XXIII. Krystallisation des Quercit und des Calcit.

Von

E. von Fedorow in Petrowskoje-Rasumowskoje bei Moskau.

(Mit 4 Textfiguren.)

In der Arbeit »Allgemeinste Krystallisationsgesetze und die darauf fußende eindeutige Aufstellung der Krystalle«¹⁾ wurden die Gesetze erkannt, welche uns in die Lage setzen, jedem gegebenen Krystalle ohne jede Spur einer Willkür resp. Subjectivität ganz eindeutige Aufstellung zu geben, so daß, diesen Principien folgend, alle Forscher jedes beliebige Flächenpaar des Krystalles mit genau denselben Indices bezeichnen würden. Die Entwicklung dieser Principien ist umständlich genug in dieser Arbeit dargetan, und ich brauche jetzt nur auf dieselbe Bezug zu nehmen, um die weitere Darstellung verständlich zu machen.

Nun bin ich mit der Verarbeitung sämtlichen krystallographischen Materials der drei letzten Jahrzehnte diesen Principien gemäß zum Abschluß gekommen, und sämtliche Krystalle (wahrscheinlich beinahe 5000²⁾) haben in strenger Ordnung in den graphischen Diagrammen ihren richtigen Platz gefunden.

Dabei habe ich drei verschiedene Diagramme verfaßt: dasjenige der Krystalle des hypohexagonalen Typus, dasjenige des hexagonaloiden (trigonaloiden) und dasjenige der tetragonaloiden Krystalle des kubischen Typus. Nur für sehr wenige Krystalle konnte ich keinen Platz finden wegen offener Unvollständigkeit ihrer Kenntnis und zu großen Fehlern in der Berechnung und Beschreibung.

Jetzt lag mir ob, auf praktischem Wege zu prüfen, ob (im großen und ganzen) jeder Krystall erkannt werden kann. Die Wichtigkeit solcher Erkenntnis liegt auf der Hand, da bei den neuesten Methoden der Krystall-

1) Diese Zeitschr. **38**, 321 ff.

2) Darunter die Krystalle des hypohexagonalen Typus, etwas über eintausend.

messung diese Arbeit in wenigen Stunden zur Ausführung kommt und dabei viel mehr liefert, als die genaueste chemische Analyse, indem für die meisten Substanzen außer der Bauschanalyse noch die specielle Erforschung der chemischen Constitution erforderlich ist, und dies ist nur in Ausnahmefällen zu verwirklichen, bei ungenügendem Material sogar niemals.

Für die Krystallanalyse sind in den meisten Fällen zwei, drei Kryställchen hinreichend, falls dieselben einigermaßen gut ausgebildet sind.

Nun habe ich mich an meine Collegen, die Herren Chemiker, mit der Bitte gewendet, mir aus meiner Liste einige Krystalle zu ihrer Bestimmung zu leihen.

Als eine der ersten Zusendungen wurden mir von seiten des Herrn Demjanow die Krystalle von Quercit gegeben, welche besonders leicht erkannt werden können und erkannt wurden, da dieselben der weniger zahlreich vertretenen Reihe der trigonaloiden Krystalle angehören.

In den mir vorliegenden Tabellen sind nur sehr wenige ihnen nahestehende Krystalle aufgeführt. Unter den allgemein bekannten stehen hier die Krystalle der Calcitgruppe, und wird aus dem Weiteren ersichtlich, von wie großer Bedeutung diese Annäherung sich erwiesen hat.

Man hätte sagen können, daß die Untersuchungen der Quercitkrystalle sehr begünstigt sind, da dieselben von einer Reihe von Forschern beschrieben wurden¹⁾. Desto sonderbarer erscheint es, daß meine Resultate in einigen wesentlichen Punkten von den Resultaten aller Vorläufer abweichen.

Der wesentlichste Punkt dieser Abweichungen ist der, daß ich die Krystalle triklin gefunden habe, obgleich pseudomonoklin²⁾, aber nicht echt monoklin, wie sämtliche vorige Forscher angegeben haben. Im weiteren Sinne kann man dieselben sogar als pseudohexagonale bezeichnen, aber dieses Resultat steht mit den früheren Forschungen nicht in directem Widerspruch, da früher vollständige Willkür in der Aufstellung allgemein anerkannt wurde.

Trotzdem schädigt dieser Umstand nicht im mindesten die Sicherheit der Krystallanalyse, da die letztere allein auf Winkelwerten beruht und

1) In Rammelsbergs Handbuch der krystallogr.-physik. Chemie 1882, Abt. II, S. 448 wird eine Privatmitteilung von Sénarmont erwähnt. Weiter werden die Krystalle von Hrn. W. Lewis in dieser Zeitschr. 2, 490 beschrieben, dann in Compt. rendus 85, 808 die mit den Sénarmontschen übereinstimmenden Resultate seitens des Herrn L. Prunier angegeben. Endlich wurden von Herrn Friedel wieder in Compt. rend. 104, 749 neue Messungen vorgenommen und in dieser Zeitschr. 14, 603 referiert.

2) Es muß bemerkt werden, daß weitaus die meisten triklinen Krystalle sich als pseudomonokline erweisen, wie dies schon in dem 4. Anhang zu meiner erwähnten Arbeit dargelegt wurde.

diese Werthe habe ich ganz nahe übereinstimmend mit denen der Herren Lewis und Prunier gefunden.

Zur Untersuchung habe ich drei Krystalle ausgewählt, und, wie erwähnt, dieselben als hexagonaloid, fast pseudohexagonale gefunden. Demgemäß muß die Aufstellung der früheren Autoren verändert werden, und zwar nach der Transformationsformel

$$q_1 : q_2 : q_3 = p_1 + p_2 + p_3 : p_1 - p_2 + p_3 : -2p_3.$$

Also läßt sich folgende Vergleichungstabelle aufstellen:

Die angegebene Combination ist:

	H			D		
Indices	100	001	110	011	101	
Anzahl der Flächen	1	1	2	2	1	7
Parameter	1	1	2	2	2	
	1	1	1	1	0,5	4,5

Berücksichtigt man noch, daß der Winkel $(100) : (001) = 69^\circ$ und der Winkel $(100) : (110) = 37^\circ$ angegeben worden sind, so erhält man für den Wahrscheinlichkeitswert der Aufstellung

$$W_1 = \frac{4,5}{5,5} \sin(69) \cos^2(16) [= 2 \times (45 - 37)].$$

Für die pseudohexagonale Aufstellung besteht:

H	D		C	
100 (110), 001 (101); 110 (100), 101 (011); 112 (001)				
2	1	1	2	1
1	1	2	2	6
2	1	0,5	1	0,17 4,67

Unter Berücksichtigung der neuen Fundamentalwinkel erhält man:

$$W = \frac{4,67}{5,5} \sin(89) \cos^2(11).$$

Die letzten Winkel werden aus dem Symbol des Complexes entnommen, welches für die neue Aufstellung ist:

$$3; +1 \ 1) \\ 42 \\ -5.$$

Man sieht, wie bedeutend der Wahrscheinlichkeitswert für die neue Aufstellung zugenommen hat.

1) Ich erlaube mir in Erinnerung zu bringen, daß in diesem Symbol 3 bedeutet, daß der Krystall ein trigonaloider ist; +1 bedeutet, daß der Winkel $(111) : (112)$ von dem rechten um 1° abweicht, und -5. (unten) weist auf die Abweichung der Hälfte des Hauptprismenwinkels in bestimmter Richtung um $5\frac{1}{2}^\circ$, also $(112) : (101) = 35\frac{1}{2}^\circ$ (anstatt des ideellen Wertes 30°) hin.

Nun sind dies lauter Zahlen, welche den früheren Autoren entnommen sind. Meine Zahlen, wie erwähnt, stehen denselben ziemlich nahe, aber schon aus dem Umstande, daß meine Krystalle sich als triklin erwiesen, ersieht man klar, daß dieselben doch mit den früheren nicht übereinstimmen.

Aber bevor ich die Resultate meiner Messungen und Berechnungen darlege, muß ich die principielle Frage über die besten geometrischen Constanten erheben, um zu entscheiden, ob meine Daten mit denselben im Einklang stehen.

Ich habe viele Mühe und Sorge getragen, um das einfachste und vollkommenste Rechnungssystem zustande zu bringen.

Früher (1886), als die Universalmethode noch nicht in Gebrauch kam, habe ich das neue System der krystallographischen Berechnungen ausgearbeitet, welches auf die Projectivitätsgesetze der Krystalle basiert wurde und in der Zusammenstellung der für jeden Krystall besonderen Projectivitätsgleichungen seinen Ausdruck fand. Dieses System befolgte ich selbst und meine Schüler bis vor kurzem. Es scheint, daß dasselbe in meinem Vaterlande festen Boden gefaßt hat und ziemlich allgemein verbreitet ist. Wenigstens finde ich dasselbe in elementaren, nicht nur von mir und meinen Schülern, sondern auch von anderen in der Wissenschaft tätigen Collegen¹⁾ verfaßten Lehrbüchern. Im Auslande scheint dasselbe unbekannt geblieben zu sein, trotz ansehnlicher Vereinfachung der Rechnungsoperationen, welche dasselbe mit sich bringt.

Seitdem wir aber mit dem Universalgoniometer arbeiten, scheint diese Vereinfachung schon nicht mehr hinreichend. Die Grundarbeit der Krystallmessung verläuft jetzt so kurz im Vergleiche mit den Rechnungsoperationen, daß der Löwenanteil der Mühe gegenwärtig auf diese fällt.

Außer der Vereinfachung der graphischen Methoden, sogar solcher, bei welchen direct auf gewöhnlichem Papier die Genauigkeit von fast 2.—3 Minuten erreicht wird (höchstens 5 Minuten)²⁾, habe ich endlich auch ein Rechnungssystem ausgearbeitet, bei welchem sogar für einen triklinen Krystall mit complicierten Combinationen sehr wenige Stunden erforderlich sind. Jede Form erhält ihre sphärischen Coordinaten mit beliebiger Genauigkeit (welche natürlich von der Meßoperation und speciell von den Eigenschaften des untersuchten Krystalles abhängig ist).

Für ein solches vollkommenes System der Krystallberechnungen kommt aber nicht allein Einfachheit und minimaler Zeitaufwand in Betracht, sondern noch ein sehr wichtiger Umstand: Die angegebenen Constanten

1) z. B. in dem in diesem Jahre erschienenen Lehrbuche von Hrn. G. Wulff.

2) Davon wird in der Arbeit »Die Wichtigkeit der Anwenduug des stereographischen Lineals« berichtet.

und die berechneten Coordinatenwinkel dürfen sich nicht in directem Widerspruch befinden, oder wenigstens muß der letztere mit Hilfe einer einfachsten Operation und minimalen Zeitaufwandes aufgedeckt werden.

Nachdem ich jetzt das gesamte Feld der Krystallbeobachtung und Berechnung übersehen habe, fand ich, daß in einer sehr großen Anzahl der erschienenen Krystallbeschreibungen dies nicht der Fall ist. Ich hätte hunderte von Beispielen anführen können, in welchen die berechneten Werte von den richtigen so weit abweichen, daß dies sogar durch gröbere graphische Operationen zum Vorschein kommt, oder, was noch schlimmer ist, daß sie zwingen, die Indices zu verändern, oder, was am schlimmsten ist, die Ausführung des Diagramms sehr problematisch oder sogar ganz unmöglich machen.

Und solche Selbstwidersprüche sind nicht nur unter Anfängern oder weniger bekannten Gelehrten, sondern sogar unter berühmten und berühmtesten zu treffen. Einzelne Beispiele dieser Art sind in meiner demnächst erscheinenden Arbeit »Extreme Vereinfachung der zonalen Rechnungen...« angegeben. Alle solche Fehler zu sammeln wäre eine kolossale Arbeit, welche für längere Zeit andere, mehr productive Arbeiten unmöglich gemacht hätte.

Jedenfalls erwies sich aus dieser meiner allgemeinen Übersicht, daß sich auf die angegebenen Constanten als auf die genauen Daten zu verlassen eine Illusion wäre. Bei jetziger Lage hätte man sich in den meisten Fällen nur mit Annäherungszahlen zu begnügen.

Ich habe für meine allgemeinen Diagramme solche Zahlen mit einer Genauigkeit von Halbgraden angenommen, aber bin ganz sicher, daß in sehr vielen Fällen sogar diese Annäherung nicht zutreffend ist, und daß in der Wirklichkeit Fälle vorkommen werden, wo die Abweichung vielleicht einen ganzen oder sogar zwei Grade übertrifft.

Glücklicherweise schadet dieser Umstand dem Zwecke der Krystallanalyse nur sehr wenig, da einerseits das Feld für die Complexörter zu kolossal ist, andererseits außer diesen Örtern bei der Ausführung der Bestimmung noch andere Momente mit in Betracht kommen, und drittens die Krystalle mehr oder weniger gleichmäßig verteilt sind (mit besonderer Anhäufung bei den Punkten der isotropen Complexe), so daß fast allein die kubischen und pseudokubischen Krystalle sich für diese Analyse als nicht geeignete erweisen.

Dem vollkommenen System der Krystallberechnungen wird also noch eine zweite Hauptforderung gestellt: die Beseitigung der Selbstwidersprüche in der Angabe der Constanten und der Coordinaten.

Ich hoffe diesen beiden Hauptforderungen Genüge zu leisten in dem vorgeschlagenen System, dessen systematische Darlegung in der Arbeit

»Extreme Vereinfachung der zonalen Berechnungen und der krystallographischen Berechnungen überhaupt« enthalten ist, welche ich der k. Mineralogischen Gesellschaft zu St. Petersburg vorgelegt habe. Hier werden auch die fehlerhaften Berechnungen angeführt, welche von den berühmtesten Gelehrten und dabei bei wiederholten Untersuchungen und Berechnungen einer und derselben Substanz ausgeführt wurden.

Für die Anwendung des neuen Systems ist aber der Gebrauch der richtigen Symbole unentbehrlich, da sonst dasselbe nicht so außerordentlich einfach erscheint, und da es auf den in neuester Zeit festgestellten Gesetzen beruht — den Gesetzen der Complication und der Annäherung an bestimmte ideelle Typen der Krystalle.

Dasselbe besteht wesentlich darin, daß man sphärische bipolare Coordinaten anwendet. Die beiden Pole (manchmal ist es ratsam, auch den dritten beizufügen; dies ist nämlich für die hexagonaloiden Krystalle der Fall) sind unter den wichtigsten Complexflächen auszuwählen und zwar solchen, welche der besonderen Zone angehören (und diese besondere Zone wird, wie gebräuchlich, in verticaler Lage dargestellt). Berücksichtigt man alle mögliche Zonen, in welchen diese beiden ausgewählten Flächen als für die Zonen gemeinsame auftreten, so erhält man eine Reihe Zonenwinkel, und

jedem solchen Winkel werden alle Flächen zugeordnet, welche der betreffenden Zone angehören.

Fig. 4.

Nehmen wir, im allgemeinsten Falle der triklinen Syngonie, für diese Pole die Flächen (100) und (010) (Fig. 4), so erhalten wir zwei Zonenreihen: 1) AA' , AB , AC . . . 2) $A'A$, $A'B'$, $A'C'$. . . Als Fundamentalwinkel werden folgende fünf Winkel angenommen: 1) AA' , 2) $A'AB = \alpha_1$, 3) $A'AC = \alpha_2$, 4) $AA'B' = \alpha'_1$, 5) $AA'C' = \alpha'_2$. Sind solche Winkel bekannt, so ist es leicht, die übrigen Coordinatenwinkel nach der einfachsten Zonalformel

$$2 \cotg \alpha_i = \cotg \alpha_k + \cotg \alpha_l$$

zu berechnen, und für diese Berechnung braucht man sogar keine Logarithmentabellen, sondern nur die Tabelle der natürlichen trigonometrischen Größen.

Diese Formel drückt aber, wie bekannt, die harmonischen Eigenschaften des Krystallcomplexes (im strengen Sinne dieses Wortes, wie dasselbe von den Mathematikern definiert wird) aus. Jede solche Berechnung läßt sich in wenigen Minuten ausführen mit solcher Leichtigkeit, daß psychische Fehler höchst unwahrscheinlich erscheinen. Mit eben solcher Leichtigkeit lassen sich natürlich die früher gegebenen Zahlen verificieren, wenn die fundamentalen Winkel vorhanden sind.

Allein für die besondere Zone AA' wird eine specielle Berechnung erforderlich, und die bezüglichen Formeln sind in der erwähnten Arbeit auf-

geführt. Aber sogar für diese Zone braucht man nur einen einzigen Winkel zu berechnen, da einer derselben, und zwar AA' , schon bekannt ist; sind zwei Winkel bekannt, so lassen die übrigen sich wieder nach derselben einfachsten Formel berechnen.

Benutzt man das Universalgoniometer mit mehr als zwei Drehaxen, so sind überhaupt keine Berechnungen nötig, da die Fundamentalwinkel, ebenso wie die übrigen, direct an dem Instrumente abgelesen werden.

Am Goniometer mit zwei Drehaxen ist es nötig, zwei Krystallmessungen auszuführen, indem man einmal nach Fläche A und zweitens nach Fläche A' justiert (d. h. dieselbe zur mobilen Axe M senkrecht stellt).

Die alten einaxigen Goniometer sind ganz ungeeignet und erfordern mühsame vorläufige Berechnungen, welche sonst ganz zwecklos gewesen waren.

Dieses System ist am besten auch den graphischen Rechnungen und Constructionen angepaßt, wenn man das stereographische Lineal zu Hilfe nimmt und außer der gnomostereographischen noch die gnomonische Projection zur Anwendung bringt. Unter diesen Verhältnissen kann eine Genauigkeit von 2—3 Minuten erzielt werden.

Nun verweise ich auf die Fig. 2, welche mit diesem System zugleich die gnomostereographische und die gnomonische Projection der von mir

Fig. 2.

beobachteten Krystalle des Quercits darstellt. Die Fundamentalwinkel, ebenso wie die übrigen, welche für die Bestimmung der Flächen nötig sind, sind in dem Diagramm selbst ausgeführt. In dieser Hinsicht braucht man also keine weiteren Auseinandersetzungen. Nur muß ich einige Worte der Krystallbeschaffenheit widmen.

Für die Untersuchung habe ich drei Krystalle ausgewählt, von welchen besonders zwei wunderschön ausgebildet waren. Trotzdem sind die Beobachtungen nicht von besonderer Genauigkeit, da die meisten Flächen (besonders $(0\bar{1}1)$, $(\bar{1}04)$, auch (100) und (010)) anstatt einheitlichen Reflex eine Ellipse geben, deren Axe um mehr als einen ganzen Grad ausgedehnt ist; hier beobachtet man genau dasselbe, wie am Danburit und sehr vielen anderen Krystallen. Die richtige Lage der Fläche liegt annäherungsweise im Centrum dieser Ellipse. Natürlich kann solche Bestimmung nicht auf sehr große Genauigkeit Anspruch machen, so daß ich mich veranlaßt sah, im Mittel mich mit einer Genauigkeit von 5 Minuten zu begnügen, und diese mittleren Zahlen sind direct aus dem Diagramm abzunehmen. Dabei erwies sich, daß der Winkel $(1\bar{1}0) : (\bar{1}\bar{1}2)$ nicht $90^\circ 0'$ sondern sehr nahe der Größe $89^\circ 0'$ steht, welche Größe als die Mittelzahl aus den beiden besten Bestimmungen herausgenommen wurde.

Daraus folgt aber, daß der Krystall nicht monoklin sein kann, sondern triklin ist, wie dies weiter durch Beobachtungen anderer Art bestätigt wurde.

Die Krystalle weisen folgende Formenentwicklung auf:

	<i>H</i>	<i>D</i>	<i>C</i>
1) (groß und schön ausgebildet):	100, 010, 001;	$1\bar{1}0$, $0\bar{1}1$, $\bar{1}01$;	$\bar{1}\bar{1}2$
2) (groß und schlechter ausgebildet):	100, 010, 001;	$1\bar{1}0$, $0\bar{1}1$, $\bar{1}01$	
3) (kleiner und schön ausgebildet) ausgezeichnet durchsichtig:	100, 010, 001;	$0\bar{1}1$, $\bar{1}01$;	$\bar{1}\bar{1}2$ 1)

Der Habitus der Krystalle ist entschieden ein gleichmäßig körniger mit besonders kleiner Entwicklung der verticalen Zone (also dominieren die Flächen *H*).

Ausgezeichnete Spaltbarkeit nach (001) wurde schon früher constatirt. Ich fand aber noch eine sehr gute Spaltbarkeit, konnte aber nicht unterscheiden, ob dieselbe (100) oder (010) angehört. Allerdings betont diese Beobachtung die triklone Syngonie.

Für die optische Untersuchung benutzte ich eine mikroskopische Spaltungslamelle nach (001) .

Es erwies sich, daß die Doppelbrechung schwach ist; der Krystall ist optisch positiv mit dem Axenwinkel $+36^\circ$. Eine Axe, wir wollen dieselbe durch A_1 bezeichnen, zeichnet sich durch sehr starke Dispersion, die andere A_2 durch mittlere bis schwache aus. Jedenfalls ist der Unterschied zwischen beiden sehr groß. Die letztere steht ungefähr normal zur Spaltfläche (Abweichung ca. 3°) und bildet mit der anderen sehr guten Spaltfläche (welche unter dem Mikroskop mit großen klaffenden Ebenen aus-

1) Außerdem wurde an einem Krystalle, nur auf Schimmer einstellbar, eine sehr kleine Fläche bemerkt, welche, der Lage nach, sehr nahe der Form $(\bar{2}11)$ kommt. Die Abweichung etwa um $2\frac{1}{2}^\circ$ kann man aber als in der Fehlergrenze betrachten.

gebildet ist und sehr scharf aufgestellt werden kann) ca. $62\frac{1}{2}^{\circ}$ (ich meine natürlich Normalenwinkel).

Dank der ausgezeichneten Durchsichtigkeit des kleinen Krystalles (etwa 4 mm Durchmesser) konnte ich auch andere Beobachtungen anstellen. Legt man den Krystall auf die Fläche (001) (Fig. 3), so sieht man keine optische Auslöschung, was sonst zu erwarten war (diese Operation war

Fig. 3.

Fig. 4.

infolge relativer Kleinheit dieser Fläche im Vergleich mit (100) und (010) mit großer Schwierigkeit verbunden). Unter Anwendung der Bertrand'schen Linse sieht man Dispersion, welche in der Fig. 4 besonders aufgezeichnet ist.

Aus dieser Figur ist ersichtlich, daß der Krystall entschieden triklin ist, da ein Dispersionswinkel vorhanden ist. Natürlich konnte ich bei der Anwendung so kleiner Flächen diesen Winkel nicht ausmessen. Jedenfalls ist das vollständige Dispersionssymbol, wie dasselbe in der Arbeit »Dispersionsarten und ihre Bestimmung« erklärt wurde, das folgende:

$$+ \alpha 36^{\circ} \beta,$$

wo β ein sehr kleiner, der Null nahe stehender, und α ein sehr großer, der Größe π sehr nahe stehender Winkel ist. Gerade bei dieser Beobachtung konnte mit großer Schärfe der 3° nahe stehende Winkel zwischen der Axe A_2 und der Normale zur Fläche (001) bestimmt werden (die Weite der Lemniscaten bei der Dicke von etwa 4 mm weist mit großer Deutlichkeit auf schwache Doppelbrechung hin).

Legt man den Krystall auf andere Flächen, so beobachtet man mit ausgezeichneter Schärfe die Auslöschung. Am wichtigsten war dies in bezug auf die Fläche ($\bar{1}\bar{1}2$) auszuführen. Man beobachtet den genau 3° messenden Auslöschungswinkel in der Richtung, welche an der Fig. 3 durch den Pfeil angezeigt ist. Dies spricht entschieden nochmals für die triklone Syngonie des Krystalles.

Um aber den Schluß noch mehr zu verstärken, habe ich auf derselben Fläche unter dem Mikroskop die Ätzfiguren hervorgerufen.

Dies geschah durch leichtes und mehrfaches Berühren der Fläche mit etwas befeuchtetem Filtrierpapier. Es war sehr interessant, so zu sagen die vollständige Entwicklungsgeschichte der Ätzfiguren zu beobachten.

Zuerst erschienen sehr kleine, der Kante $\begin{vmatrix} \overline{11}2 \\ 0\overline{1}1 \end{vmatrix}$ streng parallele und sehr feine gerade Striche; bei weiterem Befeuchten ersah man, daß das untere Ende der Striche dicker wurde unter gleichzeitiger Verlängerung derselben, wie es scheint, in der Richtung nach unten. Noch weiter erschienen sehr spitze Dreiecke mit unten schief gestellter gerader Abgrenzung. Zuletzt erschienen formell und sehr gut ausgebildete pyramidale Ätzgrübchen, wobei eine Kante stets parallel der Kante $\begin{vmatrix} \overline{11}2 \\ 0\overline{1}1 \end{vmatrix}$ verblieb, während das untere Ende durch eine sehr steile Ebene abgegrenzt wurde. Alles dies ist von mir schematisch in der Fig. 3 reproduziert.

Es muß bemerkt werden, daß die Ätzgrübchen so dargestellt sind, wie sie im Mikroskope erscheinen, also in umgekehrter Lage.

Ausgezeichnete Ätzhügel bildeten sich auf der nächsten Fläche ($\overline{1}01$). Zwei Typen solcher sind in der Figur gezeichnet.

Im Gegensatz dazu entstanden auf der anderen nächsten Fläche ($0\overline{1}1$) derselben Zone einfache lineare Ätzgrübchen, welche sehr schief zur Zonenkante orientiert waren. Alle sind in umgekehrter Lage dargestellt, d. h. so, wie sie bei horizontaler Lage der bezüglichen Flächen im Mikroskope gesehen werden (in der Tat habe ich nur an dem Universaltschischen gedreht, bis diese Horizontalität zu Stande kam).

Somit sieht man wieder, daß der Krystall keinesfalls monoklin, sondern entschieden triklin ist. Aber in jeder Hinsicht ist derselbe als pseudomonoklin zu bezeichnen.

Nun kehren wir wieder zu den geometrischen Eigenschaften des Krystalles zurück.

Nach den jetzt angegebenen Resultaten der Krystallmessung ist leicht das Symbol des Complexes als

$$\begin{array}{c} 3; + 4. 4 \\ 42 ; ? \\ -5. \end{array}$$

herzustellen. Da ich aber in dem allgemeinen Diagramm der Krystalle in erster Linie nur zwei Zahlen $\begin{array}{c} 42 \\ -5. \end{array}$ in Rücksicht ziehe, so findet man leicht, daß meine Beobachtungen nicht im mindesten die Lage dieses Krystalles zwischen den anderen umgestellt haben. Wie schon erwähnt, steht derselbe

unter den allgemein bekannten dem Calcit sehr nahe, da für den letzteren das Symbol $\frac{3}{44}$ besteht.

Beide, obgleich hexagonalöide, gehören dem kubischen Typus an, d. h. beide sind trigonalöide. Jeder Krystall dieses Typus muß aber eine der drei Hauptstructuren besitzen: die hexaëdrische, die oktaëdrische oder endlich die dodekaëdrische.

Nun habe ich bemerkt, daß unter den trigonalöiden Krystallen besonders prävalierend die oktaëdrische Structur vertreten ist. Als ausgezeichnete Beispiele habe ich neuerdings ¹⁾ auf das des Titanits, des Neptunit und schon lange vorher auf die Feldspäte hingewiesen.

Bis vor kurzem habe ich die Krystallisation des Calcit keiner eingehenden Kritik unterworfen, da die Analogie seiner ausgezeichneten Spaltbarkeit nach {100} mit derjenigen des Steinsalzes stets auch die Idee inspirierte, daß auch in structureller Hinsicht vollständige Analogie herrscht, wie dies schon Bergmann im 18. Jahrhundert hervorhob.

Aber einige Züge des Calcitantlitzes erregten mehrere Male meinen Zweifel, ob dies wirklich der Fall ist. Die Sache schien aber sehr schwer zu entscheiden, da von dem Calcit eine kolossale Anzahl von Formen beschrieben wurde, und zugleich stets undeutlicher wurde, welche Formen eigentlich die wichtigsten Structurformen sind.

Aber schon in dem »Cursus der Krystallographie« wurde hervorgehoben, daß für die wichtigsten Structurformen stets solche anzunehmen sind, welche nicht nur in fast allen Individuen einer Species, sondern auch in allen isomorphen Species vorkommen.

In dieser Hinsicht steht die Bestimmung des Calcit in günstiger Lage, da eine Reihe ihm isomorpher Krystalle gut bekannt ist. Die Gründe für die Structurbestimmung sind aber eingehend in dem III. Teil der Theorie der Krystallstructur aufgeführt, auf welchen ich jetzt mir zu verweisen erlaube.

Wählen wir diejenigen Formen heraus, welche wenigstens in vier isomorphen Gliedern der Calcitgruppe durch Beobachtung constatirt wurden, so erhalten wir die auf S. 466 folgende Tabelle, welche schon in dem erwähnten »Cursus« gegeben wurde.

1) In einer speciellen Arbeit über Lansfordit, Disthen, Neptunit und Titanit, welche ebenfalls der k. mineralog. Gesellschaft zu St. Petersburg eingereicht wurde. Diese Arbeit soll zugleich die Anwendung des neuen Systems der Krystallberechnung demonstrieren.

	q	p		C	D	M	Si	R	$Sm^1)$	q'		Flächenanzahl:
H	100	1121	O	$p\cdot$	$p\cdot$	$p\cdot$	$p\cdot$	$p\cdot$	$p\cdot$	011	D	3
D	110	0011	H	a	a	a	a	a	a	110	D	3
—	011	2121	C	$\delta\cdot$	δ	—	$\delta\cdot$	$\delta\cdot$	$\delta\cdot$	211	C	3
O	111	1000	H	o	o	o	o	o	o	111	O	4
—	111	1212	B	$\varphi\cdot$	$\varphi\cdot$	$\varphi\cdot$	$\varphi\cdot$	$\varphi\cdot$	$\varphi\cdot$	100	H	3
A	210	1154	Aay	$K:$	$K:$	$K:$	$K:$	$K:$	$K:$	121	C	6
C	211	0121	D	b	b	b	b	—	—	211	C	3

Das sind also Formen, welchen die wichtigste Rolle in der Krystall-structur zukommt. Diese Tabelle diene mir zum Beweise, daß der Calcit nicht dem hypohexagonalen, sondern dem kubischen Typus zugehört. Jetzt glaube ich dieselbe verwerten zu können zum Beweise, daß demselben nicht die hexaëdrische, sondern die oktaëdrische Hauptstructurart zukommt.

Zu diesem Zwecke habe ich die Transformation der Indices nach der Formel $q_1': q_2': q_3' = q_2 + q_3 : q_1 + q_3 : q_1 + q_2$ ²⁾ ausgeführt und die neuen Indices hinzugefügt.

Nun wollen wir alle drei mögliche Annahmen über die Hauptstructur-art der Prüfung unterziehen.

Unter der Annahme der hexaëdrischen Structur läßt sich die Ta-belle zusammenfassen:

Flächenzahl	3	3	3	4	3	6	3	22
Indices	100	110	011	111	111	210	211	
Parameter	1	2	2	3	3	5	6	
Aufstellungswert	3	4,5	4,5	0,33	4	4,2	0,5	also $\frac{9,03}{9,42}$;

für die oktaëdrische Structurart in neuer Aufstellung:

Indices	011	110	211	111	100	121	211	
Structurparameter	0,5	0,5	4,5	3	4	4,5	4,5	
Aufstellungswert	6	6	2	0,33	3	4	2	also $\frac{23,33}{23,33} = 1$.

Die dritte Annahme erscheint schon überflüssig, da für die oktaëdrische Structurart die Wahrscheinlichkeit gleich 1 erhalten wurde, also vollständige Sicherheit besteht, welche durch keine andere Aufstellung darstellbar werden kann.

Somit kann man sagen, daß die oktaëdrische Structur für den Calcit mit voller Sicherheit (insofern die angenommene Combination wirklich diejenige der wichtigsten Structurflächen ist) bewiesen ist.

1) C = Calcit, D = Dolomit, M = Magnesit, Si = Siderit, R = Rhodochrosit, Sm = Smithsonit.

2) Der Anschaulichkeit wegen ziehe ich für mich selbst vor, diesen Gleichungen die Form einer Determinante, also $\begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{vmatrix}$, zu geben.

Daraus entstehen aber eine Reihe von Folgerungen, welche unsere Vorstellungen über die Krystallisation des Calcits wesentlich ändern:

1. Die alten Indices, sogar diejenigen des kubischen Typus, müssen nach der angegebenen Formel verändert werden. Die Indices {100} erhält das erste spitzere Rhomboëder, welches früher durch {111} (resp. 1242) bezeichnet wurde.

2. Auch ändert sich wesentlich das Symbol des Complexes. Jetzt ist dasselbe $\frac{3}{63}$ (anstatt $\frac{3}{44}$).

3. Demgemäß reiht sich jetzt das Mineral nicht den geometrisch negativen, sondern den geometrisch positiven Gliedern an.

4. Als die allerwichtigsten Strukturformen sind jetzt {110} und {110} anzunehmen, was einfacher durch ein einziges Symbol }110{¹⁾ darstellbar ist, welches einfach als Dodekaëd bezeichnet werden kann.

5. Den Formen }100{ und }211{ kommt sehr ähnliche structurelle Bedeutung zu, da die respectiven structurellen Parameter jetzt 4 und 1,5 sind.

6. Auf Grund des zweiten Complicationsgesetzes, nach welchem in einem positiven Krystalle vorzugsweise die negativen Formen sich entwickeln, wäre zu erwarten, daß besonders oft die Form {111} zur Entwicklung käme. Dies ist aber nicht der Fall, da derselben der viel höhere Parameter 3 zukommt. Aus demselben Grunde ist verständlich, daß die Form {110} wesentlich schwächer vertreten ist, als die Form {110}, welche zweifellos als die dominierende Form I. Ranges auftritt und gerade die ausgezeichnete Spaltbarkeit aufweist.

Überhaupt ist sehr leicht die relative reticuläre Dichtigkeit für die wichtigsten Structurflächen zu berechnen.

Bezeichnen wir den Normalenwinkel einer Form mit der Hauptaxe durch ϱ und den zugeordneten Winkel für dieselbe Form (d. h. welche dieselben Indices besitzt) im isotropen Complex durch r , den Parameter durch R , so erhalten wir als Ausdruck des Quadrates der relativen reticulären Dichtigkeit:

$$D^2 = \frac{1}{R^2} \cdot \frac{\cos^2(\varrho)}{\cos^2(r)}.$$

Dieser Ausdruck wird unbestimmt für die Flächen der besonderen (verticalen) Zone, da für dieselben $\varrho = \frac{\pi}{2}$ und $r = \frac{\pi}{2}$. Für diesen Fall ist als zweiter Factor das inverse Quadrat des Dilatationscoëfficienten d zu

1) Ein solches Symbol habe ich in meinen letzten Arbeiten vorgeschlagen, und zur Anwendung gebracht. In demselben werden alle Formen vereinigt, deren Indices sich nur durch Permutationen und Vorzeichen unterscheiden.

nehmen, und dieses ist die constante Größe $\frac{\tan(\varrho)}{\tan(r)}$ für alle zugeordneten Werte von ϱ und r (und zwar = 0,524).

Nun haben wir für die wichtigsten Flächen des Calcits:

Indices	110	1 $\bar{1}$ 0	211	111	100	$\bar{1}$ 21	$\bar{2}$ 11
Parameter	0,5	0,5	1,5	3	1	1,5	1,5
ϱ	44. ^o	90 ^o	26. ^o	0 ^o	63 ^o	69 ^o	90 ^o
r	35 ^o	90 ^o	19 ^o	0 ^o	55 ^o	62 ^o	90 ^o

$$\text{Also } D^2 = 1,000 \ 0,806 \ 0,465 \ 0,325 \ 0,611 \ 0,301 \ 0,269$$

wenn man alle Zahlen überhaupt durch die erste dividirt, um für {110} die Einheit zu erhalten. Die Anordnung der Formenwichtigkeit im Complexe, wie dieselbe von der Theorie der Krystallstructur vorausgesehen wird, ist also: 1) {110}, 2) {1 $\bar{1}$ 0}, 3) {100}, 4) {211}, 5) {111}, 6) {1 $\bar{2}$ 1} und 7) {211}. Natürlich ist besonders für {110} die ausgezeichnete Spaltung zu erwarten, was übrigens allgemein bekannte Tatsache ist.

Ich glaube, daß in allen diesen Folgerungen ganz genügende Übereinstimmung mit den gut bekannten Tatsachen besteht, und somit ist auch die neue Aufstellung allseitig bestätigt.

Was speciell den Quercit betrifft, so steht derselbe dem Calcit so nahe, daß die Folgerungen auch auf denselben übertragen werden müssen. Die Annäherung läßt sich constatieren: 1) in Winkelgrößen, 2) im Antlitz und der Formenentwicklung, endlich 3) in so speciellen Eigenschaften wie die Spaltbarkeit. Der große Unterschied in den optischen Eigenschaften kann schwerlich in Betracht gezogen werden, da bis jetzt keine genügende Kenntnis über den Zusammenhang der complexialen und der optischen Eigenschaften vorhanden ist.

Nun wollen wir auch diese Substanz der Prüfung über die Zugehörigkeit zur oktaëdrischen Hauptstructurart unterziehen. Unter Annahme der hexaëdrischen Structur haben wir für den Aufstellungswert die Zahl $\frac{4,5}{5,5}$ erhalten, dabei aber das Vorhandensein der Fläche (1 $\bar{1}$ 0) vernachlässigt, da dieselbe jetzt als eine neue auftritt.

Um ganz umständlich zu verfahren, wollen wir bei dieser Rechnung auch die Zahl der zur Beobachtung gelangten Formen, jede einzeln genommen, mit in Rücksicht nehmen.

Da erhalten wir folgende Tabelle:

Unter Annahme der hexaëdrischen Structur

die Formen	100	010	001	1 $\bar{1}$ 0	0 $\bar{1}$ 1	101	1 $\bar{1}$ 2	Summe:	Formen- zahl:	Ideeller Aufst.-Wert:
I. Krystall	1	1	1	0,5	0,5	0,5	0,17	4,67	7	5,0
II. Krystall	1	1	1	0,5	0,5	0,5	—	4,5	6	4,5
III. Krystall	1	1	1	—	0,5	0,5	0,17	4,17	6	4,5
								13,34		14,0

Unter Annahme der oktaëdrischen Structur

die Formen	011	101	011	$\bar{1}10$	$01\bar{1}$	$10\bar{1}$	$11\bar{2}$			
I. Krystall	2	2	2	2	2	2	0,66	12,66	7	13,0
II. Krystall	2	2	2	2	2	2	—	12,0	6	12,0
III. Krystall	2	2	2	—	2	2	0,66	11,66	6	12,0
								36,32		37,0

Für die beiden Aufstellungen haben wir einen so geringen Unterschied in dem Aufstellungswerte erhalten wie $\frac{13,34}{14,0}$ und $\frac{36,32}{37,0}$, allerdings zugunsten der zweiten Aufstellung.

Natürlich bleibt man bei solcher Lage in Zweifel, da der Unterschied zu gering ist, um daraus den endgültigen Schluß zu ziehen.

In solchen Fällen bleibt den physikalischen Eigenschaften die entscheidende Antwort zu überlassen, und nun haben wir gesehen, daß in dieser Hinsicht Quercit keineswegs als ein negativer Krystall anzusehen ist, und daß überhaupt derselbe ungewöhnlich nahe dem Calcit steht. Die letzte Aufstellung ist in dem Diagramm Fig. 2 durch das große Dreieck der gnomonischen Projection und durch die Symbole (100), (010), (001) in Klammern angedeutet.

Demgemäß ersetzte ich das für ihn gegebene Symbol des Complexes durch:

$$\begin{array}{c} 3; -4 \quad 1 \\ 61 \quad ; \quad ? \\ -5 \end{array}$$

Was aber die chemische Krystallanalyse anbetrifft, so ist in solchen Fällen nach zwei Methoden zu verfahren: entweder 1) auf dem allgemeinen Diagramm die beiden Complexialsymbole zu berücksichtigen, oder 2) was mir einfacher scheint, die beiden Symbole aufzustellen und für beide auf dem allgemeinen Diagramm ihren richtigen Platz aufzusuchen.