einfache Betrachtung lehrt, die Hälfte des gesuchten Winkels. Da man den Strichwerth des Mikrometers nur ein für alle mal bestimmt, und der Fehler der Messung durch die Multiplication mit 2 verdoppelt wird, so stelle man alle Striche von -5 bis $+5$ ein, so dass man die Ablesungen für 10 gleich gross sein sollende Intervalle erhält, und nehme von diesen das arithmetische Mittel.

Bei der Bestimmung der Stauoskopcorrection hat man, wie S. 624 auseinandergesetzt wurde, die beiden Fernröhre unter einem Winkel von genau 90° zu stellen. Zu diesem Zwecke bedient man sich der Zusammenstellung des Instrumentes als Refractometer Fig. 600, richtet das drehbare Beobachtungsfernrohr direct auf das Collimatorsignal und liest die entsprechende Position am Nonius ab; dann dreht man dasselbe seitlich, bis die Nonien eine um 90° grössere, resp. kleinere Ablesung liefern, und klemmt es in dieser Stellung fest; durch Drehen der inneren Axe, welche die Centrir- und Justirvorrichtung trägt, werden dann die von der Stauoskopplatte und dem aufgesetzten Krystall gespiegelten Signalbilder in das Gesichtsfeld des Beobachtungsfernrohres gebracht. Noch bequemer wäre es, wenn durch geeignet angebrachte Bohrungen in der Kreisplatte es ermöglicht würde, beide Fernröhre fest mit derselben unter einem Winkel von 90° (statt 45° , wie es Fig. 599 darstellt) zu verbinden und daher die Zusammenstellung des Instrumentes als Goniometer benutzen zu können. Fuess wird daher in Zukunft seine Instrumente mit den diesem Zwecke angepassten Bohrungen versehen.

§. 121. Der Adams'sche Polarisations- und Axenwinkelapparat.

Um ein grösseres Gesichtsfeld zu erhalten und den Winkel der optischen Axen auch in solchen Fällen noch messen zu können, in welchen derselbe einen sehr grossen Werth besitzt, änderte W. G. Adams das Polarisationsinstrument für convergentes Licht dahin ab, dass er die oberste der Sammellinsen *n* des verticalen Apparates (Fig. 592) und die unterste der Objectivlinsen *o* fast halbkugelförmig machte und beide mit der dazwischen eingeklemmten Krystallplatte zu einem für sich drehbaren Ganzen verband, welches die Gestalt einer vollständigen Kugel besitzt. Die Folge davon ist, dass die diametral durch dieses System hindurchgehenden Lichtstrahlen, in welcher Richtung sie auch den Krystall passirt haben, aus der oberen Linse senkrecht zu deren Oberfläche heraustreten und daher keine Brechung erleiden. Klemmt man die Objectplatte derart zwischen die beiden Linsen ein, dass sich zwischen ihr und den letzteren beiderseits

eine dünne Schicht eines stark brechenden Oels (z. B. Cassiaöl) befindet, so werden selbst sehr schief durch den Krystall hindurchgehende Strahlen an der Grenzfläche desselben nicht total reflectirt, und nimmt man für die Linsen stark brechendes Flintglas, so wird, wenn der mittlere Brechungsexponent der Platte ein kleinerer als derjenige der Linsen ist, der Axenwinkel beim Austritt in das Glas (durch die zwischenliegende Oelschicht wird er nicht geändert, weil diese planparallel ist) sogar im Verhältniss zum wahren ($2V$) noch verkleinert. Dreht man nun das System mit der Platte, so kann man jede der Axen in die Mitte des Gesichtsfeldes bringen und daher mit diesem Instrumente, da beim Austritt der Strahlen aus der oberen Linse des Systems keine weitere Brechung stattfindet, den »scheinbaren Axenwinkel in Glas« (d. h. in dem stark brechenden Flintglas der Linsen) messen. Da nun durch die fast halbkugelförmig gekrümmten Linsen das Gesichtsfeld ein sehr grosses wird, so sind durch einen solchen Apparat die optischen Axen, auch wenn ihr Winkel ein so beträchtlicher ist, dass die Platte, im gewöhnlichen Polarisationsinstrumente untersucht, keinen Axenaustritt mehr zeigen würde, noch der Beobachtung und sogar der Messung zugänglich.

Nach dem vorstehend beschriebenen Principe und nach Angaben von A. Březina construirte der Mechaniker Schneider in Wien ein Instrument, welches die nöthigen Drehungen des mittleren Linsensystems getrennt vorzunehmen und zu messen gestattet, und da die von dem Genannten gelieferten Apparate die ersten waren, welche Verbreitung fanden, so werden dieselben auch vielfach als »Schneider'sche Polarisationsinstrumente« bezeichnet. Durch weitere Verbesserungen brachte endlich Fuess die Apparate in diejenige Form, welche jetzt wohl als die vollkommenste anzusehen ist, und in der sie an dieser Stelle beschrieben werden mögen.

An einem Stativ von genau derselben Form, wie sie dasjenige des verticalen Polarisationsinstrumentes Fig. 592 besitzt, ist in gleicher Weise ein Spiegel angebracht, und über diesem an zwei Trägern B und C die optischen Theile des Apparates, welche in Fig. 601 in $\frac{2}{3}$ nat. Grösse so abgebildet sind, dass die wichtigste mittlere Partie im verticalen Durchschnitte erscheint. Von dem Spiegel senkrecht reflectirt, treten die Lichtstrahlen in das Polarisatorrohr f , welches, dem ebenso bezeichneten in Fig. 592 gleichend, einen grossen Nicol P enthält und oben durch eine Spiegelglasplatte d , unten durch eine Linse e geschlossen ist. Wird dasselbe in das mit dem Träger B fest verbundene Rohr g , welches den Stellungen 0° , 45° , 90° entsprechende Marken trägt, so eingeschoben, wie es die Figur darstellt, dass nämlich die am drehbaren Rohre f befindliche Marke auf 90° gestellt ist, so fällt der Hauptschnitt des Polarisators mit der Zeichnungsebene der Fig. 601 zusammen. Ebenso wie g mit B , so ist auch das Rohr y mit dem Träger C in fester Verbindung, während zwischen g und y das grösstentheils im Durchschnitte dargestellte mittlere Rohrstück um die Axe

des Instrumentes gedreht und auch ganz herausgenommen werden kann, wenn man, nachdem der Spiegel zur Seite gedreht ist, die Schraube des Trägers *B* löst und letzteren an der dreikantigen Stahlschiene *A* abwärts schiebt (der andere Träger *C* ist an *A* festgeschraubt). Dieses Mittelstück passt mit einem kurzen vorspringenden Theile, in welchem sich die der unteren *e* correspondirende Linse *e'* befindet, in den oberen Rand des festen Rohres *g* und kann in diesem gedreht werden, so dass die auf letzterem angebrachte Marke mit einer der Marken 0° , 45° , 90° des drehbaren Mittelstückes zur Coincidenz gebracht werden kann. Ueber *e'* befindet sich die Sammel- linse *n* und in entsprechender Entfernung vom oberen Ende die Objectivlinse *o*, auf deren Unter- seite durch Einritzen und Schwärzen das in Fig. 602 dargestellte Liniensystem angebracht ist, welches als Fadenkreuz dient. Zwischen die beiden zuletzt erwähn- ten Linsen wird nun die kugel- förmige Linsencombination *m* mit der Krystallplatte in sogleich zu beschreibender Weise eingefügt. In den obersten Rand des Mittel- stückes passt wieder der untere des festen Rohres *y* mit einem angesetzten kurzen Theil von etwas geringerem Durchmesser, so dass nach dem Hinaufschieben des Trägers *B* bis zum vollständigen Ineinanderpassen der drei Rohre das mittlere durch *g* und *y* so festgehalten wird, dass es nur um die Axe des Instrumentes drehbar ist. In das obere feste Rohr *y* wird das die Ocularlinse *t* enthaltende, nicht drehbare Rohr *u* eingeschoben, dessen oberster Theil zu demselben Zwecke, wie am gewöhnlichen verticalen Pola- risationsinstrumente, einen Schlitz *z* besitzt, welcher je nach Bedarf ge- öffnet oder geschlossen werden kann. Auf dem oberen Rande *s* des

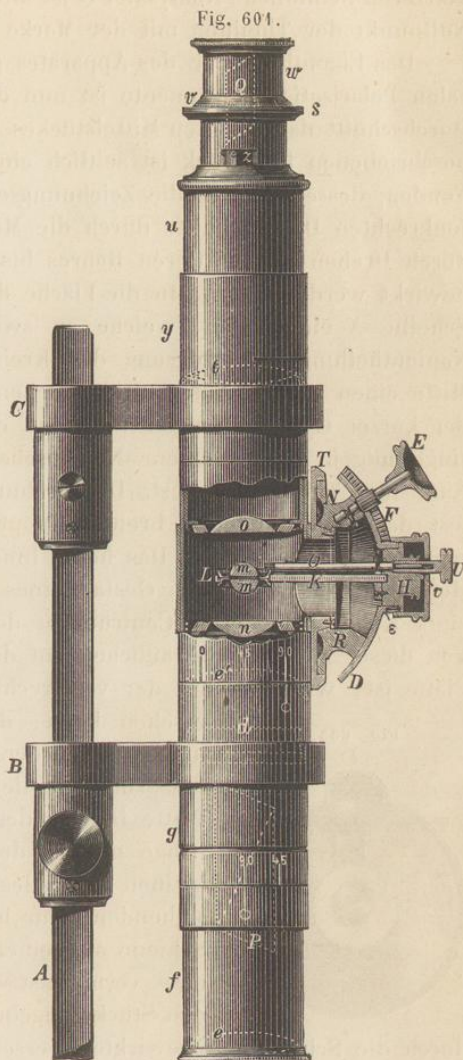


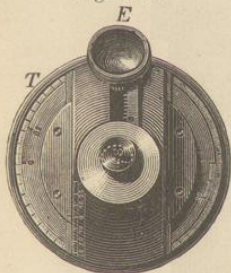
Fig. 602.



Ocularrohres, welcher eine Marke trägt, schleift die auf einer conischen Fläche v angebrachte Theilung des eingesetzten Rohres w ; der im Innern des Letzteren befindliche Analysator Q ist mit dem Polarisator gekreuzt, wenn der Nullpunkt der Theilung mit der Marke zusammenfällt.

Das Eigenthümliche des Apparates gegenüber dem gewöhnlichen verticalen Polarisationsinstrumente ist nun die Construction des in Fig. 604 im Durchschnitt dargestellten Mittelstückes. Mit dem zu ihm gehörigen, bereits beschriebenen Rohrstück ist seitlich ein senkrechter Theilkreis T fest verbunden, dessen Axe in die Zeichnungsebene fällt, welcher daher in einem senkrechten Durchschnitte durch die Mitte erscheint, eine Stellung, welche durch Drehen des mittleren Rohres bis zur Coincidenz der Marken genau bewirkt werden kann. In die Fläche dieses Theilkreises ist eine drehbare Scheibe N eingelassen, welche an zwei gegenüberliegenden Stellen eine Nonientheilung zur Ablesung des Kreises (auf $1'$) besitzt. T hat in der Mitte einen weiten Ausschnitt, welchen ein nach aussen konisch abfallender kurzer Cylinder umgibt; der auf diesen aufgeschraubte Ring hält die ringförmig in T eingelassene Nonienscheibe N in der breiten, kreisförmigen Rinne des Theilkreises fest. Die Drehung dieser Scheibe erfolgt durch den fest damit verbundenen breiten Knopf, dessen Gestalt aus dem Durchschnitte R ersichtlich ist. Das hohle Innere desselben ist bedeckt mit einer Messingplatte, welche die Gestalt eines kreisförmigen Stückes der Fläche einer Kugel hat, deren Centrum in der Mitte des Linsensystems m liegt. Von dieser mit vier Schraubchen auf dem dicken Rande von R befestigten Platte ist, wie man, aus der von rechts aufgenommenen Ansicht Fig. 603

Fig. 603.



erschen kann, der mittlere Theil herausgeschnitten, und zwischen den beiden abgeschrägten Seitenflächen der zurückgebliebenen Stücke eine schienenartige Platte D von derselben Krümmung, aber grösserer Länge mittelst des mit dem Knopfe E verbundenen kleinen Zahnrades verschiebbar. Wie aus der nebenstehenden Figur hervorgeht, trägt diese bogenförmige Schiene auf einer Seite ein Stück Kreistheilung, so dass vermittelst der an dem festen, links anliegenden Stücke angebrachten Marke der Winkelwerth der durch die Schraube E bewirkten Verschiebung der Schiene D , d. h. ihrer in der Ebene des Durchchnittes Fig. 604 stattfindenden Drehung um das Centrum der Linsen m , gemessen werden kann. Wenn die Marke auf 0 steht, so befindet sich D in der durch Fig. 604 wiedergegebenen Stellung, von welcher aus nach beiden Seiten der Schiene D eine Drehung von je 110° gestattet ist. In der Mitte trägt dieselbe nun einen cylindrischen Aufsatz mit einem Schraubengewinde, auf welches die Kappe v aufgeschraubt ist; die in Fig. 603 sichtbare Oberseite der letzteren hat einen schlitzförmigen Ausschnitt, durch welchen der kleine Schlüssel U gesteckt werden kann. Zieht man diesen heraus und schraubt die Kappe ab, so erblickt

man den mit dem Schlüsseloch versehenen Messingcylinder *H*, dessen vorspringender engerer Theil einen doppelten gekerbten Rand zeigt. *H* passt in den cylindrischen Aufsatz der Schiene *D* nur in einer, durch einen kleinen Stift ε bestimmten, Stellung und trägt das in das Innere des Instrumentes hineinragende Stahlstück *K*; dieses läuft am Ende in einen Ring *L* aus, welcher die durch Verschraubung mit einander verbundenen Fassungen der Linsen *m* so umgiebt, dass das Linsensystem mit der darin enthaltenen Krystallplatte in dem Ringe um die senkrechte Axe des Instrumentes gedreht werden kann. Diese Drehung erfolgt von aussen mittelst des Schlüssels *U* und des Stahlstäbchens *O*, dessen Ende ein kleines Zahnrad bildet, welches in den gezähnten oberen Rand der Linsenfassung eingreift.

Der Gebrauch des Instrumentes ist nun folgender: Nachdem man den Schlüssel *U* herausgezogen und die Kappe *v* abgeschraubt hat, zieht man den Messingcylinder *H* und mit ihm das mittlere Linsensystem vorsichtig heraus, legt dasselbe umgekehrt auf eine weiche Unterlage und schraubt die untere (jetzt nach oben gekehrte) Linse *m* heraus; auf die dadurch frei gewordene obere Seite der anderen Linse legt man nun die zu untersuchende Krystallplatte, deren Dicke nicht viel über einen Millimeter betragen darf, und klemmt sie durch Wiedereinschrauben der ersten Linse zwischen beiden mit schwachem Drucke ein; um ein Verschieben derselben zu vermeiden, ist es gut, sie am Rande, wo sie auf der Fassung der Linse aufliegt, an dieser mit etwas Wachs zu fixiren. Platten von geringerer Dicke, als der Abstand der zusammengeschraubten Linsen beträgt, bedeckt man mit einem oder mehreren Glasplättchen von der erforderlichen Grösse, damit sie nach dem Zusammenschrauben fest zwischen den Linsen liegen. Um beim Drehen Totalreflexion zu vermeiden, ist es in allen Fällen zu empfehlen, zwischen Linsen und Krystall, resp. auch zwischen diese und die eingelegten Glasplatten, dünne Oelschichten zu bringen. Nachdem so die zu untersuchende Platte gut eingeklemmt zwischen den Linsen angebracht ist, wobei man bei einem kleinen Präparate nur darauf zu achten hat, dass es genau im Centrum des Linsensystems *m* liegt, bringt man dieses wieder an seinen Platz im Innern des Instrumentes, indem man den kleinen Stift ε (an der Seite von *H*) in den entsprechenden Ausschnitt des an *D* angebrachten kurzen Rohrstückes eingreifen lässt, dann die Kappe *v* wieder aufschraubt, wodurch *H* in seiner Lage festgehalten wird, und den Schlüssel *U* einsetzt. Hat man die oben erwähnten Stellungen der Marken, bei denen der Hauptschnitt des unteren Nicols mit der Zeichnungsebene Fig. 601 zusammenfällt und der obere dazu gekreuzt ist, hergestellt, so erblickt man nun im Instrumente das Interferenzbild, etwa so wie Fig. 74 S. 107, mit irgend einem Winkel der optischen Axenebene gegen die Nicolhauptschnitte, je nach der zufälligen Orientirung, welche man der Krystallplatte beim Einklemmen zwischen die Linsen gegeben hatte. Durch Drehen derselben in ihrer Ebene mittelst des Schlüssels *U* bringt man nunmehr die Mittelpunkt der beiden Ringsysteme in diejenige Lage, bei welcher ihre Ver-

bindungslinie senkrecht zur Ebene des Durchschnit­tes in Fig. 601 ist; diese Richtung ist im Gesichtsfelde durch eine der beiden gestrichelten, nicht bis zur Mitte reichenden Linien des festen Fadenkreuzsystems Fig. 602 gegeben; man hat also den Schlüssel *U* so lange zu drehen, bis beide Axenpunkte mit der erwähnten Linie zusammenfallen. Steht die Ebene der optischen Axen nicht senkrecht zur Oberfläche der Krystallplatte, so kann man durch die Drehung der letzteren in ihrer Ebene die Verbindungslinie der beiden Axenpunkte wohl parallel der erwähnten Linie des Fadenkreuzes stellen, aber nicht mit ihr zusammenfallen lassen; um das Letztere zu erreichen, muss man schliesslich der Schiene *D* mittelst des Knopfes *E* die erforderliche Drehung ertheilen, und dadurch das centrale Linsensystem so weit neigen, dass die optische Axenebene der Platte senkrecht steht. Ist die Coincidenz jener beiden Linien hergestellt, d. h. fällt der horizontale schwarze Balken des Interferenzbildes, Fig. 73 S. 406, mit der erwähnten Fadenkreuzlinie zusammen, so dreht man das ganze Mittelstück um 45° (bis zur Einstellung der betreffenden Marken) und erhält nun die Hyperbel­figur Fig. 75 S. 407. Hierbei ist aber die Verbindungslinie der beiden Axenpunkte unverändert im gleichen Faden und senkrecht zur Drehungs­axe der Scheibe *N* geblieben; dreht man also jetzt die letztere mittelst des breiten Knopfes *R*, so gelingt es, die Scheitelpunkte jeder der beiden dunkeln Hyperbeln auf den Schnittpunkt der beiden durchgehenden Linien des Fadenkreuzsystems einzustellen. Die zwischen beiden Einstellungen erfolgte und am Kreise *T* abgelesene Drehung der Scheibe *N* ist nach Früherem gleich dem Winkel der beiden optischen Axen in dem Flintglase der centralen Linsen. Der Brechungsexponent der letzteren beträgt bei den Fuess'schen Instrumenten (nach einer Messung von Liebisch):

$$n = 1,5176 \text{ für Na-Licht.}$$

Kennt man also den mittleren Brechungsexponenten des Krystalls, so ist man im Stande, den wahren Axenwinkel desselben zu berechnen. Um etwaige Excentricitätsfehler bei der Messung zu eliminiren, kann man auch die Nonienscheibe *N* soweit drehen, dass die untere Linse nach oben ge­richtet ist, alsdann von Neuem den Axenwinkel beim Austritt der Strahlen aus dieser messen und aus beiden Werthen das Mittel nehmen.

Auch zur Messung des Winkels zwischen je einer optischen Axe und der Normalen der Krystallplatte (vergl. S. 632) kann der Apparat gebraucht werden. Man nimmt zu diesem Zwecke den Nicol ab und ersetzt ihn, wie im Axenwinkelapparate (s. a. a. O.), durch eine schräggestellte Spiegelglas­platte, welche die Strahlen einer seitlich gestellten Flamme in der Axe des Instrumentes abwärts reflectirt; das von der Krystallplatte oder der ebenen Fläche der unteren Linse *m* gespiegelte Bild des Fadenkreuzes erkennt man durch Drehen des Linsensystems um eine seiner beiden horizontalen Drehungsaxen, bringt es durch die entsprechenden Bewegungen der Scheibe *N* und des Knopfes *E* mit dem direct gesehenen Fadenkreuze zur Deckung und liest diese Stellung, bei welcher die Normale der Platte

genau mit der Axe des Instrumentes zusammenfällt, am Theilkreise *T* ab. Alsdann setzt man den Analysator wieder ein, dreht mittelst des Schlüssels *U* die Platte in ihrer Ebene so weit, dass das Bild einer optischen Axe in die zur Axe des Nonienkreises *N* senkrechte Linie des Fadenkreuzes fällt, und bringt dasselbe dann durch Drehen von *N* in die Mitte des Fadenkreuzes. Die hiezu erforderliche, am Kreise *T* abgelesene Drehung ist offenbar der scheinbare Winkel (nach der Brechung in Glas) zwischen der Plattennormale und der optischen Axe.

Der Hauptvorteil des Instrumentes besteht aber in seiner Verwendbarkeit zur Aufsuchung der optischen Axen in Krystallen, welche im Nörremberg'schen Apparate dieselben nicht mehr im Gesichtsfelde erkennen lassen. Will man sich z. B. über die Lage der optischen Axen orientiren an einem, nach einer Querfläche tafelförmigen, monosymmetrischen Krystalle, und zeigt dieser im gewöhnlichen Polarisationsinstrumente nur dunkle, beim Drehen der Platte das Gesichtsfeld durchlaufende Büschel, welche die Lage der Axenebene zweifelhaft lassen, so bringt man denselben in der angegebenen Weise in das vorstehend beschriebene Instrument und beleuchtet letzteres mit monochromatischem (Natrium-) Lichte. Man nimmt dann Interferenzcurven wahr, welche in Bezug auf die der Symmetrieebene des Krystalls entsprechende Linie rechts und links gleichgestaltet sind. Durch Drehen der Platte in ihrer Ebene (mit dem Schlüssel *U*) bringt man zunächst jene Linie in die zur Drehungsaxe der Scheibe *N* senkrechte Richtung und dreht die letztere (und somit den Krystall um seine Symmetrieebene) nach beiden Seiten; tritt hierbei kein Axenbild in das Gesichtsfeld, so ist anzunehmen, dass die Symmetrieebene nicht optische Axenebene ist. Alsdann dreht man die Krystallplatte in ihrer Ebene um 90° und bewegt wieder den Nonienkreis nach beiden Seiten, nachdem man die Platte durch Drehung der Schiene *D* das eine Mal nach der einen, das andere Mal nach der anderen Seite geneigt hat; ist die optische Axenebene senkrecht zur Symmetrieebene und nicht allzu schief gegen die Normale der Platte geneigt, so gelangen bei einer dieser Stellungen der Schiene *D* die optischen Axen durch Drehung von *N* ins Gesichtsfeld. In diesem Falle erblickt man auch bei horizontaler Stellung der Platte den Mittelpunkt des Lemniskatensystems, aber in der Symmetrieebene verschoben.

Ist die Abweichung dieses Punktes von der Mitte des Gesichtsfeldes nicht zu gross, so kann sie durch Verschiebung der Schiene *D* auf Null gebracht werden; alsdann liefert die Einstellung der beiden Axenbilder, durch Drehen der Nonienscheibe, sogar eine approximative Messung des optischen Axenwinkels, trotz der Schiefe der Platte zur Mittellinie.

Literatur:

- W. G. Adams, Proceed. Phys. Soc. 4, 152; Phil. Magaz. 1875, 50 und 1879 [5] 8, 275. S. auch Zeitschr. f. Kryst. 5, 381.
 E. Schneider, Carl's Repert. f. Exper.-Physik. 45, 774 (1879).
 F. Becke, Tschermak's min. u. petrogr. Mitth. 1879, 2, 430.

§. 122. **Grosser Axenwinkelapparat von Fuess.** Es wurde zuerst von Kirchhoff (Poggendorff's Ann. d. Phys. 1859, 108, 567) eine Methode angegeben, um die Winkel der optischen Axen für die verschiedenen Fraunhofer'schen Linien zu messen. Zu dem gleichen Zwecke construirte V. von Lang eine Combination des Spectralapparates mit dem Axenwinkelapparate (Zeitschr. f. Kryst. 2, 492) und R. Fuess den im Folgenden (mit Benutzung einer von Liebisch im Jahrb. f. Min., Geol. u. s. w. 1885 darüber veröffentlichten Notiz) beschriebenen »grossen Axenwinkelapparat«.

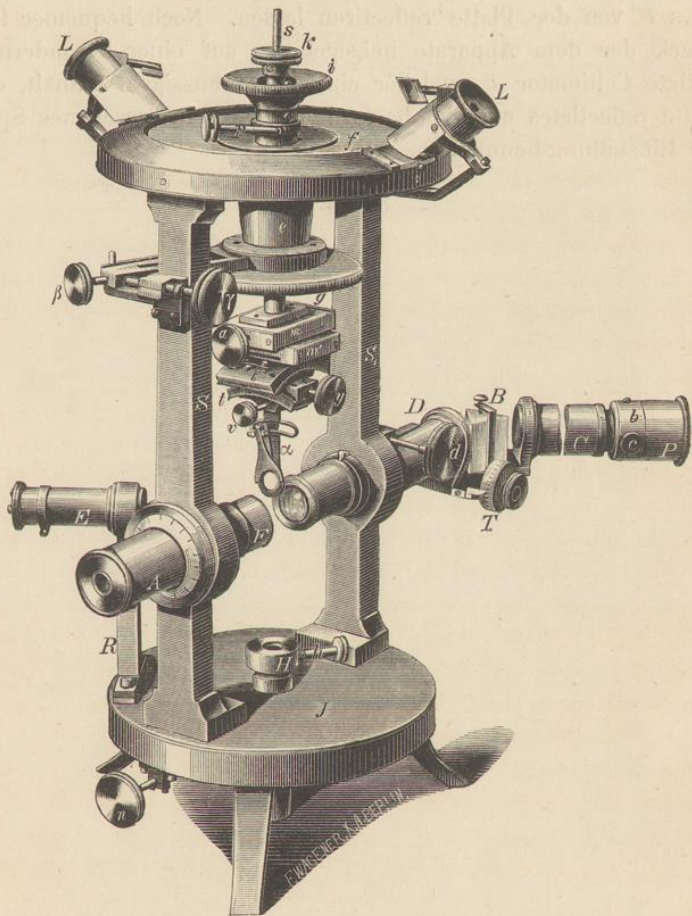
Auf der Platte *J* eines niedrigen Dreifusses (Fig. 604 in $\frac{1}{3}$ nat. Grösse) ruhen zwei Säulen *SS*, und auf diesen ein Nonienkreis mit drehbarem Limbus *f* (Ablesung auf 30''); beide Kreise sind ganz so construiert, wie bei den horizontalen Fuess'schen Goniometern (s. S. 560), und mit ihnen auch in ähnlicher Weise Krystallträgeraxe, sowie Centrir- und Justirvorrichtung verbunden, nur mit dem Unterschiede, dass die zur Drehung der ersteren nöthigen Scheiben über und die Centrir- und Justirvorrichtung unter dem Kreise sich befinden. In der am Nonienkreise befestigten Büchse *e* geht die Kreisaxe, welche mittelst des Knopfes *i* gedreht, sowie auch durch β geklemmt und durch γ feingestellt werden kann. Die innerste Axe *s*, an welcher unten die Centrir- und Justirvorrichtung hängt, wird durch die Schraubenmutter *k* genau in derselben Weise, wie bei den Goniometern, gehoben und gesenkt und kann ebenso mit dem Schlüssel *p* geklemmt werden. An der Centrir- und Justirvorrichtung, welche vollkommen identisch mit derjenigen der Goniometer ist, wird an Stelle des Tischchens der pincettenartige Krystallträger *a* mittelst der Schraube *v* befestigt. Dieser gestattet durch die im oberen Theile desselben angebrachte Schleife eine Drehung der von einer gabelförmigen Feder festgehaltenen Platte um einen gewissen Winkel in ihrer Ebene, wodurch die Horizontalstellung der Axenebene erleichtert wird; die genaue Justirung der Platte erfolgt dann mittelst der Cylinderschlitten *t*. Mit dem Triebkopf *n* hebt oder senkt man den Cylinder *H*, in welchem der Fuss des Oelgefässes oder des Erhitzungskastens bei der Messung der optischen Axen in Oel oder in Luft von höherer Temperatur mittelst der Schraube *h* befestigt wird.

Die Lichtstrahlen passiren zuerst einen in *P* befindlichen Nicol, alsdann den in *b* angebrachten und durch die Schraube *c* verstellbaren, geradlinigen Spalt, und fallen, aus dem Objectiv des durchbrochen gezeichneten Collimators *C* parallel austretend, auf ein Flintglasprisma *B* auf, durch welches ein Spectrum erzeugt wird. Collimator und Prisma sind derart mit dem Tubus *D* verbunden, dass sie durch die Mikrometerschraube *T*, eine sogenannte Schraube ohne Ende, um eine verticale Axe gedreht werden können, um das Spectrum durch das Gesichtsfeld des Beobachtungsfernrohrs *F* zu führen, resp. eine bestimmte Lichtregion oder Fraunhofer'sche Linie in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bringen. Der Tubus *D* kann ausserdem durch den Triebkopf *d* in der Richtung seiner Axe verschoben

werden. Dem Fernrohre *D* sind zwei Oculare beigegeben, um mehr oder weniger stark convergentes Licht erzeugen zu können; diesen Ocularen entsprechen auch zwei verschiedene Beobachtungsfernrohre *F*. Auf letztere wird das drehbare Rohr *A* mit dem Analysator aufgesetzt.

Der vorstehend beschriebene Apparat muss vor seinem Gebrauche mit Hülfe der Beobachtung im Sonnenlichte für die verschiedenen Fraunhofer'schen Linien justirt, d. h. die Ablesungen der Mikrometertrommel *T* bestimmt

Fig. 604.



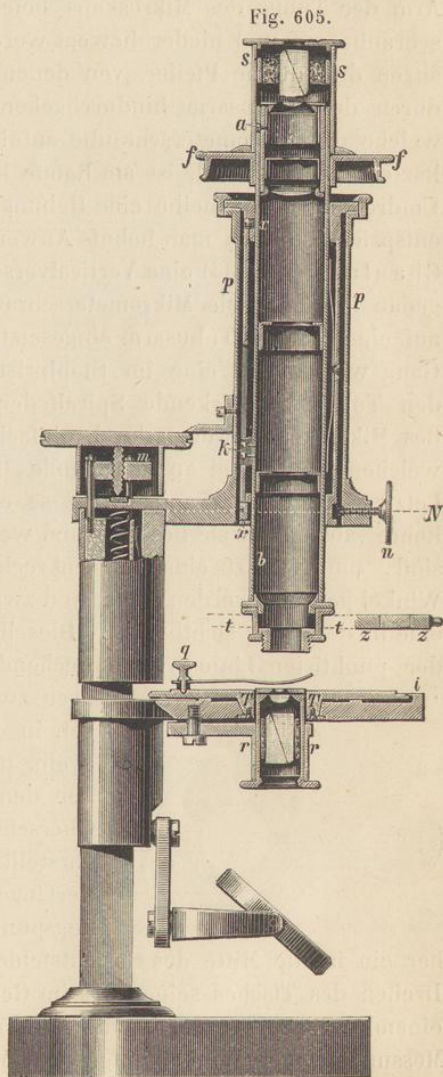
werden, bei welchen die einzelnen Linien sich in der Mitte des Gesichtsfeldes befinden. Ist dies einmal geschehen, so kann man sich bei der Messung der Axenwinkel einer weissen Gas- oder Petroleumflamme zur Beleuchtung bedienen. Man stellt *T* so ein, dass der einer bestimmten Fraunhofer'schen Linie, für welche die Messung ausgeführt werden soll, entsprechende Theil des Spectrums in die Axe des Beobachtungsfernrohrs

fällt, orientirt die beiden Nicols gekreuzt und unter 45° gegen die Kreisaxe und führt einmal die eine, dann die andere Hyperbel der justirten Krystallplatte in die Mitte des Gesichtsfeldes. Die Differenz der beiden Positionen ist gleich dem Axenwinkel für die in der Mitte des Gesichtsfeldes erscheinende Farbe, d. h. für die betreffende Fraunhofer'sche Linie. Zur Justirung der Krystallplatte oder zur Messung des Winkels zwischen ihrer Normale und einer optischen Axe kann man, wie S. 632 auseinandergesetzt worden ist, durch Einfügung einer schräg gestellten Spiegelglasplatte an Stelle des Nicols das Fadenkreuzbild des Beobachtungsfernrohrs *F* von der Platte reflectiren lassen. Noch bequemer ist für diesen Zweck der dem Apparate beigegebene, auf einer besondern Säule *R* befestigte Collimator *E*, welcher ein Fadenkreuzsignal enthält, dessen an der Platte reflectirtes und im Beobachtungsfernrohr gesehenes Spiegelbild man zur Einstellung benutzt.

C. Mikroskope und mikroskopische Messapparate.

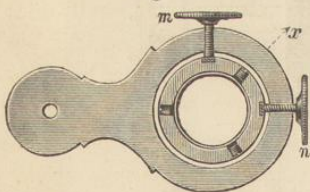
§. 123. **Mikroskope zu krystallographischen Untersuchungen.** Die Haupterfordernisse eines zu krystallographischen Untersuchungen brauchbaren Mikroskops sind: ein drehbarer Objecttisch, dessen Drehung an einer Theilung abgelesen werden kann, und zwei davon unabhängige, in gekreuzte Stellung zu bringende Polarisatoren behufs der Prüfung der Krystalle im polarisirten Lichte. Im Folgenden soll nun zuerst das weitverbreitete und zu allen, gewöhnlich vorkommenden, mikromineralogischen Arbeiten ausreichende Mikroskop von R. Fuess (s. auch Rosenbusch, Jahrb. f. Min., Geol. u. s. w. 1876, 504) beschrieben werden, welches in Fig. 605, grösstentheils im Durchschnitt, in $\frac{2}{3}$ nat. Grösse abgebildet ist.

Das Stativ des Instrumentes besteht aus einer hufeisenförmigen Fussplatte und einem dreiseitigen Stahlprisma, an welchem zwei Träger sitzen, deren unterer sowohl den drehbaren Spiegel, als den Objecttisch und das fest mit letzterem verbundene Rohr *r* trägt. In dieses wird von unten das Polarisatorrohr, das oben durch eine Linse geschlossen ist, eingeschoben und so gedreht, dass der Nullpunkt der auf demselben angebrachten Theilung mit einer auf *r* befindlichen Marke coincidirt; bei dieser Orientirung fällt der Hauptschnitt des



darin befindlichen Prazmowski'schen Prisma (durch gerade Endflächen von den gewöhnlichen Nicols verschieden) in die Zeichnungsebene der Fig. 605. Ueber der festen Trägerplatte, an deren Unterseite *r* angeschraubt ist, befindet sich eine um die senkrechte Axe des Instrumentes drehbare Platte, der eigentliche Objecttisch *T*, dessen gekerbter Rand ringsum frei vorragt, so dass er leicht mit den Fingern gedreht werden kann; nur in der Ebene der Zeichnung greift die feste Platte nach vorn über mit einem Fortsatz, auf dessen Oberfläche eine Marke zur Ablesung der auf der drehbaren Scheibe *T* befindlichen Theilung angebracht ist. Mittelst der durch *q* angeschraubten Federn kann man das untersuchte Präparat auf dem drehbaren Tische festhalten. Der obere Träger, an dessen Arm der Tubus des Mikroskops befestigt ist, kann durch eine Feinstellschraube auf und nieder bewegt werden. Auf dem Stahlprisma des Stativs sitzen drei dünne Pfeiler (von denen zwei in der Figur sichtbar sind), die durch den Tubusarm hindurchgehen und die stählerne Mutter *m* tragen, welche die Mikrometerschraube aufnimmt. Die Scheibe, mittelst deren die letztere gedreht wird, ist am Rande in 500 Theile getheilt; da einer ganzen Umdrehung der Scheibe eine Hebung oder Senkung des Tubus von 0,5 mm entspricht, so kann man behufs Anwendung der Methode des Herzogs von Chaulnes (s. S. 33) eine Verticalverschiebung des Mikroskops auf 0,001 mm genau messen. Die Mikrometerschraube steht mit ihrem gehärteten Ende auf einer in den Tubusarm eingesetzten Stahl- oder Achatplatte; ihr todter Gang wird durch eine im Stahlprisma befindliche und von unten gegen den Tubusarm wirkende Spiralfeder aufgehoben. Die grobe Einstellung des Mikroskopes erfolgt durch einfache verticale Verschiebung des Tubus *b*, welchen man dabei an dem Rande *f* fasst, in der ihn umgebenden Hülse *p*. Letztere ist doppelwandig und so construiert, dass das innere der beiden Rohre, aus denen sie besteht, und welche nur oben mit einander verbunden sind, um zwei zu einander senkrechte horizontale Axen um einen kleinen Winkel gedreht werden kann, und zwar mittelst der Schrauben *n*, von denen eine in der Figur sichtbar ist. Dieselben greifen, wie aus dem horizontalen, der punktirten Linie *N* entsprechenden Durchschnitte Fig. 606 hervorgeht,

Fig. 606.



nach zwei zu einander senkrechten Richtungen in den untersten Theil der inneren Hülse *p* ein, und man kann daher mit Hülfe derselben den Mikroskoptubus, dessen horizontalen Querschnitt der innerste Doppelring in Fig. 606 darstellt, so centriren, dass seine Axe in ihrer Verlängerung nach unten genau den Drehungspunkt des Objecttisches *T* trifft, und daher

ein in die Mitte des Gesichtsfeldes gebrachter Punkt des Objectes beim Drehen des Tisches seinen Ort im Gesichtsfelde bewahrt. Wie S. 551 auseinandergesetzt wurde, ist die Erfüllung dieser Bedingung nothwendig zur Messung ebener Winkel unter dem Mikroskope.

Dem Instrumente werden die Hartnack'schen Objective 4, 7 und 9 beigegeben, von welchen das erste, je nach dem Ocular eine 90—200-fache Vergrößerung liefernd, am häufigsten gebraucht wird (eine noch schwächere Vergrößerung und noch grösseren Abstand vom Objecte erhält man, wenn man die untersten Linsen dieses Objectivsystems abschraubt). Das Objectiv, in Fig. 605 nicht mit abgebildet, wird auf das untere Ende des Tubus *b* aufgeschraubt. Ueber demselben kann man durch einen auf beiden Seiten des Rohres angebrachten Schlitz in der Ebene *tt* den Schieber *z* mit einer sogenannten Biot'schen Quarzplatte, von C. Klein zu diesem Zwecke empfohlen, einführen, um an den Objecten (durch Aenderung der empfindlichen Farbe der Quarzplatte) eine schwache Doppelbrechung und die Lage der Schwingungsrichtungen in den untersuchten Krystallen zu erkennen. In die obere Oeffnung des Tubus *b* wird das Ocularrohr (deren drei beigegeben sind) eingesetzt, dessen Construction aus dem Durchschnitt Fig. 605 und aus der Ansicht Fig. 607 ersichtlich ist: unten befindet sich eine feste Linse, über dieser das Fadenkreuz oder ein Glasmikrometer und zu oberst eine zweite Linse, deren Abstand durch Verschiebung des Rohres *A* geändert und hierdurch auf das Fadenkreuz scharf eingestellt werden kann. Das vorspringende Schraubchen *a* des Ocularrohres passt in einen senkrechten Schlitz des Tubus *b*, so dass dem Fadenkreuze hierdurch immer eine bestimmte Stellung gewahrt ist, nämlich diejenige parallel den Hauptschnitten der beiden Polarisatoren, sobald letztere so gedreht sind, dass die Nullpunkte ihrer Theilungen mit den Marken der festen Rohre coincidiren *). Auf das Ocular kann schliesslich das Rohr *s* mit dem Analysator aufgesetzt werden, welches mit einer Kreistheilung auf der mit dem Tubus fest verbundenen und eine Marke tragenden Platte *f* schleift. Fällt der Nullpunkt der Theilung mit der Marke zusammen, und ebenso derjenige am Polarisator, so sind beide Nicols gekreuzt, und es findet zugleich die soeben erwähnte Coincidenz ihrer Hauptschnitte mit den Linien des Fadenkreuzes statt.

Fig. 607.



Das vorstehend beschriebene Mikroskop kann zur Ausführung folgender Arbeiten dienen:

1) Zur Messung ebener Winkel nach dem S. 534 auseinanderge-setzten Verfahren, wobei man sich nicht auf mikroskopische Krystalle und Krystalldurchschnitte zu beschränken braucht, da es zuweilen auch bei Untersuchung grösserer Krystalle nothwendig wird, einen ebenen Winkel an denselben zu bestimmen, wozu man sich natürlich, um eine möglichst lange Kante im Gesichtsfelde zu haben, der schwächsten Vergrößerung

*) Diese Orientirung der Hauptschnitte der Kalkspathprismen erleidet mit der Zeit kleine Aenderungen, wahrscheinlich durch Contractionen der Korkfassungen, und muss daher von Zeit zu Zeit durch Bestimmung der Schwingungsrichtung einer Krystallplatte (z. B. eines rhombischen Krystalls von prismatischer Ausbildung) geprüft werden.

bedient. Bei derartigen Messungen sind die Nicol'schen Prismen unnöthig; es ist also wenigstens der obere, welcher das Gesichtsfeld einschränkt, zu entfernen.

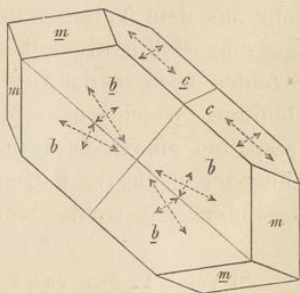
2) Zur Erkennung des Pleochroismus nach der Methode von Tschermak (s. S. 453), bei welcher man eines Nicols bedarf, daher am besten der Polarisator in seinem Rohre r belassen und das Präparat mit dem Objecttische gedreht wird.

3) Zur Prüfung der Krystalle auf Doppelbrechung: Das Instrument wird mit beiden Polarisatoren ausgerüstet und diese gekreuzt, darauf der Objecttisch mit dem Präparate gedreht und beobachtet, ob der zu untersuchende Krystall abwechselnd hell und dunkel wird (vergl. S. 72—74 und 405). Dieser Wechsel der Intensität kann in Folge schwacher Doppelbrechung ein sehr geringer sein; alsdann bedient man sich der erwähnten empfindlichen Quarzplatte oder einer ebensolchen Gypslamelle (vergl. auch S. 618). Es giebt indess einige Fälle, in denen trotz starker Doppelbrechung ein Wechsel zwischen Hell und Dunkel beim Drehen des Präparates zwischen gekreuzten Nicols nicht eintritt. Die erste dieser, bei mikroskopischen Untersuchungen nicht allzu selten eintretenden Ausnahmen liegt dann vor, wenn der zu untersuchende Durchschnitt eines zweiachsigten Krystalls ungefähr senkrecht zu einer optischen Axe liegt, in welchem Falle das Präparat beim Drehen gleichmässig hell, resp. farbig, bleibt (über die Ursachen dieser Erscheinung s. E. Kalkowsky, Zeitschr. f. Krystallogr. 9, 486); um sich zu überzeugen, dass in der That hierbei der Austritt einer optischen Axe erfolgt, hat man die weiterhin erwähnte Untersuchung im convergenten Lichte auszuführen. Ausserdem kann aber das Ausbleiben der Dunkelstellungen auch dadurch verursacht sein, dass der untersuchte Krystall ein Zwillings ist, bestehend aus zwei übereinanderliegenden Hälften, deren Schwingungsrichtungen ungleich orientirt sind; alsdann wird nämlich die Auslöschung des polarisirten Lichtes, welche einer der beiden Krystalle in bestimmten Lagen bewirken würde, durch den andern wieder aufgehoben. Im letzteren Falle hat man den Krystall in anderer Richtung oder anders orientirte Durchschnitte auf das Vorhandensein von Zwillingbildung zu prüfen, welche sich durch die Verschiedenheit der Dunkelstellung documentirt, sobald die beiden Zwillingspartien nicht übereinander liegen, sondern neben einander sichtbar sind.

4) In allen anderen Fällen kann man aus der Richtung des Krystalls in einer seiner Dunkelstellungen die Orientirung seiner Schwingungsrichtungen feststellen (vergl. S. 405), indem man eine Krystallkante mit einem Faden zur Coincidenz bringt, die entsprechende Stellung am drehbaren Objecttisch abliest, dann letzteren dreht, bis die Dunkelstellung des Krystalls eintritt, und wiederum abliest. Diese Messung liefert zwar kein so genaues Resultat, wie die mit dem verbesserten Stauroskope (§. 418), sie kann aber doch mit einer in vielen Fällen genügenden Schärfe ausgeführt werden, wenn man das Mikroskop mit monochromatischem Lichte

beleuchtet und die Dunkelstellung auf folgende Weise bestimmt: nachdem man die zur Ausgangsrichtung genommene Krystallkante auf einen Faden eingestellt (vergl. S. 554) und abgelesen hat, dreht man den Objecttisch, bis das Maximum der Dunkelheit des Krystalls eintritt, durch diese hindurch und rückwärts, bis wieder das Maximum der Auslöschung erscheint, liest beide Stellungen ab und nimmt das Mittel; solcher Doppeleinstellungen führt man eine Reihe aus und benutzt deren arithmetisches Mittel als wahrscheinlichsten Werth der Dunkelstellung; schliesslich stellt man noch einmal die Krystallkante auf den Faden ein, um sich zu überzeugen, dass das Präparat während der Operation keine Verschiebung erlitten hat. Diese einfachste Methode zur Bestimmung der Schwingungsrichtung, welche das vollkommene Analogon der S. 580—584 beschriebenen Methode der Schimmermessung bildet, ist auch bei makroskopischen Krystallen (natürlich unter Benutzung einer schwachen Vergrösserung, damit man möglichst den ganzen Krystall im Gesichtsfelde erblickt) anzuwenden, wenn von denselben keine genügend grossen, orientirten Platten zur stauroskopischen Untersuchung herzustellen sind und wenn es sich nicht um Erreichung höchster Genauigkeit handelt. Besonders vortheilhaft ist dieselbe bei Zwillingen, deren Schwingungsrichtungen gegen die Zwillingsebene geneigt sind. Untersucht man z. B. eine regelmässige Verwachsung von ähnlicher Form, wie sie die Fig. 523 (S. 504) des Gyps darstellt, durch die Symmetrieebene b gesehen, so müssen die Auslöschungsrichtungen der beiden Zwillingshälften gegen die der Verticalaxe parallele Zwillingsebene entgegengesetzt geneigt sein, die eine Hälfte also hell erscheinen, wenn die andere dunkel ist, und umgekehrt. Diese Beobachtung bildet zugleich das gewöhnlichste Mittel zur Erkennung von Zwillingen, besonders dann, wenn zwei Krystalle derart durch einander gewachsen sind, dass sie einem einfachen gleichen, wie z. B. der in Fig. 608 dargestellte Durchkreuzungszwilling des monosymmetrisch krystallisirten Desmin, an welchem b die Symmetrieebene $\{010\}$, c die Zwillingsebene $\{001\}$, $m = \{110\}$; während die durch gestrichelte Linien angedeuteten Schwingungsrichtungen auf der Querfläche c in beiden Krystallen parallel sind, also durch diese Fläche die Zwillingsebene optisch sich nicht erkennen lässt, erscheinen, durch die Symmetrieebene gesehen, die Theile b in anderer Stellung dunkel, als die Theile $\bar{b}$. Da die Schwingungsrichtungen beider Krystalle in Bezug auf die Zwillingsebene symmetrisch sein müssen, so bilden die einander entsprechenden Schwingungsrichtungen den doppelten Winkel mit einander, als jede einzelne mit der Zwillingsebene. Stellt man also einmal die eine, das andere Mal die andere Hälfte eines derartigen symmetrischen Zwillings nach der oben

Fig. 608.



angegebenen Methode auf das Maximum der Dunkelheit ein, so ist die Hälfte des abgelesenen Drehungswinkels derjenige, welchen die eingestellte Schwingungsrichtung mit der Zwillingssebene bildet. Da hierbei der Fehler, welchen man bei der Einstellung auf eine Kante begeht, ganz wegfällt, und derjenige bei der Einstellung auf die Auslöschung halbirt wird, so ist diese Methode genauer, als dieselbe, auf einen einfachen Krystall angewendet, und es wurde daher vor Entdeckung des Stauroskops von Sénarmont vorgeschlagen, aus Krystallen, deren Schwingungsrichtungen man bestimmen will, künstliche Zwillinge herzustellen und diese in der angegebenen Weise zu untersuchen. Endlich kann man mit dem Mikroskope auch die Stauroskop-Methode zur Bestimmung der Vibrationsrichtungen eines Krystalls anwenden, indem man eine beigegebene, senkrecht zur Axe geschliffene Kalkspathplatte auf das Ocular legt und darauf den Polarisator wieder aufsetzt; man erblickt alsdann zugleich mit dem Krystall, welcher den mittleren Theil des Gesichtsfeldes ausfüllen muss, das schwarze Interferenzkreuz, und zwar nur dann ungestört, wenn die Schwingungsrichtungen des Krystalls mit denen der Nicols zusammenfallen.

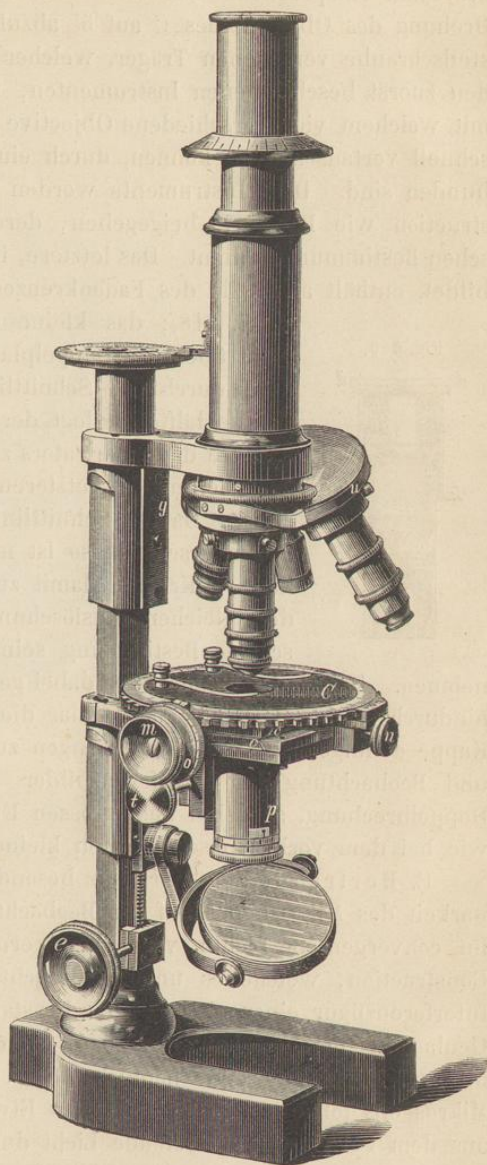
5) In neuerer Zeit ist die Anwendung des mit zwei gekreuzten Nicols versehenen Mikroskops sehr wesentlich erweitert worden durch die Erkennung der Möglichkeit, dasselbe als Polarisationsinstrument zur Untersuchung sehr kleiner Krystalle oder Krystallschnitte im convergenten polarisirten Lichte zu benutzen*). Zu diesem Zwecke legt man, wie es in Fig. 605 dargestellt ist, auf die den oberen Theil des Polarisatorrohres abschliessende Linse noch eine zweite kleinere, dem Instrumente beigegebene, welche die auf das Präparat fallenden Lichtstrahlen noch stärker convergent macht; dem entsprechend wendet man als Objectiv auch eines der stärkeren, wenigstens No. 7, an und stellt mit diesem den zu untersuchenden Krystall genau in die Mitte des Gesichtsfeldes. Um nun nicht das eingestellte Object, sondern durch dasselbe hindurch das von ihm hervorgebrachte Interferenzbild zu sehen, entfernt man jetzt das Ocularrohr aus dem Tubus *b* und setzt dann den Analysator wieder auf. Liegt der eingestellte Krystall so, dass die einer optischen Axe entsprechenden Strahlen noch in das Gesichtsfeld fallen, so erscheint in der kleinen hellen Oeffnung, welche man jetzt im Mikroskop erblickt, die dunkle Hyperbel (resp. bei einaxigen Krystallen das schwarze Kreuz) und gewöhnlich auch ein oder mehrere Farbenringe**). Dieses Interferenzbild, welches man besonders gut sieht, wenn man das Auge etwas über den Analysator

*) Vergl. E. Bertrand, Compt. rend. 85, 1175, Dec. 4877; Bull. d. l. soc. min. d. Fr. 4878 4, 22 und 96, sowie Zeitschr. f. Kryst. 3, 644; A. von Lasaulx, Jahrb. f. Min. 4878, 377 und Zeitschr. f. Kryst. 2, 256, 3, 661, C. Klein, Nachr. d. Ges. d. Wiss. Göttingen 4878, 461; H. Laspeyres, Zeitschr. f. Kryst. 4, 441, 460.

**) Eine Reihe derartiger Interferenzerscheinungen findet man abgebildet und erläutert in der für Studirende der Petrographie empfehlenswerthen: »Anleitung zum Bestimmen der gesteinbildenden Mineralien« von E. Hussak, Leipzig 4885.

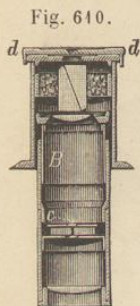
erhebt, kann man (nach einem Vorschlag von Bertrand) noch vergrössern durch Einsetzen eines dem Mikroskope beigegebenen, mit einer Linse versehenen Tubus in das Rohr *b*. In diesem Verfahren besitzt man somit ein wichtiges Hilfsmittel zur Erkennung der Orientirung eines Krystalls (vergl. S. 552), weil man mit demselben selbst mikroskopisch kleine und sehr dünne Krystallschnitte auf ihre optischen Eigenschaften prüfen kann. Wie bei dem gewöhnlichen Polarisationsinstrumente, kann man natürlich auch hier mit einer Viertelundulations-Glimmerplatte oder einem Quarzkeile den Charakter der Doppelbrechung bestimmen (s. §. 27).

Fig. 609.



Ausser dem S. 647—649 beschriebenen Mikroskope liefert Fuess noch ein grösseres Modell (S. Dessen Preisverz.), welches Fig. 609 in $\frac{2}{3}$ nat. Grösse darstellt. Das Stativ dieses Instrumentes stimmt im Wesentlichen mit dem des vorigen überein, nur wird die grobe Einstellung hier nicht durch verticale Verschiebung des Tubus, sondern durch eine solche des unteren Trägers mittelst des, einen Zahntrieb bewegendes Knopfes *e* bewirkt. Ebenso kann das Rohr, welches den Polarisator enthält, durch den Knopf *t* auf- und niederbewegt und dadurch dem Object genähert oder von ihm entfernt werden. Der wesentlichste Unterschied von der Construction des kleinen Modells besteht aber darin, dass hier nicht der Tubus des Mikroskops in Bezug auf den drehbaren Objecttisch centrirt wird, sondern umgekehrt der letztere, *C*, durch zwei auf einander senkrechte Schlittenbewegungen mit den Schrauben *m* und *n* so weit verschoben werden kann,

bis sich das Drehungscentrum genau in der Mitte des Gesichtsfeldes befindet. Die Schraube *m* dient hierbei zugleich als Mikrometer und ist zu diesem Zwecke mit einer Trommel versehen, deren Theilstriche je einer Verschiebung des Objecttisches und des darauf befindlichen Präparates um 0,002mm entsprechen. Der über *n* befindliche feste Nonius gestattet, eine Drehung des Objecttisches *C* auf 5' abzulesen. An dem oberen, mit Feinstellschraube versehenen Träger, welcher genau so construirt ist, wie bei den zuerst beschriebenen Instrumenten, ist der Mikroskoptubus befestigt, mit welchem vier verschiedene Objective (Hartnack No. 3, 5, 7, 9), um sie schnell vertauschen zu können, durch eine sogen. Revolvervorrichtung verbunden sind. Dem Instrumente werden vier Oculare, von derselben Construction wie Fig. 607, beigegeben, deren eines speciell zu staurosopischen Bestimmungen dient. Das letztere, in Fig. 610 im Durchschnitt abgebildet, enthält an Stelle des Fadenkreuzes die Calderon'sche Doppelplatte



(s. S. 618); das kleine Gesichtsfeld, begrenzt durch das dicht über der Doppelplatte befindliche enge Diaphragma *c*, wird durch die Schnittlinie der Staurosopplatte in zwei gleiche Hälften zerlegt, deren Trennungsebene mit dem Hauptschnitte des Polarisators zusammenfällt, wenn der Nullpunkt der Theilung des letzteren mit der Marke des Rohres *p* coincidirt. Da die Schnittlinie im Gesichtsfelde wie ein feiner Faden erscheint, so ist man im Stande, selbst einen sehr kleinen Krystall damit zu bisectiren und durch Einstellung der gleichen Auslöschung in beiden Hälften eine sehr scharfe Bestimmung seiner Schwingungsrichtungen vorzunehmen.

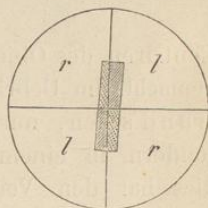
Damit der Beobachter dabei genau in der Axe des Instrumentes hindurch blickt, wird auf das Ocular die mit kleiner Oeffnung versehene Kappe *d* aufgelegt. Die Vorrichtungen zur Erzeugung convergenten Lichtes und Beobachtung der Interferenzbilder, sowie zur Erkennung schwacher Doppelbrechung, sind bei dem grossen Fuess'schen Mikroskope dieselben, wie bei dem vorher beschriebenen kleineren Modell.

E. Bertrand, dem wir ganz besonders die Erweiterung der Anwendbarkeit des Mikroskopes auf die Beobachtung der optischen Erscheinungen im convergenten Lichte verdanken, ermöglichte die letztere durch eine Construction, welche es unnöthig macht, jedesmal zur Beobachtung der Interferenzfigur eines eingestellten Krystalles den Analysator abheben, das Ocularrohr herausziehen und dann den Analysator wieder aufsetzen zu müssen. Derselbe zeigte nämlich, dass es genügt, über dem Objectiv des Mikroskops (ohne sonst an letzterem Etwas zu ändern, als dass man das aus dem Polarisator austretende Licht durch die beiden in Figur 605 dargestellten Linsen convergent macht) eine achromatische Linse von 3—4 cm Brennweite einzufügen, um statt des eingestellten Krystalles die von demselben erzeugte Interferenzfigur zu sehen. Nach diesem, offenbar ein rascheres und bequemerer Arbeiten ermöglichenden Principe construirte Bertrand

ein Mikroskop, mit welchem die erwähnte Linse, in einem Schieber befestigt, derart verbunden ist, dass dieselbe in jedem erforderlichen Augenblicke während der Beobachtung am Instrumente eingeschoben und alsdann durch eine Schraube vertical verstellt werden kann; letzteres ist zur Hervorbringung eines guten Interferenzbildes nothwendig, da die scharfe Einstellung desselben mit dem jedesmal benutzten Objective variirt. Das einfache Herausschieben der Linse genügt, um das Mikroskop wieder in ein gewöhnliches, d. h. ein zur Beobachtung im parallelen Lichte eingerichtetes, Instrument zu verwandeln. Das Bertrand'sche Mikroskop (s. Bulletin d. l. soc. minéralog. de France 1880, 3, 98) unterscheidet sich von dem in Fig. 609 abgebildeten Instrumente zunächst dadurch, dass der Drehungspunkt des Objecttisches nicht centrirt ist, sondern sich auf dem letzteren zwei Schlitten zur Verschiebung des Objectes nach zwei zu einander senkrechten Richtungen befinden, welche eine rasche und bequeme Einstellung der zu untersuchenden Stelle in die Mitte des Gesichtsfeldes gestatten und welche auch als Mikrometer gebraucht werden können; die Drehung des Tisches kann frei oder, nach Klemmung desselben, durch eine Feinstellschraube erfolgen. Da bei dieser Construction eine Centrirung seines Drehungspunktes in Bezug auf die Axe des Objectivsystems nicht möglich ist, muss das letztere, ähnlich wie bei den Fuess'schen Mikroskopen Fig. 605, in Bezug auf den Objecttisch centrirt werden; es geschieht dies hier durch zwei Schrauben, welche das Objectiv allein in zwei zu einander und zur Axe des Mikroskops senkrechten Richtungen verschieben. Weitere Unterschiede bestehen darin, dass die grobe Bewegung am Tubus stattfindet, und dass das Stativ des Instrumentes bis zur Beobachtung in horizontaler Richtung umgelegt werden kann. Ferner gehört zu demselben eine kleine, auf den Objecttisch aufzusetzende Vorrichtung zur Messung des optischen Axenwinkels, welche gestattet, diese Messung auch in Oel auszuführen. Die Objective sind nicht in der Weise vereinigt, wie es in Fig. 609 dargestellt ist, können aber durch eine am Tubus angebrachte federnde Vorrichtung sehr rasch vertauscht werden. Derartige, nach Bertrand's Angaben construirte Mikroskope werden von Dagincourt, sowie von Hartnack und Prazmowski in Paris geliefert.

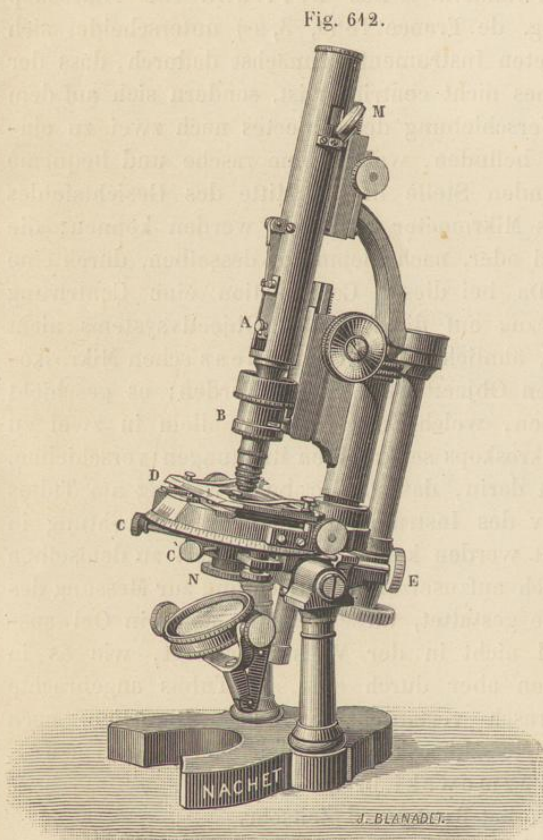
Für stauroskopische Zwecke hat Bertrand (Zeitschr. f. Kryst. 4, 69) ein Ocular empfohlen, in welchem sich an Stelle des Fadenkreuzes eine aus vier Theilen, zwei rechtsdrehenden rr und zwei linksdrehenden ll , zusammengesetzte Quarzplatte befindet, deren Trennungsflächen als feine Linien erscheinen (s. Fig. 611) und den Hauptschnitten der Nicols parallel gestellt werden. Ein in die Mitte gebrachter Krystall zeigt nun, wenn seine Schwingungsrichtungen nur um einen kleinen Winkel von denen der Nicol'schen Prismen abweichen, deutliche Farbenunterschiede (in der Figur durch verschiedene Schraffirung bezeichnet); daher ist die

Fig. 611.



Einstellung auf Gleichheit in den vier Quadranten so empfindlich, dass ein derartiges Stauroskopocular von manchen Beobachtern dem Calderon'schen vorgezogen wird, um so mehr als die Quarzplatten mit ihrer empfindlichen Farbe auch zur Erkennung schwacher Doppelbrechung dienen können (s. Schrauf, Zeitschr. f. Kryst. 8, 81).

Etwas von dem Bertrand'schen Mikroskope abweichend sind die vorzüglich gearbeiteten Instrumente von Nabet in Paris, deren Construction darauf beruht, dass das an einem besonderen Rohre *B* (Fig. 642) angebrachte



in dem durch gekreuzte Nicols verdunkelten Gesichtsfelde das Fadenkreuz zu sehen, kann dasselbe durch einen kleinen, an der Aussenseite des Tubus angebrachten Spiegel *M* beleuchtet werden. Dem Instrumente werden sechs verschiedene Objective beigegeben, deren schwächste eine, für manche Zwecke vortheilhafte, sehr grosse Focaldistanz besitzen.

Ein nach dem Bertrand'schen Principe construirtes Mikroskop mit allen, den bisher erwähnten Instrumenten beigegebenen Nebenapparaten, hat C. Klein neuerdings von Voigt und Hochgesang in Göttingen ausführen lassen und empfohlen (s. Nachrichten d. K. Ges. d. Wiss. Göttingen, Nov. 1884).*)

Beider im Bisherigen erwähnten Methode mikroskopischer Krystallmessung musste man sich beschränken auf die Bestimmung ebener Winkel, da einer eigentlich goniometrischen Untersuchung mikroskopischer Krystalle die Schwierigkeit, solche beliebig zu orientiren, entgegensteht. Nach einem Vorschlage von Bertrand kann man diese Orientirung entbehrlich machen — wenn man nur im Stande ist, den Krystall in beliebiger Weise an einem kleinen Glaswürfel zu befestigen, welcher alsdann mit dem Mikroskope in einer bestimmten Stellung verbunden wird — indem man nämlich die Winkel misst, welche die ideellen Durchschnittsrichtungen der Ebenen des Krystalls und des Glaswürfels mit den Kanten des letzteren bilden, und aus diesen die Krystallwinkel berechnet. Für die Messung jener Winkel hat Bertrand eine eigene Vorrichtung erfunden und seinen Mikroskopen beigegeben, aber bisher sind, ausser einigen zur Prüfung der Methode mit Krystallen von Quarz, Zinkblende und Kalkspath angestellten Experimenten des Autors, keine Untersuchungen mit dieser sehr umständlichen und schwierig anzuwendenden Methode gemacht worden (s. Zeitschr. f. Kryst. 3, 642). Dasselbe gilt von der durch Thoulet (s. ebenda 4, 222) vorgeschlagenen Methode, die verticalen und horizontalen Distanzen mehrerer Punkte auf den Krystallflächen unter dem Mikroskope zu bestimmen und daraus die Winkel zu berechnen, welche die Flächen mit einander einschliessen. Auf anderem Wege ist es neuerdings Brögger (Zeitschr. f. Kryst. 9, 225 f.) gelungen, Messungen von mikroskopischen Krystallen zu erhalten, indem er die feste Verbindung eines Mikroskopes mit einem Goniometer, welche in dem S. 546 erwähnten Hirschwald'schen Mikroskopgoniometer vorliegt, benutzte, den Krystall durch ein zweites, horizontal gestelltes, schwaches Mikroskop beleuchtete und die Flächen der unter dem verticalen Mikroskope justirten

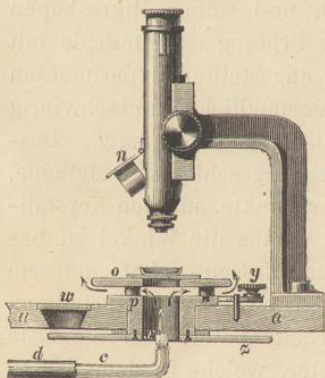
*) Ein noch vollständigeres, mit Benutzung aller bisheriger Erfahrungen construirtes Instrument wird (nach gef. Privatmittheilung) z. Z. von Fuess ausgeführt und demnächst von Liebisch beschrieben werden. Dasselbe enthält ausser den Nebenapparaten der bisher erwähnten Mikroskope noch mehrere neue, z. B. ein Ocularschraubenmikrometer zur Messung des Axenwinkels in den Interferenzbildern; einen der S. 623 erwähnten Polarisatoren, um selbst bei starken Vergrößerungen feinere stauroskopische Messungen ausführen zu können, ferner Spectralocular, Vorrichtung zur Erzeugung monochromatischen Lichtes nach Abbe u. a.

Zone auf Schimmer nach der S. 580—581 auseinandergesetzten Methode einstellte. Um dieses Verfahren auch in Ermangelung eines Hirschwald'schen Instrumentes ausführen zu können, liess der Autor einen zu dem grossen Fuess'schen Mikroskope gehörigen kleinen Messkreis mit einer vereinfachten Centrir- und Justirvorrichtung versehen. Es ist zu erwarten, dass man auf dem hiermit betretenen Wege noch zu weiteren Fortschritten in der Messung mikroskopischer Krystalle gelangen werde.

§. 424. **Das Lehmann'sche Krystallisationsmikroskop.** Dieses Instrument dient dazu, die Vorgänge während der Bildung der Krystalle unter willkürlich geänderten Temperaturverhältnissen zu beobachten, und ist namentlich zu den Untersuchungen der Umwandlungen der verschiedenen Modificationen eines Körpers unentbehrlich (s. O. Lehmann, über physikalische Isomerie, Zeitschr. f. Kryst. 4, 97; über das Wachsthum der Krystalle, ebenda 4, 453, und zahlreiche Abhandlungen in den späteren Bänden derselben Zeitschrift. Ueber die neueste Construction des Apparates s. Zeitschr. f. Instrumentenkunde 1884, 369).

Das zu den Beobachtungen dienende Mikroskop ist auf einem eigenen, aus Eisen gefertigten Arbeitstisch angebracht, mit welchem alle erforderlichen Nebeneinrichtungen verbunden sind. Dieser Tisch ist in Fig 614 zur Hälfte (in der Mitte durchschnitten gedacht) abgebildet, nach Abnahme

Fig. 613.



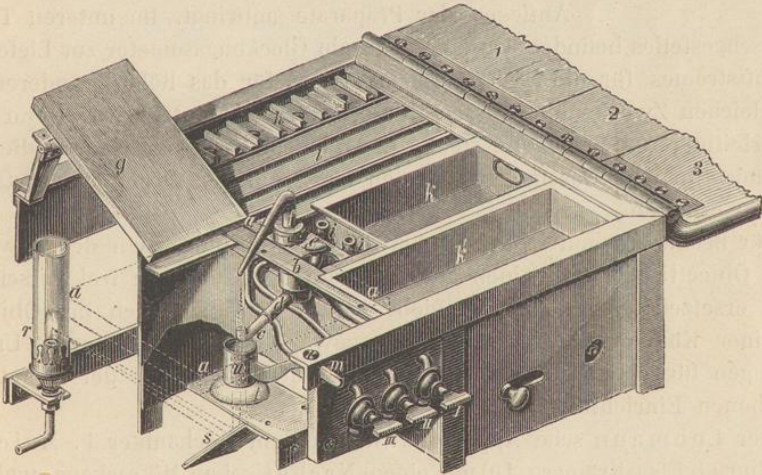
der durch punktirte Linien angedeuteten, viereckigen eisernen Object- und Mikroskop-Trägerplatte *aaaa*, welche durch vier an ihrer Unterseite befindliche Stifte auf die Schienen *b*, deren jede zu dem Zwecke mit zwei Löchern versehen ist, aufgepasst wird. Diese Eisenplatte, *aa* in Fig 613, trägt nun den Objecttisch *o*, welcher mit drei Füßchen in die Oberseite des Hohlcyinders *p* eingesetzt und mit diesem, sowie mit der daran befestigten getheilten kreisförmigen Scheibe *z* zusammen, durch die Handhabe *y* gedreht werden kann. Die Füßchen des Objecttisches passen in drei Löcher der Oberseite von *p* nur so weit hinein, dass zwischen *p* und *o* noch

Raum zum Abzug der Verbrennungsgase der Heizflamme *x* übrig bleibt. Die Kreistheilung auf *z* wird durch eine in der Eisenplatte *a* angebrachte Oeffnung *w* abgelesen, welche mit einer als Lupe dienenden Linse geschlossen ist; wenn der Handgriff *y* an den in der Fig. 613 sichtbaren Stift anstösst, zeigt der Index der Theilung genau auf 0° ; geht man also bei einer Winkelmessung von dieser Stellung aus, indem man durch Drehung des Oculars einen Faden mit einer Krystallkante zusammenfallen lässt und dann den Objecttisch dreht, bis eine zweite Kante mit demselben Faden zur Deckung gelangt, so giebt die Ablesung unmittelbar den Winkel zwischen

den beiden Krystallkanten an. Auf die vordere (dem Beobachter zugewendete) Seite der Platte *a* ist der sehr stabile, eiserne Mikroskopträger aufgeschraubt, an welchem der Tubus durch ein Trieb verstellt werden kann. Das Objectiv des Mikroskopes soll möglichst grosse Brennweite haben, um es den erhitzten Präparaten nicht allzusehr nähern zu müssen, daher man nur mit mässigen Vergrößerungen arbeitet. Die Fassung des Polarisators bildet ein kurzes Rohr *n*, welches (wie bei den Nacet'schen Mikroskopen S. 636) durch ein Charnier beweglich in den Tubus eingebracht oder aus demselben entfernt werden kann, ohne die Beobachtung zu unterbrechen. Der untere Nicol befindet sich in einem Rohre *u* (s. Fig. 614), welches an einem beweglichen Arme befestigt ist, dessen Ende als Griff *m* aus dem Tischgestell hervorragt; durch Verschieben dieses Griffes bis zu einer Arretirung wird der Nicol entweder in die richtige Stellung unter die Mitte des Objecttisches gebracht oder zur Seite geschoben. Zur Beleuchtung dient ein Argand'scher Gasbrenner *r*, dessen Licht durch einen Spiegel *s* nach oben reflectirt und durch eine Linse *t* concentrirt wird.

Um das zu untersuchende Präparat während der Beobachtung erwärmen zu können, dient das bereits erwähnte Flämmchen *x*; der Brenner *c* ist an einem drehbaren Arme *d* befestigt, welcher durch den Knopf *e* in Be-

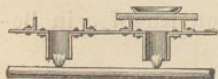
Fig. 614.



wegung gesetzt werden kann. Letzterer ragt durch einen Schlitz über die hölzerne Tischplatte (in Fig. 614 zur Seite geschlagen) hervor, und man kann mit Hülfe desselben, ohne die Beobachtung zu unterbrechen, das Flämmchen *x* nach Belieben entfernen und wieder unter das Präparat bringen, wobei die richtige Stellung, wie beim Einfügen des Nicolrohres *u*, durch eine Arretirung hervorgebracht wird. In das an der Unterseite der Schiene *b* befestigte Gelenk des Brenners münden zwei Röhren, wovon eine Luft, die andere Gas zuführt, deren Zutritt durch die Hähne I und II

an der Vorderseite des Tisches regulirt wird. Wenn man nur schwach erwärmen will, bringt man zweckmässig über dem Flämmchen eine dünne Glas- oder Glimmerplatte an, welche mittelst eines Schiebers an *d* befestigt ist. Das abnehmbare Rohr *f*, durch welches ein mittelst des Hahnes III regulirbarer Luftstrom von oben auf die Mitte des Objecttisches gerichtet werden kann, dient dazu, eine momentane Abkühlung des Präparates zu erzeugen. Das schräggestellte Bret *g* kann man dazu benutzen, die durch ein über dem Ocular angebrachtes geneigtes Deckgläschen auf die Fläche *g* geworfenen Bilder zu zeichnen. Zu beiden Seiten des Mikroskops enthält der Arbeitstisch Blechkästen *kk'*; einen derselben kann man zweckmässig mit Wasser zum Abwaschen der Objectgläser füllen; die anderen dienen zur Aufnahme von Reagentien, Glasplatten, Tropfgläschen, Pincetten u. a. Utensilien. An der hinteren, dem Beobachter abgewendeten Langseite des Tisches ist ein System von Vorwärmern *h* angebracht, deren zwei im Durchschnitt in Fig. 613 dargestellt sind; auf dieselben wird, wie es der rechts abgebildete zeigt, das Objectglas aufgelegt, so dass man stets eine

Fig. 613.



Reihe gleicher Präparate vorgewärmt zur Untersuchung bereit haben kann. Statt dieses Systems kann man zu demselben Zwecke auch die Hitze der Beleuchtungsflamme benutzen, indem man über dieser einen Aufsatz von Eisenblech mit kleinen Oeffnungen zum Auflegen der Präparate anbringt. Im unteren Theile des Tischgestelles befindet sich einerseits ein Glockengasometer zur Lieferung des Luftstromes für die Erhitzungsflamme und für das Rohr *f*, andererseits zum gleichen Zwecke ein Wassergebläse, welches benutzt wird, wenn eine Wasserleitung zur Verfügung steht, in welchem Falle man jedoch die Luft auch noch in den Gasometer eintreten lässt, um den Druck in constanter Höhe zu erhalten.

Für Beobachtungen in sehr hoher Temperatur muss man den gewöhnlichen Objecttisch durch einen anderen, auf der Unterlage frei verschiebbaren, ersetzen; vorthellhaft umgiebt man dann aber auch das Objectiv mit einer Kühlvorrichtung. Bei den gewöhnlich vorkommenden Untersuchungen für chemische Zwecke kommt man jedoch mit der zuerst beschriebenen Einrichtung aus.

Der Lehmann'sche Apparat wird von dem Mechaniker F. Maier in Strassburg i. Els. (Krämerg. 10) mit einem Nachet'schen Mikroskope, welches sich bei den vollkommen ausreichenden Vergrösserungen der Objective II und III durch grosse Focaldistanz auszeichnet, für den Preis von 450 Mk. geliefert.

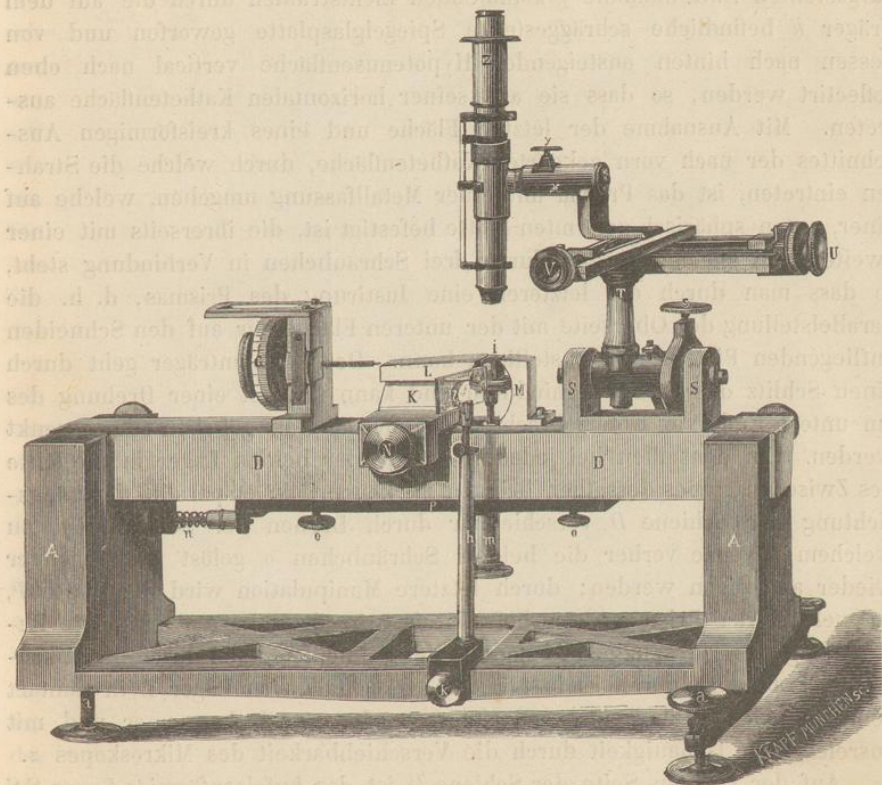
§. 125. **Apparat zur Bestimmung der Elasticitätscoefficienten.**
Der S. 42 seinem Principe nach erläuterte Apparat, welchen K. R. Koch*)

*) S. Wiedemann's Ann. d. Phys. 5, 251 und Ber. d. Verhandl. der naturforsch. Gesellsch. Freiburg i. B. 8, 2, auch Zeitschr. f. Kryst. 9, 206; ferner Beckenkamp, ebenda 10, 45.

zu seinen Bestimmungen der Elasticitätscoëfficienten regulärer Krystalle benutzte, soll im Folgenden in derjenigen Form beschrieben werden, in welcher er z. Z. von dem math.-mechan. Institute von F. W. Breithaupt u. Sohn in Kassel geliefert wird*) und, durch einige Einrichtungen vervollständigt, auch für mehrere andere mikrometrische Zwecke verwendet werden kann.

In einem sehr stabilen Stativ von lackirtem Eisen, A Fig. 616 ($\frac{1}{4}$ nat. Gr.), liegt ein gussstählerner prismatischer Stab D, welcher an der Hinterseite durch zwei Schrauben in dem auf drei verstellbaren Füßen a ruhen-

Fig. 616.



den Stative eingeklemmt ist. Auf dieser Schiene ist zunächst befestigt das stählerne Lager M, dessen Oberseite sanft nach links ansteigt, so dass eine an der Stelle i befindliche ebene Platte, deren Biegung bestimmt werden soll, nur auf einer Schneide, welche durch die linke Kante des Lagers gebildet wird, aufliegt. Die zweite Schneide stellt die rechte Kante des in ähnlicher Weise nach rechts ansteigenden Lagers L dar, welches jedoch nicht fest ist, sondern seinerseits auf einer, der Längsaxe der Schiene

*) Zum Preise von 600 Mk. ohne die in Fig. 618 dargestellte Belastungsvorrichtung, welche von jedem Mechaniker gefertigt und bei der Aufstellung des Apparates richtig befestigt werden kann.

parallelen scharfen Schneide reitet; hierdurch wird es bewirkt, dass eine auf die Lager aufgelegte Platte stets auf beiden in der ganzen Länge der Schneiden aufliegt, indem das drehbare Lager *L* durch das Gewicht der belasteten Platte bis zur vollständigen Berührung seiner Schneide mit jener gedreht wird. Das Lager *K* kann, nach Lösung der Schraube *N*, auf dem Stabe *D* verschoben, und dadurch der Abstand der beiden Schneiden zwischen den Grenzen 10 und 30 mm verändert werden. Zwischen den beiden Lagern befindet sich nun ein kleines, rechtwinkeliges, totalreflectirendes Glasprisma *i*, in welches die von einer zur Linken des Apparates aufgestellten Natronflamme*) kommenden Lichtstrahlen durch die auf dem Träger *h* befindliche schräggestellte Spiegelglasplatte geworfen und von dessen nach hinten ansteigender Hypotenusenfläche vertical nach oben reflectirt werden, so dass sie aus seiner horizontalen Kathetenfläche austreten. Mit Ausnahme der letzten Fläche und eines kreisförmigen Ausschnittes der nach vorn gekehrten Kathetenfläche, durch welche die Strahlen eintreten, ist das Prisma mit einer Metallfassung umgeben, welche auf einer, unten sphärisch geformten Platte befestigt ist, die ihrerseits mit einer zweiten von gleicher Gestalt durch drei Schraubchen in Verbindung steht, so dass man durch die letzteren eine Justirung des Prismas, d. h. die Parallelstellung der Oberseite mit der unteren Fläche der auf den Schneiden aufliegenden Platte, bewerkstelligen kann. Der Prismenträger geht durch einen Schlitz des Stabes *D* hindurch und kann mittelst einer Drehung des am untern Ende von *m* angebrachten Knopfes langsam gehoben oder gesenkt werden. Um denselben bei jedem Abstände der beiden Lager in die Mitte des Zwischenraumes derselben bringen zu können, ist er parallel der Längsrichtung der Schiene *D* verschiebbar durch Drehen der Schraube *n*, zu welchem Zwecke vorher die beiden Schraubchen *o* gelöst und nachher wieder angezogen werden; durch letztere Manipulation wird die Platte *P*, an welcher der Prismenträger befestigt ist, in ihrer Lage fixirt. Die Bestimmung des jedesmaligen Abstandes der Schneiden kann durch die Mikrometerschraube *G*, deren Ende mit dem verschiebbaren Lager *L* in Contact gebracht wird, sehr genau ausgeführt werden, noch bequemer und mit ausreichender Genauigkeit durch die Verschiebbarkeit des Mikroskopes *z*.

Auf der rechten Seite der Schiene *D* ist das hufeisenförmige Lager *SS* angebracht, in welchem eine horizontale Axe gedreht und durch die Schraube *s* fixirt werden kann; auf dieser Axe erhebt sich die Säule *T*, welche oben zwei zu einander senkrechte Schlitten trägt, die durch Mikrometerschrauben um 4 cm verschoben werden können. Die ganzen Umdrehungen der letzteren, welche an einer auf dem Schlitten befindlichen Skala abgelesen werden, betragen je 0,5 mm, und da die mit den Knöpfen *U* und *V* der beiden Schrauben verbundenen Trommeln in 100 Theile ge-

*) Die Natronflamme wird mit einem Schornstein umgeben, an welchem sich ein Ansatzrohr befindet, das durch eine Sammellinse geschlossen ist, um die Strahlen möglichst concentrirt in das Prisma zu leiten.

theilt sind, so entspricht ein Trommeltheil einer Verschiebung um 0,005 mm. Auf dem oberen Schlitten ist der eigentliche Träger des Mikroskops befestigt, welches ausserdem noch um die Axe x gedreht und durch die Schraube y in seiner Stellung fixirt werden kann. Das nur mässig vergrössernde Mikroskop gestattet eine grobe Einstellung durch Verschiebung des Tubus und eine feine durch Drehung des in der Mitte befindlichen gerieften Ringes; in der Focalebene befinden sich ein fester und ein drehbarer Faden, dessen jedesmalige Stellung mittelst einer Theilung an der Aussenseite des Tubus abgelesen werden kann (vergl. S. 552).

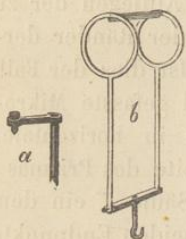
Mit Hülfe der Verschiebung des Mikroskopes durch die Mikrometerschraube U kann man nun beide Schneiden nach einander einstellen und somit den Abstand derselben bestimmen, ferner nach dem Auflegen der zu untersuchenden Platte (oder des Stabes) durch Einstellen der Ränder derselben beurtheilen, ob sie die erforderliche Lage besitzt. Ist dies der Fall, so wird die Schraube s gelöst, der vorher mit der Hand gefasste Mikroskopträger langsam heruntergelassen, bis das Mikroskop in horizontaler Stellung vor dem Apparate befindlich und auf die Vorderseite des Prismas i gerichtet ist, und an dem in Fig. 646 unteren Ende der Säule T ein dem Apparat beigegebenes Gegengewicht eingeschraubt. Die beiden Endpunkte der dadurch erfolgten Drehung um 90° , d. h. die verticale und die horizontale Stellung des Mikroskopträgers sind durch corrigirbare, an der Drehungsaxe SS befindliche, Anschläge bestimmt, von denen einer mit dem zugehörigen Schraubchen in der Figur sichtbar ist, und zwar derjenige, welcher vorn an die Schiene D anschlägt, wenn die horizontale Stellung erreicht ist. In der letzteren blickt man nun mit dem Mikroskop durch die schräggestellte, vor i befindliche Spiegelglasplatte hindurch in das Innere des Prismas und nähert das Mikroskop bis zur Einstellung auf dessen Oberseite; ist die über i aufgelegte Platte durchsichtig, so kann man durch dieselbe hindurch die aufsitzende Belastungsvorrichtung wahrnehmen (natürlich von unten gesehen, wegen der Reflexion der Strahlen im Prisma) und dadurch die richtige Einstellung des Mikroskoptubus leicht finden. Das Prisma wird durch Drehen von m so weit gehoben, dass es die Unterseite der zu untersuchenden Platte berührt; in Folge einer sehr schwachen sphärischen Krümmung der Oberseite des Prismas erfolgt diese Berührung nur in der Mitte, und beleuchtet man nun mit dem oben erwähnten monochromatischen Lichte, so sieht man diese Stelle umgeben von ringförmigen Interferenzstreifen^{*)}. Senkt man nun das Prisma sehr langsam, so beginnen diese Streifen sich nach der Mitte hin zusammenzuziehen, sobald die Platte auf den Schneiden aufliegt und zwischen ihr und dem Prisma ein Zwischenraum entsteht; eine Verschiebung um einen ganzen Streifen tritt

^{*)} Ist die zu untersuchende Platte eine metallische, welche das gesammte auffallende Licht reflectirt, so sind wegen des ungeeigneten Intensitätsverhältnisses der beiden interferirenden Strahlen keine Streifen zu sehen; alsdann kittet man ein dünnes Glasplättchen auf die Unterseite der Platte.

ein, wenn der senkrechte Abstand beider um eine halbe Wellenlänge (in Luft) des Natriumlichtes, d. i. um 0,00029 mm, geändert wird, daher man durch Schätzung der Theile eines Streifens diese Aenderung und damit die Biegung des zu untersuchenden Stabes mit diesem Apparate auf Hunderttausendstel eines Millimeters zu messen im Stande ist.

Die Belastung wird nun bewirkt entweder durch eine auf die Mitte der zu untersuchenden Platte aufgesetzte konische Spitze *a* Fig. 617 (in welchem Falle man ein kleines, sehr dünnes Kautschukplättchen unter die Spitze zu legen hat) oder durch eine übergelegte Schneide *b* Fig. 617, deren

Fig. 617.



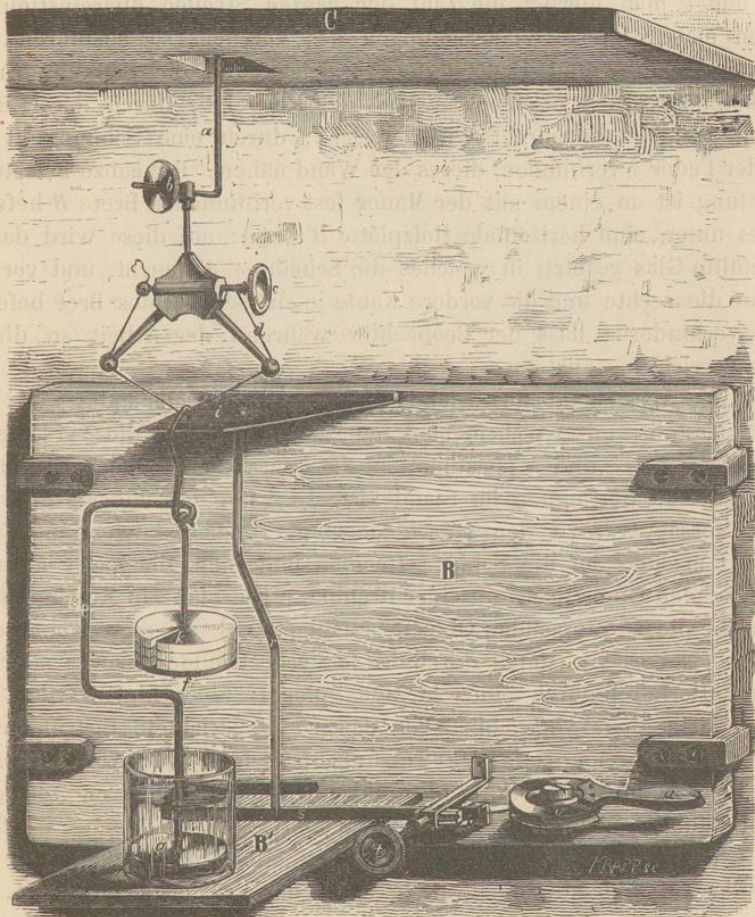
zwei abwärts gehende Bügel an der Stelle, wo die Lichtstrahlen zum Prisma gelangen müssen, kreisförmig erweitert sind. Dass die Spitze resp. Schneide genau in der Mitte angreift, kann durch die der Schiene *D* parallele Verschiebung des Mikroskops controlirt werden, indem man die Schraube *y* löst, das Mikroskop aus der horizontalen Richtung um den erforderlichen Winkel dreht, dann auf die beiden Schneiden der Lager *L* und *M* und auf die Belastungsspitze oder -Schneide einstellt und deren Entfernungen an der Schraube *U* bestimmt. Von der letzten Stellung aus geht man durch

Drehen des Mikroskops um die Axe *x* abwärts, bis man die belastete Stelle, durch das Prisma von unten gesehen, im Gesichtsfelde erblickt, und erhält so die Einstellung, für welche man die Senkung der Platte zu bestimmen hat.

Der Apparat wird am besten auf eine in die Wand eingemauerte Steinconsole *C* Fig. 618, welche in der Mitte eine 5–6 qcm grosse Oeffnung besitzt, derart aufgestellt, dass das offene Viereck in der Mitte des Statives und damit zugleich der Prismenträger *m* sich gerade über jener Oeffnung befinden. Durch letztere geht nun der mit der Belastungsschneide oder -Spitze verbundene Metallstab *a* vertical abwärts bis zu einem Knie, welches das verstellbare Balancirgewicht *b* trägt; an dem horizontalen Arme des Knies ist ein Gabelstück mit einer Schnur, die durch Drehen der Schraube *c* länger oder kürzer gemacht werden kann, befestigt. In dieser Schnur hängt nun mit ihrem oberen, hakenförmigen Ende die eigentliche Belastungsvorrichtung. Dieselbe besteht aus einem entsprechend gebogenen starken Stahldraht *e*, welcher unten in eine Messingscheibe *g* endigt, die zur Dämpfung etwaiger kleiner Stösse während der Senkung in Oel eintaucht; an der oberen Schleife des Drahtes wird eine gestielte Scheibe *f* aufgehängt, auf welche die Gewichte *k* (à 100 g oder 50 g) nach Bedarf aufgelegt werden. Das Gewicht des oberen Theiles der Vorrichtung bis zur Schnur *d* soll höchstens 150–200 g betragen und bildet die Belastung der zu untersuchenden Platte beim Anfange der Beobachtung; zu der Wirkung dieses constanten Gewichtes lässt man dann diejenige der eigentlichen Belastungsvorrichtung *e f k*, deren Gewicht demnach (mit Bertück-

sichtigung des Gewichtsverlustes der in das Oel tauchenden Scheibe *g*) genau bestimmt werden muss, hinzutreten, aber so allmählich, dass die hierdurch hervorgebrachte Verschiebung der Interferenzstreifen im Mikroskope noch verfolgt, d. h. die Streifen gezählt werden können. Dies geschieht durch Senkung der an der Wand in einem Charnier drehbaren Platte *i*. Im Anfange der Beobachtung wird diese Platte durch die Spannung der U-förmig gebogenen Feder *s*, mit welcher sie durch den Arm *r*

Fig. 618.



verbunden ist, in derjenigen Stellung gehalten, in welcher sie die mit ihrem hakenförmigen Ende aufsitzende Belastungsvorrichtung vollständig trägt. Dreht man nun an der Schraube *t*, welche sehr niedrige Umgänge besitzt, so wird die Feder *s* zusammengepresst, der Arm *r* der Wand genähert und dadurch der Unterstützungspunkt der Belastungsvorrichtung so langsam gesenkt, dass die nunmehr erfolgende Verschiebung der Interferenzstreifen im Mikroskope mit Ruhe und Sicherheit verfolgt werden kann.

Diese Verschiebung hört auf, wenn die Senkung des Tisches *i* so gross geworden ist, dass das gesammte Belastungsgewicht auf die zu untersuchende Platte wirkt. Da der verticale Faden des Mikroskops jedesmal wieder dieselbe Stellung zwischen den Streifen besitzt, wenn eine Verschiebung um einen ganzen Streifen eingetreten ist, so kann man durch Vergleichung dieser Stellung am Anfange und am Ende der Senkung, ausser der Zählung der hindurchgegangenen ganzen Streifen, auch noch eine Schätzung des hinzukommenden Bruchtheiles vornehmen. Man wiederholt dies mehrere Male; findet man hierbei die Zahl der ganzen Streifen übereinstimmend, so kann man weitere Wiederholungen des Versuchs so ausführen, dass man nur Anfangs- und Endstellung vergleicht und die Senkung rascher bewerkstelligt. Dies geschieht mittelst der Kurbel *u*, durch deren Bewegung die Scheibe *v* gedreht wird, welche, durch eine Schnur mit dem Ende der Feder *s* verbunden, dieses der Wand nähert. Die ganze Belastungsvorrichtung ist an einem mit der Mauer fest verbundenen Brete *B* befestigt, welches unten eine horizontale Holzplatte *B'* trägt; auf diese wird das mit Oel gefüllte Glas gesetzt, in welches die Scheibe *g* eintaucht, und vortheilhaft auf die rechte und die vordere Kante je ein senkrechtes Bret befestigt, um zu verhindern, dass der Beobachter während der Arbeit an die Belastungsvorrichtung anstösst.

Da der vorstehend beschriebene Apparat ein vollständiges Mikrometer darstellt, mit welchem man innerhalb des durch die Verschiebung der Schrauben *U* und *V* bestimmten Flächenraumes von 4 qcm Längen und Winkel zu bestimmen im Stande ist, so kann derselbe als mikroskopischer Messapparat zu den verschiedensten Zwecken Anwendung finden. Man setzt alsdann auf die Schiene *D* einen einfachen, die Lager *K* und *M* überdeckenden Objecttisch mit einer drehbaren Glasplatte in Messingfassung, auf welche die zu messenden Objecte aufgelegt und, sei es von oben durch eine Linse, sei es von unten durch das totalreflectirende Prisma *i* oder nach dessen Entfernung durch einen kleinen Spiegel, beleuchtet werden. Besonders vortheilhaft verwendbar ist das so eingerichtete Instrument zur Messung des Durchmessers der Sénarmont'schen oder Röntgen'schen Wärmeleitungsellipsen (s. S. 459 f.) und zur Untersuchung von Aetzfiguren auf Krystallflächen, im letzteren Falle namentlich dann, wenn es sich um Messung des Winkels handelt, welchen die Kante einer Aetzfigur mit einer entfernten Krystallkante bildet, d. h. wenn der Krystall so gross ist, dass eine besonders gut ausgebildete Aetzfigur und die Umrisskanten der Krystallfläche im Mikroskope nicht mehr gleichzeitig sichtbar sind; man stellt alsdann einfach den drehbaren Faden des letzteren auf die Kante der Aetzfigur ein, verschiebt das Mikroskop mit den Schrauben *U* und *V* bis zur Einstellung der Krystallkante und bestimmt deren Richtung ebenfalls mit Hilfe des drehbaren Fadens.

D. Schneide- und Schleifapparate.

§. 126. Das Schneiden, Schleifen und Poliren der Krystallplatten.

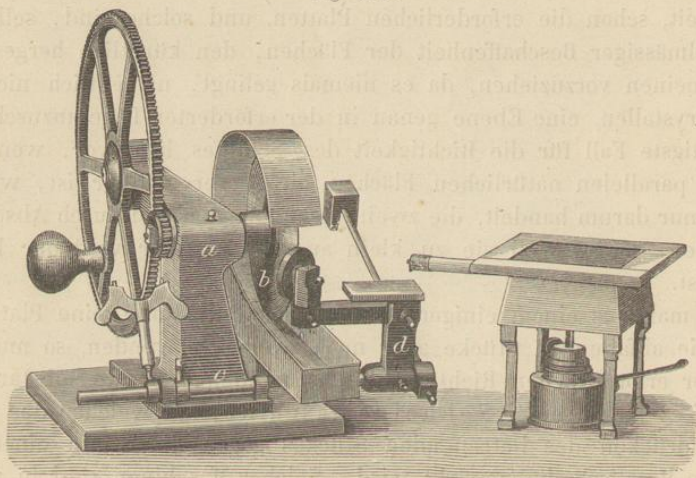
In vielen Fällen liefern natürliche Flächen, oder Ebenen einer deutlichen Spaltbarkeit, schon die erforderlichen Platten, und solche sind, selbst bei nur mittelmässiger Beschaffenheit der Flächen, den künstlich hergestellten im Allgemeinen vorzuziehen, da es niemals gelingt, namentlich nicht bei kleinen Krystallen, eine Ebene genau in der erfordernten Lage anzuschleifen. Der günstigste Fall für die Richtigkeit des Schliffes liegt vor, wenn eine von zwei parallelen natürlichen Flächen direct verwendbar ist, wenn es sich also nur darum handelt, die zweite derselben parallel durch Abschleifen herzustellen, sei es weil sie zu klein ausgebildet oder weil der Krystall zu dick ist.

Will man aus einem einigermassen dicken Krystalle eine Platte herstellen, die abfallenden Stücke aber noch weiter verwenden, so muss man ihn in der erforderlichen Richtung durchschneiden. Ist die Substanz hart, so bedarf es hierzu einer Schneidemaschine, auf welcher der Schnitt durch Andrücken des betreffenden Stückes gegen die Kante einer rasch rotirenden Metallscheibe bewirkt wird. Solcher Maschinen sind in neuerer Zeit mehrere empfohlen worden, von denen die von R. Fuess in Berlin (s. dessen Preiscourant im Anhang) gelieferten wohl die meiste Verbreitung besitzen und daher im Folgenden (nach Angaben des Verfertigers selbst) beschrieben werden mögen.

Fig. 619 stellt eine kleine Maschine für Handbetrieb in $\frac{1}{6}$ nat. Gr. dar. Durch Drehen des grossen Zahnrades wird die in dem Eisengestell *a* horizontal gelagerte Spindel, an welcher die Schneidscheibe *b* befestigt ist, in schnelle Rotation versetzt. Die Scheibe *b* ist aus Eisenblech (Weissblech) von $\frac{1}{2}$ mm Dicke gefertigt. Der Rand derselben muss genau rundlaufend mit der Spindel abgedreht sein; ferner ist erforderlich, dass die Fläche der Scheibe eine zur Spindelaxe senkrechte Ebene bilde, damit bei der Rotation kein seitliches Schwanken stattfindet. Scheiben, deren Ränder wellenförmig schwanken, sind unbrauchbar, weil sie sich leicht in der Schnittfuge festklemmen. Am Fusse des Eisengestells *a* befindet sich eine,

parallel zur Spindel gelagerte, cylindrisch stabförmige Axe *c*, welche in ihrer Längsrichtung verschoben und mittelst zweier Klemmringe in ihrer jeweiligen Stellung so fixirt werden kann, dass unbehindert ihrer Drehung seitliche Verschiebungen nicht stattfinden können. Die Axe *c* trägt an ihrem rechten, weit hervorragenden Ende den Pfeiler *d*, in welchen ein nach links gerichteter horizontaler Arm drehbar eingesetzt ist, welcher den kleinen dreh- und festklemmbaren, senkrechten Pfeiler *e* aufnimmt. An diesen werden nun die zur Befestigung der zu schneidenden Substanzen dienenden, aus flachen oder hohl ausgedrehten Eisenscheiben bestehenden Hilfsstücke angeschraubt, an welche die Mineralien mit Kolophoniumkitt oder Siegellack angekittet werden. Zu dem gleichen Zweck ist ein mit Kitt gefülltes Eisenkästchen beigegeben, in welchem man Mineralien durch gelindes Anhitzen eindrücken und auf diese Weise befestigen kann. Durch

Fig. 649.



obige »Support-Vorrichtung« lassen sich, wie an dem Centrirkopf eines Goniometers, alle diejenigen Drehungen und Neigungen ausführen, welche für die Justirung des zu schneidenden Krystalls nothwendig sind. Das Andrücken des letzteren an den Rand der Schneidscheibe geschieht durch den am rechten Ende der Axe *c* angeschraubten Hebel mit versetzbarem Reitergewicht. Grössere Mineralien oder Gesteinsstücke lassen sich nach Abnahme des horizontalen Armes vom Träger *d* auf der Plattform des letzteren mit einer Schraubzwinge, welche der Maschine beigegeben ist, befestigen.

Nachdem in der beschriebenen Weise ein Mineral zum Schnitt vorbereitet ist, lässt man die Maschine rotiren und trägt mit einem Holzspatel reichlich nassen Schmirgel an der Stelle auf den Krystall, an welcher die Schneidscheibe eindringen soll. Dieses Auftragen des Schmirgels aus einem

bereit stehenden Gefäss muss fortwährend geschehen; je fleissiger diese Operation besorgt wird, um so schneller dringt die Scheibe ein. Der grösste Theil des aufgetragenen Schmirgels kommt hierbei nicht zur Verarbeitung und wird in das unter die Scheibe gestellte Blechgefäss fallen, von welchem man indessen, wenn sich genügender Vorrath angesammelt hat, ebenfalls entnehmen kann. Der von der Rückwand des Gefässes ausgehende, die Scheibe grösstentheils umschliessende Blechbügel verhindert das Umherspritzen des fortgeschleuderten Wassers. Die passende Schmirgelsorte muss je nach der zu schneidenden Substanz ausgewählt werden — man wird für zarte Mineralien ein feineres, für gröbere Gesteinsstücke ein gröberes Korn nehmen.

Zum Schneiden von sehr harten Substanzen verwendet man zweckmässiger solche Blechscheiben, welche mit Diamantpulver imprägnirt sind. Das Verfahren der Herstellung einer Diamant-Schneidscheibe ist folgendes: In den Rand einer gut laufenden Blechscheibe werden in Abständen von ca. 2 mm mit einem stumpfen Messer kleine Kerben eingeschlagen; darauf drückt man eine Achatplatte, welche mit einem Teig von Diamantpulver und Petroleum bestrichen ist, fest dem Rande der Scheibe an, lässt diese gewissermaassen sich auf der Achatplatte abrollen und dann die Scheibe auf der Achatplatte einige Male umlaufen, sodass ein Einschnitt entsteht. Die Diamantsplitterchen drücken sich in das weiche Metall ein und bilden so eine Säge mit mikroskopischen Zähnen. Eine derartig präparierte Scheibe schneidet vorzüglich harte und homogene Mineralien, welche mit Schmirgel schwer zu bearbeiten sind, nur darf man nicht versäumen, fortwährend auf die Schneidstelle Petroleum träufeln zu lassen. Auf weichere Substanzen hingegen ist die Diamant-Schneidscheibe fast unwirksam.

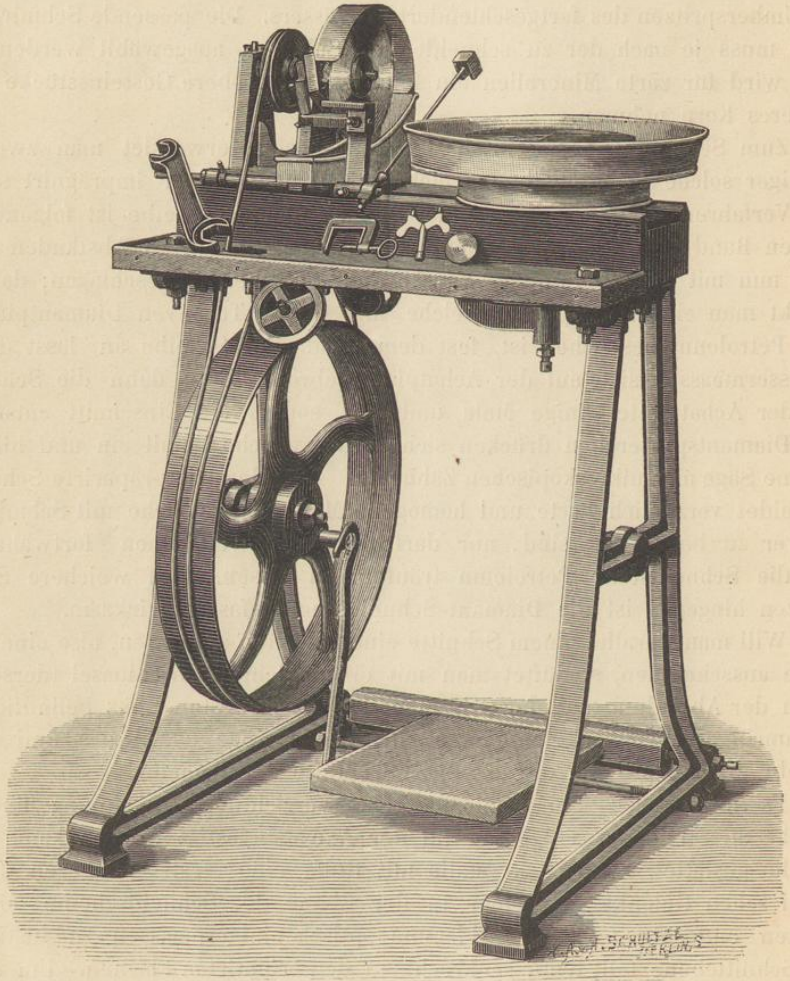
Will man parallel einem Schnitte einen zweiten ausführen, also eine Lamelle ausschneiden, so lüftet man mit einem Schraubenschlüssel (derselbe ist in der Abbildung auf der Schraube des am weitesten links befindlichen Klemmringes aufgesteckt gezeichnet) die Klemmringe der Axe *c* und verschiebt die letztere um die gewünschte Breite der Lamelle.

Es möge noch eine goniometrische Vorrichtung Erwähnung finden, welche an Stelle des Trägers *d* auf der Axe *c* befestigt werden kann und welche gestattet, kleinere Krystalle mit Hülfe eines festklemmbaren Cardan'schen Gelenks und einer in der Ebene der Schneidscheibe aufgestellten entfernten, schmalen Flamme optisch einigermaassen zu justiren. Die Schnittebene fällt dann senkrecht zu den orientirten Flächen. Um aber auch in bestimmten Winkeln zu den Flächen einen Schnitt ausführen zu können, kann die Vorrichtung auf einem am Fusse derselben angebrachten Kreise gedreht und festgestellt werden.

Fig. 620 stellt eine Schneidemaschine mit Fussbetrieb dar. Wie bei den gewöhnlichen Drehbänken geschieht die Übertragung der Bewegung vom Schwungrad auf die Spindel. Die Support-Vorrichtung ist derjenigen der Handbetriebsmaschine gleich, — nur grösser. Ausser dem Schneide-

werk kann die Maschine zum Schleifen auf der horizontal laufenden Gusseisenscheibe *s* benutzt werden. Zum Betriebe der senkrechten Spindel geht eine Schnur vom Schwungrade in rechtwinkliger Umbiegung über zwei Leitrollen. Die Abbildung stellt den Mechanismus der Maschine so dar, als ob beides, Schneide- und Schleifwerk, gleichzeitig betrieben werden

Fig. 620.



könne. Dieses würde jedoch unzweckmässig sein, und es werden deshalb die neueren Maschinen nicht mehr mit flachrandigem Kranz des Schwungrades gemacht, sondern mit schwererem Radkranz, in welchen nur eine Rinne für den Schnurlauf eingedreht ist.

Diejenigen, welchen eine derartige Maschine zum Schneiden und Schleifen harten Körper nicht zur Verfügung steht, oder welche einer

solchen Arbeit die damit verbundene Mühe und Zeit nicht widmen wollen, erhalten von den optischen Instituten der Herren: Dr. W. Steeg und Reuter in Homburg v. d. H., R. Fuess in Berlin, Voigt und Hochgesang in Göttingen, Strübin in Basel, Werlein in Paris u. A., Schliffe jeder Substanz in gewünschter Orientirung angefertigt.

Bei geringerer Härte dagegen, wie sie bei der Untersuchung künstlich dargestellter, krystallisirter Körper fast allein vorkommt, kann man das Durchschneiden eines Krystalls leicht durch eine [feine Laubsäge bewerkstelligen, deren Sägeblatt sehr schmal sein muss oder durch einen feinen Draht ersetzt wird. Das Sägen muss sehr langsam und vorsichtig ausgeführt werden und zwar stets unter Benetzung des Sägeblattes oder des Drahtes; wo es nicht nöthig ist, die durchschnittenen Flächen zu conserviren, wende man ein Lösungsmittel der Substanz zum Benetzen an. Bei der Anwendung des Drahtes ist die Verwendung von Schmirgelpulver kaum zu entbehren. Ist der Krystall gross und etwas bröckelig, so kittet man ihn mit einer Mischung von Wachs und Colophonium auf einem horizontalen Brettchen fest, auf welchem seitlich zwei verticale Wände befestigt sind; diese sind mit je einem senkrechten Schlitz versehen, welcher der Säge zwar eine Bewegung vor und zurück, nach oben und unten, aber keine Abweichung nach rechts und links gestattet.

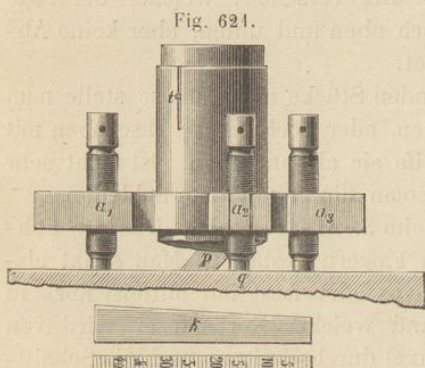
Kommt es dagegen auf die abfallenden Stücke nicht an, so stelle man die Fläche zuerst durch vorsichtiges Feilen, oder noch besser Abschaben mit einem Messer, annähernd her und schleife sie alsdann eben. Ist nicht sehr viel Substanz zu entfernen, so beginne man direct mit dem Schleifen.

Ist der Krystall klein, so hat man beim Schleifen eine sicherere Führung nöthig, als es das Fassen mit den Fingern gestattet. Man senkt alsdann denselben in Siegelack, oder in Gyps oder fasst ihn mittelst Kork in folgender Weise: ein guter, dichter und weicher Korkstöpsel wird von oben nach unten (parallel der Cylinderaxe) durchschnitten und die Schnittfläche beider Hälften eben gefeilt; dann werden beide wieder aneinandergelegt und vier horizontale Stecknadeln durch das Ganze gesteckt; zwischen die beiden, beliebig von einander zu entfernenden Schnittflächen wird der Krystall so eingeklemmt, dass der abzuschleifende Theil über eine Endfläche des Korkes hervorragt, und die anzuschleifende Ebene dieser Endfläche parallel ist. Dieser kleine von Nörremberg angegebene Apparat gestattet selbst bei sehr kleinen Krystallen eine ziemlich sichere Führung, wenn man ihn nur durch einen geringen Druck der Finger in seiner Lage erhält. Das Schleifen selbst wird auf einer matten Glasplatte mit einer Benetzungsflüssigkeit (Oel, Wasser oder Alkohol *) ausgeführt; hierzu kann man, wenn die die Umgrenzung der Platte bildenden Flächen nicht intact zu bleiben

*) Absoluter Alkohol darf nicht verwendet werden beim Schleifen der Krystalle wasserhaltiger Salze, da denselben hierdurch das Krystallwasser entzogen und die Durchsichtigkeit genommen würde

brauchen, ein Lösungsmittel anwenden, wodurch das Schleifen in hohem Grade beschleunigt wird; andernfalls nimmt man feinen Bimsstein, bei etwas härteren Krystallen feinstes Schmirgelpulver neben dem Benetzungsmittel. Eine leidlich ebene, nicht convexe Fläche zu schleifen, erfordert eine ziemlich grosse Uebung; hat man die Neigung des Krystalls während des Schleifens etwas geändert, so bildet sich eine sehr stumpfe Kante und es sitzt nur noch ein Theil der Fläche auf der Glasplatte auf; alsdann sehe man zu, welcher der beiden Flächentheile die richtigere Lage hat, und schleife nur diese fort (indem man auf dieser Seite auf den Krystall drückt), bis sie die ganze Fläche bildet.

Auf diesem Wege kann man natürlich nur annähernd ebene Flächen erhalten. Hat man grössere Krystalle zur Verfügung und ist also im Stande, an die Vollkommenheit der Platten grössere Anforderungen zu stellen, so empfiehlt sich die Anwendung der von Fuess construirten Vorrichtung zum Schleifen und Poliren planparalleler Platten Fig. 621. Die cylindrische Hülse h besitzt drei Arme a_1, a_2, a_3 , welche die Muttern dreier harter Stahlschrauben s_1, s_2, s_3 bilden; in derselben kann der Cylinder c , welcher



mit dem Stifte t in einem Schlitz der Hülse gleitet und an seiner Unterseite das zu schleifende Object p mit Canadabalsam oder einer Mischung von Kolophonium und Wachs ange kittet trägt, auf und niedergeschoben werden. Die Stahlschrauben werden mit Hülfe des an seiner abgeschrägten Fläche mit einer Theilung versehenen Keiles k so eingestellt, dass ihre Enden in einer zur Unterfläche von c parallelen Ebene liegen. Die Vorrichtung wird auf der Schleifplatte

q so mit der Hand geführt, dass das Object mit der ersteren durch einen leichten Druck auf c stets in Berührung gehalten wird.

Zur Herstellung eines Dünnschliffes aus einem Gesteine schleift man eine geschnittene Platte oder einen mit dem Hammer geschlagenen Scherben auf der rotirenden Scheibe der Schleifmaschine oder mit freier Hand auf einer ebenen Eisenplatte mit grobem Schmirgel und Wasser auf einer Seite eben; alsdann wird diese Fläche auf einer mattgeschliffenen Glasplatte mit feingeschlammtem Schmirgel polirt und mit Canadabalsam auf einer starken, quadratischen Glasplatte aufgekittet. Hierzu, wie überhaupt zum Erwärmen, Kitten u. s. w. von Präparaten, dient ein eisernes Stativ mit einem kleinen Flämmchen (wie solche von Desaga in Heidelberg und Böhm und Wiedemann in München geliefert werden) oder der sehr bequeme Erwärmungsapparat von Fuess, welcher auf Fig. 619 zur Rechten der Handschneidemaschine mit abgebildet ist. Derselbe besteht aus einem

viereckigen Kasten von Zink, dessen Oberfläche von einem Holzrahmen umgeben ist, welcher als Stützpunkt für die Hand dient. Ein in den Kasten eingeführtes Thermometer hat den Zweck, die Temperatur zu ermitteln, welche die zur Verfügung stehende Sorte von Canadabalsam bedarf, um haltbare Präparate zu gewinnen. Das aufge kittete Präparat wird dann abgeschliffen, bis es im durchfallenden Lichte im Mikroskope untersucht werden kann, die zweite Fläche ebenfalls polirt und, eventuell nach Uebertragung der dünnen Platte auf ein anderes Objectglas, mit dünnem Deckglase bedeckt. Ueber das Nähere der Behandlung von Gesteins-Dünnschliffen s. Hussak, Anleitung z. Best. d. gesteinsbild. Mineralien, Leipzig 1885.

Zum Poliren der geschliffenen Flächen dient feines, sämisch gegerbtes Leder, weiche Leinwand oder Seide, auf eine ganz ebene Fläche (Holz oder Glas) aufgespannt; als Polirmittel benutzt man am besten englisch Roth (caput mortuum, $Fe^2 O^3$) oder feinst geschlämmte Zinnasche mit Alkohol oder Aether. Weiche Körper nehmen selten gute Politur an und hat man sich dann mit den durch den Schliff erhaltenen Flächen zu begnügen, nachdem man sie auf einem ausgespannten Leder ohne Polirmittel ein wenig abpolirt hat; namentlich für die Messung des Axenwinkels in Oel reichen solche Platten fast immer hin. Sind die Flächen zu matt, um ein scharfes Axenbild, ein deutliches Spectrum (bei Prismen) zu liefern, so werden mittelst Canadabalsam dünne planparallele Glasplättchen auf dieselben gekittet und möglichst fest angedrückt, damit nicht die Canadabalsamschicht keilförmig werde und Fehler erzeuge (s. auch S. 589—590). Statt des Canadabalsams kann man auch Mastixlösung in Aether oder eine Mischung beider, welche schneller erhärtet, zum Kitt anwenden.

Was die Genauigkeit betrifft, mit welcher die Richtung einer künstlichen Fläche herzustellen ist, so kann dieselbe eine sehr verschiedene sein, je nach Umständen. Hat man z. B. von einem Körper festgestellt, dass er einfachbrechend ist, und will seinen Brechungsexponenten bestimmen, so ist die Richtung der beiden zu schleifenden Prismenflächen ganz gleichgültig; man hat also nur darauf zu achten, dass dieselben recht eben sind und einen passenden Winkel mit einander bilden (bei mittlerer Grösse des Brechungsindex zwischen 40° und 70°). Sind ein Paar geeigneter Ebenen, z. B. zwei gegenüberliegende Oktaëderflächen (Prismenwinkel $70^\circ 32'$), als natürliche Krystallflächen vorhanden, so benutzt man diese und bedeckt die übrigen mit einer Schwärze, welche man aus Russ und einem schnell trocknenden Oel herstellt. Ist der zu untersuchende Körper nach den Messungen tetragonal oder hexagonal, und handelt es sich nur um die Feststellung der optischen Einaxigkeit und des Charakters der Doppelbrechung, hat man also die Basis, wenn diese nicht auftritt, anzuschleifen, so braucht dies nur ganz angenähert zu geschehen, denn die erforderlichen Bestimmungen lassen sich noch ausführen, wenn selbst die Platte $6-8^\circ$ schief geschliffen ist, wenn man nur das Interferenzbild noch in seinem ganzen Umfange im

Gesichtsfelde des Polarisationsapparates sieht. Will man dagegen die Brechungsquotienten eines einaxigen Krystalls bestimmen und dazu ein Prisma parallel der Axe verwenden, so muss dieses sehr genau geschliffen sein; ein besonders günstiger Umstand ist hierbei eine vorherrschend prismatische Entwicklung der Krystalle nach der Hauptaxe, indem man alsdann bei hexagonalen Krystallen direct zwei einander unter 60° schneidende Prismenflächen (unter Schwärzung der übrigen), bei tetragonalen eine solche und eine, leicht in genügender Genauigkeit herzustellende, künstliche, verticale Fläche verwenden kann. Platten von zweiaxigen Krystallen, welche zur Messung des Axenwinkels dienen sollen, müssen so geschliffen sein, dass ihre Normale nicht mehr als 4° von der Mittellinie abweicht, wenn die Messung auf $2-3'$ genau ausfallen soll; bei sehr kleinen Krystallen wird man sich allerdings mit einer geringeren Genauigkeit begnügen müssen. Prismen zur Bestimmung der Brechungsexponenten müssen auf 1° genau die erforderliche Richtung haben, sollen die erhaltenen Zahlen durchschnittlich auf 3 Decimalen richtig sein. Bei rhombischen Krystallen kann man oft durch ein natürliches Prisma, gebildet von zwei Flächen einer prismatischen Form, oder einer solchen und einer Pinakoidfläche (s. S. 400 und 404), zugleich zwei Hauptbrechungsexponenten bestimmen. Bei mono- und asymmetrischen Krystallen genügt es meist, wenn nämlich die Dispersion der Elasticitätsaxen nicht $4-2^\circ$ übersteigt, die Schliffe für mittlere Farben richtig anzufertigen und auch für die übrigen zu verwenden.

E. Darstellung der Resultate krystallographischer Untersuchungen.

§. 127. **Gang einer krystallographischen Untersuchung und Darstellung der Resultate.** Bei der Bestimmung der Krystallform eines Körpers hat man es in den weitaus meisten Fällen mit durchsichtigen Krystallen zu thun und kann daher die optischen Eigenschaften bei der Bestimmung zu Hülfe nehmen. Man verfährt alsdann folgendermaassen: Aus einer vorliegenden Krystallisation werden zunächst die am besten und vollständigsten ausgebildeten Krystalle ausgewählt und ihren Formen nach dem Augenmaasse, eventuell mit Hülfe der Lupe, eine bestimmte krystallographische Deutung zu geben versucht. Diese hypothetische Bestimmung wird dann auf optischem Wege geprüft, indem ein Krystall in das Polarisationsinstrument gebracht und eine ungefähre Bestimmung der Auslöschungsrichtungen vorgenommen, sowie die Wahrnehmung eines etwaigen Axenaustrittes auf den vorherrschenden Flächen versucht wird *). Ist das Ergebniss dieser Prüfung in irgend einem Punkte im Widerspruch mit der angenommenen Auffassung der Krystallform, zeigen z. B. die Flächen eines für rhombisch gehaltenen Prismas schiefe Auslöschungen, oder lässt eine vermeintlich monosymmetrische Querfläche das Bild nur einer optischen Axe seitwärts von der vermutheten Symmetrieebene erkennen, so ist die erste Hypothese über die Krystallform als falsch erkannt und muss durch eine andere ersetzt werden. Stimmen dagegen alle optischen Beobachtungen, welche die Ausbildung der Krystalle ohne Weiteres gestattet, mit der gemachten Hypothese überein, so kann dieselbe, als sehr wahrscheinlich richtig, vorläufig angenommen und zur Messung übergegangen werden, über welche das Nöthige bereits S. 584 gesagt worden ist. Haben mehrere Krystalle zur Messung gedient, so werden sie numerirt aufbewahrt, bis die ganze Untersuchung beendigt ist, um jederzeit noch eine nachträgliche Controle zu ermöglichen.

*) Benutzt man für beide Zwecke das gewöhnliche verticale Polarisationsinstrument, indem man dasselbe (s. S. 617) einmal so hoch stellt, dass man den Krystall erblickt, das andere Mal bis zur Einstellung der Interferenzfigur hinabgeht, so darf man nicht unberücksichtigt lassen, dass man im ersteren Falle den Krystall verkehrt sieht, den Ort der im Gesichtsfelde sichtbaren optischen Axenbilder also mit dem umgedreht, d. h. in seiner wirklichen Lage gedachten Krystall zu vergleichen hat.

Durch Eintragung der beobachteten Flächen in eine aus freier Hand anzufertigende sphärische Projection orientirt man sich darüber, welche der an den Krystallen gut messbaren Winkel am geeignetsten der Rechnung zu Grunde gelegt werden; hierbei ist in erster Linie nicht die grössere Einfachheit der Berechnung, sondern der Umstand maassgebend, dass die betreffenden Winkel solche sind, welche am genauesten gemessen werden können, und bei denen die Fehler der Messung nicht auf die Rechnungsergebnisse einen vergrössernden Einfluss besitzen. Diese Winkel, welche an möglichst vielen gleichwerthigen Kanten bestimmt werden, nimmt man als Fundamentalwinkel, die nächst besten als Controlwerthe zur Prüfung der Genauigkeit des berechneten Axenverhältnisses, während man von untergeordnet und wenig gut ausgebildeten Flächen des Krystalls nur so viele Messungen auszuführen nöthig hat, als zur Bestimmung ihrer Indices unumgänglich erfordert werden.

Ist die Berechnung vollendet und hat dieselbe zu einer befriedigenden Uebereinstimmung mit den Resultaten der Messungen geführt, so erfolgt die nähere Untersuchung der physikalischen Eigenschaften der Krystalle, zuerst der Spaltbarkeit, dann der optischen Eigenschaften, soweit solche die Ausbildung gestattet. Die krystallographische Beschreibung eines Körpers erfolgt demgemäss am geeignetsten in nachstehender Reihenfolge:

Krystallsystem.

Elemente.

Beobachtete Flächen und Habitus der Formen (diesen Angaben ist die perspectivische Abbildung beizufügen, zu deren Anfertigung im folgenden § die Anleitung gegeben wird), eventuell mit Erwähnung der Verhältnisse (Lösungsmittel, Temperatur), unter denen eine oder die andere Ausbildungsweise entsteht. Angabe der vorkommenden Zwillingsbildungen.

Tabelle der beobachteten und der, aus den mit * bezeichneten Fundamentalwerthen berechneten Winkel.

Cohäsionsverhältnisse, eventuell Aetzfiguren.

Farbe und Absorption.

Lage der optischen Axenebene und eventuell nähere optische Bestimmungen (Brechungsexponenten etc.).

Im Folgenden soll nun an einigen Beispielen der Gang einer solchen Untersuchung kurz skizzirt werden:

Beispiel I: Phosphorwolframsäure = $PW^{11}O^{43}H^{15} + 18H^2O$.

Anscheinend reguläre Oktaëder, farblos, durchsichtig. Im polarisirten Lichte einfach brechend, also wirklich regulär. Keine deutliche Spaltbarkeit zu erkennen. Die Untersuchung ist, und zwar ohne Winkelmessung, beendet (eine Bestimmung der Brechungsindices war in diesem Falle unmöglich auszuführen, weil die Krystalle in der freien Luft sofort verwitterten).

Beispiel II: Kohlensaures Guanidin = $(CH^5N^3)^2H^2CO^3$.

Anscheinend reguläre Oktaëder mit kleinen Flächen des Würfels, durchsichtig, farblos. Im polarisirten Lichte erweisen sie sich jedoch als doppeltbrechend; durch zwei gegenüberliegende Flächen gesehen, ist stets eine Auslöschungsrichtung der einen der drei Umrisskanten parallel; darnach wären es tetragonale Pyramiden, und die erwähnte Kante jedesmal die Basiskante. Bei der Messung geben in der That diese letzteren Kanten einen etwas kleineren Winkel als die übrigen; die Differenz ist aber so gering, dass sie bei unvollkommenen Flächen leicht hätte übersehen, und die Krystalle als reguläre bestimmt werden können. Die um etwa $40'$ schwankenden Werthe geben im Mittel für den Polkantenwinkel $70^\circ 17'$, für den Basiskantenwinkel $70^\circ 54'$; aus ersterem folgt das Axenverhältniss nach S. 403 zu $1 : 0,9910$, daraus der letztere zu $71^\circ 4'$ (Differenz $7'$). Für die optische Untersuchung kommt der Umstand sehr zu statten, dass die Krystalle vollkommen nach der Basis spalten; im convergenten Lichte zeigt eine Spaltungsplatte nun zwar das Axenbild der einaxigen Krystalle in der richtigen Lage, aber die Mitte desselben farbig, also ist die Substanz circularpolarisirend und muss daher der trapezoëdrischen Hemiëdrie des tetragonalen Systems angehören (die Resultate der optischen Untersuchung sind S. 424 aufgeführt).

Beispiel III: Hydrochinon = $C^6H^6O^2$.

Kleine Krystalle, anscheinend reguläre Rhombendodekaëder. Im polarisirten Lichte jedoch doppeltbrechend; Auslöschungsrichtungen auf sechs in einer Zone liegenden Flächen parallel deren Zonenaxe, also müssen diese Flächen ein hexagonales Prisma, die andern sechs ein Rhomboëder bilden. Um die Richtigkeit hiervon streng zu beweisen (es könnte auch eine monosymmetrische Combination mit sehr geringer Schiefe der Schwingungsrichtungen vorliegen), wird sofort eine Platte senkrecht zu den ersteren Flächen geschliffen; diese lässt erkennen, dass die Substanz in der That einaxig und jene Zonenaxe die optische Axe sei. Folglich ist es die rhomboëdrisch-hemiëdrische Combination: $\propto \{10\bar{1}1\} R, \{11\bar{2}0\} \infty P2$, an welcher nichts weiter zu messen ist, als der Polkantenwinkel des Rhomboëders; dieser ist $62^\circ 37'$, daraus folgt nach S. 353 das Axenverhältniss $a : c = 1 : 0,6594$.

Beispiel IV: Schwefelsaures Kalium = K^2SO^4 .

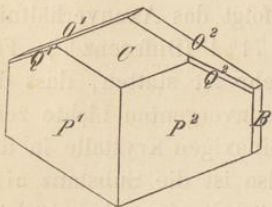
Anscheinend hexagonale Pyramiden mit der Basis. Durch letztere gesehen zeigen die Krystalle jedoch nicht das Interferenzbild der einaxigen, sondern das vielfach gestörte Bild zweier Axen. Es wird daher eine dünne Platte nach derselben Fläche geschliffen; diese wird im parallelen Lichte als nicht einfach erkannt, sondern als in sechs Sektoren getheilt, deren je zwei gegenüberliegende gleichzeitig, je zwei benachbarte nach einer Drehung von ca. 60° , dunkel werden; in letzteren bilden die optischen Axenebenen denselben Winkel; die Mittellinie ist aber bei allen senkrecht zur Platte und das Axenbild ganz symmetrisch, sobald das Licht durch einen Theil fällt, der nur einem einzigen Krystall angehört. Folglich sind die Krystalle

rhombisch und Drillingsverwachsungen nach einer prismatischen Fläche (s. über das Weitere S. 457).

Beispiel V: Benzylsulfid = $C^{14}H^{14}S$.

Anscheinend monosymmetrische Krystalle, Fig. 622, der Combination eines Prisma $P^1 P^2$ mit einer Querfläche C (etwa als Basis zu nehmen), einer zweiten prismatischen Form $O^1 O^2$ (hintere Hemipyramide), einer dritten $Q^1 Q^2$ (Klinodoma) und der Symmetrieebene B . Durch C blickend, findet man die Auslöschungen parallel und normal zur vermeintlichen Symmetrieeaxe, durch

Fig. 622.



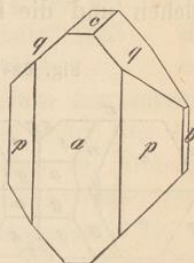
zwei parallele P -Flächen schief gegen die Prismenkanten, durch das andere Paar ebenso, mit ungefähr gleicher und entgegengesetzter Schiefe; dies widerspricht der obigen Annahme nicht; da keine Axen direct sichtbar, geht man zur Messung über. Die Flächen sind sehr uneben und gebrochen, die Werthe derselben Kante schwanken an verschiedenen Krystallen um 1 — 2 Grade; es wurde zunächst gemessen und gefunden der Winkel $P^1 : P^2 = 46^\circ 0'$, $O^1 : O^2 = 47^\circ 13'$; in Rücksicht auf die erwähnte Flächen-

beschaffenheit entsteht die Frage, ob nicht etwa diese beiden Winkel gleich sein sollen; alsdann würde $P^1 P^2 O^1 O^2$ eine rhombische Pyramide, C eine Symmetrieebene derselben und $Q^1 Q^2$ eine prismatische Form sein. In diesem Falle müssten die Winkel $C : P^1 = C : O^1$ u. s. w., ferner Q^1 eine gerade Abstumpfung der Kante $O^1 : P^1$ sein u. s. f. Diese Annahmen werden durch die Messungen bestätigt; da aber die Uebereinstimmung wegen der mangelhaften Ausbildung nur eine unvollkommene ist, so kann der strenge Beweis, dass die Krystalle rhombisch seien, nur auf optischem Wege geführt werden. Da durch B und C keine Axen sichtbar sind, so wird das dritte Pinakoid rechtwinkelig zu jenen beiden angeschliffen; auch durch diese Fläche, nennen wir sie A , sind keine optischen Axen in Luft sichtbar. Nun wird die nach derselben geschliffene Platte in Oel im Axenwinkelapparat untersucht, und zwar einmal um die Kante $A : B$, das andere Mal um diejenige von $A : C$ gedreht; im zweiten Falle erscheinen die Axen ganz symmetrisch zur Normale der Platte und mit symmetrischer Dispersion; daraus geht hervor, dass die Fläche B die optische Axenebene und die Kante $B : C$ die erste Mittellinie ist. Durch Schleifen einer dünnen Platte nach C überzeugt man sich, dass auch hier, natürlich mit ihrem stumpfen Winkel, die Axen sichtbar sind. Die Krystalle sind also rhombisch und es kann nunmehr aus den Messungen $P^1 : P^2$ und $O^1 : O^2$ gemeinschaftlich das Mittel gezogen werden, ebenso aus $C : O^1$, $C : P^1$ u. s. w. Es sind somit, wenn auch $O^1 : P^1 = O^2 : P^2$ gemessen, alle Kantenwinkel der rhombischen Pyramide bekannt, und folglich nach S. 441 das Axenverhältniss aus zweien zu berechnen und daraus der dritte abzuleiten, welchen man dann mit der Beobachtung zu vergleichen hat.

Beispiel VI: Schwefelsaures Amarin = $2(C^{21}H^{19}N^2)^2SO^4 + 7H^2O$.

Anscheinend monosymmetrische Krystalle, Fig. 623, gebildet von zwei prismatischen Formen pp und qq , zwei Querflächen a und c und der Symmetrieebene b . Durch das am meisten vorherrschende Flächenpaar a betrachtet, zeigen sich die Auslöschungen parallel den Kanten $a:p$ und $a:c$; nähert man das Objectiv des Polarisationsapparates, so erblickt man beide Axen, deren Verbindungslinie parallel der Kante $a:c$, deren Mittellinie genau in der Symmetrieebene, aber mit der Normalen zur Fläche a etwa 10° bildet. Dadurch ist das monosymmetrische System bewiesen. Die Messungen, welche wegen sehr guter Beschaffenheit der Flächen recht genau anzustellen sind, geben nun Resultate, welche, wenn keine optische Untersuchung vorgenommen worden wäre, die Krystalle unbedingt hätten als rhombisch bestimmen lassen. Es wird nämlich gefunden der Winkel $p:p$ vorn (an der Axe a) = $80^\circ 34'$ bis $32'$ (Mittel $80^\circ 34',5$), der Winkel $q:q$ oben (an c) = $80^\circ 25'$ bis $33'$ (Mittel $80^\circ 29'$), d. h. beide innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler gleich; die monosymmetrische Combination $ppqq$ steht folglich in geometrischer Beziehung einer rhombischen Pyramide (zu welcher a und c das entsprechende Makrodoma und b das Brachypinakoid sein würde), so nahe, dass sie durch die Messung nicht von einer solchen unterschieden werden kann.

Fig. 623.



Wählen wir p zum primären verticalen Prisma, q zum primären Klinodoma, also a zum Orthopinakoid, c zur Basis, so ist die Berechnung des Axenverhältnisses dieser monosymmetrischen Combination eine besonders einfache dann, wenn wir zu Fundamentalwinkeln ausser den bereits erwähnten

$$p:p \text{ an } a = 80^\circ 34',5$$

$$q:q \text{ an } c = 80^\circ 29'$$

noch wählen den Winkel.

$$a:c \text{ vorn} = 82^\circ 47',5,$$

weil letzterer gleich dem Supplement des Axenwinkels β ist, so dass von den Elementen nur noch die Axenlängen a und c ($b = 1$ gesetzt) nach S. 485 zu berechnen sind.

$$a:b:c = 0,8537 : 1 : 0,8531, \beta = 82^\circ 47',5.$$

Von Winkeln, welche zur Controle zu messen und mit den aus den Elementen berechneten zu vergleichen wären, könnten nur in Betracht kommen $p:q$ vorn und der entsprechende hinten, sowie $q:a$. Die Berechnung derselben nach den in § 400 gegebenen Vorschriften ergibt

$$q:a = (011) : (100) = 84^\circ 30'$$

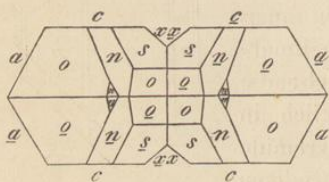
$$q:p = (011) : (110) = 60^\circ 37'$$

$$q:p' = (011) : (\bar{1}10) = 69^\circ 54'.$$

Beispiel VII: Diphenyltrichloräthylen = $C^2HCl^3(C^6H^5)^2$.

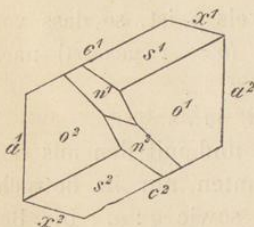
Sehr flächenreiche Krystalle von anscheinend rhombischer Symmetrie, gebildet von einem Prisma aa und dessen Brachypinakoid cc , am Ende, welches in Fig. 624 auf die vermeintliche Basis projicirt erscheint, eine Anzahl rhombischer Pyramiden, welche aber zum Theil einspringende Winkel besitzen, so dass die Krystalle sofort als regelmässige Verwachsungen zu erkennen sind. Durch die vorherrschende Fläche cc im polarisirten Licht betrachtet, sind die Schwingungsrichtungen genau parallel den Kanten $c : a$; darnach sind die Krystalle also entweder rhombisch oder monosymmetrisch. In ersterem Falle müssten zwei benachbarte Partien, z. B. die der linken Hälfte, so verwachsen sein, dass die Zwillingssebene c eine Prismenfläche, also x die zweite zugehörige und a das Brachypinakoid wäre; in letzterem Falle würde a unsymmetrisch gegen c und x liegen, alle drei wären Querflächen und die Krystalle prismatisch verlängert nach der Symmetrieaxe.

Fig. 624.



Um gleich von vorn herein zwischen diesen beiden Möglichkeiten zu entscheiden, wird eine Platte senkrecht zu der Zone acx geschliffen; diese erscheint im parallelen polarisirten Lichte in vier Viertel getheilt, von denen je zwei kreuzweise liegende gleichzeitig beim Drehen dunkel werden; je zwei solcher Viertel gehören also einem Krystall an, das Ganze ist ein Durchwachsungszwilling. Wäre dieser rhombisch, so müssten die Auslöschungen parallel und normal zu den Flächen a sein; dies ist aber nicht der Fall, vielmehr stehen sie nahe senkrecht und parallel zur Kante der Schlifffläche mit c ; dass aber dies auch nur annähernd der Fall ist, beweist das nicht gleichzeitige Dunkelwerden beider Hälften. Im convergenten Licht zeigt dieselbe Platte, wenn man nur durch einen Krystall sieht, beide optischen Axen in der fast normal zu c stehenden Ebene gleich weit vom Mittelpunkt des Gesichtsfeldes mit gekreuzter Dispersion; dadurch ist

Fig. 625.



nun zugleich entschieden, dass das System auch nicht asymmetrisch (bei geometrischer Aehnlichkeit mit einer monosymmetrischen Form) sein kann. Es ist also nunmehr unzweifelhaft nachgewiesen, dass der Krystall monosymmetrisch und die Zonenaxe von a , c , x die Symmetrieaxe (zugleich erste optische Mittellinie) sei. Wählen wir nunmehr die Querfläche a zum Orthopinakoid, c (die Zwillingssebene) zur Basis, so können wir uns den einfachen Krystall construiren, indem wir uns zwei zusammengehörige Viertel des Zwillings zusammengeschoben denken; seine Projection auf die Symmetrieebene würde das Ansehen von Fig. 625 haben, aus welcher erhellt, dass die Endflächen drei hinteren Hemipyramiden o , s und n angehören.

Wählen wir von diesen die erste zur primären ($o = \{111\}$), so sind durch diese und die Flächen $a = \{100\}$ und $c = \{001\}$ die Elemente des Krystalls vollständig bestimmbar. Seien z. B. gemessen die Winkel $a^1 : c^1$, d. i. der Axenwinkel $\beta = 60^\circ 14'$, $o^1 : c^1 = 79^\circ 43'$ und $o^1 : a^2 = 65^\circ 0'$, so findet man nach § 100:

$$a : b : c = 1,3367 : 1 : 1,7588, \beta = 60^\circ 14'.$$

Nunmehr handelt es sich um die Bestimmung des Zeichens der beiden andern Hemipyramiden. Von diesen liegt s in der Zone $o : c$, also hat sie das gleiche Verhältniss $a : b$, wie $o = \{111\}$, dagegen eine kleinere Verticalaxe. Um deren Länge zu berechnen, genügt demnach eine einzige Messung, etwa der Winkel $s^1 : c^1$, welcher deshalb der bequemste ist, weil er in derselben Justirung mit $o^1 : c^1$ gemessen werden kann. Dieser werde gefunden $= 66^\circ 20'$. Berechnet man hieraus die Länge der Verticalaxe von s , so findet man eine Grösse, welche fast genau $\frac{2}{3}$ von der für die Grundform berechneten ist; das Zeichen von s ist folglich $\{223\}$. Man nehme nun genau $\frac{2}{3}c$, berechne daraus rückwärts den Winkel $s^1 : c^1$, und vergleiche ihn mit dem direct beobachteten (die Messung war nur approximativ ausführbar, so dass sie wohl auf $20'$ unsicher sein kann; bei Ausführung der Rechnung wird man sich überzeugen, dass die Differenz zwischen Rechnung und Beobachtung wirklich innerhalb dieser Fehlergrenze liegt). Die dritte Hemipyramide n liegt in keiner bekannten Zone, es müssen also zwei Messungen ausgeführt werden, um ihr Parameterverhältniss berechnen zu können. Es sei bestimmt worden der Winkel $n^1 : n^2 = 32^\circ 20'$ und $n^1 : c^1 = 78^\circ 4'$; aus dem ersteren folgt, dass der Winkel von n zur Symmetrieebene $= 46^\circ 10'$ ist. Die Berechnung des aus den Polen n , c und (010) gebildeten sphärischen Dreiecks liefert ein Axenverhältniss der Hemipyramide n , dessen a , wenn wir wieder $b = 1$ setzen, sehr nahe 4mal so gross ist, wie das a der primären Hemipyramide, und dessen c nahe das Doppelte ist; das gesuchte Zeichen der Form ist demnach $\{142\}$.

Endlich bleibt noch eine Krystallform zu bestimmen übrig, das hintere Hemidoma x . Da es in der Zone ca liegt, bedarf es nur einer Messung, etwa des Winkels $x^1 : c^1$, und dieser wird zu $40^\circ 14'$ gefunden. Bildet man jetzt ein ebenes Dreieck aus der Verticalaxe, der Klinodiagonale und der Durchschnichtsrichtung von x mit der Symmetrieebene, so sind in demselben die Winkel bekannt, nämlich $\beta = 60^\circ 14'$, $x^1 : c^1 = 40^\circ 14'$, folglich der dritte, x^1 zur Verticale $= 79^\circ 32'$; daraus folgt das Verhältniss der beiden Seiten, welche von den Axen c und a gebildet werden, fast genau halb so gross, wie bei der Grundform, das Zeichen von x ist $\{102\}$.

Beispiel VIII: Phenylxanthogenamid = $C^9H^{11}SON$.

Prismatisch verlängerte, nur an einem Ende ausgebildete Krystalle; dieses eine Ende hat das Ansehen von Fig. 626 (vertical von oben gesehen). Die Zone, nach welcher dieselben vorherrschend ausgebildet sind, besteht aus einem Flächenpaar b , nach welchem die ganze Form symmetrisch zu sein scheint (was weiterhin durch die Messungen bestätigt wird), einem

$$\alpha = 94^{\circ} 40'$$

$$\beta = 102^{\circ} 48'$$

$$\gamma = 92^{\circ} 54'.$$

Damit wären drei von den fünf Elementen des Krystalls bestimmt, und es erübrigt nun die Berechnung des Parameterverhältnisses der Grundform o . Wir messen deren Neigung zu b und c , welche wir finden zu $55^{\circ} 50'$, resp. $63^{\circ} 27'$, und berechnen daraus ihr Axenverhältniss genau nach S. 197; wobei sich ergibt:

$$a : b : c = 0,6027 : 1 : 0,6539.$$

Um das Zeichen des Hemidomas r zu bestimmen, genügt ein gemessener Winkel, z. B. $r : c$, welcher $40^{\circ} 50'$ gefunden wird; in dem von den Polen c , b und r gebildeten sphärischen Dreiecke, in welchem die Seiten cr und cb nebst dem zwischenliegenden Winkel bekannt sind, wird der Winkel an b berechnet, durch den der ebene Winkel der Flächen c und r auf b gegeben ist; daraus folgt, da β bekannt ist, das Längenverhältniss der Axen a und c , und zwar fast genau gleich demjenigen der Grundform, also ist $r = \{101\}$.

Endlich bleibt noch die Tetartopyramide x übrig; diese liegt in der Zone $b : r$, also muss sie die Axen a und c in demselben Verhältniss schneiden, wie das primäre vordere Hemidoma r , und es genügt demnach eine einzige Messung zur Feststellung ihres Zeichens. Es werde der Winkel $b : x = 48^{\circ} 32'$ beobachtet, so resultirt dasselbe hieraus folgendermaassen: Im sphärischen Dreiecke bcx wird der Winkel an c berechnet, der Bogen cx bis zum Grundkreis verlängert; der hierdurch gefundene Punkt y ist der Pol des in der Zone $[cx]$ liegenden Hemiprismas, dessen Zeichen sich aus der nunmehr möglichen Berechnung des Bogens by zu $\{120\}$ ergibt; hieraus folgt aber das Zeichen von $x = \{121\}$.

§. 128. Zeichnung der Krystallformen. Die perspectivischen Bilder, durch welche in der II. Abtheilung die Formen der Krystalle dargestellt wurden, sind Projectionen, bei denen das Auge in unendlicher Entfernung (weshalb alle am Krystall parallelen Kanten es auch in der Zeichnung bleiben) und ausserdem um eine bestimmte Grösse seitwärts von der nach vorn laufenden Axe und endlich wieder um einen gewissen Winkel erhoben über die horizontale Ebene gedacht wird, so dass die oberen Flächen, und zwar verkürzt, sichtbar werden.

Um eine solche Zeichnung anzufertigen, bedarf es zuerst der richtigen Projection der drei zu Axen gewählten Richtungen, und zwar wollen wir von derjenigen dreier, zu einander rechtwinkliger, gleich langer Axen (Axensystem der regulären Krystalle) ausgehen. Die in der II. Abtheilung angewendete Projection erhält man auf folgende Art:

Man ziehe zwei, einander unter 90° schneidende Gerade KK' und LL' , Fig. 627, theile die erstere in sechs gleiche Theile und ziehe durch K und K' , sowie durch den zweiten und vierten Theilpunkt Parallelen zu LL' ; dann trage man die Länge eines solchen Theiles von K' aus nach unten

oben angegebene Art das reguläre Axenkreuz construirt; dieses sei in Fig. 628 dargestellt durch die Geraden AA' , BB' , CC' ; das Axenverhältniss des Quecksilberchlorids ist nach S. 452: $a : b : c = 0,7254 : 1 : 4,0688$; wir müssen also die Länge OA mit 0,7254, die Länge OC mit 4,0688 multipliciren, um das Axenkreuz dieses Körpers zu erhalten; es ergeben sich die Projectionen der drei Axen aa' , BB' (wie vorher), cc' . Ziehen wir nun durch die Punkte aa' , BB' Verticalen, so sind dies offenbar die Kanten des Prismas für den hier anzunehmenden Fall, dass seine vier Flächen gleich gross ausgebildet seien. Trägt man nun von a aus auf der Prismenkante eine willkürlich gewählte Länge aD , ebenso nach unten aD^1 , endlich auch von a' aus, $a'D^2$ und $a'D^3$ auf, und sollen von diesen Punkten D aus die

stumpferen Polkanten der Pyramide o beginnen, so hat man nur $DE \parallel ac$, $D^1E^1 \parallel ac'$, $D^2E^2 \parallel a'c'$, $D^3E^3 \parallel a'c$ zu ziehen; nimmt man nun von O aus auf der Verticalaxe nach oben und unten eine gleich grosse willkürliche Länge $OF = OF'$ und legt durch diese Gerade, parallel der Axe aa' , bis dieselben jene Polkanten der Pyramide schneiden, so stellen erstere die obere und untere Kante des Brachydomas $q = \{011\}$ dar. Von den Schnittpunkten E , E^1 , E^2 , E^3 aus hat man nun die Combinationskanten zwischen o und q zu construiren; diese sind aber parallel den schärferen Polkanten von o , da q diese abstumpft; also ziehe man $EG \parallel cB^1$, $EG' \parallel cB$, $E^1G^1 \parallel c'B^1$, $E^1G^2 \parallel c'B$, $E^2G^2 \parallel c'B^1$ und ebenso dazu Parallele von E^3 aus. Von D , D^1 , D^2 und D^3 aus sind ferner zu ziehen die Combinationskanten zwischen $\{111\}$ und dem Prisma; da aber letzteres dasselbe $a : b$ hat, wie die Pyramide, so muss $DG^1 \parallel D^1G^2 \parallel aB$ und ebenso links, und die entsprechenden Kanten auf der punktirt ausgeführten Hinterseite des Krystalls; so werden als

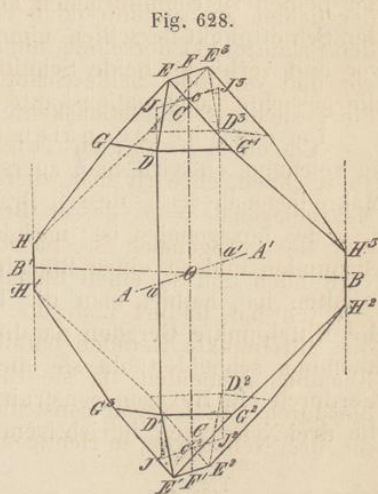


Fig. 628.

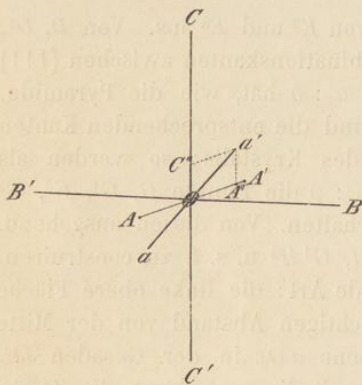
Durchschnittspunkte der Kanten $o : \hat{q}$ und $o : p$ die Punkte G , G^1 , G^2 , G^3 und die entsprechenden vier der Rückseite erhalten. Von diesen ausgehend, hat man endlich die Kanten $q : p$, d. h. GH , G^1H^3 u. s. f. zu construiren. Die Richtung von GH findet man auf folgende Art: die linke obere Fläche $(0\bar{1}1)$ von q schneidet, wenn sie in den richtigen Abstand von der Mitte des Axenkreuzes gerückt wird, die Axenebene aOc in der Geraden JJ^3 , die linke Prismenfläche $(1\bar{1}0)$ unter derselben Bedingung (durch die Zeichnung schon erfüllt) in JJ^1 ; der Punkt J , in welchem sich die Durchschnitte beider Flächen mit der erwähnten Axenebene schneiden, muss demnach ein Punkt ihrer Combinationskante sein. Die Axenebene $B'Oc$ wird von $(1\bar{1}0)$ in einer Verticalen durch B' , von $(0\bar{1}1)$ in einer Geraden $B'c$ geschnitten; diese beiden Durchschnitte haben den Punkt B' gemein, also ist

dieser ein zweiter Punkt der Combinationskante, die somit bekannt ist. Man hat also, ihrer Richtung $B'J$ parallel, die Gerade GH zu ziehen, bis sie die Kante des Prismas schneidet, ebenso $G^1H^3 \parallel JB$, $G^2H^2 \parallel J'B$ u. s. f. Die hinteren und vorderen Kanten $q : p$ müssen sich in Punkten schneiden, welche genau in den durch B und B' gehenden Verticalen liegen, durch welche Uebereinstimmung die Genauigkeit der Zeichnung controlirt wird.

Die soeben auseinandergesetzte Methode zur Bestimmung der Richtung einer Combinationskante wird nun allgemein für diesen Zweck angewandt; man denkt sich die Flächen stets in der richtigen Lage zum Axenkreuz, also z. B. eine Pyramide $\{221\} = (a : b : 2c)$ durch die Punkte gelegt, welche von der Mitte um a , b und $2c$ abstehen, — sucht dann die Durchschnitte der beiden zu combinirenden Flächen mit einer Axenebene und bestimmt den Schnittpunkt derselben, nimmt das Gleiche in einer zweiten Axenebene vor und verbindet beide Schnittpunkte durch eine Gerade, deren Richtung die gesuchte Combinationskante ist.

Um einen hexagonalen Krystall mit dem Axenverhältniss $1 : 1 : c$ zu zeichnen, entwirft man zuerst das Axenkreuz eines rhombischen, dessen Makrodiagonale $= 1$, dessen Brachydiagonale $= 1,732$ und dessen Verticale $= c$ des hexagonalen ist; nachdem man die Endpunkte der Axen a und b verbunden und so einen Rhombus von genau 120° Winkel (an der Seite) erhalten hat, halbirt man die beiden Seiten der Axe a und zieht durch die Mittelpunkte Geraden parallel der Axe b , bis dieselben die Seiten des Rhombus schneiden; da sie diese ebenfalls unter 120° schneiden, so ist hierdurch ein Hexagon construirt, dessen Ecken, mit der Mitte verbunden, die drei Nebenaxen, in richtigem Längenverhältniss zur Hauptaxe c stehend,

Fig. 629.



liefern. Die weitere Construction, nachdem einmal das Axenkreuz gegeben ist, bedarf keiner speciellen Erläuterung mehr; man hat einfach alle Kanten, welche nicht direct durch die Endpunkte und Richtungen der Axen bestimmt sind, auf die angeführte Art mittelst ihrer Durchschnitte mit zwei Axenebenen zu construiren.

Aus diesem Grunde ist auch für das mono- und asymmetrische System nur nöthig, die Construction ihres Axenkreuzes anzugeben, da alsdann alles Uebrige sich von selbst versteht.

Sei in Fig. 629 AA' , BB' , CC' das reguläre Axenkreuz und sei dasjenige eines monosymmetrischen Krystalls zu construiren, dessen Klinodiagonale nach vorn geneigt ist, und mit c den Winkel β einschliesst. Man trägt von der Mitte aus nach oben die Länge

$$OC'' = OC \cdot \cos \beta$$

und nach hinten diejenige

$$OA'' = OA' \cdot \sin \beta$$

auf, vollendet das Parallelogramm $OA''a'C''$ und macht $Oa = Oa'$, so ist aa' die Klinodiagonale des betreffenden Krystalls für den Fall, dass seine drei Axen gleiche Länge haben; man hat also nur nöthig, Oa mit dem wahren Werthe der Klinodiagonale, OC mit dem der Verticalen zu multipliciren, um das Axenkreuz zu erhalten*).

Um nun endlich das Axenkreuz eines asymmetrischen Krystalls zu finden, dessen drei Axenwinkel α (Axe b : Axe c), β und γ sind, gehe man wieder von dem regulären Axenkreuz AA' , BB' , CC' , Fig. 630, aus, trage auf OA die Länge

$$OA^2 = OA \cdot \cos C$$

und auf OB die Länge

$$OB^2 = OB \cdot \sin C$$

auf, wobei C den Winkel $(100) : (0\bar{1}0)$ bedeutet, so ist, wenn man das Parallelogramm OA^2DB^2 gezogen hat, die Ebene COD das projecirte Makropinakoid, wenn das Brachypinakoid unverändert geblieben ist, und OD eine in derselben befindliche Horizontale von der Länge 4. Man nehme nun in OC die Längen

$$OC^3 = OC \cdot \cos \beta$$

$$OC^2 = OC \cdot \cos \alpha,$$

ferner in OA^1

$$OA^3 = OA^1 \cdot \sin \beta$$

und in OD^1 (wenn der spitze Axenwinkel α links, andernfalls in OD)

$$OD^2 = OD^1 \cdot \sin \alpha,$$

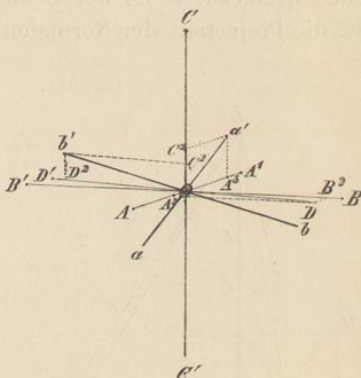
vollende die Parallelogramme $OA^3a'C^3$ und $OD^2b'C^2$, ziehe deren Diagonalen und verlängere sie jenseits O um denselben Werth, so ist

aa' die Brachydiagonale,

bb' die Makrodiagonale,

CC' die Verticalaxe

Fig. 630.



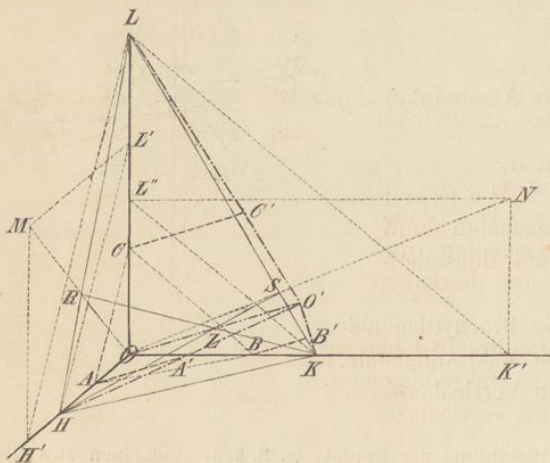
*) Bei Krystallen von der Ausbildung des Epidots (s. S. 508) erscheinen zuweilen bei der zur Construction der rechtwinkligen Axen (Fig. 627) gewählten Drehung die Seitenflächen des Krystalls so verkürzt, dass die Zeichnung undeutlich wird. Dann wählt man zweckmässig eine stärkere Drehung des Krystalls gegen die Projectionsrichtung, wie man sie z. B. auf folgende Art erhält: Man theilt KK' (Fig. 627) in vier gleiche Theile und trägt einen solchen Theil von K aus nach unten ab; die Verbindung des Endpunktes dieser Länge mit O ist die gedrehte Axe b . Alsdann trägt man von O nach K' die Länge $\frac{3}{4}.OK'$ auf und vom Endpunkte dieser Strecke senkrecht nach abwärts die Hälfte jener Länge; der Endpunkt, mit O verbunden, giebt die gedrehte Axe a . Die so erhaltenen Richtungen sind die Projectionen dreier gleich langer, rechtwinkliger Axen; die Drehung der Axe a in die Richtung der Klinodiagonale erfolgt dann ganz ebenso, wie oben für die gewöhnliche Projectionsmethode angegeben ist.

der asymmetrischen Krystallform, wenn $a : b : c = 1$; man hat also bb' unverändert zu lassen und aa' mit a , CC' mit c zu multipliciren, um das Axenkreuz des Krystalls mit dem Parameterverhältniss $a : b : c$ zu erhalten.

Zeichnung der Zwillingskrystalle: Um diese in derselben Weise zu projeciren, hat man erstens das Axenkreuz des einen Krystalls in der richtigen Stellung zu construiren, zweitens dasjenige des zweiten in einer Stellung, in welcher es gegen eine bestimmte Krystallfläche des ersten (die Zwillingssebene) symmetrisch liegt.

Sei in Fig. 634 OA, OB, OC das Axenkreuz des ersten Krystalls, seien OH, OK, OL die Parameter der Krystallfläche, welche die Zwillingssebene bildet, so suche man den Punkt Z , in welchem eine aus O auf die Ebene HKL gefällte Normale diese trifft. Diesen Punkt findet man folgendermaassen: ziehe HL' und $LH' \parallel AC$, KL'' und $LK' \parallel BC$, construiere die Parallelogramme $OH' ML'$ und $OK' NL''$ und deren Diagonalen OM und ON ; den Punkt R , wo OM und HL sich schneiden, verbinde man mit K , so ist KR eine Höhenlinie des Dreiecks HKL ; den Punkt S , in welchem ON und KL sich schneiden, verbinde man mit H , so ist SH eine zweite Höhenlinie jenes Dreiecks; Z ist der Schnittpunkt dieser beiden Höhenlinien, also ist OZ die Projection der Normalen von O aus auf die Ebene HKL . Verlängert

Fig. 634.



man OZ jenseits Z um seine eigene Länge, so erhält man einen Punkt O' , welchen man durch Gerade mit H, K und L verbindet; alsdann sind $O'H, O'K$ und $O'L$ die Richtungen der drei Axen a, b, c des in Zwillingsstellung befindlichen zweiten Krystalls und ihre Längen gleich den Parametern der Zwillingsfläche HKL , welche dann für beide Krystalle identisch ist, nur dass diese umgekehrt gegen sie liegen. Will man

nun das primäre Axenkreuz, d. h. die Parameterlängen der Grundform haben, so braucht man nur durch A, B und C Parallelen zu OZ zu legen, bis sie die Axen des zweiten Krystalls schneiden, so ist $O'A', O'B', O'C'$ die Projection des Axenkreuzes für den zweiten, in Bezug auf HKL gegen den ersten symmetrisch liegenden Krystall. Mit Hülfe dieses Axenkreuzes zeichnet man nun diesen nach derselben Methode wie den ersten, und verschiebt ihn, parallel sich selbst, so weit, wie es der natürlichen Ausbildung der Zwillingskrystalle entspricht.