

XXVIII. Zur Theorie der Zwillingkrystalle.

Von G. Tschermak.

Die ausgezeichneten Arbeiten G. v. Rath's über die Zwillingbildungen trikliner Feldspathe, welche die von Kayser, G. Rose, Descloizeaux erhaltenen Resultate ergänzten und vervollkommneten, ferner die neue Arbeit desselben Forschers über den Cyanit, welche mit der Publication M. Bauer's zusammentrifft, endlich die Beobachtungen des zu früh verstorbenen Sadebeck an hemiëdrischen Krystallen haben unsere Kenntniss der gesetzmässigen Verwachsung gleichartiger Krystalle ungemein gefördert, weil das triklone System die grösste Mannigfaltigkeit der Erscheinungen umfasst und weil hemiëdrische Formen den Begriff jener regelmässigen Bildungen zu erweitern geeignet sind.

Dem vergrösserten Umfange des Beobachtungsmateriales gegenüber musste aber auch der Wunsch entstehen, das allgemeine Gesetz der Zwillingbildung zu erkennen und es musste sich das Bedürfniss nach einer anschaulichen Vorstellung, welche die bekannten Thatsachen zu verbinden und aus einem Principe abzuleiten gestattet, immer mehr herausstellen.

Dass ein solches allgemeines Gesetz bisher noch nicht gefunden oder noch nicht anerkannt ist, zeigen die gegenwärtigen Definitionen des Begriffes der Zwillingverwachsung sehr deutlich. Manche der krystallographischen Werke begnügen sich damit, zu sagen, die Individuen eines Zwillingkrystalles seien so vereinigt, dass sie durch die halbe Drehung des einen Individuums um eine bestimmte Linie in parallele Stellung gebracht würden, und geben weiter nicht an, welche Lage jene Linie oder Zwillingaxe haben müsse. Andere definiren die Zwillinge als Verwachsungen je zweier Individuen in symmetrischer Stellung zu einer Ebene, wobei sie wiederum die Lage dieser Ebene unbestimmt lassen und die thatsächlich vorkommenden unsymmetrischen Zwillinge von ihrer Definition ausschliessen. Wegen der Unbestimmtheit des Begriffes von Zwilling lassen sich auch die möglichen Lagen der Zwillingaxe,

also die möglichen „Zwillingsgesetze“, daraus nicht ableiten, und so kommt es, dass über die Zulässigkeit eines behaupteten „Zwillingsgesetzes“ Discussionen entstanden, ferner dass über die Zugehörigkeit beobachteter Verwachsungen zu den Zwillingen Zweifel erhoben wurden, ohne dass ein Entscheid gefällt werden konnte.

Es ist wohl klar, dass die allgemeinen Gesetze der Zwillingsbildung nur einer Theorie des Krystallbaues entspringen können, welche sowohl die Bildung der einfachen Krystalle, als jene der Zwillingsverwachsungen erklärt und alle von dem Krystallgefüge abhängigen Erscheinungen in Zusammenhang bringt. Dies haben alle Jene gefühlt, welche sich über die Entstehung der Zwillingskrystalle Rechenschaft zu geben suchten und daher finden wir in mehreren Werken über allgemeine Mineralogie, von denen ich nur jene von Haidinger¹⁾ und von Dana²⁾ nennen will, Versuche einer Deutung jener merkwürdigen Erscheinung, auf Grund solcher allgemeiner Vorstellungen. Die Grundlagen einer Theorie der Krystalle sind aber durch die Arbeiten eines Haüy, Bravais und Frankenheim gelegt worden, welche durch Mallard und Sohncke fortgesetzt werden, und eine Erklärung des Zwillingsbaues wurde auch schon von Bravais in einer besonderen Abhandlung zu geben versucht³⁾. Die früher genannte Frage erscheint jedoch hier nicht in jener Allgemeinheit gestellt und beantwortet, dass das Bedürfniss einer einfachen theoretischen Vorstellung befriedigt worden wäre. Mallard hat sich in seiner genialen Arbeit über abnorme optische Erscheinungen an Krystallen⁴⁾ der Bravais'schen Methode angeschlossen und auch später auf Grundlage dieser Anschauungen die Ursache der Zwillingsbildung in einer specielleren Weise aufzufinden gesucht⁵⁾. Es scheint indessen, dass die geometrische Behandlung der Aufgabe nicht so rasch zum Ziele führen wird, als es die genetische Auffassung vermag. Daher möchte ich der von Knop geäußerten Anschauung⁶⁾ beipflichten, dass die Wachstumsverhältnisse der

¹⁾ Handbuch der bestimmenden Mineralogie p. 252.

²⁾ A system of Mineralogy 1854, p. 148.

³⁾ Etudes cristallographiques. Paris 1866, pag. 248.

⁴⁾ Explication des phénomènes optiques anormaux, que présentent un grand nombre de substances cristallisées. Paris 1877.

⁵⁾ Bulletin de la société minéralogique, t. 2, pag. 9.

⁶⁾ Molecularconstitution und Wachstum der Krystalle, p. 69.

Krystalle die Grundlage für eine natürliche Interpretation der der Zwillingerscheinungen liefern können. Da jedoch das hier berührte Wissensgebiet noch nicht vollkommen ausgebaut ist, wird es Mancher für verfrüht halten, auf diesem Boden eine Anschauung von der Zwillingbildung zu begründen. Jene Mineralogen aber, welche gleich mir das Bedürfniss empfinden, mindestens über die Definition des Zwillingkrystalles und der Zwillinggesetze einige Klarheit zu gewinnen, werden es vielleicht verzeihlich finden, wenn ich es unternehme, hier einige, wenn auch unvollkommene Andeutungen zu geben, in welcher Weise mit Hilfe einfacher Vorstellungen die bisher bekannten Erscheinungen an Zwillingkrystallen einheitlich aufgefasst werden können. Der Nutzen einer solchen Auffassung wird wohl nicht geläugnet werden können, auch wenn von vorneherein zugestanden wird, dass eine wirkliche Erklärung der vorliegenden Thatsachen heute noch nicht geliefert werden kann, weil dies voraussetzen würde, dass wir eine auf den allgemeinen Principien der Mechanik begründete Theorie des Krystallbaues besitzen, was thatsächlich nicht der Fall ist. Was aber jetzt schon erreichbar erscheint, ist eine Erläuterung der Zwillingbildung, welche nicht bloß eine geometrische Demonstration ist, sondern welche auf Grund der als brauchbar erkannten Anschauung von der Krystallbildung einen Satz aufstellt, welcher die möglichen Fälle der Zwillingbildung voraussehen lässt.

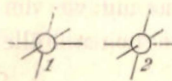
Im Folgenden sind nun die Eigenschaften der Krystalltheilchen, die aus der Beschaffenheit und aus den Wachsthumerscheinungen der Krystalle abgeleitet werden, zum Ausgangspunkte benützt, um die Entstehung der Zwillinge durch die gesetzmässige Anlagerung solcher Theilchen anschaulich zu machen. Betrachtet man mit Frankenheim die Krystalle und Krystallindividuen als regelmässige Molekularnetze, so hat man die Molekel in denselben so angeordnet zu denken, dass in jeder Richtung, welche mehrere Molekel trifft, diese in gleichen Distanzen aufeinander folgen. Jede Ebene, welche mindestens drei Molekel trifft, die nicht in derselben Linie liegen (Molekularebene), ist eine mögliche Fläche des Krystalles, jede Linie, welche durch mindestens zwei Molekel geht (Molekularlinie) ist eine mögliche Kante des Krystalles. Sind bezüglich einer einzigen Molekel die Distanzen von den Nachbarmolekeln und die entsprechenden Richtungen gegeben, so ist die ganze Anordnung,

ist der Bau des ganzen Netzes bekannt, da ja dieselben Verhältnisse sich beständig wiederholen. Die äussere Form ist jedoch damit noch nicht gegeben, weil die beim Wachsen des Krystalles eintretenden Umstände entscheiden, welche von den möglichen Flächen die Grenzen des ganzen Netzes zu bilden haben.

Die Molekularlinien, welche die Molekel geringster Distanz verbinden, mögen als Mol. L. erster Ordnung bezeichnet werden. Man wäre versucht, in ihren Richtungen die stärkste Anziehung der Molekel zu erkennen, da jedoch die Distanzen das Resultat sowohl der Anziehung als der Abstossung sind, so wird dies nicht allgemein gelten. In den beistehenden Figuren sind die Molekel als Kugeln ausgedrückt und die M. L. erster Ordnung ausgezogen. Solche Darstellungen sollen jedoch bloß die Anordnung, nicht aber die Gestalt der Molekel andeuten, da wir uns die Krystallmolekel nicht als Kugeln, sondern als Systeme kleiner Körper zu denken haben, deren Stellung und Bewegung jene Anordnung bedingt.

Die Entstehung und das Wachsen der einzelnen Krystalle hat man sich demnach so vorzustellen, dass die Molekel, welche aus

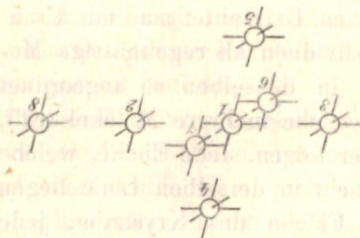
Fig. 1.



dem frei beweglichen Zustande in den fixirten übergehen, bei der Abnahme ihrer Geschwindigkeit sich allmählig so stellen, dass alle gleichen Molekularlinien fortlaufend und parallel werden. Figur 1

gibt in der Bildung eines Krystalles den Augenblick an, da zwei Molekel sich parallel gestellt und fixirt haben; Figur 2 hingegen

Fig. 2.



deutet den Moment an, da sieben Molekel sich in paralleler Stellung aneinandergereiht haben und die achte nach vollbrachter Orientirung sich in gleicher Weise anreihet. Dieses Beispiel mag hier genügen, und es ist nicht nöthig, besonders zu zeigen, dass der Anfang einer Krystallbildung auch durch die gleichzeitige Fixirung

mehrerer, z. B. acht oder zwölf Molekel gegeben werden könnte, oder dass das Wachsen auch nach den Mol. L. zweiter, dritter Ordnung etc., also nach Zwischenrichtungen fortschreiten kann.

Hier kommt es nur darauf an, festzuhalten, dass das Wachsen nach irgend welchen Molekularlinien stattfindet. Der Einfachheit wegen aber werden die Molekularlinien erster Ordnung als Wachstumsrichtungen angenommen; ferner wird das Wachsen immer so gedacht, dass die Molekel sich einzeln aneinanderfügen, während der andere Fall, in welchem genau gleichzeitig stets mehrere sich ansetzen, also der erste Keim des Krystalles schon aus mehreren Molekeln besteht, zwar möglich ist, aber keine Zwillingbildungen liefern würde.

Die Geschwindigkeit des Wachstums ist in zweifacher Beziehung eine variable Grösse. Einmal im absoluten Sinne, indem die Krystalle unter Umständen langsamer oder rascher wachsen, wobei die Materialzufuhr eine Hauptrolle spielt, zweitens in Bezug auf das Verhältniss der verschiedenartigen Wachstumsrichtungen zu einander, da Fälle nicht selten sind, in welchen das Wachsen nach den einen Richtungen rascher vor sich geht, als nach den andern, wie die Krystalskelette die netzartigen Krystalle und die gestrickten Formen zeigen. Die Geschwindigkeit der Orientirung wird bei derselben Temperatur dieselbe sein und nicht von der Materialzufuhr abhängen. Daraus geht hervor, dass die Orientirung der Molekel und die Fixirung im gewissen Grade von einander unabhängig sind.

Bei dem Aneinanderfügen zweier Molekel wird man daher zwei Momente zu unterscheiden haben, erstens das Parallelstellen oder Orientiren, zweitens das Fixiren durch vollständigen Verlust der Geschwindigkeit fortschreitender Bewegung¹⁾. Nicht immer werden beide in gleicher Weise eintreten, vielmehr sind im Allgemeinen zwei Fälle denkbar:

A. Das Fixiren geschieht nach vollständig erfolgter Orientirung.

B. Das Fixiren tritt ein, bevor noch die Orientirung vollständig erfolgt ist.

Da die Molekel im Augenblicke, als die fortschreitende Bewegung aufhört, nur selten die Stellung haben wird, wie jene

¹⁾ Wer sich den Vorgang anschaulich zu machen sucht, kommt leicht dazu, beim Orientiren an das Drehen zweier Platten zu denken, die mit einspringenden Federn versehen sind, beim Fixiren an das knackende Einspringen der letzteren, wobei die Platten in bestimmte Lagen kommen. Beim unvollständigen Orientiren würde blos eine oder die andere Feder einspringen.

Molekel, an welche sie fixirt wird, so wird das Orientiren eine Drehung der zu fixirenden Molekel bedingen. Die Drehung wird aber keine neu eintretende Erscheinung sein, weil die fortschreitenden Molekel ohne Zweifel auch zugleich drehende Bewegungen ausführen. Man kann also sagen, dass die Fixirung einer Molekel eintreten kann, bevor sie noch die orientirenden Drehungen vollständig ausgeführt hat. Das Wachsen des Krystalls kann demnach der Orientirung in einer Richtung voraneilen; es kann sich an eine ruhende Molekel eine andere hinzukommende mit unvollständiger Orientirung anreihen. Die letztere Lage muss aber mindestens einem labilen Gleichgewichte entsprechen. Durch das Fixiren und den parallelen Ansatz neuer Molekel an die letztgedachten wird aber sogleich ein stabiles Gleichgewicht eintreten.

Der unparallele Ansatz einer Molekel wird nach dem Gesagten eine zufällige Erscheinung sein, doch wird es nicht bloß von den äusseren Umständen, sondern auch von der Beschaffenheit der Molekel abhängen, ob die Erscheinung an einer Substanz häufig oder selten vorkömmt und ob sie sich beim Wachsen desselben Krystalls wiederholt oder nicht.

In dem Falle *A*, beim Eintreten vollständiger Orientirung werden sich die Molekel nach allen Molekularlinien parallel stellen, bevor sie fixirt werden. Die orientirenden Kräfte müssen also nach allen Molekularlinien wirksam gedacht werden, jedoch ist es erlaubt, mindestens drei von diesen Richtungen, welche nicht in einer Ebene liegen, auszuwählen und in diese die Resultirenden aller der orientirenden Kräfte zu verlegen. Sind diese drei Resultirenden einander

Fig. 3 a

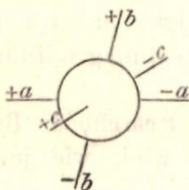
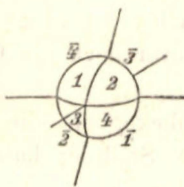


Fig. 3 b



gleich, so ergibt sich bloß ein gleichförmig fortdauerndes Wachsen, sind sie aber ungleich, so können auch andere Erscheinungen eintreten, von denen weiter die Rede ist. Daher soll hier vorausgesetzt werden, dass die drei Resultirenden unter

einander ungleich seien und es mag demnach die Richtung der stärksten orientirenden Kraft mit *a*, jene der mittleren mit *b*, der schwächsten mit *c* bezeichnet werden. Denkt man sich der Einfachheit wegen die Molekel als Kugel, so lassen sich die letzten drei Molekularlinien

wie in Figur 3a als Linien, die von dem Mittelpunkte derselben ausgehen, und welche je einen positiven und einen negativen Ast besitzen, darstellen. Die drei durch diese Linien gehenden Ebenen schneiden die Kugelflächen in grössten Kreisen, wodurch sich acht paarweise gleiche Räume, die hier Octanten genannt werden, ergeben. Sie sind in Figur 3b mit Ziffern bezeichnet, wobei der entgegengesetzt liegende Octant ein negatives Vorzeichen erhält, das hier über die Ziffer gesetzt ist. Am Rande des Bildes der Kugel sind die Bezeichnungen der benachbarten rückwärtigen Octanten angeschrieben. Auf der dem Auge zugewendeten Seite liegen die vier positiven, auf der abgewendeten die vier negativen Octanten. Die Ebene ab soll die Maximalebene genannt werden.

Bei der Bildung eines einfachen Krystalles werden sich an eine gegebene Molekel andere im Allgemeinen so ansetzen, dass ihre Maximalebene entweder in dieselbe Ebene fallen — Seitenstellung, oder dass ihre Maximalebene parallel sind — Flachstellung. Ist in Figur 2 die Ebene 1, 2, 4 die Maximalebene, so sind die Molekel 2, 3, 4, 5 mit 1 in Seitenstellung und sind die Molekel 6 und 7 in Flachstellung.

In dem Falle B , da sich die ansetzende Molekel fixirt, bevor die Orientirung vollständig eingetreten ist, werden sich, wie im Folgenden gezeigt ist, keine einfachen Krystalle bilden. In der Unvollständigkeit der Orientirung werden aber mehrere Grade zu unterscheiden sein, und zwar sind es zuvörderst folgende zwei:

α) Die nach a und b wirkenden Kräfte bringen eine Parallelstellung der Maximalebene bezüglich der ruhenden und hinzukommenden Molekel hervor, wobei fast immer auch a in beiden eine parallele Lage haben wird.

β) Es erfolgt bloss eine Parallelstellung der Richtung a in beiden Molekeln.

In dem ersteren Falle α , welcher die Parallelstellung der Maximalebene in sich fasst, sind drei verschiedene Grade der Orientirung zu unterscheiden:

I. Es stellen sich a und b parallel, c hingegen nicht.

II. Bloss a stellt sich parallel, b und c hingegen nicht.

III. Keine der drei Orientirungsachsen a , b , c stellt sich parallel.

Wenn sich an eine Molekel eine zweite fixirt, nachdem sie bloss in Bezug auf a und b orientirt worden, so werden die Stel-

lungen beider sich so verhalten, als ob bei paralleler Lage der Maximalebene die Octanten 1 und 4, 2 und 3 u. s. w. miteinander vertauscht worden wären. Figur 4a zeigt, wie sich die in solcher

Fig. 4 a

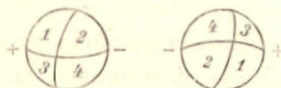
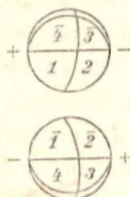


Fig. 4 b



Weise fixirten Molekel in der Seitenstellung und 4b, wie sie sich von oben gesehen, in der Flachstellung verhalten. Bezüglich der letzteren Stellung ist zu bemerken, dass die Linie, welche die Schwerpunkte beider verbindet, auf der Maximalebene senkrecht ist. Da nämlich die Orientirung bezüglich *c* nicht eingetreten ist, so werden sich die beiden Molekel in dieser Hinsicht so lagern, wie es die gewöhnliche Anziehung, welche bei diesem gleichsam über-

eilten Wachstume hier vorwiegt, erfordert, nämlich in die kürzeste mögliche Distanz. Bei gegebenem Parallelismus der Maximalebene ist aber diese Lagerung die zuvor angeführte.

Die Stellungen der beiden Molekel lassen sich so beschreiben, dass man sagt, sie verhalten sich so, als ob von zwei ursprünglich parallel gelagerten Molekeln die eine unter Beibehaltung des Parallelismus der Maximalebene um 180° gedreht worden wäre, oder, kurz gesagt, sie sind in hemitroper Stellung. Die Drehungsaxe ist in diesem Falle normal zur Maximalebene; sie ist im Allgemeinen keine Molekularlinie des einfachen Krystals.

Die Ausdrücke hemitrope Stellung und Drehungsaxe und die entsprechende Vorstellung einer halben Drehung sind, wie man erkennt, bloß Hilfsmittel der Beschreibung, während man sich über die Bildung einer Zwillingsanlage eine dem fast entgegengesetzte Anschauung zu bilden hat, nämlich diese, dass die eine oder beide Molekel sich zu wenig gedreht haben und demzufolge die Orientirung nicht vollständig wurde.

Wenn man in den beiden Molekeln bloß die Linien *a* betrachtet, so ergibt sich, dass ihre positiven Aeste entgegengesetzt liegen, ebenso ihre negativen. Das Gleiche ergibt sich bezüglich der Linien *b* und *c*, während in einem einfachen Krystalle alle Aeste gleichsinnig liegen.

Wenn die beiden Molekel wie in Figur 4b, also in der Ansicht gezeichnet werden, in welcher die Maximalebene zu Linien verkürzt erscheinen, so ergibt der Anblick sogleich die symmetrische Stellung ihrer Molekularlinien zu einer Ebene, welche der Maximalebene parallel ist.

Denkt man sich nun zwei Molekel in der angegebenen unvollständigen Orientirung mit einander verbunden, hierauf aber an jede der beiden andere Molekel in den parallelen Stellungen angefügt, so erhält man einen Zwillingsskrystall, der nach der ersten Zwillingregel gebaut ist, und diese lautet, weil die Maximalebene eine mögliche Krystallfläche:

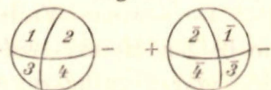
I. Die beiden Individuen sind in hemitroper Stellung, die Zwillingssaxe (Drehungsaxe) ist senkrecht zu einer möglichen Krystallfläche.

Diese Regel ist am längsten bekannt. Sie umfasst die Mehrzahl der bisher bekannten Zwillingbildungen, daher sich schon Manche verleiten liessen, sie als die allein herrschende Regel zu betrachten. Die Individuen der Zwillinge, welche hieher gehören, haben mindestens eine mögliche Krystallfläche gleicher Art (welche der Maximalebene entspricht) gemeinschaftlich oder parallel, ferner haben sie mindestens zwei in dieser Krystallfläche liegende mögliche Kanten, resp. Zonenaxen, (welche a und b entsprechen) gemeinschaftlich oder parallel.

Nunmehr sind jene Erscheinungen zu betrachten, welche daraus entstehen, dass bei der Fixirung einer Molekel die Orientirung derselben bloß bis zur Parallelstellung der Maximalebene und der Axe a gediehen ist. Diese unter II begriffene unvollständige Orientirung umfasst jedoch zwei specielle Fälle, indem unter den angeführten Bedingungen zwei verschiedene Stellungen möglich sind. Sie lassen sich am kürzesten dadurch charakterisiren, dass in der einen die Aeste der Axe a in den beiden Molekeln gleichsinnig liegen, in der in der anderen aber entgegengesetzt zu liegen kommen.

Der erste Fall IIa ist in Figur 5a verdeutlicht, und zwar so, dass die beiden zu betrachtenden Molekel in der Seitenstellung sich befinden.

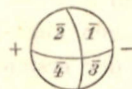
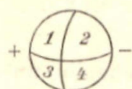
Fig. 5a



Hier erscheinen die Octanten in der Art verwechselt, dass 1 mit $\bar{2}$, dann 2 mit $\bar{1}$, ferner 3 mit $\bar{4}$ und 4 mit $\bar{3}$ vertauscht wären

und auf der abgekehrten Seite das Entsprechende stattgefunden hätte. Die Verbindungslinie der Schwerpunkte beider Molekel

Fig. 5b



liegt in der gemeinschaftlichen Axe a . In der Fig. 5b hingegen, die eine Seitenstellung angibt, welche beiläufig gesagt (1) und (5) der Fig. 2 entspricht, ist diese Verbindungslinie senkrecht zu a , jedoch in der Maximalebene gelegen.

Die Beschreibung dieser Stellung der Molekel kann wieder so gegeben werden, dass man sagt, von den beiden ursprünglich parallelen Molekeln sei die eine gegen die andere um 180° so gedreht worden, dass die Axe a als Drehungsaxe erscheint. Hier ist also die Drehungsaxe eine Molekularlinie.

Die Figur 5a zeigt, dass die Axen beider Molekel symmetrisch liegen zu einer Ebene, die auf a senkrecht und demnach auch zur Maximalebene normal ist. Demnach sind auch die hierhergehörigen Zwillinge ihrem inneren Baue nach symmetrisch angeordnet.

Wofern wiederum von diesen beiden gedachten Molekeln aus ein paralleler Ansatz fernerer Molekel angenommen wird, so gelangt man zu dem Aufbau eines Zwillingkrystalles, welcher der zweiten Zwillingregel gehorcht. Sie lautet:

IIa. Die Individuen sind in hemitroper Stellung. Die Zwillingaxe ist parallel einer möglichen Kante (Zone).

Diese Regel scheint zuerst von Breithaupt an den sogenannten Karlsbader Zwillingen des Orthoklases erkannt worden zu sein. An triklinen Mineralien ist sie mehrfach bestätigt worden.

Da in den beiden Molekeln, welche die Grundlage des Zwillinges bilden, die beiden Ebenen ab und ac parallel sind, so haben die Individuen dieser Zwillinge zwei mögliche Flächen und deren Kante, also eine vollständige Zone gemeinschaftlich oder parallel. Letztere Kante oder Zone ist normal zur Zwillingsebene.

Der zweite Fall IIb ist in Figur 6a so dargestellt, dass die beiden Molekel in Seitenstellung erscheinen, und zwar um auf die Figur 2 zurückzugreifen, wie (1) und (2).

In der Figur 6b hingegen sind die beiden Molekel zwar auch in der Seitenstellung, jedoch so wie (1) und (5) dargestellt.

Bei solcher Lage erscheinen die Octanten der einen Molekel gleichsam vertauscht, so dass 1 mit $\bar{3}$, dann 2 mit $\bar{4}$, ferner 3 mit $\bar{1}$ und 4 mit $\bar{2}$ vertauscht wären und auf der anderen Seite der entsprechende Wechsel stattgefunden hätte. In der Stellung, welche die erste Figur 6 a angibt, ist die Verbindungslinie der Schwerpunkte beider Molekel, in der Axe a gelegen, in der Stellung, 5b hingegen, ist diese Linie senkrecht zu a , jedoch in der Maximalebene gelegen. Der Grund für letzteres ist schon früher entwickelt.

Fig. 6 a

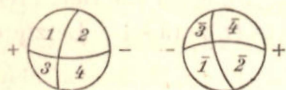
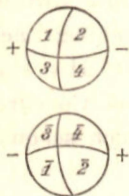


Fig. 6 b



Die hier bezeichneten Stellungen lassen sich so beschreiben, dass man sagt, die beiden Molekel verhalten sich so, als ob sie ursprünglich parallel gewesen, hierauf aber die eine gegen die andere um 180° so gedreht worden wäre, dass eine in der Maximalebene liegende zu a senkrechte Linie als Drehungsaxe fungirt. Hier ist die Drehungsaxe keine Molekularlinie.

Wie die Figur 6 b zeigt, befinden sich die beiden Molekel in einer Stellung, welche symmetrisch ist zu einer Ebene, die zur Maximalebene senkrecht, jedoch zu a parallel ist. Somit sind auch die Zwillinge dieser Art ihrem inneren Baue nach symmetrisch angeordnet.

Denkt man sich an jede der beiden Molekel, welche in der angegebenen Weise verbunden sind, andere Molekel in den zu ihnen parallelen Stellungen angesetzt, so erhält man einen Zwillingkrystall, welcher nach der zweiten Zwillingregel gebaut ist. Diese lautet:

IIb. Die beiden Individuen sind in hemitroper Stellung. Die Zwillingaxe liegt in einer möglichen Fläche normal zu einer möglichen Kante (Zone).

Diese Regel ist erst durch das Studium von Zwillingen trikliner Minerale erkannt worden. In den Krystallsystemen von höherem Symmetriegrade fällt dieselbe mit der vorigen zusammen. Die hier gegebene Ableitung zeigt, dass die dritte Regel, welche von einigen Mineralogen bezweifelt wurde, dieselbe Berechtigung besitzt, wie die zweite. Die Individuen der hierher gehörigen Zwillinge

haben mindestens eine Krystallfläche (welche der Maximalebene entspricht) und mindestens eine in dieser Fläche liegende Kante gemeinschaftlich oder parallel, oder anders gesagt, sie haben die Axe einer möglichen gleichnamigen Zone und eine in der letzteren liegende gleichnamige Fläche gemeinsam oder parallel. Letztere Kante ist der Zwillings ebene parallel.

Wenn man das didaktische Hilfsmittel der Hemitropie noch ferner benützen will, so lässt sich die letzterwähnte Zwillingsregel IIb auch so darstellen, dass zuerst eine halbe Drehung nach Regel I und hierauf eine halbe Drehung nach Regel IIa stattfindet. Ebenso lässt sich die zweite Zwillingsregel als eine Concurrenz der ersten und dritten darstellen. Alles dies ergibt sich schon aus der Betrachtung der Figuren 4 bis 6.

Die drei angeführten Regeln erschöpfen Dasjenige, was man bisher unter Zwillingsbildung versteht. Die übrigen noch zu betrachtenden Fälle unvollkommener Orientirung liefern keine Zwillinge mehr.

Wenn man die Wahrscheinlichkeit des Eintretens der Fälle I, IIa und IIb ungefähr schätzen will, geht man von der Thatsache aus, dass Zwillinge überhaupt seltener sind, als einfache Krystalle. Unter den Zwillingen werden sonach die unter I verstandenen die häufigsten sein, da sie sich der vollständigen Orientirung mehr nähern als die andern. Bei der Vergleichung von IIa und IIb wird man sich daran erinnern, dass wohl beide Zwillingsarten denselben Grad von Orientirung darbieten, dass jedoch im ersteren Falle die dominirende Axe a in beiden Individuen gleichsinnig liegt, wie dies auch bei der vollkommenen Orientirung stattfindet, während im Falle IIb die Axe a in den beiden Individuen widersinnig liegt, wie dies bei den Zwillingen I vorkommt. Demnach wird der Fall IIa die grössere Wahrscheinlichkeit für sich haben. Die Reihe I, IIa und IIb gibt also auch die Grösse der voraussichtlichen Häufigkeit des Eintretens der entsprechenden Regeln in absteigender Folge an.

Dabei ist noch zu berücksichtigen, dass die zweite und die dritte Regel in dem Falle, als die Zwillings ebene zu einer Symmetrieebene der Individuen senkrecht ist, Zwillinge liefern, welche

auch nach der ersten Regel erklärt werden dürfen, wobei ac als Zwillingsebene anzunehmen sein würde.¹⁾ Dieser Fall kann im monoklinen Systeme vorkommen und die Karlsbader Zwillinge sind in der That sowohl nach der zweiten als auch nach der ersten Regel erklärt worden. Die Zahl der Zwillinge, welche nach der zweiten und dritten Regel erklärt werden müssen, verkleinert sich aber dadurch merklich.

Die drei nunmehr entwickelten Regeln werden durch die Betrachtung der Anlagerung zweier Molekel erhalten. Es zeigte sich, dass in allen drei Fällen die Stellung beider eine hemitrope, ferner dass dieselbe eine symmetrische sei zu einer Ebene, welche in jeder der drei Regeln eine andere Stellung hat.

Fasst man, um die Ursache der zwillingsgemässen Verbindung zweier Molekel zu erkennen, die Orientirungsrichtungen in's Auge, welche beide Molekel nach der Fixirung parallel haben, so zeigt sich dass nach der ersten Regel beide Molekel a, b und eine neue Orientirungsrichtung c' , welche zu ab senkrecht ist, ferner dass nach der zweiten und dritten Regel beide Molekel a, c' und eine neue Orientirungsrichtung b' , welche zu den beiden letzteren senkrecht ist, parallel zeigen. Dieses Auftreten neuer, gegen die vorhandenen normaler Orientirungsrichtungen ist demnach die Bedingung der genannten symmetrischen Stellung der Molekel und eine für die Molekulartheorie überhaupt wichtige Vorstellung.

Zum Schlusse sind noch die Fälle III und β zu erwägen.

Im Falle III, welcher annimmt, dass zwei Molekel sich nur so weit orientiren, dass ihre Maximalebene parallel werden, ohne dass es bis zur Parallelstellung einer Axe kömmt, werden beide Molekel bezüglich aller drei Axen unregelmässig gelagert sein. Der Fall wird selten eintreten, weil ja schon die unvollkommene Orientirung, welche in der zweiten und dritten Zwillingregel enthalten ist, weniger Wahrscheinlichkeit des Eintretens für sich hat,

¹⁾ Wenn die Zwillingsebene zu einer Symmetrieebene der Individuen senkrecht ist, so hat man an dem ganzen Zwilling zuvörderst zwei zu einander senkrechte Symmetrieebenen. Da jedoch zwei solche Ebenen eine dritte zu ihnen senkrechte Symmetrieebene nothwendig mit sich bringen, so ist klar, dass jeder solche Zwilling sowohl durch die zuerst genannte Zwillingsebene, als auch durch eine andere interpretirt werden kann, welche zu jener und zu der ursprünglichen Symmetrieebene der Individuen senkrecht ist.

als jene in der ersten Zwillingenregel enthalten. Aber die Möglichkeit ist nicht ausgeschlossen. Zwei Molekel, welche in der zuvor angedeuteten Stellung sich verbinden und hierauf andere Molekel in den zu ihnen parallelen Stellungen fixiren, werden Anlass zu einer Verwachsung zweier Krystallindividuen geben, welche eine Fläche derselben Art gemeinschaftlich oder parallel haben, sonst aber keine weitere Orientirung erkennen lassen.

Derlei Verwachsungen kommen bekanntlich öfter vor und haben wohl schon manches unwahrscheinlich klingende „Zwillingengesetz“ verschuldet.

Der letzte Fall einer unvollständigen Orientirung ist der anfänglich unter β angeführte, welcher darin besteht, dass die Molekel vor dem Fixiren bloß die Parallelstellung der Axe a erfuhren. Auch dies wird nur selten eintreten, doch ist die Möglichkeit dieses geringen Grades von Orientirung auch zuzugeben. Eine solche Anlage zweier Molekel würde nach parallelem Ansatz fernerer Molekel zu einer Verwachsung zweier Krystalle führen, die bloß eine gleichnamige Kante gemeinschaftlich oder parallel haben und weiter keine Orientirung zeigen.

Auch solche Verwachsungen werden zuweilen beobachtet, jedoch seltener als die letzterwähnten. Sie können gleichfalls zu irrigen Auffassungen Anlass geben.

Zwillinge parallelfächiger Individuen.

Wenn die Individuen eines Zwillingenkrystalles einer holoëdrischen oder einer parallelfächigen hemiëdrischen Abtheilung der Krystallsysteme angehören, so trifft dasjenige vollständig zu, was durch die zuvor gebrauchten Bezeichnungen angedeutet wurde, dass nämlich jeder Octant dem entgegengesetzten gleich und überhaupt jede durch den Mittelpunkt des Individuums gezogene Linie beiderseits dieses Punktes gleich sei. Krystalle dieser Abtheilungen haben nämlich ein Wachsthum, welches nach den entgegengesetzten Richtungen derselben Linie gleich ist. Demgemäss werden auch die beiden Individuen hinsichtlich der Symmetrie ihrer Lage dasselbe Verhalten zeigen, wie die beiden Molekel, welche die erste Anlage des Zwillingen bildeten; sie werden symmetrisch liegen in Bezug auf eine Ebene, die Zwillingenebene, welche den drei Regeln entsprechend verschieden orientirt sein kann. Weil dabei die La-

gerung der Individuen, je nach der Seitenstellung oder Flachstellung der beiden ersten Molekel eine verschiedene sein kann, und weil die Art der Berührung beider Individuen bloß von dem Wachstumsverhältnisse abhängt, so wird jene Symmetrie nicht immer eine augenfällige sein, jedoch jederzeit durch eine zweckmässig gedachte Parallelverschiebung eines Individuums hergestellt werden können.

Denkt man sich in jedem der beiden Individuen an der Zwillingsgrenze je eine Masche derart, dass die Molekel durch Linien in den Richtungen der Orientirungsaxen a , b , c verbunden erscheinen und bezeichnet man die einzelnen Molekel mit Ziffern derart, dass jede nach dem Octanten, mit welchem sie der Masche angehört, signirt erscheint, so kann man sich jede der drei Zwillingregeln durch die symmetrische Lagerung von zwei prismatischen Körpern veranschaulichen.

Figur 7 zeigt zwei Krystallelemente in einer Stellung, welche der ersten Zwillingregel folgt. Die Zwillingsebene, welche zugleich Symmetrieebene ist, liegt parallel zur Ebene 1, 2, 3, 4. Die symmetrisch liegenden Punkte der beiden Körper haben immer entgegengesetzte Vorzeichen. Denkt man sich die beiden Krystalle, denen die beiden Elemente angehören, vollkommen ausgebildet, so werden dieselben gleichfalls zu der Ebene 1, 2, 3, 4, welche eine mögliche Krystallfläche ist, symmetrisch liegen, weil die Lage jedes Krystalles durch die Lage dreier Molekularlinien, die verschiedenen Zonen entsprechen, vollkommen bestimmt ist. Bei den paralleleflächigen Krystallen lautet demnach die erste Zwillingregel:

Die beiden Krystallindividuen liegen symmetrisch zu einer möglichen Krystallfläche.

Denkt man sich ferner zwei Krystallelemente nach der zweiten Regel angeordnet, und zwar so, dass die Ebene 1, 2, 3, 4 in die Ebene des

Papieres zu liegen kommt, so hat man ein Bild, wie in Figur 8, welches zeigt, dass die beiden Maschen symmetrisch gegen eine Ebene

Fig. 7.

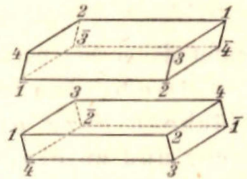
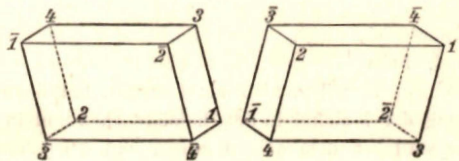


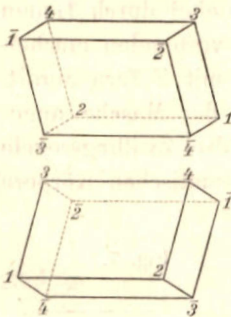
Fig. 8.



liegen, welche zur Kante 1, 2, und zu allen Kanten derselben Zone senkrecht ist. Die ausgebildeten Krystalle werden eine dem entsprechende Lage haben aus dem zuvor angegebenen Grunde. Die zweite Regel lautet also bei den parallelfächigen Krystallen:

Die beiden Individuen liegen symmetrisch zu einer Ebene, die zu einer möglichen Kante (Zone) senkrecht ist

Fig. 9.



Wenn man endlich zwei Krystallelemente nach der dritten Regel gelagert annimmt und wieder die Ebene 1, 2, 3, 4 in die Papierebene legt, so hat man einen der Figur 9 entsprechenden Fall.

Hier sind die beiden Maschen symmetrisch zu einer auf 1, 2, 3, 4 senkrechten Ebene gelagert, welche zugleich der Kante 1, 2 und allen Kanten derselben Zone parallel ist. Die ausgebildeten Krystalle werden die entsprechende Lage haben. Die dritte Regel lautet daher bei parallelfächigen Krystallen:

Die beiden Individuen liegen symmetrisch zu einer Fläche die zu einer möglichen Krystallfläche senkrecht und zu einer möglichen Kante parallel ist.

Zwillinge solcher Individuen, die zum Theile oder gar nicht parallelfächig sind.

In den Krystallen, welche einer geneigtflächigen hemiëdrischen oder tetartoëdrischen oder welche einer hemimorphen Abtheilung der Krystallsysteme angehören, wird von mir dieselbe Anordnung der Molekel angenommen, welche in den entsprechenden parallelfächigen Abtheilungen gedacht wird¹⁾. Beim Wachsen solcher

¹⁾ Nach der hier adoptirten Anschauung ist die Hemiëdrie eine Wachstumserscheinung, indem Richtungen, welche bezüglich der Anordnung gleich sind, beim Wachsen sich blos paarweise oder abwechselnd gleich verhalten, wodurch zuweilen, aber nicht immer, halbfächige Formen entstehen. Die Anordnung der Molekel in dem holoëdrischen und in dem entsprechenden hemiëdrischen Krystall ist demnach dieselbe, mit Ausnahme des rhomboëdrischen Systemes das eine besondere Anordnung besitzt.

Die neuerlich von Sohncke entwickelten Anschauungen über die Anordnung der Molekel (Verh. d. naturw. Ver. zu Karlsruhe, VII. H. [1876]), welche insbesondere

Krystalle verhalten sich aber Krystallräume, welche in den parallelfächigen Krystallen gleich sind, bloss abwechselnd gleich. Demgemäss erscheinen in dem fertigen Krystall bestimmte durch dessen Mittelpunkt gezogene Linien beiderseits dieses Punktes ungleich.

Wenn demnach Zwillinge solcher Individuen sich bilden, so ist die erste Anlage so beschaffen, wie bei den zuvor genannten Zwillingen, die erste Anlage ist symmetrisch. Beim Wachsen aber kommen die hier bezeichneten Ungleichheiten zur Geltung, so dass die ausgebildeten Individuen bezüglich der äusseren Form im Allgemeinen nicht mehr symmetrisch zur Zwillingfläche liegen. Wenn man in den Fig. 4—9 die Räume und Punkte, welche entgegengesetzte Vorzeichen haben, nicht mehr als gleich, sondern in Bezug auf die Wachstumsverhältnisse ungleich annimmt, dann hört die Symmetrie, welche sich vordem ergab, auf, und es wird klar, dass Krystalle mit solchen Wachstums-eigenschaften andere Zwillinge liefern als die früher betrachteten. Die Zwillinge der nicht parallelfächigen Individuen sind demnach im Allgemeinen unsymmetrische, doch sind ihre Stellungen hemitrope nach einer der genannten drei Regeln.

Wenn die einzelnen Individuen für sich eine Symmetrie zeigen, dann gelingt es, wenn auch auf eine gezwungene Weise, eine Symmetrie-Ebene für den Zwilling anzugeben. Im anderen Falle aber lässt sich durchaus keine Symmetrie entdecken.

Der Zwilling des hemiëdrischen Oktaëders, Fig. 10, dessen Zwillingsebene eine Oktaederfläche ist, erscheint unsymmetrisch bezüglich der letzteren. Jedoch kann man die beiden Individuen parallel verschoben denken, so dass die Zwillingsebene in die Papierfläche gelegt, die Stellung in Figur 11 entsteht. Nun zeigt sich Symmetrie bezüglich einer auf der Oktaederfläche senkrechten

Fig. 10.

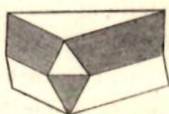


Fig. 11.



zur Erklärung einiger Hemiëdrien dienen sollen, gehen über denjenigen Begriff von regelmässiger Anordnung hinaus, welcher von Bravais und Frankenheim aufgestellt wurde. Nach den bisherigen Erfahrungen am Apatit, Turmalin, Boracit etc. scheint es aber, dass viele dieser Hemiëdrien sich ohne Annahme eigenthümlicher Molekel-Anordnungen werden erklären lassen.

Ebene, welche eine Fläche des Ikositetraeders (211) ist. Dieselbe fungirt aber nicht als Zwillingsebene. Im tetragonalen Systeme wird man bei dem entsprechenden Zwilling der hemiëdrischen Pyramide (Kupferkies) auch eine solche parallele Verschiebung ausgeführt denken können, worauf sich eine symmetrische Stellung bezüglich einer auf 111 senkrechten Ebene ergäbe, aber diese entspricht weder einer möglichen Krystallfläche, noch ist sie als Zwillingsebene zu denken¹⁾. Der entsprechende Zwilling im rhombischen Systeme ist bisher noch nicht beobachtet. Derselbe würde keinerlei Symmetrie erkennen lassen.

Ebenso ist an dem gewöhnlichen Zwilling des Quarzes, dessen Individuen tetartoëdrisch ausgebildet sind, eine symmetrische Lagerung der letzteren nicht zu bemerken. In diesen Zwillingen sind entweder zwei rechte oder es sind zwei linke Individuen in hemitroper Stellung bezüglich einer Zwillingsebene, die der Prismenfläche parallel ist.

Die bisher bekannten Zwillinge hemimorpher Individuen sind meistens derart, dass sie zur nächsten Abtheilung gestellt werden müssen.

Ergänzungs-Zwillinge.

Bei der Bildung der hemiëdrischen Krystalle, sowohl der parallellflächigen als der geneigtflächigen, ebenso der tetartoëdrischen und hemimorphen Krystalle kommt noch ein Umstand in Betracht, welcher bei den holoëdrischen sich nicht geltend machte. Zwei Molekel dieser Art können nämlich bezüglich aller Molekularlinien vollständig parallel orientirt sein, ohne deshalb in ihren Wachstumsrichtungen übereinzustimmen.

In diesem Falle werden die beiden Molekel sich so lagern, dass an der einen Molekel die Wachstumsrichtungen erster Art jene Richtungen haben, wie an der andern Molekel die Wachstumsrichtungen zweiter Art. Hieraus folgt die Möglichkeit eigenthümlicher Zwillinge, welche dadurch charakterisirt sind, dass die beiden Individuen mit einander in den abwechselnden Stellungen verwachsen sind, welche zufolge ihrer Hemiëdrie, Tetartoëdrie oder Hemimorphie möglich sind. Haidinger nannte sie Ergänzungs-

¹⁾ Vergl. Sadebeck in d. Zeitschr. d. deut. geol. Ges. Bd. XXX. pag. 597.

zwillinge. Beispiele sind: der Durchkreuzungszwilling zweier Tetraëder am Diamant, zweier Pyritoëder am Pyrit, der Zwilling eines rechten und eines linken Quarzes und der Zwilling hemimorpher Individuen am Kieselzinkerz.

In Bezug auf den inneren Bau verhalten sich derlei Zwillinge so wie parallele Verwachsungen gleichartiger Krystalle. Hinsichtlich ihrer äusseren Erscheinung sind sie immer symmetrisch nach einer Ebene gebildet, welche beim Eintreten der entsprechenden Hemiedrie aufhört, Symmetrieebene zu sein und welche bei der nun erfolgenden Ergänzung gleichsam wieder in ihre Rechte tritt. Beim Tetraëderzwilling ist es die Würfelfläche, beim Zwilling des eisernen Kreuzes die Fläche des Rhombendodekaëders, beim Quarz-zwilling das verwendete Prisma, beim Kieselzink die Endfläche.

Für die Beschreibung solcher Zwillinge ist die Angabe einer Hemitropie resp. Zwillingsebene nicht allgemein durchführbar, denn bei den hierher gehörigen Zwillingen enantiomorpher Individuen welche sich so verhalten wie die rechte zur linken Hand, sind die Individuen nicht bloß durch die Stellung verschieden. Daher kann das eine nicht durch Hemitropie mit dem anderen parallel gemacht werden. Der vorerwähnte Quarz-zwilling ist ein Beispiel dafür.

Die vorige Betrachtung hat aber auch gezeigt, dass die Ergänzungszwillinge in ihrem Wesen von den übrigen Zwillingen verschieden sind.

Zum Schlusse ist noch jener Fall in Betracht zu ziehen, welcher sich an die Ergänzungszwillinge anschliesst. Sowie zwei hemiëdrische, tetartoëdrische oder hemimorphe Individuen bei paralleler Orientirung aller ihrer Molekularlinien doch bezüglich der Wachstumsrichtungen ungleich beschaffen sein können, ebenso können zwei derlei Individuen, die sich nicht in paralleler, sondern in Zwillingstellung befinden, ausserdem noch bezüglich der Wachstumsrichtungen ungleich orientirt sein. An das eine Individuum kann also ein zweites in Zwillingstellung angefügt sein, wobei dieses nicht die entsprechende Ausbildung, sondern jene zeigt, welche sich zu der letzteren ergänzend verhält. Solche Zwillinge, welche zugleich eigentliche und Ergänzungszwillinge sind, kommen thatsächlich vor.

Ein Beispiel erwähnt Sadebeck am Kupferkies¹⁾. Zwei Krystalle dieses hemiëdrischen Mineralen sind an der Zwillingfläche 111

¹⁾ l. c.

verbunden. Der Zwilling ist aber nicht in Bezug auf die Zwillingfläche unsymmetrisch wie der entsprechende tesserale Zwilling in Figur 10, sondern die genaue Untersuchung ergab vollständige Symmetrie, woraus hervorgeht, dass anstatt des einen Individuum dessen Ergänzung zu denken sei, um zu dem einfachen Zwilling zu gelangen.

Als hierher gehöriges Beispiel könnte auch der von Descloizeaux angegebene Quarzzwilling gelten, dessen gewöhnliche Form schon von S. C. Weiss an Bergkrystall aus der Dauphinée aufgefunden wurde. An dieser gewöhnlichen Form erscheinen zwei Individuen mit der Fläche $11\bar{2}2 = P2$ als Zwillingfläche verbunden. und die beiden Individuen haben ihre Rhomboëderflächen in correspondirender Lage. Andere, fast ebenso aussehende Zwillinge zeigen hingegen die letztere Uebereinstimmung nicht, sondern das eine Individuum wendet die Fläche des Hauptrhomböders nach jener Seite, an welcher das andere Individuum das negative Rhomboëder zeigt. Es ist aber sehr wahrscheinlich, dass dasjenige, was hier als Individuum bezeichnet wurde, ein gewöhnlicher Zwillingkrystall ist, welcher aus Individuen gleicher Drehung besteht und nach dem zuerst erwähnten Gesetze, pag. 516, gebildet ist, welches die Prismenfläche als Zwillingsebene statuirt.

Regelmässige Verwachsung ungleichartiger Krystalle.

Die Verwachsung kann hier eine oberflächliche oder eine schichtenartig wechselnde oder eine Durchwachsung sein. Wenn die verwachsenden Substanzen gleiche oder nahezu gleiche Krystallform und dieselbe Art der Molekular-Anordnung besitzen, so bildet sich häufig jene mehr oder weniger gleichförmige parallele Verwachsung, welche wir als isomorphe Mischung bezeichnen.

Die Verwachsung ungleich krystallisirter Substanzen kann allerdings niemals eine parallele sein, jedoch zeigt sich oft eine parallele Stellung der krystallographisch entsprechenden Linien, wie bei den Verwachsungen von Hornblende und Augit, von Orthoklas und Albit. Im Uebrigen befolgen die Verwachsungen ähnliche Regeln wie die Zwillinge, indem die ungleichartigen Krystalle den Parallelismus von Flächen und Zonen darbieten.

Es zeigt sich also, dass auch Molekel von verschiedenartiger Zusammensetzung gegenseitig einen orientirenden Einfluss ausüben. Da jedoch ihre Orientirungsaxen eine verschiedene Lage haben, so kann die entstehende Verwachsung immer nur eine solche mit unvollständiger Orientirung sein.

Die Molekularlinien, welche sich bei dieser Gelegenheit parallel stellen, dürften aber dem vorher Gesagten zufolge Richtungen angeben, nach welchen beide Arten von Molekeln einen ähnlichen Bau besitzen. Das Studium der hieher gehörigen Erscheinungen kann daher einst zu wichtigen Resultaten führen.

Bemerkungen über die mechanische Erzeugung von Zwillingen.

Am Calcit sind durch Pfaff, Reusch und H. Baumbauer Zwillinge nach — $\frac{1}{2}$ R durch Druck hervorgerufen worden. Nach der Methode des letzteren, welche die einfachste ist¹⁾, bringt eine Messerklinge, die senkrecht gegen eine stumpfe Kante des Spaltungsstückes gedrückt wird, eine solche Verschiebung hervor, dass der genannte Berührungszwilling entsteht. Baumbauer hat sich bereits die Frage vorgelegt, welcher Art die Umstellung der Krystalltheilchen sein möge und gibt hierauf eine Antwort, welche eine Umlagerung der Theile, aus denen die Krystallmolekel besteht, annimmt. Wenn ich dies mit den vorher gebrauchten Ausdrücken bezeichne, so würde es, da ich hier unter Molekel stets die Krystallmolekel verstehe, so lauten, dass der Druck eine theilweise Veränderung der Lage der Orientirungsaxen in der Molekel hervorbringt. Da bei dem Experimente schichtenweise ein Fortschieben der Molekel stattfindet, so würde bei dieser Entstehung der Zwillinge erstens eine geradlinige Verschiebung der Molekel und zweitens eine Umlagerung der Theile innerhalb der Molekel Platz greifen.

Die von mir zuvor entwickelte Anschauung erlaubt jedoch nicht, ausser der Verschiebung auch eine innere Umgestaltung der Molekel zuzugeben, denn diese Annahme hätte schon früher bei der Deutung der Zwillingbildung unter gewöhnlichen Verhältnissen gemacht werden müssen, wodurch freilich die Erklärung um eine Instanz hinausgeschoben wäre.

¹⁾ Zeitschrift für Krystallographie. III., p. 588.

Man müsste sich nämlich das Entstehen eines Zwillinges bei der Krystallisation so denken, dass an die eine Molekel, welche als ruhend angenommen wird, eine zweite in paralleler Stellung angesetzt wird, dass aber nachher durch irgend eine Ursache — vielleicht durch Uebertragung der noch übrigen Geschwindigkeit auf das Innere der Molekel — eine Umstellung der Theile innerhalb der Molekel hervorgerufen wird. Nun wäre aber erst wiederum dieser letztere Vorgang zu erklären.

Die Consequenz erfordert demnach bei der Entstehung eines Zwillinges durch Druck nur äussere Verschiebungen der Molekel anzunehmen. Diese können aber sowohl fortschreitende, als auch drehende Bewegungen sein.

Bei dem Calcit hätte man, wie schon Baumhauer hervorhob, zu berücksichtigen, dass der Zwilling auf zweierlei Art nachgeahmt werden kann; erstens durch die halbe Drehung des einen Individuums um eine zur stumpfen Kante parallele Axe, zweitens um eine zur Fläche — $\frac{1}{2}$ R normale Axe.

Dies lässt sich auf die einzelnen Molekel übertragen, welche demnach durch die eine oder die andere Drehung in die Zwillingstellung gelangen können. Denkt man sich nun in dem Baumhauerschen Versuche durch einen Druck, welcher der stumpfen Kante parallel wirkt, eine Molekelschicht verschoben, so werden die Molekel derselben nicht bloß eine fortschreitende, sondern zugleich eine drehende Bewegung, im Ganzen also eine schraubenartige Bewegung annehmen, wobei die Drehungsaxe der genannten Kante parallel ist. Durch diese drehende Bewegung werden die Molekel aus ihrer ursprünglichen Orientirung kommen und es werden die meisten derselben ¹⁾ in eine Lage gerathen, in welcher sie gegen die Molekule der ruhenden Schichten unvollständig orientirt, aber symmetrisch gelagert sind.

Bei den Versuchen, welche von Pfaff und von Reusch angegeben sind, ist meistens eine Drehung der Molekule um eine zu — $\frac{1}{2}$ R normale Linie anzunehmen und es würde bei jeder Ent-

¹⁾ Dass bei dieser Bewegung vielleicht manche Molekel zurückbleiben und andere vielleicht über das Ziel hinausgehen, dafür spricht die Beobachtung Baumhauer's, der an dem umgestellten Individuum die Bildung vieler kleiner Aetzfiguren wahrnahm, während an dem ursprünglichen weniger aber grössere entstehen.

stehung jenes Zwillings durch mechanische Eingriffe die eine oder die andere Drehung der Molekel eintreten.

Als hauptsächlichste theoretische Resultate der vorliegenden Untersuchung können folgende gelten:

Die Grundlage eines eigentlichen Zwillingskrystalls wird durch zwei Molekel gebildet, welche sich nach unvollständiger Orientierung aneinander fügen. Die statthabende Orientierung besteht darin, dass beide mindestens eine gleichartige Orientierungsebene und eine darin liegende gleiche Orientierungsaxe parallel haben. Zwei Molekel, welche nach allen Molekularlinien parallel orientirt sind, aber in den Wachsthumslinien nicht übereinstimmen, bilden die Grundlage der Ergänzungszwillinge.

In den eigentlichen Zwillingen sind die beiden Molekel in hemitroper, in den Ergänzungszwillingen aber in paralleler Stellung.

Alle eigentlichen Zwillinge sind symmetrisch angelegt, indem ihre Molekel gegen eine krystallographisch bestimmte Ebene symmetrisch gelagert sind. Die Ergänzungszwillinge verhalten sich hingegen im Innern wie parallele Verwachsungen.

Die mechanische Bildung der Calcit-zwillinge lässt sich durch die halbe Drehung der geschobenen Molekel um die Zwillingsaxe erklären.

In Bezug auf die Form der Zwillingskrystalle ergeben sich aus der theoretischen Betrachtung mehrere allgemeine Regeln, von denen als die wichtigeren folgende anzuführen wären:

Zwillingskrystalle sind Verwachsungen je zweier Individuen, die zwar nicht völlig parallel, aber doch so gelagert sind, dass sie mindestens eine mögliche gleichnamige Fläche und eine darin liegende gleichartige Kante parallel haben.

Die Zwillingsverwachsungen sind von dreierlei Art, indem die beiden Individuen entweder den Parallelismus aller in jener Fläche liegenden Kanten darbieten — oder indem sie den Parallelismus der ganzen Zone, welcher jene Fläche und Kante angehören, zeigen — oder indem sie blos der obigen allgemeinen Bedingung genügen. (Erste, zweite und dritte Zwillingsregel.)

Die Zwillinge lassen sich mit Ausnahme einiger Ergänzungszwillinge durch Hemitropie nachbilden. Drehungen von 60° , 90° etc.

sind ausgeschlossen, wofern sie nicht dasselbe Resultat geben, wie eine Drehung um 180° . Die hemitrope Stellung ist daher ein Kennzeichen der eigentlichen Zwillinge.

Die Drehungsaxe ist entweder zu einer möglichen Krystallfläche senkrecht oder zu derselben parallel. Im letzteren Falle ist sie entweder zu einer möglichen Kante parallel oder sie ist dazu senkrecht.

Die Zwillinge parallelfächiger Individuen sind unmittelbar oder nach zweckmässiger paralleler Verschiebung symmetrisch zu einer Ebene, welche entweder zu einer möglichen Krystallfläche parallel oder senkrecht, im letzteren Falle aber zugleich gegen eine Zone parallel oder senkrecht ist.

Die Zwillinge geneigtflächiger Individuen sind im Allgemeinen unsymmetrisch. Denkt man sich aber die beiden Individuen in holoëdrischer Ausbildung, so erhält man wieder einen symmetrischen Zwilling.

Die regelmässigen Verwachsungen der Krystalle folgen ähnlichen Regeln wie die Zwillingbildungen.

XXIX. Notizen.

Eine Pseudomorphose nach Diäthen. Ein derbes Mineral, welches Herr Hofrath Tschermak vor mehreren Jahren durch den Mineralhändler Steiner in Pregratten erhalten hatte und als dessen Fundort die Gegend von Pregratten angegeben wurde, erhielt ich zur chemischen Untersuchung.

Die Farbe des durchscheinenden Mineralen ist bläulich- bis grünlichweiss. Hie und da, jedoch selten, erscheinen berlinerblaue Punkte. Das ganze Stück hat eine gleichlaufend breitstengelige Structur stellenweise mit einer Neigung zum radialstengligen. Die Form der Prismen und die zum Theil erhaltene Spaltbarkeit entsprechen vollständig dem Cyanit, von welchem an den blauen Stellen noch Partikel erhalten geblieben sind. Sowohl zwischen den Prismen als auch hie und da im Innern lagern silberweisse Blättchen, welche durch ihr Verhalten in der Bunsen'schen Flamme, durch ihren Axenwinkel, die Art der Dispersion endlich durch ihre Elasticität als ein Mittelglied zwischen Muscovit und Paragonit erkannt wurden. Im Inneren der Prismen lagern sie stets der Fläche parallel, welche beim Cyanit der vollkommensten Spaltbarkeit entspricht. Im Uebrigen bestehen die Prismen aus einem völlig dichten Mineral, welches durchscheinend ist, nahezu Kalkspathhärte besitzt und dem Damourit sehr ähnlich ist.