

ÜBER GEWUNDENE BERGKRYSALLE

G. TSCHERMAK,
W. M. K. AKAD.

(Mit 5 Tafeln.)

VORGELEGT IN DER SITZUNG VOM 12. JULI 1894.

Eine sonderbare gekrümmte Form, anscheinend ganz abnorm und doch von gesetzmässiger Bildung erscheint an jenen gewundenen Krystallen, welche zum Bergkrystall und Rauchquarz gehören und bisher nur in der Schweiz gefunden wurden. Das Abnorme besteht darin, dass anstatt ebener Krystallflächen solche von doppelter Krümmung auftreten; die Gesetzmässigkeit, welche bei genauer Betrachtung erkannt wird, darin, dass die Krümmung überall gleichartig ist und die Windung der Krystalle in Bezug auf Rechts und Links durch die Grundform der ganzen Bildung bestimmt wird.

Die gewundenen Bergkrystalle sind zum Theil einheitlich gebildet und erscheinen dann plattenförmig durch das Vorherrschen zweier paralleler Flächen des sechsseitigen Prisma, zugleich gestreckt nach der zu jenen Flächen parallelen Nebenaxe und sind mit einem Ende dieser Nebenaxe aufgewachsen. Diese Axe, die hier als Stammaxe bezeichnet wird, behält in der ganzen Bildung ihre Richtung bei. Der Charakter der Windung spricht sich darin aus, dass die Prismakante, mit welcher das freie Ende abschliesst, in Bezug auf die Prismakante des aufgewachsenen Endes um einen Winkel gedreht erscheint, welcher an derselben Bildung mit der Länge der Stammaxe zunimmt. Von solchen Bildungen an finden sich alle Übergänge bis zu jenen, welche deutlich gesonderte Krystalle so aufeinanderfolgend zeigen, dass allen die Stammaxe gemein ist, jeder einzelne Krystall aber von dem vorigen in einer zur Stammaxe senkrechten Ebene im gleichen Sinne abweicht.

S. C. Weiss hat diese Formen vor 58 Jahren beschrieben.¹ Der berühmte Krystallograph erkannte sogleich, dass zwei Arten der Windung zu unterscheiden seien, deren eine am Linksquarz, die andere am Rechtsquarz auftritt. Der Beobachter, welcher in der Richtung der Stammaxe auf das freie Ende blickt, findet hier die Prismakante im Sinne des Uhrzeigers (rechtläufig) gedreht, wenn die Platte ein Rechtsquarz ist, er findet sie im entgegengesetzten Sinne (rückläufig) gedreht, wenn die Platte aus Linksquarz besteht. Um in beiden Fällen den Sinn der Drehung deutlich zu machen, bezog Weiss dieselbe auf die Lage der Flächen des Rhomboëders p und der Trapezoëderflächen, wobei ihm der Umstand zu statten kam, dass die zwei

¹ Abhandlungen der Berliner Akademie f. d. J. 1830, S. 187.

Trapezoëderflächen, welche gegen das freie Ende zu liegen und gegen die grossen Prismaflächen wenig geneigt sind, besonders stark entwickelt erscheinen.

Dass die Windung der Krystalle eine gesetzmässige Wachstumserscheinung sei, war dem ausgezeichneten Beobachter sofort klar, doch gelang es ihm nicht, hier die Beziehung auf bekannte Thatsachen vollständig durchzuführen, und er glaubte eine wirkliche Drehung annehmen zu sollen. Weiss beginnt seine Abhandlung mit den Worten: »Eine mechanische Kraft der Drehung vom Bergkrystall zufolge seiner inneren krystallinischen Beschaffenheit auf bestimmte Weise während seines Fortwachsens ausgeübt, möchte eine der unerwartetsten und ausserordentlichsten Thatsachen sein, welche im Gebiete der Mineralogie vorkommen. Und doch, wenn etwas der Art nicht in der Natur des Bergkrystalles läge, wie möchte wohl die Drehung der Polarisationsebene des nach einer Axe durch ihn durchgehenden polarisirten Lichtes möglich sein? Beiderlei Thatsachen nebeneinander gestellt, lassen darüber, dass eine ursachliche Verknüpfung zwischen ihnen stattfinden müsse, keinen Zweifel.«

Im Verlaufe der Discussion gelangt er zu Tangentialkräften, welche auf die Endkanten des Dihexaëders wirken und bemerkt, »es würde leicht sein, von Strömungen zu sprechen, die in einem oder anderem Sinne vor sich gehen«. Am Schlusse der Abhandlung erläutert er jedoch die Annahme einer Drehung durch den Hinweis auf Zwillingsbildung. »Von der Wahrheit mechanischer drehender Kräfte, welche in der krystallinischen Structur verborgen liegen, leisteten übrigens die so häufigen Erscheinungen der Zwillingskrystallisation hinreichende Bürgschaft. Wenn der eine Krystall schon befestigt ist, so wird er den andern nöthigen, sich in die erforderliche Richtung und dem erforderlichen Grade zu drehen, um in die geforderte Stellung in der Berührung mit dem ersten zu treten.«

Nach den angeführten Sätzen kommen sowohl bei der Bildung der gewundenen Krystalle als auch bei der Entstehung der Zwillinge mechanische Kräfte der Drehung ins Spiel, woraus erkennbar ist, dass nach der Vorstellung, welche Weiss entwickelte, die in den gewundenen Bergkrystallen vorliegende Wachstumserscheinung eine Analogie mit der Zwillingsbildung darbietet.

In einer Notiz aus dem Jahre 1854, welche die Beschreibung eines links gewundenen Exemplares enthält,¹ schloss sich Haidinger den von Weiss geäusserten Ansichten an. Später kam Kenngott gelegentlich der Beschreibung der in der Schweiz vorkommenden Quarze² auf dieselbe Erscheinung zu sprechen. Da dieser Forscher nicht nur jene Formen, welche einheitlich gebildet sind, sondern auch solche, die aus mehreren gesonderten Krystallen bestehen, in Betracht zog, so konnte er die gleichförmige Abweichung der Einzelkrystalle als das wesentliche Moment des Aufbaues dieser Gruppen erkennen. Die Krümmung, sagt Kenngott, hat darin ihren Grund, »dass die einzelnen aufeinander folgenden Individuen nicht mit vollkommenem Parallelismus der Axen und Flächen aufeinander folgen, sondern dass jeder nachfolgende etwas, wenn auch unmerklich abweicht, und die so eingeleitete Verschiebung der Lage sich in gleichem Sinne durch alle fortsetzt, wodurch dann das Endglied mit dem Anfange mehr oder weniger contrastirt.«

»Wodurch die jedesmalige Abweichung in der Lage der sich aneinander reihenden Individuen, welche mit den so oder so gewendeten Trapezoëdern harmonirt, ihren Grund habe, lässt sich nicht angeben, doch scheint bei manchen die Schwere bei schräger Stellung der Krystalle gegen ihre Unterlage nicht ohne Einfluss zu sein.«

Die hier von Kenngott geäusserte Vermuthung über die Ursache der merkwürdigen Formbildung bestätigt sich nicht, denn die Schwere würde in parallelen Richtungen wirken, und diese Art der Wirkung müsste an Stufen mit mehreren gewundenen Krystallen erkennbar sein. Derlei Drusen zeigen aber sowohl

¹ Sitzungsberichte der Wiener Akademie, Bd. XII, S. 545.

² Die Minerale der Schweiz. Leipzig 1866. Als Fundorte gewundener Bergkrystalle gibt Kenngott an: Berg Sella am Gottardt, das Rienthal Göschenen gegenüber; für gewundene Rauchquarze als Hauptfundort: Val Giuf bei Ruäras im Tavetsch, ferner Bristenstock bei Amsteg, Etlzithal ein Zweig des Maderanerthales, Rienthal, Göschenenalp, Fellithal bei Waasen im Reussthal. Die Vermuthung, dass auch ausserhalb der Schweiz derlei Bildungen vorkommen, hat sich bis jetzt nicht bestätigt.

rechts als links gewundene Krystalle in verschiedenen Stellungen regellos nebeneinander und mit gewöhnlichen Bergkrystallen, die sowohl Rechts- als Linksquarze sind, ohne Regel verbunden.

Auch in Abhandlungen anderer Autoren werden die hier genannten Formen des Quarzes erwähnt, so in der Mittheilung Scharff's über den Quarz,¹ in welcher die Flächenbeschaffenheit behandelt wird; in der Publication Bombicci's,² welche die gleichförmige Anordnung der Einzelkrystalle angibt und Abbildungen einiger Fälle liefert.

Jene Vorstellung von Strömungen, welche Weiss nur berührt hatte, wurde von Reusch weiter ausgebildet.³ Als passende Voraussetzung erschien diesem scharfsinnigen Physiker ein Hohlraum im Gebirge, mit heisser, kieselerdehaltiger Flüssigkeit in langsam fortschreitender Bewegung. In der Flüssigkeit erzeugt sich ein Wirbel, welcher in dem Falle der Emporsteigens die eine und im Falle des Herabsinkens die andere Richtung haben würde. Während sich nun an der Wand der Höhlung eine dünne Lamelle von Quarz absetzt, erfährt sie zugleich an dem freien Ende durch die wirbelnde Bewegung der Lösung eine regelmässige Deformation, und bei der Vergrösserung der Lamelle dauert auch die Deformation des neuen Ansatzes in gleicher Weise fort.

Reusch dachte also an eine mechanische Kraft der Drehung, welche von aussen auf den Krystall wirkt und welche die Verbiegung des freien Endes der Lamelle hervorruft.

Eine directe Beziehung zwischen der Windung und der Drehung der Polarisationsebene des Lichtes im Quarz, welche sowohl Weiss als Haidinger vermutheten, besteht nach Reusch nicht, und dieser führt an, dass auch schon Descloizeaux gelinde Zweifel ausgesprochen habe.⁴ Reusch fand den Betrag der Windung für je 1 *cm* Länge der Tafel an demselben Krystall constant, jedoch an verschiedenen Exemplaren verschieden: 2° 30', aber auch 4° bis 6°

Die von Reusch versuchte Erklärung nimmt nicht blos im Allgemeinen eine Deformation an, sondern geht von mehreren besonderen Annahmen aus. Erstens von der Möglichkeit, dass eine starre Krystall-Lamelle durch die wirbelnde Bewegung der Mutterlauge am freien Ende eine regelmässige Verbiegung erleidet, zweitens von der Hypothese, dass schon beim Absatz der ersten Lamelle durch die Richtung des Wirbels der innere (moleculare) Bau dieser Lamelle bestimmt wird, also bestimmt wird, dass die erste Lamelle und alle folgenden Absätze Rechtsquarz oder Linksquarz werden, denn die Richtung der Verbiegung ist ja in diesen eine verschiedene. Die dritte Hypothese besteht darin, dass die Verbiegung nur so stattfinden kann, dass die Richtung der Stammaxe keine Veränderung erfährt. Die vierte Annahme geht davon aus, dass die beiden langen Kanten zwischen *p* und *z* Gerade seien, welche sich von der Stammaxe allmählig entfernen, und führt darauf, dass den langen Prismenflächen eine hyperbolisch-paraboloidische Krümmung zukomme. Jener allmählichen Entfernung der Kanten von der Stammaxe zufolge müsste eine Dehnung des freien Endes der Lamelle in den Richtungen der Hauptaxe eintreten, welche bei jedem neuen Ansatz wiederholt würde. Da die Summe aller dieser Dehnungen einen bedeutenden Betrag ergibt, so gelangt Reusch zu der Vorstellung einer bedeutenden Spannung in dem ganzen Gebilde, welche oft ein Zerspringen desselben veranlassen müsste.

Während nach allen bisherigen Beobachtungen die Bildung schöner und grosser Krystalle nur in ruhiger Lösung stattfindet, sollen die gewundenen Bergkrystalle, welche oft die grösste Vollkommenheit der Ausbildung zeigen, nach Reusch in einer Strömung entstanden und sollen ihre Formen das Resultat einer Deformation sein, und zwar einer solchen, die nicht zu einer Gleichgewichtslage führt, sondern welche eine bedeutende Spannung hinterlässt. Dies alles ist schon sehr unwahrscheinlich, und auch die übrigen Annahmen bezüglich des Charakters der Deformation sind ganz willkürliche.

Durch den Sinn der Strömung soll der Bau der Krystallmolekel bedingt sein, die eine Wirbelströmung soll links gewundene, die entgegengesetzte Strömung soll rechts gewundene Krystalle erzeugen. Wenn man

¹ Abhandlungen der Senckenbergischen naturf. Ges. zu Frankfurt, Bd. 3 (1859).

² L'edificia strutturale ed il quarzo plagiadro in aggrupamenti paraboloidi. Bologna 1872, p. 21 ff.

³ Sitzungsber. der Berliner Akad. 1882, S. 133.

⁴ Manuel de Minéralogie, t. I, p. 18.

aber in Betracht zieht, dass Stufen gefunden werden, an welchen mehrere grosse Exemplare mit gewundener Form, und zwar links gewundene und rechts gewundene, neben einander als gleichzeitige Bildungen in verschiedenen zufälligen Stellungen zu sehen sind und neben diesen auch viele gewöhnliche Bergkrystalle vorkommen, so wird man die von Reusch aufgestellte Wirbelhypothese als eine nicht zutreffende bezeichnen müssen.

Auch die Annahme, dass die bezeichneten Kanten $p:z$ gerade seien, wird durch weiterhin angeführte Beobachtungen beseitigt, und das daraus folgende Resultat einer hyperbolisch-paraboloidischen Krümmung der grossen Flächen wird durch die unzweifelhaft schraubenförmige Anordnung solcher Bildungen, welche eine grössere Länge besitzen, widerlegt.

Der von Reusch unternommene Versuch einer Erklärung der hier behandelten merkwürdigen Formen kann demnach wohl nicht als ein gelungener betrachtet werden. Die Ursache des Misslingens ist hauptsächlich darin gelegen, dass Reusch nur die Exemplare von einheitlichem Aussehen und mit continüirlich gekrümmten Flächen in Betracht nahm, die übrigen aber wegen ihrer »Zusammengesetztheit und Vielköpfigkeit« für die Arbeit ungeeignet fand. Und doch sind es gerade die letzteren Stücke, welche auf die Spur des Wachsthumsgesetzes leiten.

Zu der genaueren Prüfung der gewundenen Bergkrystalle wurde ich durch die Ähnlichkeit veranlasst, welche dieselben mit Formen zeigen, die an manchen Chloritkrystallen vorkommen und durch ihre continüirliche Krümmung auffallen. In meiner Abhandlung über die Chloritgruppe¹ habe ich versucht, das Wachsthumsgesetz dieser Bildungen zu entwickeln. An den gewundenen Bergkrystallen ist die Krümmung nicht nur von gleicher Art, sondern auch von grosser Regelmässigkeit. Daher schien es mir möglich, hier zu einer annehmbaren Erklärung zu gelangen.

Mein hierauf zielender Versuch gründet sich auf Beobachtung an mehr als hundert Exemplaren, welche nur zum kleinsten Theil aus der Sammlung meines Institutes, zum grössten Theile anderen Sammlungen entnommen waren. Am reichsten ist die Züricher Sammlung, die mehr als 100 hieher gehörige Stücke besitzt, von welchen ich bei meiner Anwesenheit in Zürich 63 genauer prüfte. Aus dem Wiener Hofmuseum, der Staatssammlung in München, aus den Sammlungen der deutschen Universität in Prag, der technischen Hochschule und der Realschule des 4. Bezirkes in Wien, aus den Privatsammlungen Sr. Excellenz des Freiherrn A. v. Braun in Wien, des Herrn G. Seligmann in Coblenz erhielt ich eine grössere Anzahl von Exemplaren zur Untersuchung.

Allen Vorständen und Besitzern dieser Sammlungen spreche ich an diesem Orte für die bereitwillige Förderung meiner Arbeit den innigsten Dank aus.

Die Herstellung der Photogramme und Zeichnungen, welche diese Abhandlung begleiten, hat Herr A. Pelikan gütigst übernommen und mich dadurch zu vielem Danke verpflichtet. Die photographische Aufnahme von Bergkrystallen hat damit zu kämpfen, dass sowohl die Reflexe an den glänzenden Flächen und Bruchstellen als auch das Durchsichere der Rückseite des Krystalls die Bilder verunstalten. Daher konnten bloss neun Bilder ohne weitere Vorbereitung erhalten werden. Es sind die mit Fig. 2 a, 2 b, 3, 4, 6, 9 a, 11 a 11 b bezeichneten. Die Aufnahme der übrigen erfolgte, nachdem die Flächen der Krystalle mit einer Aquarellfarbe (Sepiabraun) überzogen waren. Da hier das feinste Oberflächendetail nicht in Betracht kommt, so genügen die Bilder vollkommen den gestellten Anforderungen.

Offene Bildungen.

Um von dem Einfachen zu dem Zusammengesetzten vorzuschreiten, scheint es mir zweckmässig, von jenen Formen auszugehen, welche die Anordnung der Theile in leicht erkennbarer Weise im Groben zeigen. Hierher gehören solche Gruppierungen von Bergkrystall und Rauchquarz, an welchen deutlich einzelne Krystalle unterschieden werden können, deren jeder von dem folgenden deutlich absetzt, welche aber nach

¹ Sitzungsber. der Wiener Akad. Bd. IC, Abth. I, S. 174.

demselben Gesetze miteinander verbunden sind, wie die einzelnen Theile der später zu besprechenden geschlossenen Bildungen, in denen die Krystalle mehr zusammenfliessend erscheinen. Von den Exemplaren mit absätziger Bildung mögen wenige Beispiele angeführt werden.

(1) Eine grosse in älterer Zeit gesammelte Stufe von klarem Bergkrystall aus der Schweiz, welche im Hofmuseum aufbewahrt wird, ist ein Bruchstück von einer ursprünglich noch grösseren Gruppe. Bei der gewählten Aufstellung Fig. 1 auf Taf. I liegen die Bruchflächen, von welchen die Stufe begrenzt wird, unterhalb und rückwärts. Das Exemplar besteht aus drei grossen divergirenden Krystallen und dem Reste eines vierten, welcher an der Rückseite bemerkbar wird. Jeder einzelne der drei grossen Krystalle ist bis 14 *cm* lang und im kürzeren Durchmesser 4·2 bis 3 *cm* dick, indem die Krystalle gegen das freie Ende zu sich vorjüngen. Nach unten zu stossen alle vier mit den Resten von vier durcheinander liegenden Bergkrystallen zusammen, welche nicht zu der regelmässigen Bildung gehören. Die genannten vier Krystalle sind so miteinander verwachsen, dass sie in einer Richtung, welche einer Nebenaxe, die einer Kante $a : p$ parallel ist, ineinander geschoben erscheinen, im übrigen aber von einander absetzen, so dass sie scharf unterschieden werden und ihre dirhombödrischen Spitzen völlig voneinander getrennt sind. Sie folgen so aufeinander dass sie blos eine Linie gemeinschaftlich haben, welche die Richtung angibt, in der sie ineinander geschoben erscheinen und welche einer der horizontalen Nebenaxen jedes einzelnen Krystalls entspricht. Es ist die Stammaxe. Im übrigen divergiren die Krystalle, indem jeder folgende von dem vorigen im selben Sinne abweicht. Kleine Trapezoëderflächen, welche an den Krystallen wahrnehmbar sind, zeigen, dass alle vier Linkskrystalle sind. Dem entspricht der Sinn der Abweichung, indem der vorderste, der Gipfelkrystall, nach links, also dem Sinne des Uhrzeigers entgegengesetzt gedreht erscheint, wenn man denselben nach vorn wendet und seine Lage auf die des rückwärtigen Krystalls bezieht. Ebenso erscheinen dann der zweite und der dritte Krystall nach links gedreht. Die Drehungsaxe ist die Stammaxe. Wegen variabler Dicke lässt sich der Betrag der Abweichung nur sehr beiläufig bestimmen. Der erste Krystall weicht von dem zweiten ungefähr $5\frac{1}{2}^\circ$ ab, ebensoviel der zweite von dem dritten und dieser von dem vierten. Die Länge der Stufe, in der Richtung der Drehungsaxe gemessen, beträgt $9\cdot 2$ *cm*. Die Entfernung der Hauptaxe des ersten Krystalls von jener des vierten Krystalls auf derselben Linie gemessen ist nach meiner Schätzung $7\cdot 1$ *cm*. Auf diese Distanz kommt nun eine totale Abweichung von $16\frac{1}{2}^\circ$, sonach auf die Länge von 1 *cm* eine durchschnittliche Abweichung von ungefähr $2^\circ 20'$.

Die einzelnen Krystalle sind nicht einfach, sondern wie die Mehrzahl der Bergkrystalle aus Theilen zusammengesetzt, welche zwei um 60° verschiedene Stellungen darbieten, so dass die Krystalle als Durchdringungszwillinge gleicher Individuen erscheinen nach dem Gesetze: Zwillingsebene eine Prismafläche $a = \infty R$. Man erkennt dies an dem Auftreten der Trapezoëderflächen, welche hier durchwegs sehr klein sind, welche aber mit Sicherheit an zwei benachbarten Kanten wahrgenommen werden, was den genannten Zwilling charakterisirt. Ausserdem sieht man auf den Prismaflächen öfter jene der Prismakante ungefähr parallel herablaufenden Zwillingnähte, welche an einer grossen Zahl der genannten Zwillinge vorkommen, endlich machte sich die mosaikartige Abwechslung von glatten und matteren Flächenantheilen bemerkbar, welche gleichfalls an jenen Zwillingen zuweilen beobachtet wird.

Obwohl der vordere Krystall, welcher sich zuletzt gebildet hat, der Gipfelkrystall, sowie die anderen zusammengesetzt ist, so zeigt er doch an seiner vorderen Prismakante, durch welche die Stammaxe hervorbrechend zu denken ist, an der Gipfelkante, keine Trapezoëderflächen, ein Umstand, welcher später noch wiederholt zur Sprache kommen wird.

(2) Eine Stufe von dunklem Rauchquarz aus der Sammlung der Realschule des IV. Bezirkes in Wien bietet auch hauptsächlich drei grosse Krystalle dar. An dem jüngsten (vorderen) und dem nächsten Krystalle ist eine beiderseitige Ausbildung ungefähr zu erkennen, doch entsprechen die beiderseitigen Endungen der Krystalle einander nicht genau. Fig. 2a auf Taf. II gibt die Vorderansicht, Fig. 2b eine Seitenansicht wieder. Der rückwärts liegende (erste) Krystall würde bei einer beiderseitig gleichen Ausbildung beiläufig 15 *cm* Länge haben, der nächste 12 *cm*, der jüngste (dritte) Krystall ist ungefähr 8 *cm* lang. Die

Dicke der Krystalle nimmt auch gegen vorn ab von 5 cm auf $3\cdot5$ und 2 cm . Die Krystalle erscheinen wiederum in einer Richtung ineinander geschoben und haben in dieser Richtung eine Linie, welche in den einzelnen Krystallen einer horizontalen Nebenaxe entspricht, die Stammaxe, gemein. Im Übrigen divergiren alle im gleichen Sinne.

Die Trapezoëderflächen zeigen, dass alle Krystalle Rechtskrystalle sind. Dem entsprechend herrscht eine Abweichung im Sinne des Uhrzeigers, wenn die Stammaxe auf den Beobachter zulaufend gestellt wird Fig. 2 a. Oberhalb ergab sich die Distanz der Hauptaxe des ersten Krystalls von jener des zweiten, ferner der Hauptaxe des zweiten von jener des dritten zu ungefähr 2 cm , die Abweichung jedesmal zu beiläufig $8\cdot5^\circ$. Unterhalb wurde an einer Stelle die Distanz zweier aufeinander folgender Hauptaxen zu $1\cdot5\text{ cm}$ und deren Abweichung zu ungefähr 6° bestimmt. Sonach ist die durchschnittliche Abweichung für eine Distanz von 1 cm oberhalb ungefähr $4\cdot25^\circ$ und unterhalb ungefähr 4° , was hier als gleich anzunehmen ist.

Die Krystalle sind nicht durchwegs einfache, denn es finden sich öfter Trapezoëderflächen an zwei aufeinanderfolgenden Prismakanten, was wiederum dem Zwillingengesetze: Zwillingsebene eine Prismfläche entspricht. In Fig. 2 b sieht man die Trapezoëderflächen fast nur in der einen Lage, rechts unten zeigt sich eine solche in der anderen Lage, welche der zweiten Stellung folgt. Die Gipfelkante ist frei von Trapezoëderflächen, jedoch sieht man in Fig. 2 a an dem rückwärtigen Krystall eine Trapezoëderfläche in einer Lage, welche einer an der Gipfelkante liegenden Trapezoëderfläche entspricht. Die vordere Kante dieser Krystallgruppe ist dennoch frei von Trapezoëderflächen.

Hiernach ist ausser der herrschenden Stellung, welcher zufolge die Gipfelkante frei von Trapezoëderflächen ist, auch die zweite Stellung der Krystalle, wenn auch nur untergeordnet nachweisbar.

Von allen übrigen hierher gehörigen Exemplaren ist nur zu erwähnen, dass an denselben die gleiche Gesetzmässigkeit der Bildung wie an den zwei zuvor beschriebenen beobachtet wurde. An zweien (3) und (4) ist nur noch mehr auffallend die Erscheinung, dass die Krystalle, welche bei einer bestimmten Aufstellung aufwärts gerichtet sind, nach abwärts keine gleichförmige Fortsetzung zeigen, indem die Hauptaxen der abwärts gerichteten Krystalle nicht in der Verlängerung der Hauptaxen der aufwärts gerichteten liegen. S. Fig. 3 auf Taf. I. Die oberen Krystalle bieten jene Austheilung der Trapezoëderflächen dar, nach welcher an der Gipfelkante keine solche Fläche auftritt, die beiderseits folgenden Prismakanten aber Trapezoëderflächen tragen u. s. f. Unterhalb hingegen erscheinen die Trapezoëderflächen an jenen Prismakanten, welche an den oberen Krystallen davon frei sind. Die abwärts gerichteten Krystalle entsprechen demnach der zweiten Stellung. An einem einzigen Exemplar unter den zwölf hieher gerechneten ist die genannte Anordnung so consequent fortgesetzt, dass dieselbe bis zur Gipfelkante reicht, welche hier unterhalb eine Trapezoëderfläche trägt, während sie oben frei erscheint.

Die an den offenen Bildungen beobachtete Wachstumserscheinung lässt sich durch eine Zwillingbildung erklären.

An diesen Stufen erscheinen die grossen Krystalle schon als Zwillinge nach dem Gesetze: Zwillingsebene eine Fläche ∞R , welches ich hier als erstes Gesetz bezeichnen will. Dabei ist der eine Theilkrystall immer nur untergeordnet ausgebildet. Die gegenseitige Abgrenzung der Theilkrystalle ist in diesem Zwilling wie bekannt eine unregelmässige, doch möge zum Zwecke der schematischen Darstellung das in Fig. 13 dargestellte Verhältniss, nach welchem der Theilkrystall zweiter Stellung ein Drittel des gesammten Zwillingsskrystalls ausmacht, angenommen werden. Sie entspricht auch der vollständigen Durchführung der Zwillingbildung nach dem ersten Gesetze, welchem zufolge drei Krystalle nach den drei zu ∞R parallelen Ebenen verwachsen erscheinen, dennoch aber nur zwei von einander verschiedene Stellungen entstehen. Einen nach diesem in Fig. 13 Tafel IV dargestellten Schema gebildeten Zwillingsskrystall will ich der Abkürzung wegen in der Folge als einen Dikrystall bezeichnen.

Denkt man sich nun von einer aus Rechtsquarz bestehenden offenen Bildung zwei aufeinanderfolgende grosse Krystalle wie in Fig. 14 auf Taf. IV, so befindet sich der mit p_1 und z_1 bezeichnete Theil des ersten Krystalls zu dem mit p_2 und z_2 bezeichneten Theile des zweiten Krystalls bezüglich dieser Flächen in einer symmetrischen Stellung, welche auf einen Zwilling zurückgeführt werden kann. Die beiden Indi-

viduen berühren einander aber nicht an der Zwillingssebene, sondern sie folgen in der Richtung der Stammaxe nacheinander, wie in dem unter Fig. 15 gegebenen Schema. Würden sie sich an der Zwillingssebene berühren, so ergäbe dies Formen wie jene unter Fig. 16, denn als Zwillingssebene kann eine Ebene angenommen werden, welche mit den Flächen des Rhomboëders p und der anstossenden Fläche a in einer Zone liegt und einem stumpfen positiven Rhomboëder entspricht. Selbstverständlich könnte auch die in derselben Zone liegende, zur vorigen senkrechte Ebene als Zwillingssebene angenommen werden.

Die genauere Bestimmung des Rhomboëders, welchem die Zwillingssebene entspricht, kann vorläufig noch hinausgeschoben werden. Es möge hier genügen, im allgemeinen auf das Zwillinggesetz hingewiesen zu haben, welches die gleichsinnige Abweichung der aufeinanderfolgenden Dikrystalle bedingt und welches ich als zweites Gesetz bezeichnen will.

Wird dasselbe an einer offenen Bildung von Linksquarz verfolgt, so gibt das Schema unter Fig. 17 die Lage zweier nacheinanderfolgender Dikrystalle an, während die Fig. 18 den idealen Zwilling von Linkskrystallen nach dem zweiten Gesetze andeutet für den Fall, als die Zwillingssebene zugleich Berührungsfläche ist.

Die offenen Bildungen folgen also der Regel, dass zuerst ein Krystall mit einer solchen Prismakante welche Trapezoëderflächen trägt, an der Unterlage anwächst und nun die durch diese Kante W (Wurzelkante) verlaufende Nebenaxe zur Stammaxe des ganzen Gebildes wird. In jenem ersten Krystall oder vielmehr Dikrystall steckt aber Quarz in verwendeter Stellung nach dem ersten Gesetze. Mit diesem verwächst der Hauptantheil des an der Stammaxe folgenden zweiten Dikrystalls nach dem zweiten Gesetze. Weil dieses ein sehr stumpfes positives Rhomboëder für die Zwillingssebene supponirt, so erscheint am Rechtsquarz jeder folgende Dikrystall in Bezug auf den vorigen rechtläufig gedreht, am Linksquarz aber rückläufig. In jenem zweiten Dikrystall steckt aber wieder Quarz in der verwendeten Stellung nach dem ersten Gesetze. Mit letzterem verwächst der Hauptantheil des dritten Krystalls nach dem zweiten Gesetze u. s. f. Nach den Schematen Fig. 13, 14, 17 ist auch ersichtlich, dass die Gipfelkante G meist frei von Trapezoëderflächen bleibt, denn der Quarz in verwendeter Stellung ist nur untergeordnet vorhanden, gleichwohl aber die Ursache, dass das Wachsthum nach dem zweiten Gesetze sich wiederholt.

Halbgeschlossene Bildungen.

Die grosse Mehrzahl der gewundenen Krystalle — ungefähr 80 der untersuchten Exemplare — sind so gebaut, dass sie aus vielen ineinander geschobenen Krystallen bestehend erscheinen, welche eine Nebenaxe gemein haben, während die Hauptaxe jedes folgenden Krystalls von jener des vorhergehenden im gleichen Sinne abweicht. Dabei sind die Spitzen der einzelnen Krystalle getrennt, auch die vier benachbarten Rhomboëderflächen der aufeinanderfolgenden Krystalle, welche eine wenig verschiedene Lage haben, sind meistens deutlich unterscheidbar, während die beiden Prismflächen, welche in wenig verschiedener Lage aufeinanderfolgen, zum Theile oder ganz ineinander verfließen und demzufolge ein Flächenpaar von doppelter Krümmung bilden.

Die hieher gehörigen Krystallstöcke sind also sägeförmig, die dirhombödrischen Spitzen der einzelnen Krystalle stellen die Zähne der Säge dar. Das Blatt der Säge ist continuirlich im Sinne einer Schraube von flachem Gewinde gekrümmt. Ein Beispiel gibt Fig. 4 auf Taf. II und die Oberansicht Fig. 5 auf Taf. I. Die vorige Abtheilung, welche offene Bildungen umfasst, ist mit der hier zu beschreibenden durch Übergänge verbunden, indem auch solche Exemplare beobachtet wurden, welche streckenweise das continuirlich gekrümmte Flächenpaar, dazwischen aber Stufen zeigen, in welchen die aufeinanderfolgenden Einzelkrystalle von einander absetzen. Es wurden Exemplare von einer bis vier Stufen gefunden.

Wie alle gewundenen Bildungen sind auch die hieher gehörigen halbgeschlossenen vorzugsweise Rauchquarze, während Bergkrystalle die Minderzahl bilden. Das Verhältniss beider war an den beobachteten Exemplaren ungefähr 12 zu 1. Jeder der hierher gehörigen Krystallstöcke besteht nur aus einer Art

von Krystallen, ist also entweder aus Rechts- oder aus Linkskrystallen zusammengesetzt. Es zeigt sich kein Vorwiegen der einen Art von gewundenen Bildungen, denn es wurden ungefähr ebenso viele aus Rechtsquarz bestehende als solche aus Linksquarz bestehende Exemplare beobachtet.

Die Dimensionen sind hier geringer als in der vorigen Abtheilung. Die Dimension im Sinne der Stammaxe möge als Länge, jene im Sinne der Hauptaxe des Einzelkrystalls als Breite und die dritte Dimension, welche zu dem continuirlich gekrümmten Flächenpaare senkrecht ist, als Dicke bezeichnet werden. Die Dicke ist stets die kleinste Dimension. Das relativ längste Exemplar (6), welches der Züricher Sammlung angehört, hat ungefähr 7 *cm* Länge bei 3 *cm* Breite und 1 *cm* Dicke. Der totale Betrag der Windung ist beiläufig 49°. Hier tritt die schraubenartige Form sehr deutlich hervor. Beispiele grösserer Exemplare sind (7) ein aufgewachsenes im Hofmuseum von 9 *cm* Länge, 5·5 *cm* Breite und 2 *cm* Dicke und der totalen Windung von ca. 62°, ferner ein abgebrochenes (36) aus der Sammlung der technischen Hochschule von 9 *cm* Länge, 9·5 *cm* Breite und 2·1 *cm* Dicke.

Die geringsten Dimensionen zeigten drei Exemplare:

(23)	Länge 3	<i>cm</i> ,	Breite 3·7	<i>cm</i> ,	Dicke 1·2	<i>cm</i>	(abgebrochen)
(31)	»	2·7	»	3·3	1·0	»	
(28)	»	2·5	»	3·0	1·7	»	(aufgewachsen).

Viele Exemplare haben eine gleichförmige Breite, während an anderen die Breite und auch die Dicke gegen den Gipfel zu abnehmen, wie in den folgenden Beispielen:

(12)	Länge 8·5	<i>cm</i> ,	Breite 9·5	<i>cm</i> ,	Dicke 3·5	<i>cm</i>	an der Wurzel	
					»	1·9	am Gipfel	
(11)	»	4·1	»	5·5	»	2·4	an der Wurzel	
				3·3	»	2·0	am Gipfel	
(10)		6·2		6·3	»	1·8	an der Wurzel	
				»	4·0	»	1·2	am Gipfel

Eine Ausnahme bildet ein Exemplar (35) von der Göschenalp aus der Sammlung des Herrn Seligmann:

Länge 6·5	<i>cm</i> ,	Breite 3·0	<i>cm</i> ,	Dicke 1·25	<i>cm</i>	an der Wurzel	
				4·5	»	1·45	am Gipfel

Während also an mehreren Exemplaren die Länge der Hauptaxe der Einzelkrystalle an der Wurzel am grössten ist und von hier an geringer wird, findet in diesem einzigen Falle eine Zunahme dieser Länge gegen den Gipfel zu statt. Diese Beobachtungen beziehen sich durchwegs nur auf Rauchquarze.

Die Exemplare, welche auf der ursprünglichen Unterlage sitzend gefunden werden, steigen meist unvermittelt aus einer Druse von gleichgefärbten oder farblosen Krystallen auf, zuweilen bildet aber ein liegender Krystall der Druse, dessen Dicke grösser ist als jene des gewundenen Krystallstockes, den Anfang der Bildung. Als Begleiter werden in einzelnen Fällen Adularkrystalle beobachtet. Wenn die Stellung der Stammaxe der gewundenen Krystallstöcke gegen die Unterlage mit Sicherheit bestimmbar ist, so erscheint dieselbe immer als eine schiefe. Zuweilen ist dabei die Ebene, welche durch die Stammaxe senkrecht zur Hauptaxe der Wurzel gelegt wird, auf der Unterlage senkrecht, häufiger jedoch schief gegen dieselbe gerichtet.

Gewöhnlich sieht man auf einer Stufe nur eine einzige solche Bildung, zuweilen aber zwei bis drei, selten vier. Auf einer Gesteinskluft mögen wohl zuweilen viele nebeneinander gefunden werden. Das Nebeneinandervorkommen von mehreren gewundenen Quarzen in verschiedenen Stellungen und die Verbindung mit Krystallen ohne Windung ist schon in der Einleitung als Beweis dafür angeführt worden, dass die hier

behandelte Erscheinung nicht durch eine von aussen her wirkende Kraft hervorgebracht wurde. Hier mögen einige Fälle genauer angegeben werden.

(34) Aus einer Druse von Rauchquarz, welche 16 Krystalle umfasst, unter denen 3 Links- und 8 Rechtskrystalle als solche bestimmt wurden, entspringt neben einem kleinen gewundenen Linksquarz eine grosse, halbgeschlossene, gewundene Bildung von Rechtsquarz.

(8) An einer Stufe von 5 unregelmässig und einzeln nebeneinander liegenden Bergkrystallen, von denen vier Linksquarz und einer Rechtsquarz sind, erhebt sich ein gewundener Krystallstock von klarem, farblosen Rechtsquarz.

(22) Aus einer klaren Druse von Rauchquarz, in welcher 2 Rechts- und 3 Linkskrystalle unterscheidbar sind, steigt ein gewundener Krystallstock von gleichgefärbtem Linksquarz auf.

(10) Zwischen den Krystallen einer Rauchquarzdruse steigen zwei gewundene Krystallstöcke von gleicher Färbung nebeneinander unter verschiedenen Neigungswinkeln und bei verschiedenem Azimuth bezüglich der Hauptaxen an den Wurzeln auf. Sie berühren einander sogleich oberhalb der Unterlage und vereinigen sich mit ihren Gipfeln. Beide sind Rechtsquarze.

(28) Eine Druse von blassem Rauchquarz, in welcher unter 18 Krystallen zwei Rechts- und vier Linkskrystalle als solche bestimmt wurden, umfasst auch drei gewundene Stöcke von 2·5 bis 4·5 *cm* Länge, die ganz verschieden gelagert sind. Zwei derselben, welche einander berühren, sind Rechtsquarze, der dritte ist Linksquarz. Alle Theile der Druse haben dieselbe Farbe.

Zur Orientirung bei der folgenden Beschreibung der Formen mögen die Figuren 19 und 20 dienen, welche einen gewundenen Rechtsquarz, ferner Fig. 21 und 22, welche einen gewundenen Linksquarz von oben und vom Gipfel gesehen schematisch darstellen.

Wegen der schiefen Stellung zur Unterlage ist an den gewundenen Krystallstöcken die Wurzelkante *W* bisweilen an einer Stelle frei. Diese trägt fast immer Trapezoëderflächen, während die beiderseits folgenden Prismakanten (erstes Kantenpaar) frei von solchen Flächen sind. Auf diese Kanten folgt beiderseits das mittlere Flächenpaar gewundener Prismaflächen *a* und *a'*. Diese Flächen sind parallel der Stammaxe gerieft. Nach denselben folgen Prismakanten, welche Trapezoëderflächen tragen (zweites Kantenpaar). Jene zwei dieser Trapezoëderflächen, welche gegen die mittleren Prismaflächen schwach geneigt und gegen die Prismaflächen des Gipfels steil gerichtet sind, erscheinen meistens sehr stark entwickelt. Sie sind meistens grösser als die Trapezoëderflächen der nicht gewundenen Quarze, auch derjenigen, welche die gewundenen begleiten. Sie nehmen an der Windung theil und sind continuirlich gekrümmt, abgesehen von Treppen und Vertiefungen, die sich oft einstellen. Die beiden anderen Trapezoëderflächen, welche am zweiten Kantenpaare liegen, sind von gewöhnlicher Grösse.

Die Kante *p : z* in den Fig. 19 und 21 ist an den halbgeschlossenen Bildungen nicht vorhanden, da hier eine Reihe von spitzen Krystallenden auftritt, welche für diese Abtheilung charakteristisch sind. Die Kanten *a : p* und *a' : z* sind auch oft durch Treppen stark zerschnitten. Die beiden Prismaflächen *a''* und *a'''*, Fig. 20 und 22, sind meistens zarter gerieft, jedoch im selben Sinne gekrümmt, wie die mittleren Prismaflächen. Die von jenen gebildete Kante, die Gipfelkante *G*, ist fast immer frei von Trapezoëderflächen. Sie erscheint dem zweiten Kantenpaare nicht parallel, sondern divergirt im Sinne der Drehung, wie noch später bemerkt werden wird.

Die vorher angegebene Vertheilung der Trapezoëderflächen entspricht einem einfachen Krystall. Man sieht aber bisweilen untergeordnet noch kleine Trapezoëderflächen, welche der zweiten, der Zwillingstellung, entsprechend gelagert sind. S. Fig. 4. Dieselben treten gewöhnlich an Treppen, durch welche die Kanten *a : p* und *a' : z* zerschnitten werden, sporadisch, mitunter auch einseitig auf.

An einem Exemplare (31) aus der Sammlung Sr. Excellenz des Freiherrn von Braun zeigt sich, wenn dasselbe so aufgestellt wird, dass die Kante *a : p* horizontal ist, unterhalb ein Vorherrschen der Trapezoë-

derflächen in zweiter Stellung. Diese Art der Bildung setzt sich bis zur Gipfelkante fort, so dass diese unten auch eine Trapezoöderfläche zeigt. Die Bildung entspricht jener des Exemplars (5).

Eine vollkommene Ausnahme von der als Regel angesehenen Vertheilung der Trapezoöderflächen wurde an einem schwach gewundenen Exemplare (9) der Züricher Sammlung (2410 Wiser) beobachtet. Dasselbe ist ein Rechtsquarz, es zeigt an der Gipfelkante Trapezoöderflächen, an dem zweiten Kantenpaare keine solchen, an dem ersten Kantenpaare hingegen jene beiden grossen Trapezoöderflächen, welche an allen übrigen von mir beobachteten gewundenen Quarzen am zweiten Kantenpaare gefunden wurden. Dem entsprechend würde die Wurzelkante, die an dem Exemplare nicht ausgebildet ist, frei von Trapezoöderflächen sein. Die ganze Bildung ist demnach im Verhältnisse zu allen übrigen umgekehrt, sie ist mit der Gipfelkante aufgewachsen, an der Wurzelkante frei. Ein solches Ausnahmsexemplar hat auch S. C. Weiss beobachtet. Sowie bei den hemimorphen Mineralen die Krystalle meistens mit dem einen, angenommen negativen Ende aufgewachsen erscheinen, das positive Ende frei ist und nur selten Exemplare vorkommen, welche das umgekehrte zeigen, so ist es auch hier. Die Stammaxe ist eine hemimorphe Axe. Die genannte Ausnahmsbildung ist die Fortsetzung eines liegend aufgewachsenen Krystalls, welcher im Verhältnisse zu dem gewundenen Krystallstocke in der zweiten Stellung sich befindet und der an der Windung nicht theilnimmt. Der gewundene Bau ist also ein seitlicher Ansatz an einen gewöhnlichen Quarzkrystall.

Zur Bestimmung des Betrages der Windung an den gekrümmten Prismflächen kann man nach dem Verfahren von Reusch an einer Stelle ein Lineal senkrecht zur Fläche so anlegen, dass es daselbst der Hauptaxe parallel ist, ferner in der Distanz von 1 *cm*, letztere im Sinne der Wachsthumaxe gemessen, ein zweites Lineal in gleicher Weise anlegen. Beide Lineale haben ihre grössten Flächen parallel, ihre Divergenz gibt den Betrag der Windung für 1 *cm* an. Der von Reusch angegebene Windungsmesser, Fig. 23, besteht aus zwei Linealen, die an einer Axe im Abstände von 1 *cm* drehbar befestigt sind. Einer derselben trägt ein Kreisstück mit einer Gradtheilung. Mit einem solchen Instrumentchen sind die folgenden Winkel bestimmt. Die Messung ist im Principe ungenau, denn die Linie, welche in der gewundenen Prismfläche parallel zur Stammaxe gezogen wird, ist eine Schraubenlinie, während die Axe des Instrumentes einer Geraden folgt. Da jedoch der Betrag der Windung immer gering, andererseits die gewundenen Flächen meistens merklich gerieft, zuweilen auch etwas treppenförmig ausgebildet sind, also die Messungen nur beiläufige sein können, so darf der im Instrumente liegende Fehler hier ausser Betracht bleiben.

Die Windung der Prismflächen a'' und a''' des Gipfels konnte auch öfter bestimmt werden. Hier wurde die Axe des Instrumentes parallel dem zweiten Kantenpaare an die Fläche gelegt und wurden die Lineale also parallel der Riefung angedrückt. Obwohl die Windung hier im selben Sinne erfolgt, wie an den langen Prismflächen, so erscheint sie doch zufolge der verschiedenen Art der Messung im entgegengesetzten Sinne.

Zuweilen kommen auch an den langen Rhomboöderflächen p und z continuirliche Stellen vor. In den hierher gehörigen Fällen wurde die Axe des Instrumentes parallel der Stammaxe angelegt. Der Betrag der Windung, oder wie es hier genannt werden soll, das Gefälle, ist fast an jedem Exemplare ein anderes. Dies zeigen die folgenden, an halbgeschlossenen Bildungen ausgeführten Messungen. Die Ziffern geben Grade und Zehntelgrade an. Das Gefälle an den mittleren Prismflächen der Rechtskrystalle R ist als positiv jenes an Linkskrystallen L als negativ bezeichnet.

R	a und a'	a'' und a'''	p	L	a und a'	a'' und a'''	p
(10)	+2·8			(21)	-2·7	+2·7	
(11)	3·0	-3·0		(22)	2·9	2·5	
(12)	3·4			(23)	3·3		
(13)	3·9	3·0		(24)	3·7	3·6	-3·5
(14)	4·3	3·3		(25)	4·0	3·7	
(15)	4·3			(26)	4·0	3·5	
(16)	4·5		+4·5	(27)	4·0	3·4	

R	a und a'	a' und a''	p	L	a und a'	a' und a''	p
(17)	5·0	4·5		(28)	4·3	5·0	
(18)	5·1	4·0		(29)	4·5	3·5	
(19)	5·4	4·8		(30)	5·7		5·5
(20)	6·0	5·0		(31)	6·5		
				(32)	7·0	5·6	
				(33)	7·3	6·3	7·3

Während das Gefälle der mittleren Prismflächen a und a' und der gestreckten Rhomboöderflächen p am selben Exemplare ungefähr gleich erscheint, bleibt das im Gegensinne eintretende Gefälle an den Flächen des Gipfelprisma hinter jenem zurück.

An der Mehrzahl der Exemplare wurde das Gefälle an den mittleren Prismflächen vom ersten bis zum zweiten Kantenpaare ungefähr gleich befunden. An einigen Exemplaren zeigte sich hingegen das Gefälle variabel, und zwar meistens gegen den Gipfel zu allmähig abnehmend. Es sind durchwegs Rechtsquarze.

	Am 1. Kantenpaar	Mitte	Am 2. Kantenpaar	Gipfelprisma
(34)	+7·4	6·0	4·4	-4·4
(35)	6·5	6·1	5·7	
(36)	6·0	5·2	4·5	4·0
(17)	5·0	5·3	5·0	4·5

Die Veränderlichkeit des Gefälles hängt nicht mit der Veränderlichkeit der Breite zusammen. Die Exemplare (34), (36), (17) sind ziemlich gleichförmig breit und zeigen doch grosse Gefällsunterschiede.

Die Erscheinungen, welche an der Gipfelkante zu beobachten sind und schon in den Figuren 20 und 22 angedeutet wurden, kommen später bei der Beschreibung der vollkommen geschlossenen Bildungen zur Besprechung.

Die halbgeschlossenen Bildungen unterscheiden sich von den offenen dadurch, dass die Prismflächen a und a' nicht absätzig sind, nicht mehr durch Stufen die einzelnen Krystalle markiren, sondern zu einer kontinuierlichen Fläche von doppelter Krümmung sich vereinigen. Wird von einer offenen Bildung, deren einzelne Krystalle nur eine geringe Dimension im Sinne der Stammaxe besitzen, ein Theil schematisch dargestellt, so ergibt sich in dem Falle, als die Bildung aus Linksquarz besteht, eine Figur, wie jene unter Fig. 24. Die entsprechende halbgeschlossene Bildung würde die Figur 25 geben. In der letzteren erscheint an jedem Einzelkrystall eine neue Erscheinung. Jeder besitzt zwar dieselbe Lage, wie in der offenen Bildung, aber er erscheint gedreht, gewunden, und zwar desto mehr, je länger seine Hauptaxe ist, denn je länger diese, desto höher wird die Stufe zwischen zwei aufeinanderfolgenden a -Flächen, welche durch die Drehung verschwinden soll. Man kann sich die Erscheinung einstweilen so zurecht legen, dass beim Wachsen im Sinne der Hauptaxe des Einzelkrystalles Schichten parallel der Basis angelegt werden, so dass jede folgende Schichte gegen die vorige um einen kleinen Winkel gedreht erscheint, und zwar beim Linksquarz im Sinne des Uhrzeigers (rechtläufig), beim Rechtsquarz im entgegengesetzten Sinne (rückläufig). Wenn ein einzelner freier Quarzkrystall so gebaut wäre, dass jede folgende basale Schichte gegen die vorige um einen kleinen Winkel gedreht wäre, so würden alle seine sechs Prismflächen eine doppelte Krümmung im gleichen Sinne zeigen. Solche Krystalle kommen in der That vor. Ein Beispiel ist der in Fig. 10, auf Taf. I dargestellte Linksquarz von Baveno aus der Sammlung des Herrn G. Seligmann. Dieser erscheint so, als ob er im weichen Zustande gewunden worden wäre, indem das Fussende festgehalten, das Kopfeende rechtläufig gedreht wurde.

Auch dieser Aufbau lässt sich durch eine Zwillingbildung erklären. Denkt man sich, wie in Fig. 26, zwei Linkskrystalle so verbunden, dass die Zwillingsebene die Fläche eines zwölfsseitigen Prisma $\infty P1$ ist, welche Fläche aber sehr nahe dem verwendeten Prisma $\infty P2$ entspricht, so wird der eine Krystall in Bezug

auf den anderen bloss um einen kleinen Winkel verwendet erscheinen, im Übrigen aber dieselbe Stellung zeigen. Ein dritter Krystall nach demselben Gesetze und nach derselben Fläche mit dem zweiten verbunden, würde diese Wendung wiederum einhalten u. s. f. und es würde ein Wendezwilling entstehen. Wird nun statt jedes dieser Krystalle ein basales Blättchen gedacht, welches sich über das vorige lagert, so ergibt sich durch Auflagerung vieler solcher Blättchen ein Prisma mit gewundenen Flächen, wie jenes an dem Quarz von Baveno, und so ergeben sich die Drehungen der a -Flächen an den halbgeschlossenen Bildungen. Das Zwillingsgesetz, welches hier angenommen werden kann, und welches ich als drittes Gesetz bezeichne, setzt eine Zwillingsebene voraus, die bei der Wiederholung der Zwillingbildung dieselbe bleibt und nach der Whewell'schen Bezeichnung $hik\bar{0}$ ist, und zwar sind h und i nahezu gleich, so dass k nahezu gleich $2h$ oder $2i$. Für die Linksquarze ist aber, wenn $h > i$, die sich wiederholende Zwillingsebene $hik\bar{0}$, für Rechtsquarz hingegen $i\bar{h}k\bar{0}$. Das Schema für Rechtsquarz ist in Fig. 27 dargestellt.

Der Bau der halbgeschlossenen Bildungen wäre demnach jenem der offenen Bildungen soweit gleich, als hier wie dort sich entlang der Stammaxe Krystalle aneinander setzen, welche zufolge wechselnder Wirkung des ersten und des zweiten Gesetzes im gleichen Sinne divergieren. Durch die Wirkung des dritten Gesetzes aber erfolgt in den halbgeschlossenen Bildungen eine Drehung um die Hauptaxe jedes einzelnen Krystalles, und zwar in solchem Betrage, dass die a -Flächen der Einzelkrystalle in einen kontinuierlichen Zusammenhang gebracht werden. Ein Blick auf die Fig. 25 zeigt, dass das Gefälle in der ganzen Bildung gleich bleibt, wenn die Dimensionen der Einzelkrystalle im Sinne der Stammaxe gleich sind, also die Länge der Einzelkrystalle dieselbe bleibt und dass das Gefälle überhaupt abhängig ist erstens von der aus dem Zwillingsgesetze folgenden constanten Abweichung zweier aufeinanderfolgender Krystalle, zweitens von der eben genannten Längendimension. Wenn daher das Gefälle gross ist, so muss diese Dimension klein sein und wenn, wie an manchen der untersuchten Exemplare, das Gefälle gegen den Gipfel zu abnimmt, so ist daraus zu schliessen, dass in dieser Richtung die Länge der Einzelkrystalle zunimmt.

Durch die Tendenz, anstatt der Treppen, wie solche an den offenen Bildungen vorkommen, einen Anschluss der benachbarten Flächen hervorzubringen, erklärt sich auch die sowohl an den halbgeschlossenen, wie an den vollkommen geschlossenen Bildungen hervortretende Erscheinung, welche dem Beobachter sogleich in die Augen fällt, nämlich die auffallende Grösse jener Trapezoëderflächen an dem zweiten Kantenpaare, welche gegen die a -Flächen wenig geneigt sind. Das Schema in Fig. 28 zeigt die Oberansicht von dem Ende einer halbgeschlossenen, aus Linksquarz bestehenden Bildung. Wenn an jedem der drei Krystalle eine Trapezoëderfläche in gleicher Art angelegt würde, so ergäbe dies ein absätziges Wachsen bezüglich der x -Fläche. Es ist aber kein Grund vorhanden dafür, dass die x -Fläche, welche sich an dem ältesten Krystalle gebildet hatte, nicht in gleicher Tiefe an dem folgenden Krystalle fortsetzen sollte und ebenso an dem dritten. Geschieht letzteres, was der Tendenz zum Anschlusse benachbarter Flächen entspricht, so entsteht eine einzige Fläche x , welche sich über alle drei Krystalle erstreckt und deren Umriss punkirt angegeben ist. Bei den übrigen Trapezoëderflächen tritt der eben betrachtete Umstand nicht ein und dieselben behalten ihre gewöhnliche Ausdehnung.

Vollkommen geschlossene Bildungen.

Die hierher gehörigen Quarze bieten jene merkwürdigen Formen dar, an welchen alle Flächen kontinuierlich ausgebildet sind und ohne Ausnahme eine doppelte Krümmung zeigen, jene gewundenen Formen, welche am meisten auffällig sind und den Eindruck hervorrufen, als ob ein Krystall durch mechanische Einwirkung im bestimmten Sinne verdreht worden wäre. Jedes Exemplar der vollkommen geschlossenen Bildungen verhält sich wie ein tafelförmiger, nach einer Nebenaxe gestreckter Quarzkrystall, der so gewunden ist, dass die Richtung jener Nebenaxe unverändert bleibt. Da der Krystall mit einer Kante, welche Trapezoëderflächen trägt, aufgewachsen ist, so erscheint die entgegengesetzte, die Gipfelkante, frei von Trapezoëderflächen. Jene Trapezoëderflächen, welche an dem zweiten Kantenpaare auftreten und gegen die

gestreckten a -Flächen wenig geneigt sind,¹ erscheinen wie an den halbgeschlossenen Bildungen öfters auffallend gross. Legt man auf diese beiden Flächen Daumen und Zeigefinger derselben Hand, so gibt der senkrecht gegen die genannten Flächen geübte Druck den Sinn der Drehung an, welche eingetreten sein müsste, wenn der gestreckte, übrigens aber normal geformte Krystall, dieser im weichen Zustande gedacht, in die gegenwärtige gewundene Form gebracht worden wäre. Die Figuren 7 bis 9 stellen hierher gehörige Bildungen dar. An diesen Krystallen erscheinen die Rhomboëderflächen glatt, die Prismflächen glatt oder wenig gerieft. Die gestreckte Fläche p ist immer breiter als die Fläche z .

Die Mehrzahl der continuirlichen Krystalle ist klein, doch finden sich auch solche von grösseren Dimensionen, wie die folgende Aufzählung der genauer untersuchten Exemplare erkennen lässt:

(37)	Länge 2·7	cm,	Breite 4·7	cm,	Dicke 1·7	cm
(38)	» 8·0		» 7·0		» 2·9	
(39)	» 2·5		» 3·3		» 1·3	
(40)	» 2·55		» 3·6		» 1·04	
(41)	» 3·2		» 2·2		» 0·62	
(42)	5·5		» 8·0		» 1·9	
(43)	3·1		» 3·8		» 1·2	
(44)	2·2		» 3·2		» 1·0	
(45)	5·5		» 5·5		» 1·6	
(46)	4·3		» 4·0		» 1·3	
(47)	1·9		» 2·3		» 0·78	
(48)	2·7		» 2·18		» 0·80	

An den vollkommenen Exemplaren ist die Breite und Dicke von der Wurzel bis zum Gipfel die gleiche. An dem Exemplare (48) konnte dies genau constatirt werden, was der schraubenförmigen Gestalt dieser Bildungen entspricht.

Die Exemplare sind alle abgebrochen. Der Bergkrystall (46) bildet die Fortsetzung eines dickeren klaren Krystalls. S. Fig. 7 *a* und *b*. Zuweilen ist die Wurzelkante theilweise ausgebildet und dann trägt dieselbe Trapezoëderflächen. Dies wurde an den Exemplaren (37), (38), (39), (40), (43) beobachtet.

Nach der Vertheilung der deutlichen Trapezoëderflächen zu schliessen, verhält sich der continuirlich gewundene Krystall wie ein einfacher Quarzkrystall. Zwei Exemplare liessen jedoch, wenn auch nur ganz untergeordnet, Trapezoëderflächen in der zweiten Stellung erkennen. Der eine davon, der zuvor genannte prächtige klare Bergkrystall (46), welcher in Fig. 7 *a* und *b* und Taf I abgebildet ist, lässt in der Fig. 7 *a* links oben an der Kante $z : a$ einspringende Winkel in sehr geringer Entwicklung wahrnehmen, an welchen winzige Trapezoëderflächen in zweiter Stellung ausgebildet sind. Der andere, ein blosser Rauchquarz (48), welcher auf Taf. II, Fig. 8 *a*, von einer Seite gesehen vergrössert dargestellt ist, hat auf der Rückseite eine solche sehr kleine Fläche in zweiter Stellung. Hiernach ist zu vermuthen, dass in allen hierher gehörigen Bildungen Theile in zweiter Stellung untergeordnet vorkommen. Dies bestätigt sich nach der Ätzung mit Flusssäure. An zwei Exemplaren (34) und (42) zeigte sich nach der Ätzung das Verhalten, welches in Fig. 29 und 30 dargestellt ist. Auf Flächen p , welche schwache Ätzfiguren darbieten, die parallel der Kante $p : a$ gestreckt sind, machen sich kleine Flecke bemerkbar, welche stärker geätzt sind und eine Riefung zeigen, welche einer Fläche z entspricht; ebenso machen sich auf den z -Flächen zuweilen glattere Stellen bemerkbar, welche den Charakter der p -Flächen zeigen. Man kann also sagen, die gewundenen Krystalle bestehen wohl hauptsächlich aus Quarz in der einen Stellung, welcher gemäss die Gipfelkante frei von Trapezoëderflächen ist, untergeordnet aber auch aus Theilen in der zweiten Stellung. Die letztere kommt an der Oberfläche der Krystalle wenig zur Geltung.

¹ In Fig. 20 und 22 mit x bezeichnet.

Das Gefälle auf den gewundenen Flächen ergibt oft ähnliche Werthe, wie an den halbgeschlossenen Bildungen, jedoch wurden auch grössere und geringere Werthe beobachtet. Die erhaltenen Zahlen werden im selben Sinne wie früher angeführt.

R	a und a'	a'' und a'''	p	L	a und a'	a'' und a'''	p
(37)	+1·2°	-1·2°		(42)	-3·5°		
(38)	1·5	1·3	+1·2°	(43)	3·5	+3·3°	-3·5°
(39)	1·7	1·6	1·6	(44)	3·5	3·2	
(40)	5·0			(45)	3·8	3·1	3·7
(41)	10·6			(46)	4·0	3·5	4·0
				(47)	5·6	5·6	5·0
				(48)	6·5	6·0	6·0

Reusch gibt für einen hierher gehörigen Rechtskrystall das Gefälle von 2° 30' an. Zwei der vorher angeführten Exemplare zeigen ein variables Gefälle. An L . (48), dessen Prismaflächen a und a' eine Länge von 2 cm besitzen, ergibt sich an der Wurzel ein Gefälle von 6°, am Gipfel 6·5°. An R . (41), dessen lange Prismaflächen 3 cm messen, ergibt sich an der Wurzel ein Gefälle von 11° 8', in der Mitte von 10·6°, am Gipfel von 9·5°.

Zur Erläuterung bezüglich der Windung und der Bezeichnung der Flächen mögen wiederum die Figuren 19 bis 22 dienen; über die Beschaffenheit der Wurzelkante und jene des folgenden Kantenpaares lässt sich Genaueres nicht ermitteln, weil diese Kanten entweder gar nicht oder nur auf kurze Strecken ausgebildet sind. Das zweite Kantenpaar ist zwar immer frei, doch nehmen die hier auftretenden Trapezoëderflächen meistens die Kante ganz oder zum Theile weg, so dass nur an der Minderzahl der Exemplare wahrgenommen werden kann, dass diese Kanten Gerade seien. Diese Beobachtung, nach welcher hier keine merkliche Krümmung eintritt, ist für die Folge wichtig. Die Gipfelkante ist nur selten gerade, meistens etwas gekrümmt. In beiden Fällen erkennt man ziemlich leicht, dass die Gipfelkante dem zweiten Kantenpaare nicht parallel ist, sondern von deren Richtung im Sinne der Windung divergirt. Von den früheren Beobachtern ist dies übersehen worden. Für den Beschauer, welcher in der Richtung der Stammaxe auf die Gipfelkante sieht, erscheint diese in Bezug auf das zweite Kantenpaar an Rechtsquarzen im Sinne des Uhrzeigers gedreht, an Linksquarzen erscheint sie im entgegengesetzten Sinne gedreht. Fig. 20 und 22 auf Taf. IV. Dies mag als selbstverständlich gelten, wenn man von der Voraussetzung ausgeht, dass die Windung des Krystalls von der Wurzel bis zum Gipfel sich gleichförmig fortsetzt. Demnach sollte die Verdrehung der Gipfelkante gegenüber dem zweiten Kantenpaare so gross sein, als das Gefälle, welches sich für die Distanz zwischen einer durch das zweite Kantenpaar gelegten Ebene und der Gipfelkante berechnet, wenn diese Distanz im Sinne der Stammaxe gemessen wird. Diese Distanz r lässt sich aber aus der Dicke D des gewundenen Krystalls nach der Gleichung $D = 2r \tan 60^\circ$ berechnen. Wird die Dicke in Centimetern angegeben, das Gefälle für je 1 cm mit γ bezeichnet, so wäre die hier in Betracht kommende Verdrehung $r\gamma$. Da die Gipfelkante am Ende der Stammaxe immer ziemlich gerade ist und an manchen Exemplaren das zweite Kantenpaar genügend ausgebildet erscheint, so lässt sich dann die Verdrehung der Gipfelkante, hier als Winkel v bezeichnet, durch ein graphisches Verfahren beiläufig ermitteln.

Der gewundene Krystall wird mit der Stammaxe senkrecht gegen die Papierebene gestellt, so dass die Gipfelkante das Papier berührt und bei einigem Drucke daselbst eine vertiefte Linie zeichnet. Ferner wird ein Lineal von entsprechender Dicke an eine der beiden Kanten a : a'' , oder a' : a''' genau angepasst und an dem Lineale auf der Papierfläche ein Strich gezogen. Die Divergenz dieser Linie und der durch den Abdruck der Gipfelkante entstandenen gibt den Winkel v . In einigen Beispielen sind hier die Resultate der Rechnung und dieser Beobachtung angeführt.

	\overline{D}	$\overline{\gamma}$	$\overline{\gamma\gamma}$	$\overline{\nu}$
(37)	1·7	1·2°	0°33'	2°40'
(43)	1·2	3·5	1 13	5 10
(47)	0·78	5·6	1 15	5 20
(48)	0·80	6·5	1 30	6 15

Die beobachtete Divergenz ν ist also vier- bis fünfmal grösser als die berechnete Verdrehung $\gamma\gamma$, wonach die Voraussetzung, dass diese Divergenz bloß von der Windung jener medianen Ebene herrühre, welche den Flächen a parallel in dem Krystall gedacht wird, hinfällig erscheint. Später wird eine bessere Erklärung der Erscheinung gegeben werden.

Obwohl die Gipfelkante nicht jene Richtung hat, welche in erster Instanz erwartet werden konnte, so weicht doch der daselbst messbare Flächenwinkel nicht merklich von dem normalen ab. Die Messung ist schwierig, weil die Reflexe auf den windschiefen Flächen a in der später anzuführenden Weise verzerrt sind, jedoch gelang es an den Exemplaren (39) und (47) auf das hellste Bild in dem Reflexe beider Flächen einzustellen, wobei sich die Winkel von $60^{\circ} 3'$ und $60^{\circ} 7'$ ergaben. Die Abweichung von 60° ist so gering, dass bei der Unvollkommenheit der Messung die normale Grösse als die thatsächliche anzunehmen ist. Bei der Fortsetzung der Messung in derselben Zone wurden für die Flächenwinkel $a : a''$ und $a' : a'$ ähnliche Resultate wie die vorigen erhalten. Bei diesen Messungen zeigte sich jedoch, dass die Gipfelkante nicht in die Drehungsaxe des Goniometers zu liegen kommt, sondern von derselben erheblich abweicht. Man kann daher sagen, die einzelnen Flächenelemente, aus welchen sich die gewundenen Flächen a'' und a''' zusammensetzen, sind gegen einander so geneigt, wie die Flächen des regelmässig sechsseitigen Prisma, jedoch folgen diese Flächenelemente so aufeinander, dass eine Scheinkante gebildet wird, welche von der Kante dieses Prisma um ein erhebliches abweicht.

Die Gipfelkante bietet oft kleine Abweichungen vom geraden Verlaufe dar, welche von Unvollkommenheiten der Flächen herrühren. Zuweilen zeigt sich eine Erscheinung, welche, wenn sie auftritt, jedesmal in gleichem Sinne wiederkehrt, nämlich eine Krümmung an den beiden Enden der Kante.

Die Linie, welche die Kante beschreibt, krümmt sich an beiden Enden gegen die normale Richtung zu, so dass am Linksquarz die Gipfelkante eine gestreckt S-förmige Gestalt, am Rechtsquarz aber eine solche Figur darstellt, welche das Spiegelbild der vorgenannten ist. S. Fig. 6 auf Taf. III. Diese Einwärtskrümmung tritt nicht jedesmal ein, zuweilen ist sie sehr gering, manchmal aber ist dieselbe sehr auffallend, wie dies in den Figuren 20 und 22 angedeutet wird. Sie hängt nicht mit der Grösse des Gefälles direct zusammen, denn sie tritt zwar nur bei starkem Gefälle ein und ist bei schwachem Gefälle unmerklich, doch gibt es Exemplare mit starkem Gefälle, welche die Erscheinung kaum wahrnehmen lassen, wie das Exemplar (48). Die Ursache muss daher mit dem Gefälle in Verbindung stehen, jedoch von den Zufälligkeiten des Wachstums abhängen.

In einem Falle wurde an der Gipfelkante eine regelmässige Ausbauchung beobachtet (42). Die Kante krümmt sich von ihrer Mitte gegen die beiden Enden zu gleichförmig nach innen, also gegen die Hauptaxe zu. Der Fall wird später nochmals besprochen.

Die Kante $p : z$ erscheint an den continuirlichen Bildungen meistens vollkommen ausgebildet. Reusch war der Überzeugung, dass diese Kante, sowie auch die damit parallelen $p : a$ und $z : a'$ Gerade seien. Der Anblick des Bildes Fig. 8 a auf Taf. II, welcher das Exemplar (48) des Hofmuseums bei zweifacher Vergrößerung von der Seite gesehen darstellt, scheint dies zu bestätigen. Durch Anlegen einer vollkommen ebenen Glasplatte an die Kante $p : z$ konnte ich jedoch wahrnehmen, dass eine schwache Krümmung nach auswärts bestehe. Da die Breite des gewundenen Krystalls für die ganze Länge jener Kante sich gleich bleibt, so bildet die Kante $p : z$ eine Schraubenlinie und es ergibt sich aus dem Gefälle von $6^{\circ} 5'$ für 1 cm Länge, aus der Breite von $2 \cdot 18 \text{ cm}$ und aus der Länge der beobachteten Kante von $2 \cdot 3 \text{ cm}$, dass eine Ebene, welche diese Schraubenlinie in der Mitte berührt, von den Enden derselben um $0 \cdot 009 \text{ mm}$ absteht, ein Betrag, welcher mit freiem Auge eben wahrnehmbar ist. Schon an diesem Exemplare ist die Kante $p : z$

nicht ganz vollkommen erhalten. An den übrigen vorliegenden Exemplaren lässt sich eine solche Beobachtung meist nicht ausführen, weil die scharfe Kante durch den Transport gelitten hat und schartig geworden ist.

Das Exemplar (41), das in Fig. 9, Taf. III, abgebildet ist und an welchem das Gefälle am stärksten ist, gestattet jedoch, obwohl hier die vorgenannte Kante minder vollkommen ist, beim Anlegen der Glasplatte die Beobachtung, dass die Kante im Sinne einer Schraubenlinie gekrümmt sei. Da hier das Gefälle mit $10\cdot6^\circ$, die Breite des Krystalls mit $2\cdot2\text{ cm}$, die Länge der Kante mit $2\cdot9\text{ cm}$ bestimmt wurden, so ergibt sich durch Rechnung ein Abstand an den Enden von $0\cdot04\text{ mm}$, also ein Betrag, der gut wahrnehmbar ist. Übrigens lehrt schon ein Blick auf die Fig. 9b, dass die Kante $p : z$ nicht, wie Reusch annahm, eine gerade, sondern dass dieselbe eine Schraubenlinie sei.

Für die herablaufenden Kanten $p : z'$, ferner $p' : z'$ und $p' : z$ lässt sich an den vorliegenden Exemplaren keine sichere Bestimmung ausführen, weil hier diese Kanten sehr kurz oder öfter unterbrochen erscheinen. Bloss an dem Linksquarz, Ex. (43), wurde eine ungemein schwache Krümmung der Kante $p' : z$ nach auswärts, gegen den Gipfel zu, bemerkt, was wiederum der Voraussetzung entspricht, dass die Windung des Krystalls bis an das Ende der Stammaxe gleichförmig stattfindet. So wie die Krümmung ist auch die Beschaffenheit der Flächen für die Ermittlung des Wachstumsgesetzes von Wichtigkeit.

So wie an den Bergkrystallen überhaupt, sind auch an den gewundenen Exemplaren die Rhomboëderflächen glatt und zeigen weniger Unvollkommenheiten; dagegen sind die Prismaflächen niemals vollkommen glatt, sondern mehr oder weniger kenntlich gerieft, die Trapezoëderflächen sind gewöhnlich matt oder discontinuirlich ausgebildet, seltener glatt. Auffallend ist der Unterschied zwischen den Prismaflächen a , a' und jenen des Gipfels a'' a''' . An letzteren ist die Riefung feiner und hat einen etwas anderen Charakter als auf den ersteren.

Betrachtet man die Riefung unter der Loupe genauer, so bemerkt man, dass überall einzelne Riefen oder Schaaren von Riefen bloss eine kurze Strecke anhalten und sodann mit scharfer Grenze plötzlich aufhören. Aus diesem Absetzen der Riefen ist zu entnehmen, dass die geriefte Fläche, die continuirlich zu sein scheint, aus Theilen besteht, welche vielen verschiedenen Krystallindividuen angehören. Die Erscheinung, welche an solchen Bergkrystallen, die Zwillinge nach dem gewöhnlichen Gesetze sind, beobachtet wird¹ und welche darin besteht, dass auf einer Prismafläche dieselbe Art der Riefung immer nur so weit anhält, als das eine Krystallindividuum reicht, um sogleich einer anderen Riefung Platz zu machen, wo ein anderes Individuum beginnt, wiederholt sich demnach hier unzählige Male hinter einander.

Viel schärfer und genauer als durch die Beobachtung mit der Loupe lässt sich die Art der Windung und die Beschaffenheit der Flächen durch Beobachtung der Reflexe an den letzteren studiren.

Lässt man das Bild eines leuchtenden Punktes, wie ein solcher etwa durch ein glühendes Platin-kügelchen dargestellt wird, von den Flächen eines hierher gehörigen Krystalls reflectiren, so erblickt das in passender Entfernung befindliche Auge ein verzerrtes Bild, welches je nach der Windung und Glätte der Flächen verschieden ist. Wird der gewundene Krystall so gehalten, dass die Kanten der Zone pa quer gestellt sind, also gegen die Einfallsebene des Strahles senkrecht zu stehen kommen, so erscheint dem genäherten Auge der von einer Prismafläche a ausgehende Reflex in der Weise verzerrt, dass derselbe bei Linkskrystallen von rechts oben nach links unten sich erstreckt. S. Fig. 30. Das Reflexbild ist aber kein continuirliches, sondern es erscheint aus vielen oft sehr scharf unterscheidbaren feinen Linien und Punkten zusammengesetzt. Die Verzerrung nach auf- und abwärts rührt von der Riefung und Krümmung her; die Trennung der feinen Linien beweist jedoch das Zusammengesetztsein der Flächen aus Theilen, welche nicht continuirlich ineinander übergehen, sondern von einander durch höchst feine Stufen getrennt sind.

Die Lichtfigur der übrigen Flächen ist dieselbe wie die vorbeschriebene, wofern die Einfallsebene so wie im vorigen Falle den Trennungslinien der angenommenen Einzelkrystalle parallel ist. Fig. 32 gibt in

¹ Vergl. in meinem Lehrbuche der Mineralogie im speciellen Theile Fig. 8 bei Quarz.

einem Beispiele diese Trennungslinien punktirt an. Die Richtung derselben ist besonders bei dem Reflexionsversuche an den Rhomboëderflächen des Gipfelendes zu berücksichtigen. An manchen Exemplaren der halbgeschlossenen und auch hierher gehöriger Bildungen sind die a -Flächen nicht durchaus einheitlich gekrümmt, sondern sie beginnen gegen die Nachbarflächen p und z hin sich in einzelne ebene Elemente aufzulösen. In solchem Falle ist die Lichtfigur etwas modificirt, indem die Enden derselben zurückgekrümmt erscheinen. S. Fig. 30 *b*. Dieselbe Modification tritt an der Lichtfigur auf den Prismaflächen des Gipfels ein, wofern die Gipfelkante auffällig gekrümmt ist.

Rechtsquarze geben auf allen Flächen Reflexe von gleichem Charakter, wie vorher beschrieben, doch ist die Lichtfigur immer das Spiegelbild der vorigen. S. Fig. 31. Die Reflexionserscheinungen lehren demnach, dass die Flächen der gewundenen Quarzkrystalle nicht vollkommen continuirliche sind, wie es den Anschein hat, sondern dass dies nur annähernd eintritt, indem die Flächen mehr oder weniger deutlich aus kleinen, ebenen Facetten zusammengesetzt sind, welche im Sinne der continuirlichen Krümmung aufeinander folgen.

Bemerkenswerth ist noch das Verhalten von Platten, die aus gewundenen Krystallen senkrecht gegen eine Hauptaxe geschnitten sind, zwischen gekreuzten Nicols. Wenn man die Beobachtung im Mikroskope oder im Konoskope unter gewöhnlichen Umständen ausführt, ist die Deformation des Quarzbildes nicht besonders auffallend. Entfernt man jedoch aus dem Konoskope die starken Linsen, so dass die Beobachtung im schwächer convergenten Lichte geschieht, so erscheint das Quarzbild sehr deutlich verzerrt, und zwar bei Anwendung eines Präparates aus einem gewundenen Linksquarz in der Weise, dass bei Verticalstellung der Stammaxe die Ringe des Bildes als elliptische Figuren erscheinen, deren längste Axe einer Richtung von links oben nach rechts unten entspricht. Siehe Fig. 33, in welcher nur der erste Ring in den Umriss der Platte gezeichnet ist. Wendet man das vorher bezeichnete Präparat um, so dass wiederum die Stammaxe vertical ist, so behält die den Ringen entsprechende Ellipse die vorige Lage, indem wiederum die längste Axe von links oben nach rechts unten sich erstreckt. Am auffallendsten wird die Verzerrung, wenn man als Polarisator eine Glasplatte oder glänzende Tischplatte, als Analysator einen Nicol anwendet, also sehr schwach convergentes Licht benützt. Dies gilt auch für die folgende Fig. 34.

Die Erklärung dieser Verzerrung ist eine einfache. Denkt man sich das Präparat so gestellt, dass die Stammaxe horizontal und gegen den Beschauer läuft, Fig. 34, so hat die Hauptaxe eines rückwärtigen Theiles die durch die Linie cc angedeutete Richtung, und der zugehörige erste Ring erscheint, wenn hier von der Brechung abgesehen wird, dem Auge in den zu cc gleich geneigten Richtungen uu . In einem vorderen Theile des Präparates hat die Hauptaxe eine durch $c'c'$ angedeutete Richtung und der zugehörige Ring erscheint in den Richtungen $u'u'$, welche mit der letzteren Hauptaxe gleiche und dieselben Winkel bilden, wie die Ringtheile an der vorher betrachteten Stelle mit der zugehörigen Hauptaxe. Somit erscheint in dem vorderen Theile des Präparates der zur Hauptaxe $c'c'$ gehörige Ringtheil nach rechts geschoben.

In Fig. 35 ist ein Theil des Präparates, welches schon in Fig. 33 gezeichnet ist, in derselben Lage vergrößert dargestellt, so dass die einzelnen Krystallindividuen, welche thatsächlich sehr schmal sind, in übertriebenen (Längs-) Dimensionen erscheinen. Das Präparat ist so geschnitten gedacht, dass seine Flächen gegen die Hauptaxe c senkrecht sind. In jedem folgenden Theilkrystall erscheinen die zugehörigen Ringtheile in Bezug auf den rückwärtigen (im Bilde oberen) Theil etwas nach rechts geschoben. Sind die angenommenen Theilkrystalle sehr schmal, so ergibt sich eine elliptische Figur. Die Dimensionen derselben könnten aus dem Gefälle und aus den bekannten Brechungsquotienten des Quarzes abgeleitet werden. An einem Präparate aus gewundenem Rechtsquarz beobachtet man unter gleichen Umständen eine Verzerrung der Ringe, welche derart ist, dass die längste Axe der elliptischen Figuren von rechts oben nach links unten verläuft.

Aus der vorstehenden Beschreibung der vollkommen geschlossenen Bildungen geht hervor, dass dieselben von den halbgeschlossenen Bildungen nicht wesentlich verschieden sind. Der Unterschied besteht

nur darin, dass nicht bloß die Prismaflächen a und a' , sondern auch die Rhomboëderflächen p und z kontinuierlich gebildet erscheinen, so dass die Kanten $a:p$, ferner $z:a'$, sowie auch die Kante $p:z$ ohne erhebliche Unterbrechungen als zusammenhängende Schraubenlinien sich darstellen. Beim Wachsen der vollkommen geschlossenen Bildungen dauert demnach jener Aufbau, welcher aus der gleichzeitigen Wirkung des zweiten und des dritten Gesetzes hervorgeht, von der Stammaxe an bis zu den äussersten Enden der Seitenzweige fort.

Das Wachstumsgesetz.

Bei dem Fortschreiten von den offenen bis zu den vollkommen geschlossenen Bildungen hat sich gezeigt, dass alle hierher gehörigen Formen als complicirte Zwillingbildungen aufgefasst werden können, indem bei den offenen Bildungen gleichzeitig zwei, bei den geschlossenen gleichzeitig drei verschiedene Zwillinggesetze zum Ausdrucke kommen. Die erste Anlage ist aber in allen Fällen die gleiche.

Ein kleiner Dikrystall bildet sich sitzend in der Lage, dass eine Nebenaxe gegen die Unterlage gewendet ist, und zwar wächst er in den allermeisten Fällen mit dem negativen Ende dieser Axe auf. Von jetzt ab erfolgt das Wachsen so, dass die Vergrößerung nicht wie gewöhnlich bloss im Sinne der Hauptaxe, sondern gleichzeitig nach jener Nebenaxe, der Stammaxe fortschreitet. Ohne das Dazwischentreten einer neuen Erscheinung würde ein tafelförmiger Krystall entstehen, wie solche auch öfter beobachtet werden. In dem hier betrachteten Falle aber befolgt das Wachsen im Sinne der Stammaxe eine Zwillingbildung, indem das Nebenindividuum des ersten Dikrystals mit dem Hauptindividuum des folgenden Dikrystals verwächst nach dem zweiten Gesetze: Zwillingsebene die Fläche eines positiven Rhomboëders mR , welche Fläche mit der Basis einen sehr kleinen Winkel δ bildet, Verwachsungsfläche senkrecht zur Stammaxe. Demgemäss ist jeder folgende Dikrystall mit dem vorigen so verbunden, dass beiden die Stammaxe gemein ist, an dieser aber die Hauptaxe des folgenden Dikrystals in Bezug auf die Hauptaxe des vorigen um den Winkel 2δ gedreht erscheint, und zwar am Rechtsquarz im Sinne des Uhrzeigers (rechtläufig), am Linksquarz im entgegengesetzten Sinne.

So bildet sich eine Kette von kleinen Dikrystallen, deren freies Ende fast immer ein positives ist, wonach bei regelmässiger Ausbildung die Gipfelkante frei von Trapezoëderflächen erscheint. Bei dem Auswachsen der einzelnen Elemente kann sich aber der Fall ereignen, dass einzelne der kleinen Dikrystalle sich auf Kosten der Nachbarn vergrössern, diese überwachsen, unterdrücken und herrschend werden. Von den vielen Krystallkeimen der ganzen Kette gewinnen einzelne einen Vorsprung und bilden sich zu grossen Krystallen aus, während die zwischenliegenden zurückbleiben. An der Stammaxe setzen sich beiderseits kräftige Äste an und diese lassen für die zurückgebliebenen feinen Zweige keinen Raum übrig. Dann entstehen offene Bildungen. Wächst in solchem Falle einer der kleinen Dikrystalle a auf Kosten der Nachbarn aus und weiterhin ebenso ein anderer Dikrystall b , und werden, um ein Beispiel anzunehmen, 49 dazwischen liegende Keime unterdrückt, so wird durch Vergrößerung von a ein grosser Krystall A und weiterhin durch Vergrößerung von b ein grosser Krystall B gebildet. Die beiden grossen Krystalle A und B werden dann um den Winkel 100δ divergiren. Die offenen Bildungen werden sich also nicht zur Bestimmung des Winkels δ eignen, weil die beobachteten Divergenzen der grossen Krystalle sich als nicht näher bestimmte Vielfache von 2δ darstellen. Beim Auswachsen der Dikrystalle können, wie begreiflich, auch zufällige Abweichungen von der Regel eintreten, wie das stellenweise Hervortreten der zweiten Stellung auf der einen Seite oder sogar am Gipfelende, welche Abweichungen durch die früher mitgetheilten Beobachtungen bezeichnet sind.

Wenn die Kette von Dikrystallen, die sich nach der Stammaxe gebildet hat, gleichförmig auswächst, so dass alle oder die Mehrzahl der Glieder in Bezug auf Dicke und Länge zur Ausbildung gelangen, so werden sich an die Stammaxe an zwei entgegengesetzten Seiten zahlreiche Zweige ansetzen und eng aufeinanderfolgen, so dass eine Schraube gebildet wird, an welcher die Flächen discontinuirlich erscheinen. Die schmalen Flächen a würden in diesem Falle Stufen bilden, deren Höhe mit der Hauptaxe zunimmt.

Wenn aber eine neue Art von Zwillingsbildung eintritt, welche beim Fortwachsen im Sinne der Hauptaxe eine Drehung um die letztere hervorruft, so können statt jener Stufen continuirlich aussehende Flächen gebildet werden. Diese Zwillingsbildung folgt dem Gesetze: Zwillingsfläche die Fläche eines zwölfseitigen Prisma ∞P_n , welche Fläche von der des verwendeten Prisma ∞P_2 nur um den kleinen Winkel ε abweicht, bei welcher Bildung aber die einzelnen Theilkrystalle übereinander gelagert werden. Der Betrag der Drehung hängt demnach von dem Winkel ε und der Zahl der Zwillingschichten ab, welche nach diesem Gesetze aufeinanderfolgen, sie beträgt also bei 30 Schichten 60ε u. s. f. Wenn diese Zwillingsbildung so fortschreitet, dass in Folge einer bestimmten Zahl und Dicke der Schichten die resultirende Drehung um die Hauptaxe jener Schraubenfläche entspricht, welche durch die aufeinanderfolgenden Hauptaxen bezeichnet ist, und wenn jene Drehung bis zum Ende des Wachsens anhält, so entstehen die vollkommen geschlossenen Bildungen, deren Flächen zwar aus kleinen Facetten zusammengesetzt sind, sich jedoch in ihrer Form der Schraube sehr stark nähern, also fast continuirliche Flächen sind.

Wenn hingegen die Drehung zufolge des dritten Zwillingsgesetzes nur eine Strecke weit anhält und schon aufhört, bevor die Kante $p:a$ gebildet ist, so entstehen die halbgeschlossenen Bildungen.

Um das zweite und das dritte Zwillingsgesetz genauer definiren zu können, bedarf es der Kenntniss jener kleinen Winkel 2δ und 2ε , um welche die aufeinanderfolgenden Theilkrystalle von einander abweichen. Diese Winkel können dadurch bestimmt werden, dass man an den anscheinend continuirlichen Bildungen die kleinste Abweichung der in den gekrümmten Flächen enthaltenen Facetten aufsucht. Alle das Minimum übersteigenden Abweichungen müssten dann Vielfache des ersteren Werthes sein.

Die Aufgabe ist aber eine sehr schwierige. Jede der gekrümmten Flächen gibt immer eine grosse Zahl von Reflexbildern, welche ineinander verfließen, daher eine scharfe Bestimmung der Distanz dieser Bilder nicht ausgeführt werden konnte. Messungen in der Zone $p:a$, deren ich an geschlossenen Bildungen viele anstellte, ergaben mit ziemlich grosser Wahrscheinlichkeit, dass das Minimum 2δ ungefähr $0^\circ 3'$ betrage. Statt der Vielfachen dieses Betrages wurden Winkel von $0^\circ 9'$ bis $0^\circ 11'$, dann $0^\circ 17'$ erhalten. Eben solche Resultate gaben Messungen in der Zone $a:a''$ auf der gekrümmten Fläche a .

Ich will aber schon hier bemerken, dass dieselbe Art von zusammengesetzten Flächen, welche hier beschrieben wurde, auch an Bergkrystallen von gewöhnlicher Form stellenweise zu beobachten ist und dass hier die Messungen etwas genauer ausgeführt werden können. Das Resultat derselben mag hier vorläufig angegeben werden.

Die Minimalabweichung ergab sich an verschiedenen Bergkrystallen in der Zone $p:a$ und in der Zone $a:a''$ ziemlich gleich, und zwar in beiden Fällen annähernd zu $0^\circ 3' 20''$.

Demnach würden die Winkel 2δ und 2ε ungefähr $0^\circ 3' 20''$ betragen. Nimmt man diesen Werth als genau an, so würden gemäss dem Betrage $2\delta = 0^\circ 3' 20''$ bei dem geringsten beobachteten Gefälle von $\gamma = 1.2^\circ$ pro cm , 22 Theilkrystalle auf jeden Centimeter der Stammaxe entfallen, bei dem mittleren Gefälle von 4° hingegen 72 Theilkrystalle und bei dem grössten beobachteten Gefälle von 11.8° aber 212 Theilkrystalle.

Aus dem Werthe:

$$\delta = 0^\circ 1' 40''$$

ergibt sich, dass die Zwillingsfläche mR bezüglich des zweiten Zwillingsgesetzes nur um einen geringen Betrag, und zwar um $1' 40''$ von der Basis oR abweicht. Wollte man m durch eine Zahl ausdrücken, so erhielte man, von dem bekannten Winkel $p:a = 38^\circ 13'$ ausgehend

$$m = \frac{1}{2620}.$$

Die Zwillingsfläche für das zweite Gesetz wäre demnach als eine Vicinalfläche der Basis oR zu bezeichnen. Die Bestimmung

$$\varepsilon = 0^\circ 1' 40''$$

leitet ferner zu dem Resultate, dass die Zwillingsebene ∞Pn bezüglich des dritten Gesetzes nur um sehr Weniges von der Fläche der Prisma $\infty P2$ abweicht, und es würde sich, wenn die Zahl n berechnet wird,¹ der Werth

$$n = \frac{1175}{588}$$

ergeben.

Auch für das dritte Zwillingsgesetz erscheint demnach die Zwillingsebene als eine Vicinalfläche und zwar hier als eine solche der Fläche $\infty P2$.

Die Zwillingsgesetze, durch welche die Windung der hier beschriebenen Bildungen zu erklären wäre, führen demnach auf Zwillingsebenen, welchen keine einfachen Indices zukommen, sie führen auf solche, welche Vicinalflächen entsprechen, und man hätte es hier mit einer neuen Art von Zwillingbildungen zu thun, welche als Vicinalzwillinge bezeichnet werden könnten.

Derlei Zwillingbildungen sind aber etwas bisher unbekanntes und man würde solche für unwahrscheinlich halten, wenn nicht an vielen Mineralen regelmässige Verwachsungen mit geringer Abweichung vom Parallelismus der Axen, wie im vorliegenden Falle, vorkämen, die auf die Existenz von Vicinalzwillingen hinweisen. Für den Quarz werde ich später noch mehrere Fälle aufführen, welche sich der vorher betrachteten Art der Verwachsung anschliessen.

Wer aber die Erklärung der Regelmässigkeit, welche sich in den früher bezeichneten Bildungen ausspricht, durch Vicinalzwillinge ablehnt und sich lieber zu einer Hypothese entschliesst, um Zwillingsebenen mit einfachen Indices zu erhalten, der wird das Ziel erreichen können durch die Annahme, dass jenen Bildungen nicht eine trapezoëdrisch-tetartoëdrische, sondern eine andere Grundform zukomme.

Die an den Chloriten gemachte Erfahrung würde dazu aufmuntern. Jene wohlbekanntes gekrümmten Formen, welche an diesen Mineralen auftreten, führen auf Vicinalzwillinge, solange die Grundform der Chlorite als eine rhomboëdrische gilt. Nachdem jedoch an einem der Chlorite, dem Klinochlor, die monokline Grundform nachgewiesen worden, liessen sich die gekrümmten und die gewundenen Formen mit grosser Wahrscheinlichkeit auf einfache Zwillingsgesetze zurückzuführen, welche jenen entsprechen, die am Diopsid, Glimmer etc. lange bekannt sind.²

Die Annahme, dass der Quarz im allgemeinen oder dass wenigstens die hier besprochenen Bildungen aus Theilen von geringerer Symmetrie nach Art der mimetischen Krystalle aufgebaut seien, führt zunächst auf die Ansicht, dass diese aus Zwillinglamellen zusammengefügt seien, deren Stellungen in der Oberansicht um je 120° oder um sehr nahe 120° verschieden sind. Die Grundform der einzelnen Theile könnte dann als eine monoklin-hemimorphe betrachtet werden. Von dieser aber wären immer nur einige Flächen äusserlich erkennbar, u. zw. am Linksquarz die Flächen $111 = z$, $\bar{1}\bar{1}1 = p$, ferner 110 und $\bar{1}\bar{1}0 = a$, sowie die unteren Flächen $\bar{1}\bar{1}\bar{1} = z$, $11\bar{1} = p$. Am Rechtsquarz hingegen die Flächen $1\bar{1}\bar{1} = z$, $\bar{1}\bar{1}1 = p$, ferner $1\bar{1}0$ und $\bar{1}\bar{1}0 = a$, sowie die unteren Flächen $\bar{1}\bar{1}\bar{1} = z$, $1\bar{1}\bar{1} = p$, abgesehen von jenen steilen Flächen, die früher als Trapezoëderflächen bezeichnet wurden. Die Fig. 36 *a* und 36 *b* stellen die Ober- und Seitenansicht für Rechtsquarz, die Fig. 37 *a* und 37 *b* die Ober- und Seitenansicht für Linksquarz dar. Bei diesem Aufbau gilt, sowie beim Glimmer eine Fläche, die einer Prismafläche sehr nahe liegt, welche letztere nach der hier angenommenen Bezeichnung 310 wäre, als Zwillingsebene. Eine zu dieser parallele Ebene würde die Kante $100 : 110$ fast gleichförmig abstumpfen. Der Aufbau wäre so zu denken, dass die Theilkrystalle nicht wie in den Fig. 36 *a* und 37 *a* nebeneinander, sondern in den drei Stellungen in regelmässigem Wechsel übereinander gelagert sind. Durch die Annahme einer monoklinen Grundform wäre schon zugegeben, dass die Endfläche 001 mit der Querfläche 100 einen von 90° abweichenden Winkel einschliesst, und zwar würde derselbe im vorliegendem Falle $89^\circ 58' 20''$ betragen, ferner ist zugegeben, dass die Flächen 100 mit 110

¹ $m : 1 = \tan 38^\circ 13' : \tan \delta$ und $n : 1 = \cos \epsilon : \cos (60 - \epsilon)$.

² Siehe meine Abhandlung über die Chloritgruppe, I. Theil. Sitzungsber. d. kais. Akad. d. Wiss. Bd. IC, Abth. I, S. 174.

und entsprechend 100 mit $1\bar{1}0$ nicht genau 60° , sondern einen davon etwas verschiedenen Winkel bilden, welcher hier $60^\circ 1'40''$ wäre.

Auf diese Form bezogen erhalten die vordem erhaltenen Zwillings Ebenen eine andere und zwar eine einfache Bezeichnung.

Für das erste Gesetz, welches früher eine Prismafläche namhaft machte, hat die Zwillings Ebene nunmehr die Lage von 100.

Für das zweite Gesetz, welches früher eine der Basis vicinale Fläche nannte, hat die entsprechende Zwillings Ebene nunmehr die Lage von 001.

Für das dritte Gesetz, welches früher eine dem verwendeten Prisma vicinale Fläche anführte, gilt nun wie beim Glimmer eine in der Zone $001 \quad 310$ gelegene, zu 001 normale Fläche als Zwillings Ebene, und die letztere ist dieselbe, welche den Zwillingsbau des gesammten Krystalls, der aus monoklin-hemimorphen Theilen zusammengefügt ist, beherrscht.

Den Aufbau der gewöhnlichen Krystalle könnte man sich auch in der Weise vorstellen, wie es Fig. 38 angibt. In diesem Falle würden bloß die Flächen $p = 201$, $z = \bar{2}01$, $a = 100$ und die dazu parallelen sichtbar. Die Zwillingsgesetze behielten denselben Ausdruck. Dieser Vorstellung würde das optisch erkennbare Gefüge mancher Quarzkrystalle, besonders einiger Amethyste, gut entsprechen, wie dies der Horizontalschnitt in Fig. 39 andeutet.

Das dritte Gesetz gestaltet sich wie begreiflich noch einfacher, wenn eine triklin-hemiëdrische Form als Grundform dieser Quarze angenommen wird. Dann sind die Gestalten in Fig. 36 *b* und 37 *b* nicht einfache, sondern Zwillinge, die linke Hälfte und die rechte Hälfte bedeuten zwei an der Querfläche verbundene Krystalle, deren Längsflächen nicht zusammenfallen, sondern um den Winkel 2ϵ von einander abweichen. Zwillings Ebene ist jetzt 010 und die Indices für die Zwillings Ebenen bezüglich der drei Gesetze wären jetzt 100, 101 und 010.

Diese Bemerkungen dürften ausreichend sein, um zu zeigen, dass durch die Annahme einer anderen als der trapezoëdrisch-tetartoëdrischen Grundform die Forderung erfüllt werden kann, für die zur Erklärung der gewundenen Formen angenommenen Zwillings Ebenen einfache Indices zu erlangen. Wollte man weiter gehen und alle Quarzformen durch den Aufbau aus Theilchen von der angenommenen Grundform erklären wollen, so möchte es scheinen, dass die Abweichung von den idealen Winkeln, welche hier zu ungefähr $0^\circ 1'40''$ befunden wurde, eine viel zu grosse sei; denn durch Summirung vieler solcher kleiner Differenzen müssten öfter ziemlich starke Abweichungen von der idealen Form eintreten. Es ist auch leicht möglich, dass der von mir gefundene Betrag der Minimalabweichung nicht dem wirklichen entspricht und schon ein Vielfaches desselben ist.

Die hier angeführte Hypothese der mimetischen Form des Quarzes würde eine mächtige Stütze gewinnen, wenn es gelänge, aus derselben die Drehung der Polarisationsebene im Quarz zu erklären. Es ist aber leicht einzusehen, dass sie dazu nicht ausreicht. Wenn auch zugeben wird, dass die Dicke der einzelnen Lamellen viel geringer sei als vorher bezeichnet wurde, so wäre doch eine neue Annahme nöthig, aus welcher die regelmässige Aufeinanderfolge von gleich dicken optisch zweiaxigen Lamellen nach dem Principe einer Drehung im gleichen Sinne mit Nothwendigkeit sich ergäbe. Eine solche Annahme erschien aber bisher noch nicht auffindbar und alle dahin gerichteten Versuche sind, wie bekannt, bei den ersten Andeutungen stehen geblieben.

Einige der Erscheinungen an den gewundenen Krystallen werden am besten erklärt, wenn man von der idealen Gestalt derselben ausgeht, welche von continuirlichen gekrümmten Flächen eingeschlossen wird. Denkt man sich in ein solches Gebilde ein rechtwinkeliges Coordinatensystem so gelegt, dass die *X*-Axe in die Stammaxe zu liegen kommt, die *Y*-Axe in eine horizontale Ebene, welche der Basis eines Theilkrystalls parallel ist, die *Z*-Axe aber der Hauptaxe dieses Theilkrystalls entspricht, so ist *O* der Anfangspunkt der Coordinaten. S. Fig. 40.

Der zu betrachtende gewundene Krystall sei ein Rechtsquarz.

Die Linien EH stellen die Haupttaxen der Krystallkeime vor, welche an der X -Axe in gleichen Distanzen aufeinander folgen und mit den zur Z -Axe parallelen Linien EF die Winkel FEH bilden. Die sämtlichen Haupttaxen liegen in einer krummen Fläche, für welche die Gleichung:

$$\frac{y}{z} = \tan FEH$$

gilt. Wird nun, wie vorausgesetzt, das Gefälle überall gleich und für je $1 \text{ cm} = \gamma$ angenommen und γ in Graden ausgedrückt, so ist, wofern x nach Centimetern gemessen wird, $FEH = \gamma x$. Nach dieser Bezeichnungsweise hat man für die Fläche, in welcher die Haupttaxen H liegen, die einer Schraubenfläche zukommende Gleichung:

$$\frac{y}{z} = \tan \gamma x. \quad \text{I}$$

Einen für die später folgende Rechnung wichtigen Hilfswinkel ergibt nun die Betrachtung, nach welcher durch irgend einen Punkt P der Schraubenfläche eine zur Ebene XY parallele Fläche gelegt wird, welche die Z -Axe in Q und die Ebene XZ in der Linie QR schneidet, Fig. 41. PR ist senkrecht zur Ebene XZ . Der Winkel PQR soll mit φ bezeichnet werden. Hier ist $QR = x$, $PR = y$ und man erhält:

$$\frac{y}{x} = \tan \varphi. \quad \text{II}$$

Der Winkel φ ist rückläufig in Bezug auf die zur X -Axe parallele Linie QR , wenn der Winkel γx rechtläufig in Bezug auf die zur Z -Axe parallele Linie ER ist, und dies entspricht der Erscheinung, dass die Kante $p : z$ in Bezug auf die Stammaxe rückläufig gedreht erscheint, wenn die Gipfelkante in Bezug auf die Z -Axe rechtläufig gedreht ist und umgekehrt. Durch Combination von I und II erhält man:

$$\tan \varphi = z \frac{\tan \gamma x}{x}. \quad \text{II a}$$

Der Winkel φ ändert sich demnach für $z = \text{const.}$ nur wenig, wenn x keine extremen Werthe annimmt. Für $x = z = 1$ ist $\varphi = \gamma$. Aber auch für alle Fälle, welche in der Folge in Betracht kommen, ist unter der Annahme $z = 1 \text{ cm}$, der Winkel φ von dem Winkel γ wenig verschieden, wie nachstehende Übersicht zeigt, welche die aus den Dimensionen der Krystalle für die spätere Rechnung entnommenen Werthe von x berücksichtigt.

Berechnet für $z = 1 \text{ cm}$

	$\gamma =$	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°
$x = 0.2 \text{ cm}$		4°	$4^\circ 59'$	$5^\circ 59'$	$6^\circ 58'$	$7^\circ 57'$	$8^\circ 56'$	$9^\circ 54'$
$x = 0.4$		4	4 59	5 59	6 58	7 57	8 56	9 55
$x = 0.6$		4	5	5 59	6 59	7 58	8 57	9 56
$x = 0.8$		4	5	6	6 59	7 59	8 58	9 58
$x = 1.0$		4	5	6	7	8	9	10
$x = 1.2$		4	5	6 1	7 1	8 1	9 2	10 3

Um die Gleichung der Fläche a zu erhalten (vergl. Fig. 20), denkt man sich die Schraubenfläche I parallel mit sich selbst um die Distanz d , welche der halben Dicke des gewundenen Krystalls entspricht, nach links verschoben, Fig. 42. In einem zur Ebene YZ parallelen Schnitte, welcher in der Entfernung x vom Anfangspunkte O geführt wird, erzeugt die so verschobene Fläche eine Gerade KK , welche die zur Y -Axe parallele Gerade in dem Punkte J trifft. Demnach erscheint die Schraubenfläche I im Sinne der Y -Axe um die Strecke EJ verschoben. Da nun $EM = d$ und diese Strecke senkrecht zu KK , so ist $EJ \cdot \cos \gamma x = EM$. Ein Punkt der ursprünglichen Schraubenfläche I, welchem die Coordinaten x, y, z

zukommen, hat nach der Translation die Coordinaten $x_1 = x$, $y_1 = y - \frac{d}{\cos \gamma x}$, $z_1 = z$, daher die Gleichung der Fläche a

$$y + \frac{d}{\cos \gamma x} = z \tan \gamma x. \quad \text{III}$$

Denkt man sich hingegen die Schraubenfläche I nach rechts um ebensoviel verschoben, so ergibt sich der Schnitt $K'K'$ und da hier wiederum $EM' = d$, $EJ' = EJ$, so hat ein Punkt, dessen Coordinaten ursprünglich x, y, z gewesen, nunmehr die Coordinaten $x_1 = x$, $y_1 = y + \frac{d}{\cos \gamma x}$, $z_1 = z$, daher die Gleichung für a' :

$$y - \frac{d}{\cos \gamma x} = z \tan \gamma x. \quad \text{IV}$$

Bei der Messung des Gefälles auf der Fläche a schreitet man von einem Punkte, dessen horizontale Coordinate $= x$, zu einem zweiten vor, dessen entsprechende Coordinate $= x + 1$, und erhält im Sinne einer rechtläufigen Drehung den Winkel γ , da $\gamma(x+1) - \gamma x = \gamma$. Bei der Messung auf der Fläche a' gibt das Instrument beim Fortschreiten nach rechts für dieselbe Distanz wiederum den Winkel γ rechtläufig, da sowohl der Sinn des Fortschreitens als auch der Sinn der Drehung dem vorigen entgegengesetzt erscheinen $\gamma x - \gamma(x+1) = \gamma$. Das Gefälle auf a und a' ist, wie angenommen, gleich und positiv.

Die Form der Lichtfigur auf a ergibt sich durch die Betrachtung (Fig. 43 mit welcher Fig. 40 zu vergleichen), dass Licht, welches von dem Punkte L ausgehend, an der gekrümmten Fläche nach dem Auge A reflectirt wird, einmal an dem Profil ZZ , zu welchem ES normal ist, dann aber an dem weiter rechts liegenden Profile HH , zu welchem BS normal ist, Reflexionen erleidet. Ist $ES = s$, $EB' = z$, so hat man da $ESB = ZEH = \gamma x$,

$$\frac{z}{s} = \tan \gamma x.$$

Da nun hier s im Sinne von y , also negativ zu nehmen, γx aber rechtläufig, positiv ist, so erscheint der Werth von z negativ. Demnach werden die Reflexionsbilder in einer Linie liegen, welcher nach rechts gezählt immer grösser werdende Werthe von z , diese im negativen Sinne, also abwärts gerechnet, zukommen. Dies ergibt einen Lichtstreif von links oben nach rechts unten, was der Beobachtung entspricht. Wendet man die vorige Bezeichnung auf die Fläche a' an, so wird für dieselbe s positiv anzunehmen sein, und wenn auch x positiv gezählt wird, also ein Fortschreiten von dem Profil ZZ zu dem Profil HH nach links stattfindet, so ist γx positiv und die Werthe von z werden nach links gerechnet immer grösser und positiv erscheinen. Dies ergibt aber wiederum einen Lichtstreif von links oben nach rechts unten.

Die Gleichung der Fläche p leitet sich daraus ab, dass diese in jedem zur Ebene YZ parallelen Schnitte eine Linie UC hervorruft, Fig. 44, welche mit der im gleichen Schnitte liegenden Linie EC den Winkel η bildet. Letzterer ist dem Krystallwinkel $a : p$ gleich, welcher $38^\circ 13'$ beträgt. Ist nun $ZEC = \gamma x$ und $EN = e$ senkrecht zu CK , so hat man, da $EK \cos(\gamma x + \eta) = EN$ die Gleichung der Fläche p :

$$y' + \frac{e}{\cos(\gamma x + \eta)} = z \tan(\gamma x + \eta). \quad \text{V}$$

Für die Fläche z hat man, da hier η negativ zu nehmen ist, analog. mit IV die Gleichung:

$$y' - \frac{e}{\cos(\gamma x - \eta)} = z \tan(\gamma x - \eta). \quad \text{VI}$$

Setzt man in den Gleichungen V und VI die Werthe der Variablen gleich und vereinigt beide, so erhält man nach geringen Umformungen die Gleichung für die krumme Linie, in welcher sich die Flächen p und z schneiden, und zwar ergibt sich, wenn $CE = b$ gesetzt wird, weil $e = b \cos \eta$

$$b = y' \sin \gamma x + z \cos \gamma x,$$

also die Gleichung einer Schraubenlinie für den Radius b .

Das Gefälle an den Flächen p und z beträgt, wie man aus dem zweiten Theile der Ausdrücke V und VI ersieht, wiederum γ für je 1 *cm* Länge im positiven Sinne der Stammaxe. Für die Lichtfigur ergibt sich nach gleichartiger Ableitung dieselbe Form wie in den früheren Fällen.

Verfolgt man das Verhalten der Profile, an welchen das Gefälle gemessen wird, so erkennt man den Grund der schon früher berührten Ungenauigkeit des Messungsverfahrens. Werden wiederum Ebenen parallel YZ durch den gewundenen Krystall gelegt gedacht, Fig. 45, und sei KK der Schnitt derselben mit der Fläche a , und zwar in der Distanz x vom Anfangspunkte und $K_1 K_1$ der Schnitt in der Distanz $x+n$, beide Schnitte auf die Ebene YZ projicirt, so ergibt sich aus den beiden Gleichungen:

$$y + \frac{d}{\cos \gamma x} = z \tan \gamma x \quad \text{und} \quad y_1 + \frac{d}{\cos \gamma (x+n)} = z_1 \tan \gamma (x+n),$$

nachdem $y_1 = y$ und $z_1 = z$ gesetzt worden:

$$\frac{z}{y} = \tan \gamma \left(x + \frac{n}{2} \right).$$

Die in der Entfernung $n\gamma$ aufeinander folgenden Profile schneiden sich also in dieser Projection in einem Punkte S' , dessen Verbindung mit der Stammaxe eine Gerade liefert, die von der Richtung der Y -Axe um $\gamma \left(x + \frac{n}{2} \right)$ abweicht. Bei der Messung, bei welcher die beiden Lineale an Profile angelegt werden, ändert der Schnittpunkt von $x=0$ an seine Lage so, dass für Entfernungen von 1, 2, 3 *cm* etc. dem Schnittpunkte die Winkel $\frac{\gamma}{2}$, γ , $\frac{3\gamma}{2}$ etc. entsprechen. Das Instrument, mit welchem die Messung ausgeführt wurde, ist aber nach der Voraussetzung gebildet, dass der Schnittpunkt die Lage nicht ändert, d. i., dass an einer zur X -Axe parallelen Linie fortgemessen werden kann, wie mit dem Anlegegoniometer an verschiedenen Stellen der Krystallkante Messungen vollzogen werden. Die ideale Kante, an welcher hier gemessen wird, also die Linie, in welcher die Schnittpunkte S' liegen, ist keine Gerade, sondern eine Schraubenlinie, und das Stück derselben, an welchem die Messung durchgeführt wird, ist nicht senkrecht zu den Ebenen der Lineale, sondern weicht um ungefähr $\frac{1}{2}\gamma$ von der Senkrechten ab. Der Fehler, mit dem hier gearbeitet wird, steigt mit der Grösse des Gefälles. Die Messungen liefern also auch, abgesehen von den dem Contactgoniometer anhaftenden Mängeln, nur beiläufige Werthe. An der Fläche p liegen ausserdem die Schnittpunkte der aufeinanderfolgenden Profile nicht wie an den Flächen a in einer die Fläche horizontal halbirenden Linie, sondern sind der Kante $p:a$ nahegerückt. Daher ist bei der Messung des Gefälles hier die Unsicherheit noch grösser als dort.

Für die Prismafläche a'' kann ein analytischer Ausdruck in der Weise gefunden werden, dass durch die Stammaxe eine Ebene gelegt wird, welche die beiden Kanten $a:a''$ und $a':a'''$ in Q und Q' senkrecht trifft, Fig. 46. T wäre der Durchschnitt dieser Ebene mit der Gipfelkante, zugleich das Ende der Stammaxe. Wenn hier $EQ = EQ' = d$, ferner $ET = r$, so hätte man, da der Winkel $ETQ = 60^\circ$, $d = r \tan 60^\circ$. Wird ferner E als Anfangspunkt gewählt, die Y -Axe in QQ' , die X -Axe in die Stammaxe ET gelegt, so trifft ein zur Ebene YZ paralleler Schnitt, dessen Trace MM' ist, die Stammaxe in E' . Durch E' geht eine Hauptaxe, welche von der durch E gehenden Hauptaxe um die Strecke $EE' = x$ absteht.

Man könnte nun so verfahren, dass man bloß auf das zweite Gesetz der Zwillingsbildung, also bloß auf die Drehung der an der Stammaxe folgenden Hauptaxen Rücksicht nimmt. Ist in dem letztgenannten Schnitte $ME = g$, so hat man, analog mit III und entsprechend der Fig. 42 für die Fläche a''

$$y + \frac{g}{\cos \gamma x} = z \tan \gamma x$$

und weil $g = d - x \tan 60^\circ$:

$$y + \frac{d - x \tan 60^\circ}{\cos \gamma x} = z \tan \gamma x.$$

Diese Gleichung ist, weil sie das zweite Gesetz, nach welchem auch eine Drehung um die einzelnen Hauptaxen, die Zweigaxen stattfindet, nicht berücksichtigt, wohl nicht geeignet, alle Erscheinungen an den Flächen des Gipfels zu erklären, doch erlaubt dieselbe ihrer einfacheren Form wegen die Ableitung einer Nebenerscheinung, welche hier berührt werden soll.

Die Fläche $QQ'T$ ist die Projection eines Theiles der durch die Stammaxe gelegten Basisfläche des gewundenen Krystalls. Diese Basisfläche ist von genau derselben Windung, wie die Schraubenfläche I. Mit Zuhilfenahme der Fig. 42 ist zu erkennen, dass in jeder zur YZ parallelen Ebene die Tracen HH der Schraubenfläche I und jene der ebengenannten Basisfläche MM' aufeinander senkrecht sind. Die Gleichung der durch die X -Axe gelegten Basisfläche ist sonach

$$\frac{z}{y} = \tan \gamma x.$$

Dieser Fläche sind aber die Riefen parallel, welche auf allen Prismaflächen bald zarter, bald stärker ausgeprägt erscheinen. Auf den Prismaflächen a und a' laufen die Riefen in Schraubenlinien, welche der für die Kante $p : z$ erhaltenen Schraubenlinie parallel sind. Auf der Fläche a'' müssen sie einen anderen Lauf haben. Um diesen zu bestimmen, wird der Durchschnitt der Basisfläche mit der Fläche a'' gesucht, indem in der letzten und der vorletzten Gleichung die Werthe der Variablen gleich gesetzt werden. Geschieht dieses, so ergibt sich nach der Elimination von y , welches hier negativ ist:

$$\frac{d - x \tan 60^\circ}{\cos \gamma x} = z \tan \gamma x,$$

und mit Rücksicht darauf, dass nach $d = r \tan 60^\circ$, nach einiger Umformung:

$$z = (r - x) \tan 60^\circ \sin \gamma x$$

als Gleichung der Curve, welche die mittlere Riefe auf der Fläche a'' beschreibt, nach der Projection auf die Ebene XZ . Zu Prüfung dieser Curve kann das Maximum der Abweichung von der Horizontalen gesucht werden, indem der Differentialquotient $\frac{dz}{dx}$ entwickelt und sodann $= 0$ gesetzt wird. Da für die hier in Betracht kommenden kleinen Bogen in erster Annäherung $\sin \gamma x = \gamma x$ gesetzt werden darf, so ergibt sich für die grösste Abweichung $x = \frac{1}{2}r$. Betrachtet man also die Fläche a'' in der Seitenansicht, so steigt die Curve, welche durch die mittlere Riefe gebildet wird, allmähig aufwärts, um fast genau in der Mitte der Fläche die grösste Höhe zu erreichen und sodann wieder herabzusinken, bis sie die Horizontale erreicht. Dies gibt ein Bild wie in Fig. 47 *a*. Für die Fläche a''' erhält man für die Curve: $-z = (r - x) \tan 60^\circ \sin \gamma x$. Dort besitzt die Curve die entgegengesetzte Krümmung, wonach die Vorderansicht beider Flächen des Gipfels in Fig. 47 *b* sich ergibt.

Thatsächlich zeigt sich bei der Beobachtung im Goniometer der hier berechnete Lauf der Riefen auf den Flächen des Gipfels deutlich, besonders in der Region, in welcher die Ebene XY den Krystall durchschneidet.

Die Drehung, welche die Gipfelkante in Bezug auf das zweite Kantenpaar darbietet, würde, wenn blos das erste und das zweite Gesetz der Zwillingsbildung verwirklicht wären, aus der Gleichung VII erhalten werden, indem $x = r$ gesetzt würde, wonach $\frac{y}{z} = \tan \gamma r$. Früher wurde aber schon bemerkt, dass die beobachtete Drehung viel grösser sei, die Gipfelkante jedoch sich als eine Scheinkante darstelle.

Wird nun auf das dritte Zwillingsgesetz Rücksicht genommen, welchem gemäss eine Drehung der parallel zur Basis gedachten Blättchen um die Hauptaxe stattfindet, so zeigt die Fig. 46, in welcher $lQTQ'l'$ den geradlinig angenommenen Horizontalschnitt des Gipfelkrystalls durch die Ebene XY , ferner $bQBQ'b'$ den zum vorigen parallelen Schnitt in der Entfernung z darstellt, dass hier die Bedingung erfüllt werden muss: $\angle bQt = \angle BQT = \angle b'Q'l' = \varphi$, dass infolge dessen der Punkt B in dem durch QTQ gelegten Kreise liegt und demnach die äusseren Winkel des oberen Blättchens bei Q, B, Q auch sämmtlich 60°

betragen: Zugleich aber ist ersichtlich, dass das obere gedachte Blättchen nicht mehr eine reguläre, sondern eine am Gipfel etwas verzerrte Form annimmt.

Denkt man sich nun in der Fläche a'' , deren Projection auf die Ebene XY hier BQT ist, einen Punkt P , dessen aufrechte Coordinate z ist, und nennt man die Strecke PR , welche auf QT senkrecht ist u , so dass $PR = u$, setzt ferner die Strecke $QR = l$, so hat man entsprechend der Gleichung I für die Fläche a''

$$\frac{u}{z} = \tan \gamma l,$$

woraus zu ersehen ist, dass bei der Messung des Gefälles durch Anlegen der Axe des Instrumentes an l ein Gefälle von γ für je 1 *cm* erhalten werden könnte, da $\gamma(l+1) - \gamma l = \gamma$, das Gefälle also positiv und gleich jenem auf den früher genannten Flächen wäre. Da jedoch das Wachsen auch nach dem zweiten Zwillingsgesetze stattfindet, so würde, wie aus der Gleichung VII ersichtlich, weil nicht parallel x , sondern parallel l angelegt wird, das Gefälle Werthe zwischen $\frac{1}{2}\gamma$ und γ geben. Wegen der zu geringen Breite der Flächen am Gipfel und wegen des ungleichartigen Baues derselben wurden aber solche Messungen, bei welchen die Axe des Instrumentes nach l angelegt würde, nicht in Betracht genommen.

Um die zuletzt angeführte Gleichung für die Fläche a'' zu entwickeln, kann man wieder auf die Fig. 46 zurückgehen und setzen: $EE' = x$, $PE' = y$, $ME' = g$, worauf, mit Rücksicht darauf, dass $PR = MP \cos 60^\circ$ und $MQ \cos 60^\circ = x$, erhalten wird: $u = (g-y) \cos 60^\circ$, ferner $l = 2x + u \tan 60^\circ$ und weil $g = d - x \tan 60^\circ$ und y hier negativ, als Gleichung für die Fläche a'' sich ergibt:

$$(y+d) \cos 60^\circ - x \sin 60^\circ = z \tan \gamma [(y+d) \sin 60^\circ + x \cos 60^\circ]. \quad \text{VIII}$$

Hingegen erhält man für die Fläche a''' , da hier der Winkel $ETQ = -60^\circ$ und y positiv:

$$(y-d) \cos 60^\circ + x \sin 60^\circ = z \tan \gamma [(d-y) \sin 60^\circ + x \cos 60^\circ]. \quad \text{IX}$$

Für die Rechnung sind jedoch diese Ausdrücke wenig geeignet, hingegen werden Gleichungen erhalten, welche für die Berechnung der Gipfelkante brauchbar sind, wenn man den Hilfswinkel φ in Betracht nimmt. Entsprechend den Gleichungen II und II *a* gilt für die Fläche a''

$$\frac{u}{l} = \tan \varphi \quad \text{und gleichzeitig:} \quad \tan \varphi = z \frac{\tan \gamma l}{l}.$$

Bezüglich des Gefälles ist zu bemerken, dass bei der Messung desselben die Axe des Instrumentes parallel z angelegt wurde, wobei l einen constanten Werth, z. B. 0.5 cm behielt. Demnach wird durch den Winkel φ , welcher rückläufig ist, das Gefälle angegeben, und aus der zweiten Gleichung geht hervor, dass hier, wo $\tan \gamma l / l$ einen constanten Werth behält, welcher nahezu $-\gamma$ ist, das Gefälle, für je 1 *cm* entlang der Z -Axe gemessen, nahezu $-\gamma$ beträgt, also nur um Weniges hinter diesem Werthe zurückbleibt.

Werden in der Gleichung $u = l \tan \varphi$ die früher bestimmten Werthe von u und l eingesetzt, so ergibt sich

$$(y+d) \cos 60^\circ - x \sin 60^\circ = [(y+d) \sin 60^\circ + x \cos 60^\circ] \tan \varphi,$$

als Gleichung der Fläche a'' oder nach geringer Umformung:

$$\frac{y+d}{x} = \tan(60^\circ + \varphi). \quad \text{X}$$

Für die Fläche a''' hat man hingegen

$$(y-d) \cos 60^\circ + x \sin 60^\circ = [(d-y) \sin 60^\circ + x \cos 60^\circ] \tan \varphi,$$

und nach geringer Umformung:

$$\frac{d-y}{x} = \tan(60^\circ - \varphi). \quad \text{XI}$$

Um die Gleichung der Gipfelkante zu erhalten, welche von den beiden Flächen α'' und α''' gebildet wird, kann man in den Ausdrücken X und XI die Werthe der Variablen gleich setzen und nach Elimination von x erhalten:

$$y = \frac{2d}{\sin 60^\circ} \sin \varphi \cos \varphi = D \frac{\sin 2\varphi}{\tan 60^\circ},$$

worin $D = 2d$, die Dicke des Krystalls. Für den Winkel ν , welchen die Gipfelkante mit der in T zur Ebene XY Senkrechten bildet, hat man demnach:

$$\tan \nu = \frac{y}{z} = \frac{D \sin 2\varphi}{z \tan 60^\circ}. \quad \text{XII}$$

Diesem Ausdrucke zufolge wäre die Gipfelkante keine gerade, sondern eine krumme Linie. In der Projection Fig. 46 ist das Kreisstück TB die Projection dieser Kante, wie sie sich aus der bisherigen Ableitung ergibt. Demnach müsste die Kante oberhalb und unterhalb zurücktreten, in der Mitte aber nach aussen gekrümmt erscheinen. Dies ist jedoch nur selten zu beobachten, wie an dem Exemplar (42), in den meisten Fällen wurde hingegen durch Anlegen einer ebenen Glasplatte erkannt, dass die Gipfelkante der Ebene YZ parallel sei, woraus hervorgeht, dass beim Wachsen der Krystalle die Tendenz besteht, die Schichten so übereinander zu lagern, dass die Gipfelkante jeder einzelnen Schichte in derselben Verticalebene bleibt, wie die vorigen, wonach eine Krümmung der Gipfelkante nur innerhalb dieser Ebene stattfindet. Die Projection der Gipfelkante in Fig. 46 würde sonach eine Gerade, welche zu QQ' parallel ist. Den oberen Horizontalschnitt in der Höhe z würde also die Gipfelkante in V treffen und die Strecke TV wäre $=y'$, während x den Werth r erreicht. Damit ist aber gesagt, dass der Querschnitt oder das gedachte der Basis parallele Blättchen sich noch weiter verzerrt, indem es die Fig. $bQVQ''b'$ annimmt, in welcher $VQ'' \parallel BQ'$. Ob wirklich ein Herausrücken der Kante von Q' nach Q'' stattfindet, ob also der obere Theil der Kante $\alpha' \alpha'''$ in der That eine geringe Drehung zeigt, welche jener der Gipfelkante entgegengesetzt ist und welche in den weiterhin betrachteten Fällen zu höchstens $1^\circ 20'$ berechnet wurde, in der That eintritt, lässt sich durch Messung nicht bestimmen, weil ein Anhaltspunkt für eine solche in der Nachbarschaft der Kante fehlt und weil bei Q' eine Trapezoëderfläche auftritt. Aus der Beobachtung aber, dass der Bau der Prismaflächen des Gipfels etwas ungleichartig ist und dass die Flächen bei dem Versuche, das Gefälle zu messen, wobei die Axe des Instrumentes horizontal, parallel der Basis angelegt wird, sich öfter als etwas hohl erweisen, geht zur Genüge hervor, dass jene schwache Drehung der Kante $\alpha' \alpha'''$ in ihrem oberen Theile, also das Vorschreiten von Q' nach Q'' nicht unwahrscheinlich sei.

Für den Fall als das Wachsen in dieser Weise platzgreift, hätte man in die Gleichung X für x den Werth $x = \frac{d}{\tan 60^\circ}$ einzusetzen, wonach

$$y' = d \left(\frac{\tan(60^\circ + \varphi)}{\tan 60^\circ} - 1 \right) = \frac{D \sin \varphi}{\sin 60^\circ \cos(60^\circ + \varphi)},$$

und für den hiernach eintretenden Drehungswinkel ν' der Gipfelkante

$$\tan \nu' = \frac{y'}{z} = \frac{D}{z} \frac{\sin \varphi}{\tan 60^\circ \cos(60^\circ + \varphi)} \quad \text{XIII}$$

erhalten würde.

Alle bisher abgeleiteten Ausdrücke gelten für gewundene Rechtskrystalle. Wenn solche für Linkskrystalle gewonnen werden sollen, genügt es, darauf zu achten, dass hier das Gefälle im entgegengesetzten Sinne stattfindet, also überall statt γ der Werth $-\gamma$ einzusetzen ist und bei der Deutung des Winkels φ darauf Rücksicht zu nehmen, dass derselbe nunmehr rechtläufig ist. Demzufolge wird jetzt in den beiden Gleichungen XII und XIII dem Winkel ν und ν' die entgegengesetzte, nämlich die rückläufige Drehung entsprechen.

Um schliesslich in Bezug auf die Drehung der Gipfelkante die beobachteten und die berechneten Werthe zu vergleichen, kann, da für die graphische Bestimmung der Drehung immer nur kurze Strecken

der Gipfelkante zur Verfügung standen, welche 1 bis 2 *cm* betragen, in der Berechnung der Werth von z überall = 1 *cm* angenommen werden. Darnach ergeben sich die nachstehenden für v und v' berechneten Zahlen.

Exemplar	D	γ	v	beob.	v'
R (37)	1·71	1°12'	2°21'	2°40'	2°27'
R (39)	1·30	1 42	2 33	2 45	2 41
L (43)	1·20	—3 30	—4 50	—5 10	—5 25
L (47)	0·78	—5 36	—5 0	—5 20	—6 4
R (40)	1·04	5 0	5 57	6 42	7 4
L (24)	1·47	—3 42	—6 14	—7 15	—7 3
L (48)	0·80	—6 30	—5 56	—7 15	—7 28
L (42)	1·90	—3 30	—7 37	—7 10	—8 32
R (41)	0·62	9 30	6 34	7 6	
				9 0	9 30 ¹

Die beobachteten Werthe liegen zumeist innerhalb der durch die Rechnung für v und v' angegebenen Grenzen. Daraus folgt, dass bei dem Wachsen des Gipfelkrystals immer infolge der Drehung nach dem dritten Zwillingsgesetze eine Scheinkante gebildet wird, welcher eine stärkere Drehung zukommt als jene, welche durch die Windung nach dem zweiten Gesetze entstehen würde, und dass ausserdem eine stärkere Verzerrung des Querschnittes eintritt, welcher zufolge die Gipfelkante nahezu jener Ebene parallel bleibt, deren Projection QQ' ist.

Um zu erfahren, welche Krümmung die Gipfelkante der Rechnung zufolge zeigen sollte, würde es genügen, die Gleichungen XII und XIII zu berücksichtigen. Die erstere gibt für kleine Werthe von γ eine Linie, welche in der Projection auf die Ebene YZ einer Geraden nahekommt, während die zweite Gleichung für v' Werthe liefert, welche mit steigendem z wachsen. Ein Beispiel wird dies ziffermässig darthun. Für $D = 1·4$ *cm* und $\gamma = 5^\circ$ ergeben sich:

wenn $z = 0·5$	$v = 8^\circ 0'$	$v' = 8^\circ 41'$
» $= 0·75$	$= 7 59$	$= 9 2$
$= 1·0$	$= 7 58$	$= 9 27$
$= 1·25$	$= 7 56$	$= 9 53$

Die Gipfelkante, welche den für v' geltenden Voraussetzungen entspricht, sollte also in der Weise gekrümmt erscheinen, dass sie sich von der Richtlinie, welche parallel der Z -Axe durch T gezogen wird, immer mehr abwendet. Dies ist jedoch thatsächlich nicht der Fall. Die Scheinkante verfolgt, von T ausgerechnet, eine ziemlich gerade Linie und zeigt an manchen Exemplaren weiterhin eine Krümmung, indem sie sich der genannten Richtlinie zuwendet (Fig. 6 und schematisch in Fig. 20 und 22). Die Erklärung dieses widersprechenden Verhaltens ergibt sich jedoch daraus, dass die Drehung, welche aus dem Walten des dritten Zwillingsgesetzes folgt, mit steigenden Werthen von z merklich abnimmt. Nicht nur der Krystall von Baveno, Fig. 10, welcher bloß nach dem dritten Gesetze aufgebaut zu denken ist, zeigt dieses Verhalten zufolge den später anzuführenden Zahlen, sondern die Abnahme der Drehung folgt auch daraus, dass an allen Krystallen, welche die scheinbar widersprechende Krümmung der Gipfelkante deutlich zeigen, an den Kanten $p : a$ und $z : a'$ eine Auflösung der Continuität sich zeigt, so dass hier mehr oder weniger stark jene Stufen auf der Fläche a und a' merkbar werden, welche sich dort bilden, wo die Drehung nach dem dritten Gesetze aufhört die vermittelnde Rolle zu spielen. Die schwache S-förmige Krümmung der Gipfel-

¹ An dem zuletzt angeführten Exemplare ist, wie aus Fig. 9 c zu ersehen, die Gipfelkante in zwei Theile getheilt, welche verschiedene Winkel der Drehung ergaben.

kante an manchen Linkskrystallen, die Krümmung im entgegengesetzten Sinne an der Gipfelkante an manchen Rechtskrystallen ist demnach keine gesetzmässige, sondern eine mehr zufällige Erscheinung.

Der Krystallbau des Gipfels wäre nach den gegebenen Erläuterungen in folgender Art aufzufassen. Das Wachsen schreitet nach der Stammaxe in derselben Weise fort wie in den früher gebildeten Theilen des gewundenen Krystalls, indem die Krystallkeime (Dikrystalle) sich nach dem zweiten Gesetze in der Richtung der Stammaxe anreihen, daher in der Mitte der Gipfelkante der zuletzt gebildete Krystallkeim anzunehmen ist. Bei dem Wachsen der letzten Krystallkeime nach aufwärts und abwärts würden am Gipfel Prismaflächen gebildet, deren Krümmung durch die allgemeine Windung vorgeschrieben wäre und deren vordere Kante, die Gipfelkante, dieser Windung entsprechen würde. Die Erhaltung des Krystallwinkels vor 60° an den letzten Prismakanten fordert jedoch beim Wachsen nach aufwärts und abwärts, dass, abgesehen von jener Anordnung der Theilchen, welche der allgemeinen Windung entspricht, auch eine geringe Verzerrung des Querschnittes eintrete, welcher zufolge die letzten Prismaflächen eine Krümmung erhalten, welche durch das dritte Gesetz bestimmt wird und am Gipfel sich eine Scheinkante bildet, die eine Drehung im selben Sinne zeigt, wie die ursprünglich vorgezeichnete Kante, jedoch mit einem grösseren Drehungswinkel als diese.

Den gewundenen Krystallen verwandte Bildungen.

Unter den Arten des Quarzes, welche eine besondere Krystallbildung zeigen, gibt es mehrere, die mit den vorbeschriebenen gewundenen Krystallen in einer Beziehung stehen, sei es, dass einzelne an diesen beobachtete Erscheinungen wiedergefunden werden, oder dass ihre Formen auf dieselben Gesetze hindeuten.

Gewundene Krystalle von Baveno und Carrara.

Früher schon wurde der auf Taf. I, Fig. 10 abgebildete Krystall von Baveno erwähnt, welcher von Flächen begrenzt ist, die Schraubenflächen beiläufig entsprechen. Es ist ein Linksquarz, was durch die Riefung auf den beobachteten kleinen Trigonoöderflächen erkannt wird. Die Axe der Schraube ist hier die Hauptaxe, die Seitenkanten sind hier schwach S-förmig gekrümmt, woraus schon folgt, dass das Gefälle gegen den Gipfel zu schwächer wird. Dies ergibt sich aber auch aus den Messungen. Der Krystall hat eine Höhe von ca 4.5 cm , ist unten dicker als oben und zwar senkrecht zu den Prismaflächen gemessen bezüglich der drei Flächenpaare:

unten	1.72	1.67	1.48 <i>cm</i>
oben	1.51	1.47	1.26

Die Windung hat denselben Sinn, wie an den früher beschriebenen gewundenen Linkskrystallen. Die Kanten sind ziemlich gleichartig verlaufend, bezüglich der Abbildung sind aber hinten zwei Flächen treppenartig rauh, daher für die Bestimmung des Gefälles unbrauchbar. An den übrigen vier Flächen ist das Gefälle messbar und in demselben Niveau ziemlich gleich. Das Gefälle, welches in der Art gemessen wurde, dass die Lineale der horizontalen Riefung parallel angelegt wurden, beträgt:

2 <i>cm</i>	bis	1 <i>cm</i>	unterhalb der horizontalen Kante	10.5°
1.5	»	0.5	»	»
1.	»	0.	»	»

dasselbe nimmt also gegen die Spitze des Krystalles zu bedeutend ab.

Einige der einfach aussehenden klaren Bergkrystalle von Carrara zeigen dieselbe Art der Windung, jedoch in geringerem Grade, sehr deutlich ein einfacher Rechtsquarz, der auf seinen Flächen dieselbe Lichtfigur darbietet, wie ein gewundener Bergkrystall, der aus Rechtsquarz besteht, nämlich bei horizontaler Stellung der Kante $a : p$ einen Lichtstreif, der von links oben nach rechts unten verläuft. Zur Messung des Gefälles war der Krystall zu klein.

Der Aufbau dieser Krystalle lässt sich, wie schon bemerkt wurde, durch eine Zwillingsbildung nach dem dritten Gesetze erklären. Die in Fig. 26 und 27 aufeinanderfolgend gezeichneten Schichten lagern sich hier übereinander, wodurch die Prismaflächen gekrümmt erscheinen. Da das Gefälle am ersteren gegen die Spitze zu abnimmt, so ist zu schliessen, dass die Dicke der einzelnen Schichten gegen die Spitze des Krystalles zu grösser wird.

Das dritte Gesetz der Zwillingsbildung kann dazu führen, dass jede Schichte von der vorigen um denselben Winkel abweicht, aber auch dazu, dass wechselnde Stellungen eintreten, indem die dritte Schichte dieselbe Stellung hat, wie die erste, die vierte dieselbe Stellung wie die zweite u. f. Hier würden die Zwillings Ebenen $hik0$ und $ihk0$ miteinander wechseln. Dann würde aber, weil diese zwei Stellungen ungemein wenig von einander abweichen, ein Krystall entstehen, der ganz normal und einfach erscheint und höchstens durch eine horizontale Riefung auf den Prismaflächen die vielfache Zusammensetzung verräth. Es ist wohl möglich, dass alle normal aussehenden Krystalle so gebildet sind und die niemals gänzlich fehlende Riefung auf jenen Flächen von dieser Zusammensetzung abzuleiten ist.

Plattenförmige Krystalle mit bogenförmig gekrümmter Nebenaxe.

Unter den Rauchquarzen aus der Schweiz kommen bisweilen, jedoch selten solche vor, welche nach einer Nebenaxe stark ausgedehnt und tafelförmig erscheinen, ohne dass irgend eine Windung oder Knickung der Flächen daran zu beobachten wäre.

Etwas häufiger finden sich solche Bergkrystalle und Rauchquarze, die gleichfalls tafelförmig ausgebildet und nach einer Nebenaxe gestreckt sind, wobei jedoch die letztere bogenförmig gekrümmt ist. Die Krystalle stellen also flach bogenförmig gekrümmte Platten dar. In zwei Fällen, in welchen die Trapezoëderflächen dieselbe Austheilung zeigten, wie an den gewundenen Quarzen, stimmte die Krümmung mit den in Fig. 26 und 27 gegebenen Schematen überein. Am Linksquarz war die hohle Krümmung zur Linken gelegen, am Rechtsquarz zur Rechten. In den übrigen vier Fällen konnten die Krystalle nicht orientirt werden, weil die Trapezoëderflächen sowohl in der ersten als der zweiten Stellung auftreten. Derlei Krystalle kommen nicht nur aus der Schweiz, sondern auch aus den östlichen Alpen. An den flach gekrümmten, aber nicht gewundenen verlängerten Prismaflächen, welche den an den gewundenen Krystallen mit a und a' bezeichneten Flächen entsprechen, sieht man in verschiedenen Distanzen schwache Knickungen, die nur im reflectirten Lichte merklich sind, also schwach ein- und ausspringenden Winkeln entsprechen, so dass die Nebenaxe, nach welcher der ganze Bau gestreckt ist, in der Projection auf eine zur Basis parallele Ebene eine im Grossen flach bogenförmige, im Kleinen aber zugleich eine sehr flach zickzackförmige Linie geben würde. Diese Knickungen sind an einzelnen Exemplaren fast unmerklich.

Die bogenförmige Krümmung der Nebenaxe lässt vermuthen, dass hier das dritte Gesetz der Zwillingsbildung in der Art waltet, dass die Theilkrystalle in der durch die Fig. 26 und 27 angegebenen Wendung aufeinanderfolgen. Die ausserdem aus der Knickung der Prismaflächen folgende zickzackförmige Gestalt der Nebenaxe würde verrathen, dass der zuvor betrachtete Fall eintritt, welchem gemäss die Zwillings Ebenen $hik0$ und $ihk0$ mit einander wechseln.

An allen hierher gehörigen Krystallen kommen Erscheinungen vor, die in einem ursächlichen Zusammenhange mit der Formbildung zu stehen scheinen, aber schwer zu deuten sind. An vier Exemplaren erstreckt sich im Inneren des Baues schief aufsteigend ein wolkiger Streif, der, wie in einem Falle der Querbruch zeigte, von unregelmässigen kleinen Hohlräumen herrührt, welche von Krystallflächen begrenzt sind. Ein Exemplar ist an einer grossen Prismafläche mit Adular verwachsen, der schief aufsteigend gelagerte Zweige darstellt, welche aus kleinen, zum Theile parallel gelagerten Krystallen bestehen.

Krystalle mit gekrümmter Hauptaxe.

Eine nicht seltene, jedoch bisher noch wenig beachtete Form der Quarzkrystalle ist jene, welche eine Krümmung der Hauptaxe darbietet. Breithaupt gibt auf der Tafel, die seine »Paragenesis der Minerale«

begleitet, eine Abbildung solcher Krystalle, ohne irgend eine Anführung oder Erläuterung. In der älteren Literatur dürften andere bestimmtere Angaben zu finden sein. In letzter Zeit hat Lacroix eine hierher gehörige Beobachtung mitgeteilt.¹

Aus den östlichen Alpen sind mir wiederholt Stufen zugekommen, an welchen einzelne trübe Krystalle mit gekrümmter Hauptaxe zu sehen waren. Das auffallendste Exemplar ist jenes vom Rauriser Thale in Salzburg aus der Münchener Sammlung, welches mir Herr Professor Groth zur Beschreibung überliess und das auf Taf. III in Fig. II *a* und *b* abgebildet ist. Die grösste Dicke dieses Krystalls, im Sinne der Nebenaxe gemessen, beträgt 3.3 cm , die Länge in gerader Richtung 13 cm . Der Krystall ist in derselben Ebene zweimal gekrümmt, so dass er von einer Seite gesehen S-förmig erscheint. Er ist blos durchscheinend, an manchen Stellen ziemlich vollkommen durchsichtig. Auf einer Seite sieht man anhängende Glimmerschuppen (Fig. 11 *b*), woraus zu entnehmen ist, dass der Krystall dort mit Glimmerschiefer verwachsen war.

Die Krümmung scheint von einer Deformation des Krystalls herzurühren, und zwar dürfte eine Faltung des Glimmerschiefers, mit dem er verbunden war, diese Krümmung veranlasst haben. Dafür sprechen die vielen in dem Krystall erkennbaren Sprünge nach einer Fläche *p*, welche in dem letzterwähnten Bilde gut erkennbar sind, ferner deutliche Merkmale der Ausheilung von Sprüngen parallel *p* und die spätere Überwachsung dieser Stellen, woraus zu erkennen ist, dass der Krystall nach der Biegung sich noch vergrösserte. Mir sind auch mehrere kleinere Krystalle aus dem Rauris und aus der Schweiz zugekommen, welche eine einfache Krümmung der Hauptaxe darbieten, die aber an den stark verbogenen Stellen die Erscheinung der Ausheilung zeigen, indem dort ein früher klaffend gewesener Sprung durch neu gebildete kleine Kryställchen ausgefüllt ist. Gleichzeitig ist in der Nachbarschaft solcher Krystalle oft noch etwas von dem Nachbargestein zu sehen, dessen Verschiebung jene Krümmung bewirkte.

Andere Exemplare zeigen eine gleichförmige Krümmung der Hauptaxe, aber keine Spur einer nachträglichen Deformation, keine Sprünge, keine Ausheilungen und sie sind zugleich von anderen geraden Krystallen in einer Weise umgeben, welche jede Vermuthung von einem äusseren Anlasse zur Krümmung ausschliesst. Ein Beispiel gibt die Fig. 12 auf Taf. III, welche einen Krystall vom selben Fundorte darstellt. Hier ist die Krümmung eine ganz gleichförmige. Auch an Krystallen von anderen Fundorten ist die Krümmung von dieser Art, bisweilen auch noch etwas stärker, und die Nachbarschaft der Krystalle so gestaltet, dass man die Krümmung wohl nur als eine Wachsthumerscheinung auffassen kann.

Dieses vorausgesetzt, lässt sich die Form als das Resultat einer zweifachen Zwillingsbildung ansehen, und zwar durch einen Wechsel des ersten und zweiten Gesetzes herbeigeführt. (Fig. 48.) Nach dem zweiten Gesetze folgen die Schichten 1 und 2 so aufeinander, dass sie sich an der Zwillingsebene berühren. Dagegen ist die Schichte 2 mit der Schichte 3 nach dem ersten Gesetze verbunden, wobei die Basis als Berührungsfläche zu denken ist. Sodann ist wiederum 3 mit 4 nach dem zweiten Gesetze verbunden u. s. f.

Bei allen den schematischen Figuren, in welchen basale Schichten gezeichnet sind, ist noch zu berücksichtigen, dass diese Auffassung nur der Einfachheit der Darstellung wegen angenommen ist, während in Wirklichkeit die Vergrösserung des Krystalls durch Auflagerung von Schichten auf die Krystallflächen *a*, *p*, *z*, *a'* u. s. w. geschieht.

Regelmässig drusige Prismaflächen.

Manche der brasilischen Amethystkrystalle zeigen an jeder Prismafläche kleine Krystalle, die aus dem Hauptkrystall hervorzuwachsen scheinen, dabei untereinander beiläufig parallel und gegen den Hauptkrystall schwach geneigt sind. Fig. 49. Bei aufrechter Stellung des Amethysts strecken die kleinen Krystalle, welche unterhalb *p* aus den Prismaflächen hervorkommen, ihre Köpfe nach aufwärts, an den zwischen-

¹ Bull. soc. fr. de Minéralogie, tom. 14, p. 306 (1891).

liegenden Prismaflächen, also unterhalb z hingegen nach abwärts. Diese kleinen Krystalle haben nicht alle genau dieselbe, sondern etwas verschiedene Neigungen gegen den Hauptkrystall. In der Projection auf die einzelne grosse Prismafläche sind die Seitenkanten der kleinen Krystalle mit den Seitenkanten des Hauptkrystalls parallel.

Die Regelmässigkeit dieser Bildung ist leicht erkennbar. Jeder der kleinen Krystalle ist so gelagert, als ob er aus der mit dem Hauptkrystall parallelen Stellung unter Beibehaltung der Zone $a:p$ um einen kleinen Winkel gedreht worden wäre. Drehungsaxe ist demnach eine Nebenaxe. Dies entspricht aber im Wesen einer Verwachsung nach dem zweiten Gesetze. Ist in Fig. 15 der mit $p_1 z_1$ bezeichnete Krystall der grosse Amethyst, so hat der mit $p_2 z_2$ bezeichnete Krystall die Stellung der kleinen, aus demselben hervortretenden Krystalle. Dass der Winkel der Drehung ein erheblicher und variabler ist, würde auch hier durch eine Concurrenz des ersten und des zweiten Gesetzes erklärt werden können, wobei zu berücksichtigen ist, dass der lagenförmige Wechsel von Rechts- und Linksquarz im Amethyst darin keine Änderung hervorruft, weil für beide Arten des Quarzes die p -Flächen dieselbe Lage haben.

Das mir zu Gebote stehende Exemplar ist nicht unverletzt und nicht vollkommen. An besseren Stücken dürften die Einzelheiten der Form genauer zu verfolgen sein.

Brüche und Knickungen der Flächen.

An manchen Bergkrystallen zeigen sich bei vollkommener Ebenheit der Flächen auf diesen zarte krumme Linien von unregelmässigem Laufe, an welchen die schwache Riefung der Prismaflächen absetzt und welche auch auf den Rhomboëderflächen bisweilen Flächentheile von verschiedener Beschaffenheit scheiden. Diese Linien werden, wie bekannt, als Zwillingsgrenzen bezeichnet, und die Ätzung der terminalen Flächen bestätigt ausnahmslos, dass diese Linien die Grenzen jener Krystalltheile sind, welche dem ersten Gesetze der Zwillingsbildung zufolge das Ganze des Krystalls aufbauen. An sehr vielen Exemplaren von Bergkrystall sowohl aus der Schweiz, als auch von anderen Fundorten treten aber Unterbrechungen der Flächen auf, die von jenen Zwillingsgrenzen verschieden erscheinen. Es sind bisweilen deutliche Treppen oder weniger merkliche absätzigte Brechungen der Flächen, wobei die Treppen auf den Prismaflächen ungefähr der Hauptaxe parallel erscheinen, meistens aber sind es Knickungen in derselben Richtung auf den Prismaflächen, die sich auch auf die Rhomboëderflächen fortsetzen. Nicht selten erscheinen die Kanten $a:p$ durch solche wiederholte Flächenbrüche mehrfach zerschnitten.

Diese Brechungen und Knickungen sind bisher noch nicht aufgeklärt, jedoch glaube ich, dass schon S. C. Weiss das Richtige traf, als er die Erscheinung mit dem Bau der gewundenen Quarze in Zusammenhang brachte. Die darauf bezügliche Stelle in der vorerwähnten Abhandlung lautet: »Man kennt wohl die häufigen, gewissermassen räthselhaften Brechungen, Unterbrechungen durch mehr oder minder scharfe, zackige, auch wohl mit wahrer Einknickung, Winkelbildung verbundene Linien, welche man insbesondere auf den Seitenflächen des Bergkrystalls zu finden pflegt. Mit Ausnahme dieser Einknickung kann man nur geneigt sein, sie für Folgen häufig wiederkehrender Zwillingsverwachsung nach dem bekannten gewöhnlichen Zwillingsgesetze zu halten, umso mehr, seit man die Häufigkeit solcher Zwillingsverwachsung, die sich unter dem Ansehen eines einfachen Individuums verstecken, beim Bergkrystall näher kennen gelernt hat. Jetzt, nach den vorausgegangenen Betrachtungen¹ ist es mir sehr wahrscheinlich geworden, dass diese Brechungen der Seitenflächen nicht allein mit dem Zwillingsverhalten, sondern auch mit den anfangenden Drehungen in Beziehung stehen.«

Die genauen Beobachtungen an Krystallen, welche die bezeichneten Erscheinungen darbieten und die zum Theile aus der Schweiz, zum Theile auch von verschiedenen anderen Fundorten stammen, bestätigen die hier geäusserte Vermuthung. Wird ein solcher Krystall in das Goniometer gebracht, so ergibt sich, dass an den Stellen jeder solchen Unterbrechung ein Theil des Krystalls mit dem übrigen Krystall nicht parallel

¹ Nämlich der gewundenen Bergkrystalle.

ist, sondern von demselben mehr oder weniger abweicht. Descloizeaux hat schon an brasilischen Quarzen diese Abweichung erkannt. ¹ Bisweilen lässt sich schon mit freiem Auge das Charakteristische dieser Divergenzen verfolgen, gewöhnlich bedarf es aber einer näheren Untersuchung, um die anfänglich regellos scheinenden Reflexe unter bestimmte Gesichtspunkte zu bringen. Die Art und Weise, wie sich die einzelnen Theile des Krystalls zur Grundanlage desselben verhalten, ist mannigfaltig, auch nach Fundorten verschieden, und es liessen sich viele interessante Einzelheiten anführen. Ich darf mich aber hier darauf beschränken, die Gesetzmässigkeit anzudeuten, welche die goniometrischen Beobachtungen ergeben. Die Reflexe an den Prismaflächen zeigen, dass diese oft in zwei oder mehrere in der Richtung der Hauptaxe gestreckte Streifen zerfallen, die wesentlich zweierlei und im Ganzen dreierlei verschiedenes Verhalten darbieten.

1. Einfache Flächenbrüche.

Einzelne Streifen auf den Prismaflächen geben Reflexe, die ausserhalb der Prismazone, aber in der Zone $a : p$ liegen. Die Abweichung von der Prismazone ist sehr variabel, bald sehr klein, bald grösser bis zu etwa 2° . Diese Streifen gehören demnach Krystalltheilen an, welche vom Hauptkrystall in der Weise abweichen, dass sie um eine Nebenaxe gedreht erscheinen. Der Sinn der Drehung ist derselbe, wie ihn die Concurrenz des ersten und des zweiten Gesetzes fordert und wie er im Grossen durch die Figuren 1 und 2a, schematisch aber in den Figuren 14 und 17 angegeben wird. Dementsprechend setzt sich der Bruch auf die Rhomboëderfläche p fort, jedoch ergibt die Ätzung der letzteren, dass der heraustretende Flächentheil wiederum den Charakter der p -Fläche hat, wie dies in den Figuren 14 und 17 angezeigt ist. Wenn hier die Stellung des Hauptkrystalls durch den oberen Theil der Figuren bezeichnet ist, so hat der davon abweichende Krystalltheil meistens die Stellung, welche durch den unteren Theil der Figur, durch den zweiten Dikrystall angedeutet ist, wonach p und p_2 wohl von einander abweichen, aber den gleichen krystallographischen Charakter haben.

Die hier besprochenen Flächenbrüche bedeuten also keineswegs eine Zwillingbildung nach dem ersten Gesetze allein, denn die Stellung des Theilkrystalls ist, von der Abweichung in der Prismazone abgesehen, dieselbe wie die des Hauptkrystalls.

Um die kleinste Abweichung in der Prismazone zu finden, wurden an Bergkrystallen von Carrara zahlreiche Messungen angestellt. Dabei war jedoch die Riefung ungemein störend. Vier Messungen ergaben Werthe zwischen $3' 15''$ und $3' 30''$, im Mittel $3' 23''$, die beste Messung lieferte $3' 20''$. Die anderen gefundenen Abweichungen sollen nun Vielfache dieses Werthes sein. Der Vergleich von Rechnung und Beobachtung bezüglich der kleinsten Abweichungen gibt:

berechnet:	$3' 20''$	beobachtet:	$3' 15''$	$3' 30''$
	6 40		—	
	10 0		10	
	13 20		12	
	16 40			
	20 0		20	. 21

2. Einfache Knickungen.

Die grosse Mehrzahl der Streifen auf den Prismaflächen liefert Reflexe, welche in der Prismazone liegen. Die zugehörigen Krystalltheile weichen demnach von dem Hauptkrystall in der Weise ab, dass sie um die Hauptaxe gedreht erscheinen, was einer einfachen Zwillingbildung nach dem dritten Gesetze entspricht. Die Drehung findet aber nicht blos in dem einen Sinne statt, sie wechselt auch bisweilen, so dass nicht selten wechselnde Knickungen wahrgenommen werden, welche sich auch auf die Rhomboëderflächen

¹ Manuel de Minéralogie, t. I, p. 14.

fortsetzen. Das Verhalten ist also ähnlich jenem an den plattenförmigen Krystallen mit bogenförmig gekrümmter Nebenaxe. Die schwachen Knickungen betreffen breitere Streifen, während stark abweichende Streifen gewöhnlich sehr schmal sind. Die Abweichungen sind oft klein, zuweilen aber ziemlich gross bis zu $2^{\circ} 45'$. Hier ist mit Rücksicht auf die Figuren 26 und 27 wiederum eine Summirung bei gleichzeitiger Unterdrückung der Zwischenglieder anzunehmen.

Werden die Knickungen auf die Rhomboëderflächen verfolgt, so zeigt sich, dass die schwachen Knickungen sich dort bald verlieren, die starken aber keilförmige Flächentheile herausheben. Die Ätzung ergibt, dass solche Flächentheile denselben Charakter haben, wie die übrige Fläche. Die Figuren 26 und 27 erklären dieses Verhalten. Demnach bedeuten auch die Knickungen keine Abgrenzung von Krystalltheilen zufolge einer Zwillingsbildung nach dem ersten Gesetze.

Zur Auffindung der kleinsten Abweichungen in der Prismazone werden gleichfalls Messungen an Bergkrystallen von Carrara benützt. Sieben Messungen ergaben Werthe von $3' 15''$ bis $3' 26''$, im Mittel $3' 20''$, die beste Messung lieferte $3' 20''$. Die anderen Abweichungen sollten Vielfache dieses Winkels geben. Die Zusammenstellung der Beobachtungen zeigt Folgendes:

berechnet:	$3' 20''$	beobachtet:	$3' 15''$	$3' 26''$
	6 40		6	8
	10 0		10	11 16
	13 20		13	
	16 40		15 30	18
	20 0		21.	

Nach diesen Beobachtungen wären die kleinsten Abweichungen im Sinne des zweiten und des dritten Gesetzes ungefähr gleich. Die Resultate habe ich schon früher angeführt, jedoch muss ich bemerken, dass ich einige Zwischenwerthe, welche von minderwerthigen Messungen herrühren, unberücksichtigt liess. Ich bin daher keineswegs sicher, die Minimalwerthe gefunden zu haben und halte es für möglich, dass dieselben kleiner sind, als die oben angeführten.

3. Brüche und Knickungen von doppelter Krümmung.

Eine ziemlich grosse Zahl von Knickungen liefert bei der Beobachtung mit freiem Auge und im Goniometer Lichtfiguren, welche eine doppelte Krümmung dieser Flächenstreifen angeben. Die Lichtfigur besteht aus mehreren knapp aneinander gereihten Bildern oder aus continuirlichen Streifen, die mannigfaltige Formen darstellen.

Die Lichtfigur, welche bei der Beobachtung mit freiem Auge durch einen leuchtenden Punkt, im Goniometer durch ein punktförmiges Signal hervorgerufen wird, sieht manchmal wie die Hälfte eines Kranzes oder wie ein Stück einer Wellenlinie aus, oder sie zeigt andere rundliche, anscheinend unregelmässige Formen, was auf eine Combination verschiedener Krümmungen der Fläche hindeutet. Einige Reflexe überwiegen darin bisweilen sehr stark. Wenn aber die Lichtfigur mehr gleichförmig entwickelt ist und ein zusammenhängender Lichtstreif entsteht, so stimmt die Form mit derjenigen überein, welche an den gewundenen Quarzen beobachtet wird, indem bei horizontaler Stellung der Kante $a : p$ Lichtstreifen erhalten werden, die von rechts oben nach links unten oder von links oben nach rechts unten verlaufen. Ich konnte hierin bisher noch keine Gesetzmässigkeit erkennen wie etwa jene, nach welcher an Linkskrystallen immer die erstere, an Rechtskrystallen immer die zweite Figur zu beobachten wäre. Dieses scheinbar unregelmässige oder widersprechende Verhalten würde sich aber daraus erklären, dass die Knickungen und die daran beobachtete Windung durch das dritte Gesetz allein zu Stande kommen und diesem zufolge, weil sowohl die Fläche $hikO$, als auch die Fläche $ihkO$ Zwillingsfläche sein kann, am selben Krystall die eine oder auch die andere Windung vorkommen kann. Es ist mir nur so viel sicher, dass die Knickungen oft Flächen von regelmässiger doppelter Krümmung sind, wie solche an den gewundenen Bergkrystallen beobachtet werden.

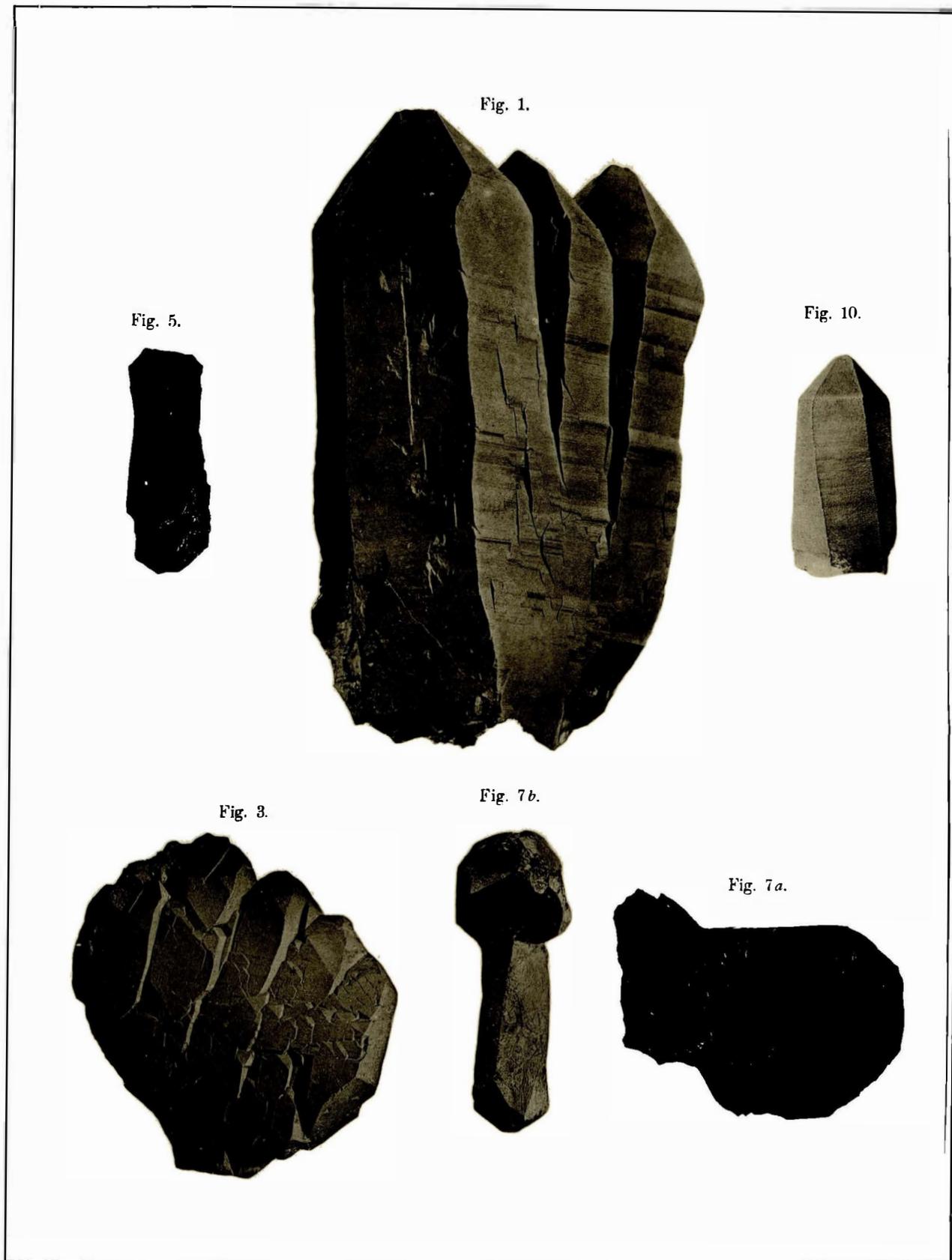
Wie begreiflich ist der Lichtstreif in den meisten Fällen sehr kurz und vereinigt sich mit der Lichtfigur, welche die Riefung für sich erzeugt, daher die Beobachtung schwierig. Die Lichtstreifen fallen meist nicht sehr steil ab, die Windung ist also gering, das Gefälle, der Winkel γ nicht gross. Auf den Flächen-theilen innerhalb der Rhomboëderflächen lässt sich die doppelte Krümmung auch durch die Beobachtung der Lichtfigur verfolgen. An den weniger häufigen Flächenbrüchen zeigt sich die Windung auch, jedoch in den von mir beobachteten Fällen minder deutlich.

Zuletzt ist noch daran zu erinnern, dass an ganz einfach aussehenden, klaren Krystallen von Baveno eine Windung aller Flächen wahrgenommen wurde. Die zuletzt angeführten Ergebnisse lassen erkennen, dass an vielen der gewöhnlichen Bergkrystalle in Gestalt von Flächenbrüchen und Knickungen eine Erscheinung auftritt, welche in gleicher Weise zu erklären ist wie die Formen, welche an den gewundenen Bergkrystallen und den mit dieser Bildung zusammenhängenden offenen Gruppierung der Bergkrystalle zu sehen sind. Dass jene Krystalle nicht selten auch solche Theile umschliessen, welche die gekrümmten Formen der gewundenen Bergkrystalle an sich tragen, hat die letzte Beobachtungsreihe gezeigt.

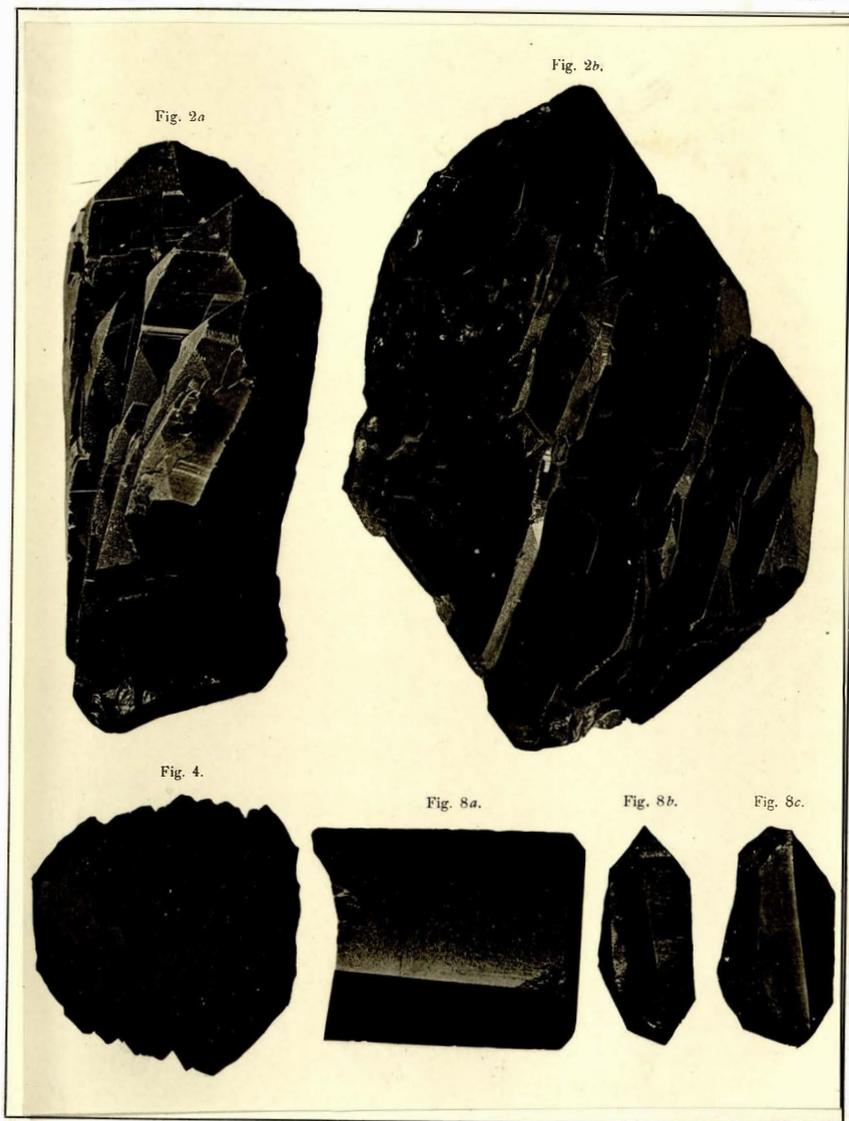
Erklärung der Tafeln I, II, III.

- Fig. 1. Taf. I. Bergkrystall. Grosser Krystallstock aus der Schweiz.
- 2 a. II. Vorderansicht eines grossen Exemplares von Rauchquarz aus der Schweiz.
- 2 b. II. Seitenansicht desselben Krystallstockes.
3. I. Seitenansicht eines Krystallstockes von Rauchquarz aus der Schweiz. Die Ausbildung des oberen und des unteren Theiles wenig übereinstimmend.
4. II. Rauchquarz vom Kreuzlipass, Canton Uri, Schweiz. Gewundener halbgeschlossener Krystallstock. Seitenansicht.
5. I. Oberansicht eines Krystallstockes von Rauchquarz aus dem Etlithal, Uri, auf $\frac{1}{5}$ verkleinert.
6. ▶ III. Vorderansicht eines gewundenen Rauchquarzes aus dem Rienthal, Uri. Die verkehrt S-förmige Krümmung der Gipfelkante deutlich.
- 7 a. I. Seitenansicht eines continuirlich gewundenen Bergkrystalles vom Gotthardt. Auf $\frac{6}{7}$ verkleinert.
- 7 b. I. Oberansicht desselben Bergkrystalles.
- 8 a. II. Seitenansicht eines continuirlich gewundenen Rauchquarzes aus der Schweiz, in doppelter Grösse.
- 8 b. II. Vorderansicht desselben Krystalles.
- 8 c. II. Schiefe Vorderansicht desselben Krystalles.
- 9 a. ▶ III. Seitenansicht eines stark gewundenen, continuirlich gebildeten Rauchquarzes von der Göschenen-Alpe. In doppelter Grösse.
- 9 b. III. Oberansicht desselben Krystalles.
- 9 c. III. Vorderansicht desselben Krystalles.
10. I. Gewundener Quarzkrystall von Baveno.
- 11 a. III. Seitenansicht eines grossen, zweimal gekrümmten Quarzkrystalles aus dem Rauris.
- 11 b. III. Zweite Seitenansicht desselben Krystalles.
12. III. Einfach gekrümmter Quarzkrystall aus dem Rauris.

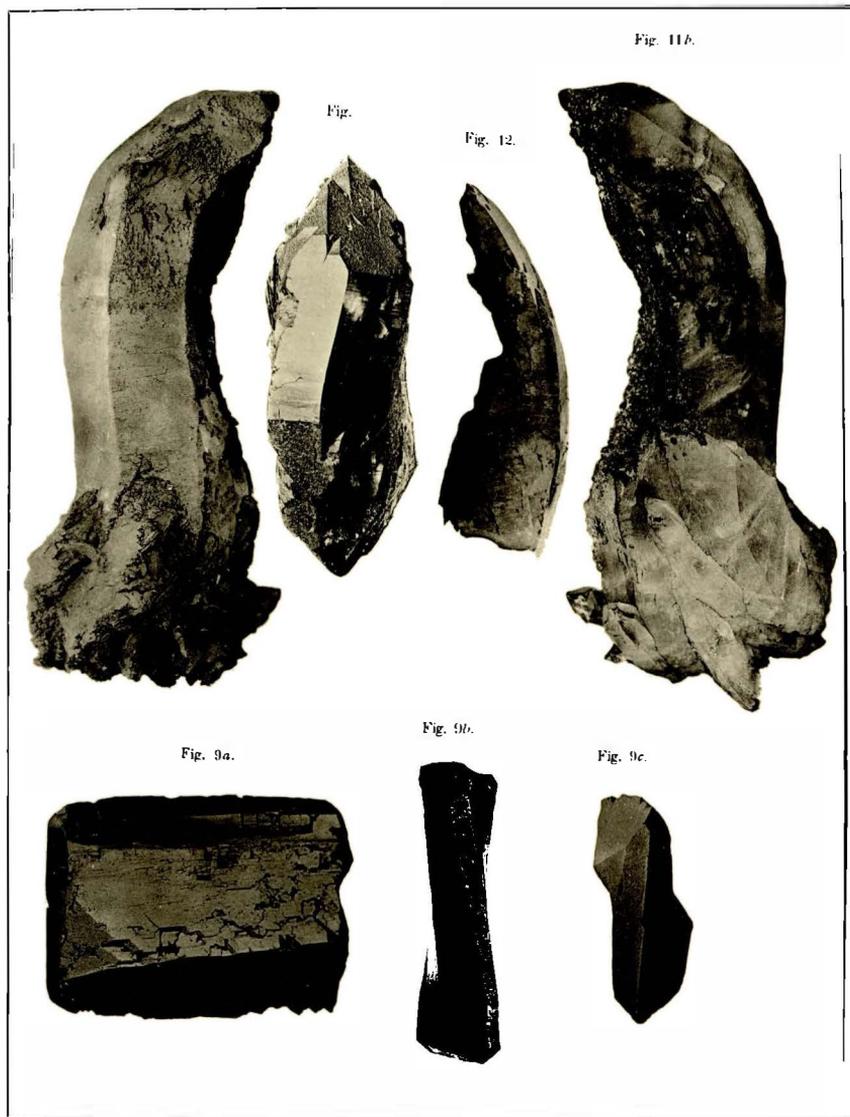




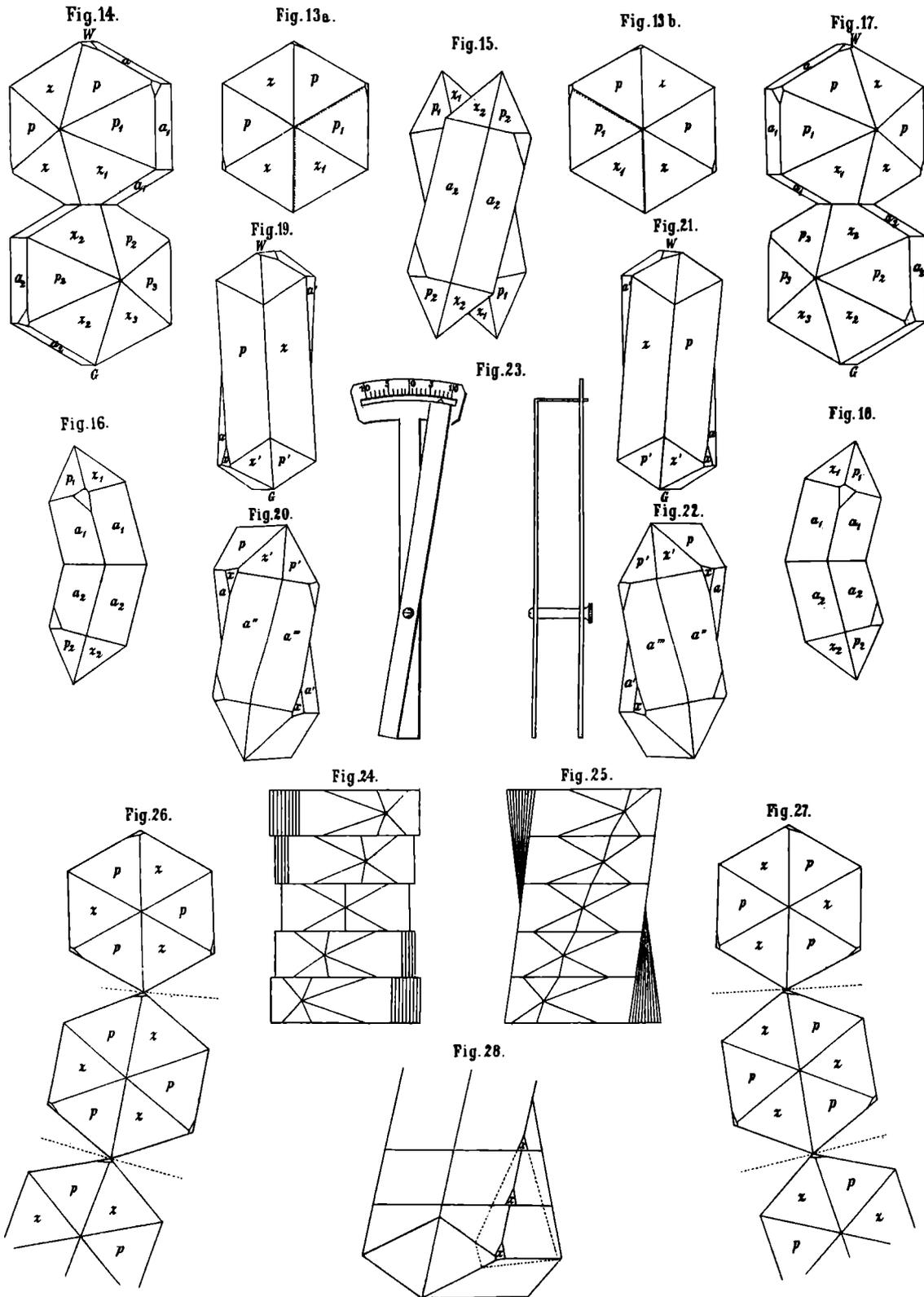
Lichtdruck von Max Jaffé, Wien.



Lichtdruck Jaffe, Wien.



Lichtdruck von Max Jaffe, Wien.



Gezeichnet v. A. Pelikan.

Photolithographie u. Druck v. M. Jaffé, Wien-Währing.

