

[Auszug aus dem Monatsbericht der Königl. Akademie der
Wissenschaften zu Berlin.]

18. Feb. 1878. Sitzung der physikalisch-mathematischen Klasse.

Hr. Websky las:

Über die Lichtreflexe schmaler Krystallflächen.

Im Bereiche der angewandten Krystallographie bedarf die Deutung der Reflexerscheinungen, welche bei Benutzung des Reflexionsgoniometers zum Messen von Flächenwinkeln an Krystallen erhalten werden und die wesentlichste Grundlage ihrer Morphologie bilden, noch einer präzisen Klärung. Allerdings sind dieselben auf allgemein bekannte Gesetze zurückzuführen; sie haben aber in dem vorliegenden Falle bei grosser Mannigfaltigkeit eine Gestaltung, welche von der Weise, diese Gesetze darzustellen, etwas abweicht.

Nach den Principien, die Kupffer und Naumann für den Gebrauch des einfachen Wollaston'schen Goniometers aufgestellt haben, sind von Mitscherlich, Babinet und Anderen vervollkommnete Instrumente construiert worden; trotz aller Anstrengungen scheinen dieselben aber nicht den gehegten Erwartungen entsprochen zu haben. Mitscherlich zögerte mehr als ein Jahrzehnt, ehe er zu der Beschreibung desselben (Abh. d. Ak. 1843. S. 187.) schritt, und es befremdet, dass trotz des Aufwandes an mechanischer Feinheit von der Anwendung einer Vergrösserung im Beobachtungsfernrohr abgerathen wird, weil die Oberflächenbeschaffenheit auch der kleinsten und darum bestausgebildeten Krystalle dies nicht gestatte.

Was in den grösseren Compendien über den Gebrauch vervollkommneter Goniometer gesagt wird, ist reservirt gehalten.

Dufrénoy (Traité de minéralogie 1856. Th. I. p. 204) bemängelt bei dem Goniometer von Babinet, dass die Anwendung von zwei Fernröhren — das eine, als Beleuchtungs-Apparat benutzt — noch eine grössere Abschwächung des Lichtes herbeiführe, als das Beobachtungs-Fernrohr Mitscherlich's allein und schliesst mit dem Satze:

„On ne peut donc l'appliquer qu'à la mesure de cristaux très-réfléchissants; il faut en outre qu'ils aient des dimensions d'une certaine étendue“ — ohne jedoch über diesen nothwendigen Umfang eine Erklärung zu geben.

Noch unbestimmter spricht sich Delafosse (*Nouveau cours de minéralogie* 1858. I. p. 62) über diesen Gegenstand dahin aus, dass der Gebrauch von zwei Fernröhren wegen Abschwächung des Lichtes bei kleinen und schwach reflectirenden Krystallen unmöglich sei.

Die neueren Bücher von Schrauf, Klein und Groth berühren trotz anderweitiger Ausführlichkeit diesen Gesichtspunkt gar nicht oder doch nur andeutungsweise.

Dass bei den Goniometer-Reflexen nicht allein die relative Stärke des Lichtes, sondern auch Interferenz-Erscheinungen ins Auge zu fassen seien, scheint zuerst von Grailich in der Einleitung zu seinen krystallographisch-optischen Untersuchungen (Wien 1858. S. 2) hervorgehoben zu werden. Er beobachtete, dass beim Gebrauch eines Mitscherlich'schen Goniometers mit zwei Fernröhren das als Signal benützte, reflectirte Fadenkreuz häufig wider Erwarten verschwommen erscheine und nimmt, neben allzukleinen Dimensionen, als wahrscheinliche Ursache eine feine Streifung der spiegelnden Fläche an, die man nur mit Mühe durch die Lupe entdecken könne und für welche eben das Verschwimmen des Fadenkreuzes das empfindlichste Kriterium sei.

Bei dieser, allerdings auf Interferenz-Erscheinungen hindeutenden Erklärung ist demselben doch die tief eingreifende Bedeutung derselben entgangen.

Es kommen nämlich, auch bei der vollkommensten Oberflächen-Beschaffenheit, nur dann scharfe Reflexe eines gespiegelten Signals zu Stande, wenn der reflectirende Theil der spiegelnden Krystallfläche nicht durch ihre concreten Grenzen zweiseitig eingeschränkt wird.

Es verhält sich nämlich eine schmale, von zwei parallelen Kanten begrenzte spiegelnde Fläche, in Bezug auf den reflectirten Strahl, wie ein schmaler Spalt zu durchfallendem Licht, so dass der Reflex in ein mehr oder minder dilatirtes, symmetrisches, von dunklen Interferenzstreifen durchschnittenes Spectrum aufgelöst wird.

Wenn daher als Signal ein Fadenkreuz benützt wird, welches in Bezug auf seine Wirkung als ein sehr eng begrenzter dunkler Streifen zwischen breiten Lichtflächen zu betrachten ist, bedarf es nur einer sehr geringen Dilatation der letzteren, um die dunkle

Marke zuzudecken und ist überhaupt das Fadenkreuz für den Gebrauch der Winkelmessung an Krystallen wenig geeignet.

Ungleich weiter kann man die Reflexerscheinungen an Krystallflächen verfolgen, wenn man einen schmalen Spalt in dunklem Felde als Signal benützt, weil alsdann die Dilatation des gespiegelten Lichtes zwar eine Abschwächung seiner Intensität herbeiführt, dabei aber die verhüllte Position durch die hellste Stelle des Spectrum's kenntlich bleibt und bei der Empfindlichkeit des Auges für symmetrische Intensität noch mit grosser Schärfe eingestellt werden kann.

Der Bogenabstand je zweier, symmetrisch um die hellste Stelle in dem Dilatations-Spectrum auftretenden dunklen Interferenzstreifen ist abhängig von der Wellenlänge ω des verwendeten Lichtes und der wirksamen Breite der Fläche $= b \cos \rho$, wenn b die concrete Länge ihrer Intersection mit der Reflexionsebene, ρ den Reflexionswinkel bedeutet, und zwar gilt für den Abstand der beiden ersten, den centralen Theil zunächst begrenzenden Interferenzstreifen, den ich $2\Delta_1$ nennen will, der Ausdruck

$$\sin \Delta_1 = \frac{\omega}{b \cos \rho}$$

für das folgende Paar $\sin \Delta_2 = \frac{2\omega}{b \cdot \cos \rho}$ u. s. w.

Die Richtung, in der die Dilatation erfolgt, ist abhängig von der Richtung der Begrenzungen der Krystallfläche und steht rechtwinklig auf diesen, während die Interferenzstreifen mit der Richtung der Begrenzung parallel gehen. Nur wenn die Richtungen der beiderseitigen Begrenzungen einen parallelen Verlauf haben, ist die Dilatation eine in einer Richtung liegende und in dem allerdings am häufigsten vorkommenden Falle, dass die Begrenzungen der reflectirenden Fläche wohlausgebildete Kanten der justirten Zone sind, in der Richtung, in der die Winkelmessung erfolgen soll, zu finden.

Wenn die Länge b eine erhebliche Grösse hat, fallen die Abstände $2\Delta_1$, $2\Delta_2$ äusserst klein aus, und da die Zwischenräume zwischen den Interferenzstreifen eine von der Mitte abfallende Helligkeit zeigen, so concentrirt sich bei breiten Flächen der Bogen, innerhalb welcher die Dilatation bemerkbar sein könnte, auf ein in den Grenzen der geforderten Präcision liegendes Minimum,

welches den erzielten Reflex dem einer unbegrenzten reflectirenden Fläche nahezu identisch erscheinen lässt.

Man kann allerdings bei schmalen Flächen auch an dem einfachen Wollaston'schen Goniometer die in Rede stehende Erscheinung wahrnehmen, wenn man im dunklen Raume eine ferne Lichtflamme reflectiren lässt; zu einer discutirbaren Präcision gelangt sie aber erst bei vervollkommenen Instrumenten, wenn an denselben die Linsenapparate sorgfältiger, als dies gewöhnlich der Fall ist, ausgeführt sind.

Ich habe bei den folgenden Versuchen ein nach dem System Babinet gebautes Goniometer benützt, an welchem durch einen $0,085^{\text{mm}}$ breiten, von einem Petroleum-Breitbrenner erleuchteten Spalt das Licht einem achromatischen Collimator von 100^{mm} Brennweite und 19^{mm} Öffnung und dann dem justirten Krystall zugeführt wird; der Reflex erfährt durch ein Fernrohr mit gleich construirten Objectiv eine zweifache Vergrößerung. Der scheinbare Bogenwerth des von unbegrenzter Fläche reflectirten Spaltbildes beträgt $0^\circ 1' 40''$ im Mittel bei einer Einstellungs-Präcision von $\pm 0^\circ 0' 20''$, darunter den Winkel verstanden, um welchen die reflectirende Fläche gedreht werden muss, um die erhellte Breite des Bildes an dem Faden des Beobachtungs-Fernrohres vorüber zu führen.

Eine Verbreiterung dieses Reflexes wurde schon bemerkbar, wenn der Werth $b \cos \rho = 1^{\text{mm}}$ betrug, also unter Umständen, die man als die günstigsten in der goniometrischen Praxis betrachten kann; nimmt man nämlich die Wellenlänge für den hellsten Theil des Petroleum-Lichtes $\omega = 0,00058^{\text{mm}}$, so ergibt sich $2\Delta_1 = 0^\circ 3' 58''$.

Bei einer wirksamen Flächenbreite $b \cdot \cos \rho = 0,1^{\text{mm}}$, ist $2\Delta_1 = 0^\circ 39' 52''$; nichtsdestoweniger kann man selbst dann noch mit ziemlicher Sicherheit die hellste Stelle des centralen Streifens auf den Faden des Beobachtungsfernrohres einstellen.

Sinkt die wirksame Breite auf $0,01^{\text{mm}}$, dann wird $2\Delta_1 = 6^\circ 39'$ und ist dann der Reflex in einem kaum noch erkennbaren Lichtbogen, welcher sich wie ein Band in der Reflexebene hinzieht ausgedehnt.

Das Erscheinen derartiger leuchtender Bänder, welche bei lichtstarken Beobachtungsröhren ausserordentlich häufig getroffen werden, ist daher nicht nothwendiger Weise auf gerundete Oberflächen-

Elemente der Zone — die allerdings vorkommen — zurückzuführen; dieselben können mit mehr Wahrscheinlichkeit auf das Auftreten sehr schmaler Flächen der Zone gedeutet werden und zwar wird man, so bald die Interferenzstreifen sich noch deutlich abheben aus dem Abstände $2\Delta_1$ nach dem Ausdruck $b = \frac{\omega}{\sin \Delta_1 \cos \varrho}$ auf die concrete Breite der Fläche in der Zonenrichtung schliessen können.

Wenn man die Bogenabstände Δ_1, Δ_2 von dem hellsten Theil des Spectrums bis zu dem betreffenden Interferenz-Streifen dadurch messen will, dass man die Instrumentsaxe — und somit auch die spiegelnde Fläche so weit dreht, bis die bezeichnete Stelle in das Fadenkreuz tritt, so beträgt einerseits der abgelesene Bogen $= \delta$ der Drehung halb so viel als der Bogenabstand der anvisirten Positionen $= \Delta$, so dass $\delta = \frac{1}{2}\Delta$ zu setzen ist, und anderseits verändert man den Einfallswinkel des Lichtes um den Bogen der Drehung.

Ist ϱ der halbe Winkel zwischen der Axe des Beleuchtungs-Apparates und des Beobachtungs-Fernrohrs und somit auch der Einfallswinkel des Lichtes auf eine spiegelnde Fläche, wenn das reflectirte Signal im Fadenkreuz des Beobachtungs-Fernrohres steht, so geht derselbe bei Drehung der Instrumentsaxe um den Bogen d in der Richtung nach dem Signal zu in $\varrho - d$, bei einer Drehung im entgegengesetzten Sinne in $\varrho + d$ über, so dass der Gangunterschied der Randstrahlen im ersten Falle

$$u = b \cdot \cos(\varrho - d) \sin d,$$

im zweiten $u_1 = b \cdot \cos(\varrho + d) \sin d$ beträgt. Um den gleichen Gangunterschied einer Wellenlänge $= \omega$ zu erzielen, ist die für denselben nothwendige Drehung $= \delta_1^r$ nach dem Signal zu, etwas kleiner als die entsprechende Drehung $= \delta_1^l$ nach der entgegengesetzten Seite und zwar wird

$$\begin{aligned} \omega &= b \cdot \cos(\varrho - \delta_1^r) \sin \delta_1^r = \\ &= b \cdot \cos(\varrho + \delta_1^l) \sin \delta_1^l \end{aligned}$$

Setzt man bei der Kleinheit der Winkel δ_1^r, δ_1^l die Werthe ihres Cosinus $= 1$, so hat man auch

$$\sin \delta_1^i - \sin \delta_1^r = \operatorname{tg} \rho (\sin^2 \delta_1^i + \sin^2 \delta_1^r)$$

Es wächst also die Differenz der beiderseitigen Abstände mit ihrer Grösse und nach der Tangente von ρ und erreicht aus letzterem Grunde in besonderen Fällen einen bemerkbaren Werth. Bei gegebenen Verhältnissen findet man hinreichend genau

$$\sin 2\delta_1^r = \frac{\omega}{b \cos(\rho - \delta)} \quad \text{und}$$

$$\sin 2\delta_1^i = \frac{\omega}{b \cdot \cos(\rho + \delta)}, \quad \text{wo } \omega = \text{Wellenlänge und}$$

$\sin 2\delta = \frac{\omega}{b \cos \rho}$ bedeutet, z. B. wenn $\rho = 80^\circ$, $\omega = 0,00058^{\text{mm}}$ und $b = 0,1^{\text{mm}}$ genommen wird:

$$\delta_1^r = 0^\circ 52' 27''$$

$$\delta_1^i = 1^\circ 3' 26''$$

so dass eine Differenz von $0^\circ 10' 59''$ aufkommt.

Umgekehrt kann man, da die Winkel δ_1^i ; δ_1^r klein und von einander nicht sehr verschieden sind, annähernd

$$\sin \frac{1}{2}(\delta_1^i - \delta_1^r) = \operatorname{tg} \rho \sin^2 \frac{1}{2}(\delta_1^i + \delta_1^r)$$

setzen.

Da ρ unabhängig bestimmt werden kann, so ist es möglich aus dem messbaren Abstände der beiden ersten dunklen Interferenzstreifen = $\delta_1^i + \delta_1^r$ die wahre Position des in dem centralen Lichtbande verhüllten Reflexes durch ihren Abstand von den dunklen Streifen zu bestimmen. Man würde an dem vorigen Beispiel

$$\begin{aligned} \sin \frac{1}{2}(\delta_1^i - \delta_1^r) &= \operatorname{tg} 80^\circ \sin^2 0^\circ 57' 56'' = \\ &= \sin 0^\circ 5' 32'' \quad \text{finden und} \end{aligned}$$

$$\delta_1^r = \frac{1}{2}(1^\circ 55' 53'' - 0^\circ 11' 4'') = 0^\circ 52' 25''$$

$$\delta_1^i = \frac{1}{2}(1^\circ 55' 53'' + 0^\circ 11' 4'') = 1^\circ 3' 28''$$

zu setzen haben.

Obgleich nun der vorgeschlagene Ausdruck

$$\sin \frac{1}{2}(\delta_1^i - \delta_1^r) = \operatorname{tg} \rho \sin^2 \frac{1}{2}(\delta_1^i + \delta_1^r)$$

ganz allgemein für beliebige symmetrische Positionen des Dilations-Spectrums gültig ist, also eine Vervielfältigung der Rechnung eingeführt werden kann, so wird man doch kaum davon einen

praktischen Nutzen ziehen, da die angedeutete Rechnung voraussetzt, dass der Reflex genau in der optischen Axe des Beobachtungs-Fernrohr liege.

Um die Art der Reflexerscheinungen in ihrer einfachsten Gestaltung zu exemplificiren, lasse ich die Abmessungen der Winkel zwischen drei ganz vollkommen ausgebildeten Krystallflächen bei vier verschiedenen Incidenzwinkeln folgen.

An einem ausgewählten Epidot-Zwilling von der Knappenwaud in Unter-Sulzbach, Salzburg, sind aus den mit $\pm 0^\circ 0' 3''$ wahrscheinlichen Fehler gemessenen Normalenbögen

$$n | s = 35^\circ 14' 58'' , n | T = 69^\circ 2' 0'' , n | z = 29^\circ 4' 18'' , \\ n = \bar{1}.1.1 , z = 1.1.0 , T = 1.0.0 , s = 0.1.0$$

die Elemente $a : b : c = 0,8748674 : 0,5544899 : 1$

$$\beta = 115^\circ 25' 39,4'' \text{ abgeleitet worden.}$$

Daraus berechnen sich für die Zone n, q, z , in der

$$n = 1.1.\bar{1} , q = 2.2.\bar{1} , z = 1.1.0 \text{ sich begegnen,}$$

die Normalenbögen

$$n | q = 14^\circ 31' 7'' , q | z = 14^\circ 33' 11'' , n | z = 29^\circ 4' 18'' .$$

Die Fläche n ist in besagter Zone über $1,8^{\text{mm}}$ breit und auf der einen Seite nicht mit der Zonenaxe parallel begrenzt; sie komme hier nur als Ausgangspunct in Betracht.

Die Fläche q hat, normal zur Zonenaxe, eine Breite von $0,29^{\text{mm}}$, die Fläche z eine solche von $1,05^{\text{mm}}$. Alle drei Flächen sind vollkommen ausgebildet; man kann unter dem Mikroskop keine Unebenheit entdecken. Als Signal diene der Spalt von $0^\circ 1' 40''$ Bogenwerth,

Bei einem Incidenzwinkel $\rho = 14^\circ 10' 45''$ wird für q der Werth $b \cdot \cos \rho = 0,271^{\text{mm}}$, für $z = 1,018^{\text{mm}}$. Die Messung ergab

	<i>Stelle des Reflexes</i>	<i>Goniometer-Position</i>	
n	{ Rand Hellstes Rand	{ $203^\circ 58' 50''$ $58' 0''$ $57' 10''$	$\left. \vphantom{\begin{matrix} \{ \\ \{ \\ \{ \end{matrix}} \right\}} 0^\circ 1' 40''$
q	{ I. Streifen Rand Hellstes Rand I. Auslöschung I. Streifen	{ $189^\circ 31' 40''$ I. Auslöschung $189^\circ 29' 10''$ $26' 30''$ $23' 30''$ $189^\circ 22' 0''$ $189^\circ 20' 30'$	$\left. \vphantom{\begin{matrix} \{ \\ \{ \\ \{ \\ \{ \\ \{ \\ \{ \end{matrix}} \right\}} 2\delta_1 = 0^\circ 8' 25'' = \Delta_1$ $\omega = 0,00066$
z	{ I. Streifen Rand Hellstes Rand I. Streifen	{ bemerkt $174^\circ 54' 30''$ $53' 30''$ $52' 20''$ bemerkt	$\left. \vphantom{\begin{matrix} \{ \\ \{ \\ \{ \\ \{ \end{matrix}} \right\}} 0^\circ 2' 10''$

$$\text{Gemessen: } n | q = 203^\circ 58' 0'' - 189^\circ 26' 30'' \\ = 14^\circ 31' 30''$$

$$n | z = 203^\circ 58' 0'' - 174^\circ 53' 30'' \\ = 29^\circ 4' 30''$$

Incidenz-Winkel = $38^\circ 7' 30''$; für q wird $b \cos \varrho = 0,220^{\text{mm}}$, für $z = 0,826^{\text{mm}}$. Die Messung ergab:

<i>Stelle des Reflexes</i>	<i>Goniometer-Position</i>			
n	$\left. \begin{array}{l} \text{Rand} \quad 85^\circ 46' 0'' \\ \text{Hellstes} \quad 45' 10'' \\ \text{Rand} \quad 44' 10'' \end{array} \right\}$	$0^\circ 1' 50''$		
II. Auslöschung $71^\circ 23' 35''$				
q	$\left. \begin{array}{l} \text{I. Streifen} \left\{ \begin{array}{l} 71^\circ 22' 40'' \\ 19' 0'' \end{array} \right. \\ \text{Rand} \quad 71^\circ 17' 10'' \\ \text{Hellstes} \quad 14' 10'' \\ \text{Rand} \quad 9' 0'' \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 0^\circ 8' 10'' \\ 0,00060 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 2 \delta_1 = 0^\circ 9' 25'' \\ = \Delta_1, \\ \omega = \\ 0,00060 \end{array} \right\}$	$\left. \begin{array}{l} 2 \delta_2 = 0^\circ 19' 25'' \\ = \Delta_2, \\ \omega = \\ 0,00062 \end{array} \right\}$
I. Auslöschung $71^\circ 8' 40''$				
I. Streifen $\left\{ \begin{array}{l} 71^\circ 8' 20'' \\ 4' 50'' \end{array} \right.$				
II. Auslöschung $71^\circ 4' 10''$				
z	$\left. \begin{array}{l} \text{I. Streifen} \quad 46^\circ 43' 10'' \\ \text{I. Auslöschung} \quad 46^\circ 42' 40'' \\ \text{Rand} \quad 46^\circ 42' 10'' \\ \text{Hellster} \quad 40' 20'' \\ \text{Rand} \quad 38' 50'' \end{array} \right\}$	$0^\circ 4' 20''$		
I. Auslöschung $46^\circ 38' 20''$				
I. Streifen $46^\circ 37' 50''$				

Gemessen: $n | q = 85^\circ 45' 10'' - 71^\circ 14' 10''$
 $= 14^\circ 31' 0''$

$n | z = 85^\circ 45' 10'' - 46^\circ 40' 20''$
 $= 29^\circ 4' 50''$

Incidenz-Winkel = $69^{\circ} 15' 10''$; für q wird $b \cdot \cos \varrho = 0,099^{\text{mm}}$;
für $z = 0,372^{\text{mm}}$. Die Messung ergab:

	<i>Stelle des Reflexes</i>	<i>Goniometer- Position</i>		
n	Rand	$357^{\circ} 16' 30''$	$\left. \vphantom{\begin{matrix} \text{Rand} \\ \text{Hellstes} \\ \text{Rand} \end{matrix}} \right\} 0^{\circ} 1' 50''$	
	Hellstes	$14' 40''$		
	Rand	$13' 40''$		
q	II. Streifen	$\left\{ \begin{matrix} 343^{\circ} 12' 10'' \\ 6' 10'' \end{matrix} \right.$	$\left. \vphantom{\begin{matrix} \text{II. Auslöschung} \\ \text{I. Streifen} \\ \text{I. Auslöschung} \\ \text{Rand} \\ \text{Hellstes} \\ \text{Rand} \\ \text{I. Auslöschung} \\ \text{I. Streifen} \\ \text{II. Auslöschung} \\ \text{II. Streifen} \end{matrix}} \right\} \left. \vphantom{\begin{matrix} 2\delta_1 = \\ = \Delta_2, \\ \omega = \\ 0,00060 \end{matrix}} \right\} \left. \vphantom{\begin{matrix} 2\delta_2 = \\ = \Delta_2 \\ \omega = \\ 0,00056 \end{matrix}} \right\}$	
		II. Auslöschung $343^{\circ} 4' 5''$		
	I. Streifen	$\left\{ \begin{matrix} 343^{\circ} 2' 0'' \\ 342^{\circ} 55' 50'' \end{matrix} \right.$		
		I. Auslöschung $342^{\circ} 54' 50''$		
	Rand	$342^{\circ} 53' 50''$		
	Hellstes	$43' 50''$		
	Rand	$35' 10''$		
		I. Auslöschung $342^{\circ} 34' 10''$		
	I. Streifen	$\left\{ \begin{matrix} 342^{\circ} 33' 10'' \\ 27' 30'' \end{matrix} \right.$		
		II. Auslöschung $342^{\circ} 25' 20''$		
	II. Streifen	$\left\{ \begin{matrix} 342^{\circ} 23' 10'' \\ ? \end{matrix} \right.$		
	z	II. Streifen		$328^{\circ} 19' 10''$
		II. Auslöschung $328^{\circ} 17' 15''$		
I. Streifen		$328^{\circ} 15' 20''$		
		I. Auslöschung $328^{\circ} 14' 5''$		
Rand		$328^{\circ} 12' 50''$		
Hellstes		$10' 10''$		
Rand		$7' 10''$		
		I. Auslöschung $328^{\circ} 5' 45''$		
I. Streifen		$328^{\circ} 4' 20''$		
		II. Auslöschung $328^{\circ} 2' 15''$		
II. Streifen	$328^{\circ} 0' 10''$ (?)			

Gemessen: $n | q = 357^{\circ} 14' 40'' - 342^{\circ} 43' 50''$
 $= 14^{\circ} 30' 50''$

$n | z = 357^{\circ} 14' 40'' - 328^{\circ} 10' 10''$
 $= 29^{\circ} 4' 30''$

Incidenzwinkel = $83^\circ 30' 20''$; für q wird $b \cos \varphi = 0,034^{\text{mm}}$, für $z = 0,119^{\text{mm}}$. Die Messung ergab:

	<i>Stelle des Reflexes</i>	<i>Goniometer-Position</i>									
n	III. Streifen	$347^\circ 40' 0''$	}	}	$0^\circ 9' 20''$	}	$0^\circ 16' 35''$	}	$0^\circ 25' 20''$		
		III. Auslöschung								$347^\circ 37' 25''$	
	II. Streifen	$347^\circ 34' 50''$									
		II. Auslöschung								$347^\circ 32' 55''$	
	I. Streifen	$347^\circ 31' 0''$									
		I. Auslöschung								$347^\circ 29' 10''$	
	Rand	$347^\circ 27' 20''$									
	Hellstes	$25' 10''$								}	$0^\circ 6' 10''$
	Rand	$21' 10''$									
		I. Auslöschung								$347^\circ 19' 50''$	
	I. Streifen	$347^\circ 18' 30''$									
		II. Auslöschung								$347^\circ 16' 20''$	
II. Streifen	$347^\circ 14' 10''$										
	III. Auslöschung	$347^\circ 12' 5''$									
III. Streifen	$347^\circ 10' 0''$										

Concrete Breite = b
von n ohngefähr:
ad I = $1,887^{\text{mm}}$
ad II = $2,126$ „
ad III = $2,048$ „
Mittel = $\underline{2,030^{\text{mm}}}$

	<i>Stelle des Reflexes</i>	<i>Goniometer-Position</i>		
q	I. Streifen	{ 334° 3' 0"	}	$2 \delta_1 =$ $0^\circ 56' 55''$ $= \Delta_1$ $\omega = 0,00054$
		{ 333° 28' 30"		
	Rand	I. Auslöschung 333° 23' 0"		
	Hellstes	{ 333° 17' 30"		
	Rand	{ 332° 54' 30"		
		{ 33' 10"		
		I. Auslöschung 332° 26' 5"		
	I. Streifen	{ 332° 19' 0"		
		{ 331° 50' 0"		
z	II. Streifen	{ ?	}	$0^\circ 23' 25''$ } $0^\circ 46' 20''$
		{ 318° 45' 0"		
		II. Auslöschung 318° 43' 10"		
	I. Streifen	{ 318° 41' 20"		
		{ 35' 10"		
		I. Auslöschung 318° 32' 55"		
	Rand	{ 318° 30' 40"		
	Hellstes	{ 20' 30"		
	Rand	{ 11' 50"		
		I. Auslöschung 318° 9' 30"		
	I. Streifen	{ 318° 7' 10"		
		{ 0' 20"		
		II. Auslöschung 317° 56' 40"		
	II. Streifen	{ 317° 53' 0"		
		{ ?		

Gemessen: $n | q = 347^\circ 25' 10'' - 332^\circ 54' 30''$
 $= 14^\circ 30' 40''$

$n | z = 347^\circ 25' 10'' - 318^\circ 20' 30''$
 $= 29^\circ 4' 40''$

Bei diesen Versuchen war der Krystall so centrirt, dass die Mitte der Fläche q genau in der Axe des Instrumentes und so genau es anging, in der optischen Axe des Beobachtungs-Fernrohres lag, die Fläche z dagegen in seitlicher Lage reflectirte; aus diesem Grunde sind die Abmessungen der den Reflex von z begleitenden Interferenz-Erscheinungen mit einem Fehler behaftet, und führen durchschnittlich auf $\omega = 0,0008$, während bezüglich der Fläche q plausible Zahlen aufkommen.

(Fortsetzung folgt.)

15. Juli. Sitzung der physikalisch-mathematischen
1878. Klasse.

Hr. Websky las:

Über die Lichtreflexe schmaler Krystallflächen.

(Fortsetzung zu S. 132 — 144 dieses Jahrganges.)

Als Einstellungsmarke für goniometrische Messung der Neigungswinkel breiter und vollkommener Flächen ist das Reflexbild eines schmalen Spaltes, von dem der Faden des Beobachtungsfernrohres ein Drittheil bis ein Fünftheil der Breite deckt, vollkommen brauchbar; bei der Empfindlichkeit des Auges für die Ungleichheit des Lichtwerthes der von einem nicht genau in der Mitte stehenden Faden gebildeten Theile genügt eine zweimalige Vergrößerung im Beobachtungsfernrohr um mit der Präcision einer halben Minute einzustellen.

Bei erheblicher Dilatation des Reflexes schmaler Flächen ist aber ein breiter Spalt vortheilhafter, weil durch einen solchen die Lichtwirkung erhöht wird und die Mitte des Reflexes sich deutlicher als Culmination derselben hervorhebt.

Um die Vortheile eines schmalen und die eines breiten Spaltes zu vereinigen, bediene ich mich seit längerer Zeit eines in der Mitte eingeengten Spaltes, dadurch hervorgebracht, dass im Brennpunkt des Collimators vor einer 6^{mm} breiten runden Öffnung neben einander in der Richtung der Reflexionsebene zwei conisch gerandete runde Scheiben von $12\text{—}14^{\text{mm}}$ Durchmesser etwas verschiebbar angeschraubt sind; letztere werden so eingestellt, dass im Beobachtungsfernrohr eben noch ein Zwischenraum an der Stelle ihrer grössten Nähe erblickt wird. Wenn die Reflexe dilatirt sind, so verdunkelt sich allerdings die Gegend der schmalsten Stelle des Zwischenraumes, die zu beiden Seiten derselben aber hell bleibenden Theile des Reflexes besitzen nach der Mitte zu convergirende Conturen, deren auf einander zugekehrte Spitzen durch den Faden des Beobachtungsfernrohres mit ziemlicher Sicherheit halbirt werden können.

Die zu beiden Seiten des centralen Theiles des dilatirten Reflexes liegenden, von Auslöschungen abgetrennten Lichtstreifen haben die Form von Kreissegmenten, indem sich in Folge des Helligkeits-Gegensatzes ihre äusseren Conturen schärfer abheben als die inneren.

In der anliegenden photographischen Abbildung — durch starke Verkleinerung von im grossen Maassstabe ausgeführten Zeichnungen erzielt, — ist in

Fig. 1 das Reflexbild des eingeengten Spaltes, hervorgebracht durch eine über 1^{mm} breite, vollkommene Fläche dargestellt, fast genau in der Grösse, wie sie im Beobachtungsfernrohr erblickt wird; die gesammte Vergrösserung des Signals ist $\frac{8}{3}$, von der $\frac{6}{3}$ durch den Collimator bewirkt wird; das kreisförmige, von zerstreutem Licht erhellte Gesichtsfeld hat $8^{\circ} 30'$ Durchmesser, einer Axendrehung von $4^{\circ} 15'$ entsprechend.

Fig. 2 ist das Reflexbild desselben Signals, hervorgerufen von einer mit $0,1^{\text{mm}}$ Breite wirkenden Fläche.

Fig. 3 zeigt das Reflexbild bei $0,05^{\text{mm}}$ wirksamer Breite,

Fig. 4 dasselbe bei $0,02^{\text{mm}}$ wirksamer Breite und

Fig. 5 dasselbe bei $0,01^{\text{mm}}$ wirksamer Breite.

Damit ist aber auch die Grenze erreicht, innerhalb der man noch auf Reflexwirkung rechnen kann; immerhin tritt die letztgenannte Erscheinung noch deutlich an dunkelfarbigen Krystallen, im dunkelen Raume und bei möglichster Ablendung der Nebenlichter hervor.

Man kann die Helligkeit der Reflexe so schmalen Flächen auch erhöhen, wenn man in einiger Entfernung vom Signal eine Linse von kurzer Brennweite anbringt und durch dieselbe ein verkleinertes Bild der Flamme eines Petroleum-Breitbrenners, mit der schmalen Seite dem Spalt zugekehrt, auf diesen werfen lässt.

Die eigenthümliche Gestalt des Reflexbildes sowohl, als auch die bei gemischtem Licht in demselben auftretenden Farben erleichtern die Unterscheidung des centralen Theilers von den durch Auslöschungen getrennten Nebenculminationen. Sieht man von der weiter unten zu erwähnenden gegenseitigen Beeinflussung nahe an einander liegender Reflexe ab, so erscheint bei Petroleum-Beleuchtung der centrale Haupttheil des Reflexes in den breiten auswärts liegenden Hälften blaulichweiss, umsäumt von einem braungelben Rande; die seitlich liegenden Nebenculminationen sind auf der innern Seite reiner blau, auf der äusseren reiner roth gefärbt; dieser Gegensatz ist deutlich zu erkennen, wenn man den Faden auf die hellste, neutral gefärbte Stelle bringt.

Durch diese Anordnung der Farben, die in der Verschiedenheit der Wellenlängen ihren leicht erkennbaren Grund hat, kann man die Richtung erkennen, in der man den centralen Haupttheil zu suchen hat, wenn er in Folge gegenseitiger Beeinflussung in Bezug auf Lichtstärke gegen die der Nebenculminationen zurücksteht.

Vom Standpunct des Interesses für genaue Einstellung kann man die Reflexe schmalen Flächen und die ihnen ähnlichen Erscheinungen nach der Präcision ihrer Begrenzung unterscheiden, so dass man einem Bilde gleich dem Reflexe von Fig. 1 die Qualität von Ein-Millimeter-Präcision, einem Bilde gleich dem centralen Theile von Fig. 2 die Qualität von Einzehnthheil-Millimeter-Präcision beilegt, u. s. w., was sich bei der Discussion singularer Reflex-Complexe als bequem empfehlen dürfte.

Wenn die Reflexe von zwei Flächen so nahe aneinander liegen, dass dieselben sich im Bereiche ihrer Seitenstrahlen befinden, so vereinigen sich die Lichteffecte der letzteren zu einer gemeinschaftlichen Reihe von Culminationen, die sich in dem Bogen zwi-

schen den Reflexen durch eine erhöhte Lichtstärke und singuläre Abstände bemerklich machen. Diese letzteren und die damit im Einklang stehenden Grade der Präcision der Nebenculminationen variiren in der Weise, dass unmittelbar an dem dilatirteren der beiden centralen Theile, auf der Seite nach dem präciseren zu, die Nebenculminationen alsbald näher aneinander treten und präciser werden, als auf der entgegengesetzten Seite, während sich anderseits an dem weniger dilatirten centralen Reflextheil, in der Richtung nach dem dilatirteren zu, sogleich grössere Abstände zeigen als auf der Aussenseite desselben. Auch an Reflexen von sehr breiten Flächen erscheinen auf der Seite nach einem naheliegenden dilatirten Reflexe zu anfänglich sehr gedrängte, dann weiter abstehende Culminationen.

Eine derartige Erscheinung ist in Fig. 10 dargestellt; durch eine Fläche $n = 1.1.1$ eines Epidot-Zwillings setzt parallel mit der Zwillingssebene eine Lamelle des zweiten Individuums hindurch, deren Oberfläche ohngefähr $0^\circ 12' 20''$ von der der Fläche n abweicht und den dilatirten Reflex neben dem präcisen bildet. Die Fläche n ist nahe 2^{mm} breit, und würde, allein reflectirend, keine bemerkbare Seitenculminationen erkennen lassen; die Lamelle ist ganz schmal und zeigt auf der von dem präcisen Reflex abgewendeten Seite die erste Auslöschung in etwa $0^\circ 10' 26''$ Abstand; auf der nach dem präcisen Reflex zugewendeten Seite treten dagegen in dem Bogen von $0^\circ 12' 20''$ mindestens vier Nebenculminationen auf, deren letzte sich ganz nahe an den präcisen Reflex anlehnt. Die auf der äusseren Seite des Reflexes von n angedeuteten ganz schwachen Culminationen rühren von schmalen mit n parallel liegenden Flächenrudimenten her.

Aber auch die centralen Theile der Reflexe werden durch den gegenseitigen Einfluss alterirt; der dilatirtere Reflex nimmt auf der Seite nach dem präciseren zu eine mehr rothe Färbung an, als auf der entgegengesetzten Seite.

Unter besonderen Verhältnissen kann eine mehr oder minder vollkommene Auslöschung eines dilatirten, lichtschwachen Reflexes durch das Seitenlicht eines stärkeren erfolgen, wenn nämlich der Fall so liegt, dass dem, dem centralen Lichte des schwachen Reflexes begegnende Theil des Seitenlichtes im stärkeren zur völligen Auslöschung ein Phasen-Antheil fehlt, den grade der schwache vertritt.

Das Verhältniss, unter dem die völlige Auslöschung erfolgt, verändert sich aber mit dem Einfallswinkel und besteht nur bei einer singulären Grösse desselben, so dass bei einer Veränderung desselben der unterdrückte Reflex zum Vorschein kommt; die Erscheinung wird sich daher in der Mehrzahl von Fällen als partielle Auslöschung der Beobachtung darbieten. Ein auf diese Weise abgeschwächter centraler Theil eines Reflexes steht zwischen den blauen Seiten zweier, einander relativ nahe stehenden, jenen an Lichtstärke übertreffenden Seiten-Culminationen und zeigt die bräunlich gelbe Farbe, welche bei voller Entwicklung seinem Rande zukommt. Durch eine geringe Veränderung des Incidenzwinkels kann man denselben einerseits heller entwickeln, wobei er an Breite zunimmt, während eine Veränderung des Incidenzwinkels im entgegengesetzten Sinne zu seiner völligen Auslöschung führt.

Auch können zwei schwache und dilatirte von einander nicht weit abstehende Reflexe durch Vereinigung ihrer seitlichen Culminationen diese so verstärken, dass die letzteren auffälliger werden, als das blasse Licht ihrer centralen Theile, was zum Theil auf der physiologischen Eigenschaft des Auges für farbige Lichterscheinungen empfindlicher zu sein, als für ungefärbte, seinen Grund haben mag.

Von der Identität der Gestaltung der von schmalen Flächen hervorgebrachten Reflexerscheinungen mit den Interferenzerscheinungen des durch schmale Spalten fallenden Bildes des Signals kann man sich auch durch directe Versuche überzeugen, indem man — bei einem Babinet'schen Goniometer macht dies keine Schwierigkeit — das Beobachtungsfernrohr in die Richtung des Beleuchtungs-Apparates stellt, zwischen beide eine undurchsichtige, von einem Spalt durchbrochene Wand einschiebt, und durch diesen hindurch das Signal beobachtet.

Leichter kann man hierzu geeignete Präparate sich dadurch verschaffen, dass man eine Glasplatte mit einer undurchsichtigen Decke überzieht, und aus dieser schmale Streifen herausnimmt. Man überzieht Spiegelglasstücke — etwa Objectträger für Mikroskope, Vereins-Format — mit einer Lösung von chinesischer Tusch und verdickt den Auftrag durch Reiben mit dem Tuschprisma;

nach dem Eintrocknen haucht man die aufgeleimte Decke an und stösst mit einer Messerschneide, Zirkelspitze oder meisselartig zugeschliffenen Nadelspitze gradlinigte Spähne aus derselben heraus, am besten unter Führung an einem Metall-Lineal.

Weniger gut fallen die Präparate aus, wenn man die Glasplatte auf der einen Seite mit etwas gelben Bienenwachs warm überzieht, dieses über einer russenden Flamme schwarz rauchen lässt und in die so erhaltene Decke die Einschnitte macht; es wird nämlich in dem so beschaffenen Deckgrunde das Glas nicht an allen Stellen vollständig blosgelegt, so dass die mit einem so hergestellten Präparate erzielten Interferenz-Spectren weniger rein ausfallen, wohl aber kann man mit demselben Präparate den parallelen Reflex-Versuch anstellen, wogegen die Tuschdecke hierfür zu viel Licht reflectirt.

Die Breite der Einschnitte in den erforderlichen minimalen Dimensionen hat man nicht sehr in der Gewalt; man misst die der ausgewählten Präparate hinterher unter dem Mikroskop.

Wenn man in die geschwärzte Decke zwei parallele Einschnitte von der gleichen Breite b in dem Abstände a macht und durch dieses Spaltenpaar das Signal betrachtet, so erscheint der centrale, der Breite b entsprechende Theil des Dilatations-Spectrums zwischen den ersten Auslöschungen durch ein System secundärer Culminationen von der Präcision $2(b+a)$ zertheilt, welche von einer centralen symmetrisch gefärbten, durch Lichtstärke sich auszeichnenden Culmination in den Entfernungen D , wo $\sin D = \frac{\omega}{a+b}$,
 $= \frac{2\omega}{a+b}$ etc., abstehen.

Derartige Interferenz-Spectren sind auf der beiliegenden photographischen Abbildung

in Fig. 6, gebildet von zwei Spalten von $0,20^{\text{mm}}$ Breite und $0,12^{\text{mm}}$ Abstand,

in Fig. 7, gebildet von zwei Spalten von $0,09^{\text{mm}}$ Breite und $0,15^{\text{mm}}$ Abstand,

in Fig. 8, gebildet von zwei Spalten von $0,025^{\text{mm}}$ Breite und $0,123^{\text{mm}}$ Abstand,

dargestellt.

Fügt man einem solchen Spaltenpaare noch eine dritte gleichbreite Spalte in gleichem Abstände hinzu, so bleiben die Dimen-

sionen des Dilatations-Spectrums dieselben, nur tritt in der Mitte jeder Auslöschung noch eine lichtschwache Culmination von hoher Präcision hinzu.

Auch wenn man die Spalten ungleich breit macht, ist das Spectrum symmetrisch um eine centrale Culmination geordnet, es erhalten aber die Culminationen Abstände verschiedener Grösse.

Die theoretisch geforderte Coïncidenz der centralen Culmination mit der Linie des direct gesehenen Lichtes wird bei der hier vorgeschlagenen Versuchsweise übrigens nur erreicht, wenn die verwendete Glasplatte genau planparallel ist; selbst wenn dieselbe nur äusserst schwach prismatisch ist, ergibt sich eine merkliche Ablenkung. Dabei wird die Symmetrie des Spectrums nur erhalten, wenn man die geschwärzte Seite dem Beobachtungs-Fernrohr zukehrt; im anderen Falle macht sich eine prismatische Form der Platte auch dadurch geltend, dass die Abstände der secundären Culminationen auf den beiden Seiten des centralen Theiles ungleich werden.

Diese letztere Verschiedenheit kann man auffällig machen, wenn man die Einschnitte in geschwärztes Wachs mit flüssigem Canadabalsam und einer dünnen Glasplatte deckt und gefissentlich den Parallelismus der letzteren mit der Grundplatte vermeidet.

Ein solches unsymmetrisch gemachtes Dilatations-Spectrum, erzeugt durch zwei Spalten von $0,066^{\text{mm}}$ und $0,180^{\text{mm}}$ Breite im Abstände von $0,126^{\text{mm}}$, ist in Fig. 9 dargestellt.

Der Grund, dessentwegen auf diesen singulären Fall eingegangen wird, beruht auf dem Umstande, dass damit ein Analogon einer Reihe von Reflexerscheinungen erreicht wird, denen man in der krystallographischen Praxis ausserordentlich häufig begegnet; ein solcher Fall ist in Fig. 11 dargestellt, hervorgebracht durch eine Fläche $y = 2.1.\bar{I}$ an dem oben erwähnten Epidot-Zwilling, angrenzend an die Fläche n , deren Reflex in Fig. 10 dargestellt ist.

Das Eigenthümliche dieser Erscheinung besteht darin, dass man an Stelle eines erwarteten einfachen Reflexbildes von einer gewissen Dilatation auf eine Gruppe von verhältnissmässig lichtschwachen Reflexbildern von hoher Präcision stösst, welche bald mehr, bald minder symmetrisch um eine centrale, lichtstärkere Culmination geordnet sind. Untersucht man die einen derartigen Reflex gebende Fläche in schiefer Beleuchtung unter dem Mikroskop — oder auf dem Goniometer unter Verwendung der vor das Objectiv des

Beobachtungs-Fernrohres zu setzende Lupe — so findet man, dass sie in der Richtung der Zone, in der die Messung erfolgt, in Streifen zerschnitten ist, die einzeln viel zu geringe Breite haben, um Reflexe von so hoher Präcision zu geben.

Diese Reflexbilder sind nach den oben berührten Analogien secundäre Culminationen der Interferenzspectren, nur wird die in ihnen sich fast immer bemerklich machende asymmetrische Anordnung um die hellste Culmination nicht durch eine prismatische Ablenkung, sondern durch den Umstand herbeigeführt, dass die Unterbrechungen der reflectirenden Krystallfläche durch andere in der Zone der Messung liegende Oberflächen-Elemente von abweichender Richtung hervorgebracht werden, so dass die einzelnen gleichzeitig reflectirenden Theile zwar unter sich parallel sind, nicht aber in ein und derselben Ebne liegen, sondern aus Ebenen von verschiedener Distanz reflectiren.

In Folge des Gangunterschiedes, den die einzelnen denselben Weg einschlagenden reflectirten Lichtbündel besitzen, fällt die Hauptculmination nicht genau mit der Reflexrichtung zusammen und ist eine Messung, welcher die Position einer solchen als Einstellungs-Marke zu Grunde gelegt wird mit einem gewissen Fehler behaftet; ein Mittel, auf dem Wege des Experimentes die Grösse und Richtung dieser Ablenkung zu bestimmen scheint sich leider nicht darzubieten; man kann aber wohl annehmen, dass dieselbe die Grenzen der zu beiden Seiten liegenden Nebenculminationen nicht überschreitet und die wahre Position zwischen der hellsten und der zweitstärksten Culmination belegen ist.

Der Normalenbogen zwischen Fläche $n = 1.1. \bar{I}$ und $y = 2.1. \bar{I}$ in den in Fig. 10 und Fig. 11 abgebildeten Fällen beträgt nach den Elementen berechnet $23^\circ 56' 44''$, die Messung des Bogens zwischen den hellsten Signalbildern der genannten Reflexe ergab $23^\circ 52' 15''$, also eine Abweichung von $0^\circ 4' 29''$. Die Fläche \bar{n} ist in ihrer Gesamtausdehnung $0,25^{\text{mm}}$ breit und zerfällt in schiefer Beleuchtung in zwei nicht ganz gleiche Theile, zwischen denen noch ein ganz schmaler Streifen liegt; ausserdem setzt sie über eine ausgebrochene Stelle, an der der Körper des Krystalls vorspringt, ganz schmal weiter fort; der hier zuletzt erwähnte Theil ist an den Interferenzerscheinungen nicht betheiligt, wie weiter unten dargethan wird; keiner der durchschnittlich $0,1^{\text{mm}}$ breiten mitwirkenden Theile kann Reflexe von der Präcision der in Fig. 11 dargestellten Haupt-

Culmination geben. Der Abstand der der letzteren zunächst liegenden stärksten Nebenculmination beträgt $+0^{\circ} 4' 10''$, so dass der Bogen zwischen dieser und dem Reflexe von n auf den Werth $= 23^{\circ} 56' 25''$ sich erhöht und nahezu die theoretisch geforderte Grösse erreicht. Auf der anderen Seite des besagten Zwillings misst der Normalenbogen $n|y = 23^{\circ} 55' 20''$ bei nahezu vollkommener Oberflächenbeschaffenheit und erheblicher Breite.

Die Unterbrechung einer Krystallfläche durch solche anderer Richtung und die damit verbundene parallele Verschiebung der reflectirenden Oberflächentheile bedingt übrigens noch andere bemerkenswerthe Modificationen der Reflexerscheinung.

Ist der Normalabstand von zwei getrennten Flächentheilen $= n$, so besitzen die von ihnen reflectirten, denselben Weg einschlagenden Lichtbündel einen Gangunterschied $= 2n \cos \rho$. Sind die reflectirenden Flächenbreiten gleich und ist $2n \cos \rho$ ein ungrades Multiplum der halben Wellenlänge eines homogenen Lichtes, so werden sich die centralen Theile ihres Interferenz-Spectrums auslöschen, im gemischten Licht aber nur innerhalb kleiner Werthe des Gangunterschiedes unterdrücken; es genügen andererseits schon ausserordentlich kleine Depressionen der Krystallfläche um das Verschwinden der centralen Theile des Interferenzspectrums unter gewissen Incidenzwinkeln zu bewirken; sobald die Verschiebungen in graphisch darstellbare Dimensionen übergehen, hört der zur Auslöschung führende gegenseitige Einfluss auf, es decken sich einfach die Reflexbilder in der jedem einzelnen Theile entsprechenden Dilatation.

Damit diese Auslöschung auffällig werde, gehört aber auch ferner, dass die wirksame Breite der reflectirenden Flächentheile so schmal ist, dass die Seitenculminationen einen bemerkbaren Abstand besitzen, weil diese, auch bei Unterdrückung des centralen Theiles, erhalten bleiben und dabei sich der Position des letzteren nähern.

Die auffallendsten Beispiele geben die sogenannten starkgestreiften Flächen, welche durch ein zahlreich in schmalen Streifen sich wiederholendes Auftreten zweier oder mehrerer in derselben

Zone liegenden Flächenrichtungen bestehen; jeder einzelne dieser Complexe gleicher Richtung giebt ein äusserst dilatirtes Reflexbild mit einer sehr überwiegend hervortretenden centralen Culmination von hoher Präcision, wie die Spectren berusster Flächen; man findet nicht gerade selten, dass diese centralen Culminationen unter gewissen Incidenzwinkeln gänzlich verschwinden, wie dies die steilen Rhomboëder zwischen dem Gegenrhomboëder r' des Quarzes und der Säulenfläche besonders häufig zeigen.

Ist die Streifung eine sehr feine, wie sie Grailich in dem oben angeführten Citat (S. 133 d. Jahrg.) im Sinn hat, d. h.: die unterbrechenden Flächenelemente sind relativ sehr schmal gegen die zwischen ihnen liegende Breite der dominirenden Flächenrichtung, so erscheint ein Centralreflex von grösserer Dilation, als die Gesamtbreite der Fläche erwarten lässt, umgeben von einem bald vollkommenen verwachsenen, zuweilen etwas gegliederten Nebenlicht.

Bei Beobachtungen der Reflexe getheilte Flächen ist auch auf die Wirkung des zweimal reflectirten Lichtes Rücksicht zu nehmen, welches durch die Existenz des einspringenden Winkels in der Krystalloberfläche bedingt wird. Wenn in dem einfachsten Falle eine Krystallfläche f einmal durch eine schmale zweite Fläche g unterbrochen wird, die den Normalenbogen k mit der Richtung der ersteren macht, so entsteht ein ausspringender und ein einspringender Winkel von der Grösse $= 180^\circ - k$. Fällt das Licht über die ausspringende Kante ein und giebt man dem Beobachtungs-Fernrohr den Winkel $180^\circ - 2k$ gegen die Axe des Beleuchtungs-Apparates, stellt man ferner die den Krystall tragende Axe so, dass der Reflex von f in das Fadenkreuz tritt und dreht dieselbe in dem Sinne, den Reflex von g zu finden, so zweigt sich von dem abgehenden Reflexe von f das auf g fallende, von dem zurücktretenden Theile von f aufgefangene und zum zweiten Male reflectirte Licht in der Gestalt eines dilatirten Signalbildes ab und bleibt im Fadenkreuz scheinbar unverrückt stehen, bis nahezu das Reflexbild von g am Fadenkreuz angekommen ist; es erfüllt sich alsdann mit einem Mal der Bogen zwischen dem stehenden Reflex und dem

ankommenden von g mit reflectirten, mehr oder minder secundär gegliederten Licht, das mit dem Eintritt des Reflexes von g ins Fadenkreuz verschwindet; diese plötzliche Ausdehnung der Reflexerscheinung beruht auf dem Umstande, dass der zurücktretende Theil der Fläche f eine gewisse endliche Breite hat, dass kurz vor Vollendung der Drehung der Axe um den Bogen k ein Theil des auf g fallenden Lichtes in grosser Dilatation zum directen Austritt gelangt und neben dem zweimal reflectirten Rest zum Vorschein kommt. Bald nach dem Erscheinen des Reflexes von g erlischt derselbe, weil er von dem zurücktretenden Theil der Oberfläche von f abgeblendet wird.

Wenn der Incidenzwinkel nicht genau $90^\circ - k$ ist, erfolgt die Abspaltung des zweimal reflectirten Lichtes seitlich vom Fadenkreuz oder ausserhalb des Gesichtsfeldes im Beobachtungsfernrohr, und kommt alsdann die ganze Erscheinung nur in einzelnen Theilen oder gar nicht zur Conception.

Fällt das Licht zunächst in den einspringenden Winkel, so erfolgt die Erscheinung gleichfalls unter dem Incidenzwinkel $\rho = 90^\circ - k$, nur erlischt das zweimal reflectirte Licht kurz vor dem Eintritt des Reflexes von g gänzlich.

Diese bei ausgedehnten Flächen gut zu verfolgenden, singulären Reflexerscheinungen verlaufen bei minimaler Flächenbreite in ausserordentlich dilatirter Form und bewirken oft nur eine Verstärkung der Helligkeit der von den directen Reflexen herrührenden Neben-Culminationen unter merklicher Verschiebung derselben. Wenn die Zahl der einspringenden Winkel gleicher Art eine mehrfache ist, so beeinflussen sich die einzelnen zweimal reflectirten Lichtbündel unter einander und bilden gegliederte Systeme von Culminationen höherer Präcision, welche innerhalb gewisser Grenzen der Drehung der Instrumentsaxe bald stabil zu sein scheinen, bald, wenn sie im Bereich des Seitenlichtes directer Reflexe stehen, schnell wechselnde Erscheinungen bedingen. Aus diesem Grunde ist die Deutung der unter gewissen Incidenzwinkeln erzielten Reflexerscheinungen eine äusserst missliche, während die Benützung davon verschiedener Incidenzwinkel zu relativ einfacheren Phänomenen führt.

Die hier berührten Thatsachen machen ersichtlich, dass man bei Verwerthung von cumulirten Reflexen unumgänglich die unter successiver Veränderung des Incidenzwinkels aufkommenden Erscheinungen mit einander vergleichen muss; nur die in ihrer Position ganz oder nahezu constant bleibenden, wenn auch in ihrer Lichtstärke wechselnden Signalbilder deuten auf reflectirende Oberflächen-Theile. Wenn die Anhäufung der Signalbilder eine sehr grosse und die Notizführung eine sehr umständliche ist, gelingt es zuweilen dadurch schneller die centralen Culminationen zu erkennen, dass man vor dem Objectiv des Beobachtungsfernrohres einen $0,2 - 0,3^{\text{mm}}$ breiten, senkrecht auf die Reflexions-Ebene gehaltenen Spalt langsam in der Richtung der letzteren vorüber führt; durch das Hinzufügen der durch den Spalt hervorgerufenen Interferenzen in langsamer Bewegung werden die seitlichen Bilder noch mehr dilatirt und fortwährend verändert, während die centralen Culminationen, wenn sie eine höhere Präcision haben, in unveränderter, nur etwas mehr dilatirter Contur durch den Spalt hindurchtreten; centrale Culmination von geringerer Präcision bewirken, dass bei ihrem Durchtritt das in der Mitte abgeschwächte Licht sich momentan zu vereinigen scheint.

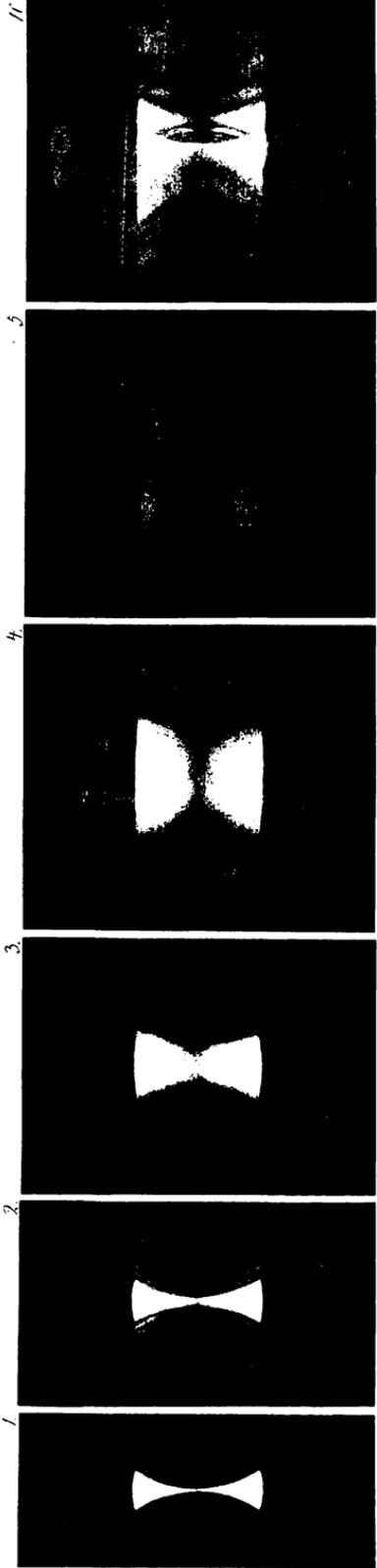
Auch durch einfache Abschwächung des Lichtes, am besten durch eine vor das Signal gehaltene mehr oder minder stark berusste Glasplatte, kann man die secundären Culminationen so weit lichtschwach machen, dass nur die centralen Culminationen, weil sie unter normalen Verhältnissen die lichtstärksten Theile sind, erkennbar übrig bleiben.

Krystallflächen von absoluter Regelmässigkeit sind äusserst selten; durchschnittlich gehen alle über 1^{mm} breiten Krystallflächen Reflexe mit secundärer Gliederung; man kann dieselben aber auf einfachere Culminations-Complexe, ja auf einfache primäre Reflexe zurückführen, wenn man dieselben nach der bekannten, zuletzt von A. Descloizeaux empfohlenen Methode bis auf die Entfernung von etwa $0,5^{\text{mm}}$ von ihrer Grenzkante mit einer nicht reflectirenden Leimfarbe — Eisenroth, Zinnober — deckt. — Auch in der Richtung senkrecht auf die Reflexionsebene lang ausgedehnte Krystallflächen sind vortheilhaft bis auf 2^{mm} Länge zuzudecken, weil die in ihrer Ausdehnung auftretende Verschiedenheit ihrer Breite ähnliche Gliederungen der Reflexerscheinungen bewirken, wie Unterbrechungen derselben.

Es mag schliesslich, der Vollständigkeit halber, noch der Erscheinung der sogenannten innern Reflexe Erwähnung geschehen, welche durch totale Reflexion des eintretenden Lichtes im Innern eines durchsichtigen Krystalls entstehen und die nach Analogie des prismatisch abgelenkten Lichtes in der Gestalt von Refractions-Spectren, und zwar bei doppelt brechenden Körpern immer paarweise in gewissen Richtungen zum Austritt gelangen.

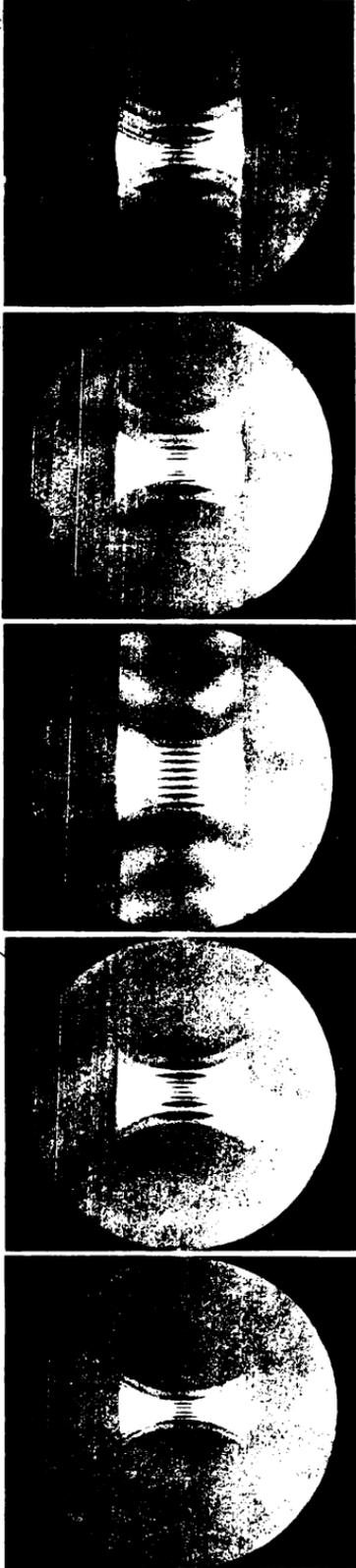
Der singuläre, sich verlangsamende und dann rückläufig werdende Gang characterisirt sie hinreichend, um einer Verwechslung mit Reflexerscheinungen vorzubeugen. Ihre häufig erhebliche Lichtstärke stört, wenn sie mit Reflexerscheinungen zusammenfallen, die Beobachtung der letzteren; ihre Coincidenz mit diesen kann meist durch Veränderung des Incidenzwinkels beseitigt werden.

**Buchdruckerei der Königl. Akademie der Wissenschaften (G. Vogt),
Berlin, Universitätsstr. 8.**



1. 10 mm 2. 10 mm 3. 10 mm 4. 10 mm 5. 10 mm

2. 16.375



1. 10 mm 2. 10 mm 3. 10 mm 4. 10 mm 5. 10 mm

1. 10 mm 2. 10 mm 3. 10 mm 4. 10 mm 5. 10 mm

