I. *Ueber die Anordnung der Molecule im Krystall;
von M. L. Frankenheim.*

In einer Bd. XCV dieser Annalen abgedruckten Abhandlung habe ich das Gesetz aufgestellt, daß wenn man sich von allen Voraussetzungen über die Gestalt der Grundform frei erhält und diejenigen Linien zu Axen wählt, bei denen die beobachteten Flächen am einfachsten aufgefaßt werden können, die Ausbildung für alle Krystalle identisch sey. Ich will versuchen dieses dort aus den Beobachtungen abgeleitete Gesetz auch theoretisch zu begründen und weiter zu entwickeln.

Der physische Charakter eines Krystalles besteht darin, daß jeder endliche Theil, der von der Oberfläche so weit entfernt ist, daß der Einfluß derselben unberücksichtigt bleiben kann, dem andern gleicht, daß daher eine Kraft, die ein Theil des Krystalles übt, nicht abhängig ist von seiner Stellung, sondern ausschließlich von der Richtung, in welcher die Kraft wirkt und mit dieser sich verändert.

Bei fast allen Erscheinungen, deren Erklärung es nothwendig macht, auf die Elemente der Körper zurückzugehen, wird vorausgesetzt, daß diese aus Moleculen bestehen, welche durch Zwischenräume getrennt sind, gegen deren Größe die der Molecule selbst als verschwindend klein gedacht wird. So vieles sich auch von empirischem wie philosophischem Standpunkte aus gegen diese Hypothese einwenden läßt, so ist sie bis jetzt die einzige, welche dem Krystallographen wie dem Chemiker eine quantitative scharfe Entwicklung gestattet. Ob diese Molecule aber als Punkte anzusehen seyen, oder als Körper von endli-

cher, wenn auch sehr kleiner Ausdehnung, oder als Gruppen solcher Punkte oder Körperchen, ist für unsern Zweck gleichgültig. Wer sie nicht als Punkte ansehen will, würde nur statt des Ausdruckes Molecule, den wir der Kürze halber anwenden wollen, *Schwerpunkte* der Molecule sagen müssen.

Die Molecule sind der Sitz von Kräften, die sich durch ihre Intensität und ihre Richtung unterscheiden. In einem homogenen Körper sind die Molecule nebst ihren Kräften einander gleich, in einem Krystall sind sie überdies parallel gelagert, d. h.: die Kräfte sind bei allen Moleculen in parallelen Richtungen einander gleich und die Molecule selbst *daher* so gelagert, dafs wenn eine gerade Linie zwei Molecule verbindet, jede andere ihr parallele von einem Molecul ausgehende Linie ebenfalls ein Molecul in gleicher Entfernung treffen würde.

Aus diesem Grundsatz können die wichtigsten Gesetze der Krystallographie ohne weitere Voraussetzung abgeleitet werden.

Die Anordnung der Molecule in der Ebene.

In einer geraden durch zwei Molecule gehenden Linie folgen sich also bis zur Gränze des Krystalls die Molecule in gleichen Intervallen. Eine solche Linie mag *Molecular-Linie* heifsen.

In einer durch drei, nicht in einer geraden Linie liegenden Molecule gehenden Ebene sind diese netzartig vertheilt. Wenn man in einer solchen Ebene zwei Molecular-Linien zu Axen wählt und man bestimmt die Lage eines Punktes durch zwei den Axen parallele Coordinaten, so kann die Gröfse dieser Coordinaten für alle Molecule durch la und mb bezeichnet werden, wenn a und b die Entfernung zweier benachbarten auf einer Axe liegenden Molecule und l und m zwei rationale Gröfsen sind.

Durch dieselben Gröfsen la und mb wird auch die Lage einer durch den Scheitel und das Molecul gehenden Molecular-Linie bestimmt, nur mit dem Unterschiede, dafs es

hierbei nicht auf die absoluten Werthe von l und m , sondern nur auf ihr Verhältniß ankommt.

Da a und b für alle Molecule eines Systems denselben Werth haben, so reicht die Angabe der Coëfficienten l und m zur Unterscheidung der einzelnen Molecule hin. Die Molecule, deren Coordinaten

$a\ 0b, 0a\ b, +a\ +b, +2a\ +3b, -2a\ -3b, 4a\ 6b,$
sind, können daher bezeichnet werden durch

10 01 11 23 $\bar{2}\bar{3}$ 46

und ebenso die entsprechenden Molecular-Linien, bei denen sich jedoch natürlich die drei letzten Zeichen auf dieselbe Linie beziehen würden.

Man kann die Axen immer so wählen, daß in dem aus den Intervallen a und b und dem Winkel γ , den sie einschließen, gebildeten Parallelogramm kein Molecule sich weder im Innern noch auf den Seitenlinien befindet. Es giebt unendlich viele Axen-Paare, welche dieser Bedingung genügen; aber die auf ihnen gebildeten Parallelogramme haben zwei merkwürdige Eigenschaften: Der Flächen-Inhalt ist bei allen gleich und kleiner als bei einem aus anderen Axen gebildeten Parallelogramme; und die Coëfficienten l und m der Molecule der Ebene sind nicht bloß *rationale*, sondern auch *ganze* Zahlen.

Unter diesen Parallelogrammen giebt es, wenn man die vier von denselben Linien gebildeten als *eins* betrachtet, *ein* Parallelogramm, für besondere Werthe von $b:a$ und γ ihrer zwei oder *drei*, bei denen a und b die möglichst kleinsten Intervalle des Systems sind, der Winkel γ zwischen ihnen also am wenigsten von einem Rechten abweicht. Es mag dieses das *Elementar-Parallelogramm* genannt werden.

In diesem Parallelogramm sey $d^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma$, die Diagonale des stumpfen von a und b eingeschlossenen Winkels. Da der Voraussetzung nach a und b die kleinsten Intervalle des Systems sind, so wird d , das Intervall der Diagonal-Linie, größer seyn als sie, also wenn $b > a$,

wird $d > b$ seyn und $\cos \gamma$ kann daher niemals gleich oder gröfser werden als $a : 2b$.

In einem Systeme von Moleculen, bei denen a das kleinste, b das nächst gröfsere Intervall ist, kann der Winkel γ zwischen ihnen nicht mehr eine beliebige Gröfse haben, sondern mufs stets dem Rechten so nahe stehen, dafs sein Cosinus $< a : 2b$ ist.

Ist $\cos \gamma = a : 2b$, so ist $d = b$ und die Molecular-Linie, welche das Intervall d enthält, wird der Molecular-Linie durch b vollkommen gleich und gleich gelagert.

Die folgende kleine Tabelle enthält diesen für die Krystallkunde wichtigen Gränzwertb von γ , für verschiedene Verhältnisse von $a : b$.

$a : b$	γ	$a : b$	γ	$a : b$	γ
1,0	60° 0'	0,6	72° 43'	0,3	81° 23'
0,9	65 15	0,5	75 33	0,2	84 16
0,8	66 25	0,4	78 28	0,1	87 8
0,7	69 31				

Je gröfser also der Unterschied von a und b , desto enger ist der Raum, in welchen der Winkel von γ fallen mufs. Wenn $b = 5a$, so fällt γ zwischen 84° 16' und 90°; oder was damit gleich bedeutend ist, zwischen 90 und 95° 44'. Für $b = 2a$ zwischen 75° 33' und 90°. Für $a = b$ zwischen 60° und 90°. In keinem Falle kann der Winkel zwischen den Molecular-Linien, welche die kleinsten Intervalle haben, kleiner wie 60° seyn.

Congruenz von Molecular-Linien.

Zwei Molecular-Linien, deren Lage gegen das ganze System von Moleculen übereinstimmt, sind *congruent*. Wenn man das ganze System so wendet, dafs die beiden congruenten Linien ihre Stelle vertauschen, so werden alle Molecule der Ebene in beiden Lagen sich decken. Die aufserhalb der Ebene der congruenten Molecular-Linien befindlichen Theile werden sich entweder ebenfalls decken, oder die beiden Stellungen sich wie ein Spiegelbild zum Originale verhalten.

In der Ebene reicht es zur Congruenz zweier Molecular-Linien hin, daß ihre Intervalle gleich sind. Nimmt man diese Linien zu Axen und giebt ihnen also die Zeichen 10 und 01, so stehen die Diagonalen des spitzen und des stumpfen Winkels der Elementar-Parallelogramme 11 und $1\bar{1}$ senkrecht auf einander, und das ganze System wird durch diese beiden Linien in vier einander gleiche Stücke getheilt, so daß die Molecular-Linie lm oder $\bar{l}\bar{m}$ congruent mit ml oder $\bar{m}\bar{l}$ ist. Sämmtliche Molecular-Linien kommen also paarweise vor, nur jene Diagonalen selbst ausgenommen, bei denen natürlich, da $m=l=1$, ml und lm zusammenfallen.

Andererseits werden da, wo zwei Molecular-Linien perpendicular auf einander stehen, alle übrigen paarweise auftreten; denn nimmt man jene als Axen, so werden lm und $\bar{l}\bar{m}$ congruent.

Diese Stufe der Symmetrie, welche in der Congruenz von je zwei Molecular-Linien besteht, kann bei zwei von einander wesentlich verschiedenen Anordnungen der Molecule stattfinden.

Erstlich wenn die beiden kleinsten Intervalle rechtwinklig auf einander stehen, das Elementar-Parallelogramm also ein Rechteck ist.

Zweitens wenn entweder $a=b$, also das aus den Intervallen a und b mit dem Winkel γ gebildete Parallelogramm ein Rhombus ist; oder wenn $\cos\gamma=a:2b$ ist, also d , das Intervall in der Diagonale des stumpfen Winkels der Axen, $=b$ und das aus den Intervallen b und d gebildete Parallelogramm ein Rhombus ist.

In beiden Anordnungs-Weisen kann man das System sowohl auf ungleiche aber rechtwinklige Axen als auf congruente aber schiefwinklige Axen beziehen, aber mit folgendem wichtigen Unterschiede. Wenn nämlich in dem *ersten* Falle die Axen parallel den kleinsten Intervallen also rechtwinklig genommen werden, so läßt sich die Lage aller Molecule zum Scheitel, von dem nächsten angefangen, durch

01, 11, $\bar{1}\bar{1}$, 12 . . .

also durch ganze positive und negative Coëfficienten bezeichnen. Wir wollen dieses die *normale* Anordnung nennen.

Wenn man dagegen die Axen einander gleich aber schiefwinklig nimmt, so wird die Reihe der Molecule nach ihrer durchschnittlichen Entfernung vom Scheitel geordnet:

$\frac{1}{2}\frac{1}{2}$, 10, 01, $\frac{3}{2}\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}\frac{3}{2}$, 21, 12, $\frac{5}{2}\frac{1}{2}$. . .

und die der Molecular-Linien in derselben Reihenfolge

11, 10, 01, 31, 13, 21, 12, 51

diese Reihe mag die *anormale* genannt werden.

In dem *zweiten* Falle, wo $b=a$ oder $b=d$, wird die Reihenfolge normal, wenn man die Axen den beiden einander gleichen Intervallen parallel nimmt, dagegen anormal, wenn man sie rechtwinklig nimmt.

In beiden Fällen also erscheint die Reihe normal, wenn die Axen den beiden kleinsten Intervallen a und b parallel gestellt werden — oder einem der kleinsten Intervalle und der Diagonale d — und anormal, wenn sie den beiden Diagonalen parallel sind und also die Lage der Molecule nicht mehr durch ganze Zahlen bezeichnet werden kann.

Eine noch höhere Stufe der Symmetrie findet sich in den Systemen, in denen mehr als zwei Molecular-Linien congruent werden können. Es wird dann keine Molecular-Linie, auch nicht die mit dem kleinsten Intervall, isolirt stehen, sondern ebenfalls einer anderen congruent seyn; also $a=b$ und überdies $\gamma=90^\circ$ oder 60° .

Wenn $\gamma=90^\circ$, ist die Anordnung der Molecule der Ebene *quadratisch*. Werden die Axen den Richtungen der kleinsten Intervalle parallel gelegt, so sind im Allgemeinen vier Molecular-Linien congruent: lm , ml , $\bar{l}\bar{m}$, $\bar{m}\bar{l}$, und nur bei 10, 01 und $\bar{1}\bar{1}$, 11 fallen ihrer je zwei zusammen. Legt man die Axen den Diagonal-Linien 11, $\bar{1}\bar{1}$ parallel, so wird die Reihe anormal.

Wenn der Winkel γ zwischen den kleinsten Intervallen $=60^\circ$ ist, so wird die Molecular-Linie, welche zum

Intervall die Diagonale des stumpfen Winkels von a und b hat, den Axen congruent und die Anordnung *hexagonal*. Es werden daher im Allgemeinen *sechs* Molecular-Linien congruent, von denen in besonderen Fällen je zwei zusammenfallen.

Eine Anordnung der Molecule, bei welcher 5, 7 oder mehr Molecular-Linien congruent werden, ist unmöglich. 4 oder 6 können zwar congruent werden, aber dann bilden die Linien, welche die dem Centrum nächsten Molecule mit einander verbinden, kein regelmässiges Polygon; nur die abwechselnden Seiten sind einander gleich.

Es giebt also in der Ebene *fünf* Stellungen der Molecule: die tetragonale und die hexagonale, die rectanguläre und die rhombische und die rhomboidische.

Die Anordnung der Molecule im Raume.

Die Lage der Molecule im Raume wird durch drei Coordinaten bestimmt, deren Grösse, wenn die Axen Molecular-Linien sind, $= la, mb, nc$ ist; a, b und c sind die Intervalle auf den Axen, l, m und n rationale Zahlen. Da a, b, c für alle Molecule eines Systems dieselben Werthe haben, so wird die Lage eines Moleculs durch lmn bestimmt, oder durch $lm\bar{n}$, wenn n eine negative Zahl ist.

Auf dieselbe Weise, da keine Verwechslung zu befürchten ist, können auch die Molecular-Linien bezeichnet werden, wobei es jedoch nicht auf die absoluten Werthe, sondern nun auf das Verhältniss der Coëfficienten l, m, n ankommt, also auch lmn mit $\bar{l}\bar{m}\bar{n}$ zusammenfällt.

Die Coëfficienten l, m, n sind immer rational, sobald die Axen selbst Molecular-Linien sind. Wenn noch die Bedingung gestellt wird, dass die Molecule sich blofs auf den Ecken der kleinen aus den Intervallen a, b, c gebildeten Parallelepipede befinden sollen, so bleibt die Anzahl der Stellungen, welche dieser Bedingung genügen, obgleich beschränkter, immer noch unendlich groß. Aber die Parallelepipede, welche aus den kleinsten Intervallen aller dieser

Axen gebildet werden, haben sämmtlich denselben Raum-Inhalt. Unter diesen zeichnen sich einige congruente dadurch aus, daß die Seiten den kleinsten im Systeme vorkommenden und nicht in einer Ebene liegenden Intervallen parallel sind. Es sind dieses die *Elementar-Parallelepiped*.

Damit a , b , c Minima seyn können, also von den Diagonalen jener Parallelepiped keine kleiner wird als das größte jener drei Intervalle, müssen die Winkel zwischen ihnen α , β , γ gewissen Bedingungen genügen, die den oben bei der Ebene angeführten ähnlich sind. Es ist jedoch nicht nothwendig hier näher darauf einzugehen.

Im Allgemeinen ist keine Molecular-Linie der anderen *congruent*. Es reicht zur Congruenz im Raume nicht hin, daß die Intervalle gleich sind, und also eine Symmetrie in der Ebene stattfindet, indem es immer möglich bleibt, daß ihre Lage zu den außerhalb der Ebene liegenden Moleculen verschieden ist. Dieses ist z. B. der Fall, wenn zwar $a=b$ die beiden kleinsten Intervalle sind, aber c das nächst größere außerhalb ihrer Ebene eine ungleiche Neigung zu ihnen hat.

Eine Anordnung der Theile, bei welcher keine Congruenz zwischen zwei Molecular-Linien stattfindet, mag das *triklinische Molecular-System* heißen.

Die Systeme mit einer höheren Symmetrie.

Die nächst höhere Stufe, das *monoklinische System*, ist da, wo zwei Molecular-Linien, etwa P und Q congruent sind. Soll die oben für die Congruenz angegebene Bedingung erfüllt werden, so muß einer jeden dritten Molecular-Linie R , welche mit P den Winkel μ und mit Q den Winkel ν macht, eine vierte S congruent seyn, welche sich zu P um ν und zu Q um μ neigt. Wenn $\mu=\nu$ fallen R und S zusammen.

Nimmt man nun den Durchschnitt der beiden durch die Molecular-Linien PQ und RS gehenden Ebenen als Axe A oder 100, und die zwei in jenen beiden Ebenen liegenden, auf A perpendicularen Linien als Axen $B=010$ und $C=001$, so

werden alle Molecular-Linien des Systems, deren Zeichen lmn und $\bar{lmn}$ sind, einander congruent, so dafs sie sämmtlich, mit alleiniger Ausnahme von 100 und den Linien, deren Zeichen omn ist, paarweise vorkommen.

Um die höheren Stufen von Symmetrie aufzufinden, mufs man zuvörderst die Systeme, bei denen *eine* Molecular-Linie sich von allen übrigen unterscheidet, von denjenigen sondern, bei denen dieses der Fall nicht ist.

In jenen Systemen wollen wir die isolirte Linie stets als Axe A nehmen. Um diese müssen alle congruenten Molecular-Linien so geordnet seyn, dafs sie sämmtlich gleiche Winkel mit ihr machen und die auf ihnen dem Kreuzungspunkte der Axen am nächsten liegenden Molecule ein Polygon bilden, dessen Seiten einander entweder sämmtlich, oder doch abwechselnd gleich sind.

Wo vier congruente Molecular-Linien so liegen, dafs die auf ihnen stehenden, dem Scheitel nächsten Molecule ein Rechteck bilden, giebt es immer drei auf einander perpendikuläre Linien, die als Axen genommen werden können, nämlich die beiden den Seiten des Rechtecks parallelen Molecular-Linien und die Axe A selbst. Es ist dieses das *isoklinische System*.

In diesem Systeme sind stets $lmn \bar{lmn} l\bar{m}\bar{n} lm\bar{n}$, also vier Molecular-Linien congruent. Wo einer der Coëfficienten $=0$ wird, fallen ihrer zwei zusammen, und wo zwei $=0$ werden, fallen vier zusammen; es sind die Axen selbst.

Wo die Anzahl der congruenten Molecular-Linien *drei* beträgt, stehen die dem Scheitel nächsten, aber nicht in einer Ebene mit ihm stehenden Molecule in einem gleichseitigen Dreieck. Die Molecule sind daher auf den der Axe A senkrechten Schichten hexagonal geordnet. Dasselbe ist der Fall, wenn *sechs* oder *zwölf* Molecular-Linien einander so congruent sind, dafs die dem Scheitel nächsten, auf ihnen liegenden Molecule ein regelmässiges Sechseck oder ein Sechs- oder Zwölfeck mit abwechselnd gleichen Seiten bilden. Von diesen Polygonen hängt auch die Anzahl der

einander congruenten Molecular-Linien ab. Es ist das *hexagonale* System.

Wenn die dem Scheitel nächsten, auf *vier* congruenten Molecular-Linien liegenden Molecule ein Quadrat bilden, oder die auf *acht* liegenden ein Achteck mit abwechselnd gleichen Seiten, so läßt sich das System auf drei einander perpendikuläre Axen reduciren, von denen zwei einander congruent sind. Es ist das *tetragonale* System.

Von den Molecular-Linien lmn , von deren Coëfficienten weder eins $= 0$ noch einem anderen gleich ist, sind je 8 congruent

$$\begin{array}{cccc} lmn & \bar{l}mn & l\bar{m}n & lm\bar{n} \\ lnm & \bar{l}nm & l\bar{n}m & ln\bar{m} \end{array}$$

diese reduciren sich, wenn $l=0$ auf *vier*, wenn $m=n$ oder m oder $n=0$ ebenfalls auf *vier*, wenn $l=0$ und $m=0$ oder $=mn$ auf *zwei* und wenn $m=n=0$ auf *eins*.

Was nun diejenige Stellung der Molecule betrifft, bei welcher einer jeden Molecular-Linie wenigstens *eine* andere congruent ist, so wird dieses auch bei der Molecular-Linie mit den kleinsten Intervallen der Fall seyn. Für die Neigung dieser zwei congruenten Linien sind aber nur zwei Werthe möglich, ein Rechter oder zwei Drittel eines Rechters, weil sonst wenigstens eine der Diagonalen eine von den übrigen Molecular-Linien ausgezeichnete Stellung erlangen würde. In dem ersten Falle wird die Anordnung der Molecule in der Ebene der Molecular-Linien mit den kleinsten Intervallen tetragonal, in dem zweiten hexagonal.

Es ergiebt sich aber durch eine genaue Untersuchung der mit jener Bedingung verträglichen Systeme, daß beides zu gleicher Zeit stattfindet, und das ganze System auf drei congruente rechtwinklige Axen geführt werden kann, wobei die Schichten senkrecht auf den Axen eine tetragonale, die zu den drei Axen gleich geneigten eine hexagonale Anordnung der Molecule haben. Es ist das *tesserale* System.

Es sind in diesem Systeme im Allgemeinen 24 Molecular-Linien einander congruent, nämlich

$$lmn \quad mnl \quad nlm \quad lnm \quad nml \quad mln$$

in jedem l , m oder n positiv oder negativ genommen. Wenn einer oder zwei Coëfficienten $=0$ sind, wenn zwei oder alle drei Coëfficienten einander gleich werden, oder wenn einer $=0$, die anderen einander gleich werden, wird die Anzahl der congruenten Molecular-Linien auf 12, 6, 4 oder 3 reducirt.

Es giebt also *sechs* Molecular-Systeme, das triklinische, das monoklinische, das isoklinische, das hexagonale, das tetragonale und das tesserale, und *nur* diese; andere sind bei einer netzartigen Anordnung der Molecule, d. h. der einzigen, welche mit dem Princip der Krystallbildung vereinbar ist, unmöglich ¹⁾).

Die Stellung der Molecule.

Innerhalb eines Molecular-Systems unterscheiden sich die verschiedenen Anordnungs-Weisen in der Gröfse der Intervalle und der Winkel. Aber auch abgesehen davon giebt es in jedem Systeme — das triklinische ausgenommen — wesentlich verschiedene *Stellungen*, die wir als Unterabtheilungen der Systeme ansehen können.

Um diese anschaulich zu machen, ist es am besten eine ebene Schicht von Moleculen, also eine Molecular-Fläche als Grundfläche anzunehmen, und die Anordnung der Molecule in ihr, so wie die Entfernung und die Projections-Oerter der Molecule der benachbarten Schicht zu bestimmen. Diese Projection hat natürlich dieselbe Anordnung wie die Molecule der Grundfläche selbst, nur ist sie gegen diese verschoben, so dafs in der Regel die Projection eines Moleculs der benachbarten Schicht in das Innere eines Elementar-Parallelogramms der Grundfläche fällt, nur in besonderen Fällen in die Ecken oder Ränder desselben. Aber gerade diese Stellungen, so wie diejenige, wo die Projection in das Centrum fällt, sind von Interesse, weil sie auf höhere Stufen von Symmetrie führen.

1) Den Beweis für diesen, wie für verwandte Sätze habe ich in Crelle's Journal für Math. schon i. J. 1832, Bd. VIII, S. 172 gegeben. Es war dieses, wie ich glaube, der erste Versuch einer analytischen Behandlung der Krystallographie.

Wir wollen die Stellungen, wo die verticale Projection auf die Ebene der Parallelogramme, also in die Molecule, der Grundfläche selbst fällt, *rectangulär*, wo sie ins Centrum fällt, *central*, und wo sie in die Mitte zweier parallelen Seiten fällt, *lateral* nennen.

In dem *triklinischen* Systeme findet zwischen den verschiedenen Molecular-Anordnungen kein anderer Unterschied statt als die individuellen der Intervalle und der Winkel.

Die Stellungen des monoklinischen Systems.

In dem *monoklinischen* Systeme tritt jener Unterschied schon ein. Wir wollen die Ebene der beiden auf der *Hauptaxe A* senkrechten, schiefwinklig gegen einander geneigten Axen als Grundfläche nehmen. Es sind alsdann zwei Stellungen möglich:

1) Die *rectanguläre*. Die Projection der nächsten also aller Schichten fällt in die Oerter der Molecule der Grundfläche. Das Intervall a ist die Entfernung zweier benachbarten Schichten und von den außerhalb der Ebene BC liegenden Intervallen das kleinste.

Wenn B und C die kleinsten Intervalle der Ebene BC haben, so ist es möglich die Lage aller Molecule gegen die Axen A, B, C durch ganze Zahlen zu bezeichnen; die Reihenfolge ist *normal*.

2) Die *centrale*. Die Projection fällt in die Mitte der aus den Intervallen von B und C gebildeten Parallelogramme. Die Entfernung benachbarter Schichten ist also $= \frac{1}{2}a$. Die drei kleinsten Intervalle im Systeme liegen nicht in den drei Axen, sondern wenigstens eine derselben, zuweilen alle drei, sind größer als das kleinste Intervall zweier Molecule benachbarter Schichten. Und da die Eigenschaften, durch welche die krystallisirten Körper sich von den sogenannten amorphen und den flüssigen unterscheiden, unstreitig zum großen Theile auf der relativen Entfernung der Molecule beruhen, so kann auch der Unterschied der centralen und der rectangularen Stellung, ungeachtet der

Uebereinstimmung in der Stufe der Symmetrie, nicht ohne wesentlichen Einfluß seyn.

Wenn die Intervalle der Axen B und C die kleinsten in ihrer Ebene sind, oder das aus ihnen gebildete Parallelogramm zu denen mit dem kleinsten Flächen-Inhalte gehört, so ist die Reihefolge aller Molecule der Grundfläche *normal*. Ebenfalls *normal* ist die Anordnung in den Ebenen von AB und AC , also überall, wo ein Coëfficient $= 0$ ist. Aber für die Molecule, wo dieses nicht der Fall ist, wird die Reihefolge derselben, von ihrer mittleren Entfernung vom Scheitel an gerechnet und von $\pm$ Vorzeichen abgesehen

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}, \frac{3}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}, 211, \frac{3}{2} \frac{3}{2} \frac{1}{2}, \frac{5}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2}, \frac{5}{2} \frac{3}{2} \frac{1}{2} \dots;$$

wobei die größeren Zahlen, die hier in das erste Glied gestellt sind, auch in das zweite und dritte kommen können. Die Reihe ist also *anormal*.

Man kann diese Stellung auch als *lateral* auffassen, wenn man die Diagonale des Parallelogramms, in dessen Centrum die Projection fällt, als Axe B nimmt und zur Axe C eine Molecular-Linie wählt, deren Intervall möglichst klein ist. In diesem Falle ist die Anordnung in den Ebenen von BC und AC *normal*; in der Ebene AB *anormal* und wo kein Coëfficient $= 0$ ist:

$$\frac{1}{2} \frac{1}{2} 1, 111, \frac{3}{2} \frac{1}{2} 1, \frac{1}{2} \frac{1}{2} 2, \frac{3}{2} \frac{1}{2} 1;$$

also noch mehr von der normalen abweichend, als die *anormale*, welche doch mit der normalen als erstes Glied 111 gemein hat. Wir können sie die *dyanormale* nennen.

Wenn man die Bedingung festhalten wollte, daß die kleinsten Intervalle der Ebene BC stets in diese Axen selbst fallen, so würden die centrale und die laterale Stellung scharf getrennt werden müssen. Es ist jedoch zweckmäßiger in diesen wie in verwandten Fällen keine Trennung vorzunehmen, da bei beiden Auffassungen das aus den Intervallen der Axen BC construirte Parallelogramm den möglichst kleinsten Inhalt hat, eine Seite beiden gemein ist und der Unterschied nur darin besteht, daß was in jener eine Seite, in dieser Auffassung eine Diagonale ist.

Es ist auch noch eine dritte einfache Auffassung dieser

Stellung möglich, nämlich eine Grundfläche mit rhombischer Anordnung der Molecule und eine auf die Diagonale des Rhombus fallende Projection. Die Reihenfolge wird *normal*, wenn man die Axen den Kanten eines passend gewählten schiefen rhombischen Prismas parallel nimmt.

Die Stellungen des isoklinischen Systems.

Mit der Möglichkeit einer Reduction auf drei einander perpendicularäre und ungleiche Axen lassen sich drei Stellungen vereinigen:

1. Die *rectanguläre*. Die Ebene der Grundfläche ist die der Axen *B* und *C*. Die Molecule sind in ihr rectangulär geordnet. Die Projection fällt auf die Molecule selbst. Die kleinsten Intervalle sind die der drei Axen selbst.

Die Reihenfolge ist *normal*.

2. Die *centrale*. Die Ebene der Grundfläche ist die der Axen *B* und *C* und die Anordnung in ihr rectangulär. Die Projection fällt in die Mitte der aus den Intervallen *b* und *c* gebildeten Rechtecke. Die Entfernung der Schichten $= \frac{1}{2}a$, und die Entfernung der zwei nächsten Theile benachbarter Schichten ist kleiner als eins der drei Intervalle der Axen, möglicher Weise die kleinste im Systeme.

Die Reihenfolge ist ganz gleich der gleichnamigen des monoklinischen Systems.

Man kann statt der Fläche der Axen *B* und *C* auch die von *A* und *B* oder *A* und *C* als Basis nehmen. Die Anordnung der Molecule ist daher in Beziehung auf die drei Axen, abgesehen von der Verschiedenheit der Intervalle, symmetrisch.

3. Die *laterale*. Die Ebene der Grundfläche ist die der Axen *B* und *C* und die Anordnung in ihr rectangulär. Die Projection fällt in zwei parallele Seiten des Rechtecks, die der Axe *B* parallel sind. Die Entfernung benachbarter Schichten $= \frac{1}{2}a$, und die kleinste Entfernung zwischen zwei auf verschiedenen Schichten liegenden Moleculen ist kleiner als *a* oder *b*, zuweilen kleiner als beide.

Die Reihenfolge ist *normal* für die Ebenen *BC* und *AC*;

anormal für AB und dyanormal für die Molecule, deren Coëfficienten weder Null noch einander gleich sind.

Man kann dieselbe Anordnung auch anschaulich machen durch eine rhombische Grundfläche mit einer auf die Molecule selbst fallenden Projection. Nimmt man die Axen den passend gewählten Kanten eines geraden rhombischen Prismas parallel, so wird die Reihenfolge normal. Die Axe des Systems, welche den Seitenkanten dieses Prismas parallel ist, kann als Hauptaxe angesehen werden.

4. Die *rhombische*. Die Grundfläche ist rhombisch geordnet, die Axen B und C sind die Diagonalen des Rhombus. Die Projection der nächsten Schicht fällt in die Mitte desselben. Von den Intervallen der rechtwinkligen Axen gehört höchstens *eins* zu den kleinsten des Systems.

Die Reihenfolge ist anormal für alle drei Ebenen der Axen, dyanormal für die Molecularlinien, von deren Coëfficienten keiner weder 0 noch einem anderen gleich ist.

Man könnte diese Stellung auch so anschaulich machen: die Grundfläche rectangulär, aber so, daß in dem Mittelpunkt eines jeden Rechtecks ein Molecule ist. Die Projection der benachbarten Schicht fällt auf die Mitte aller Seiten des Rechtecks.

Man kann auch hier jedes Paar Axen als Basis nehmen. Die drei Axen haben also ebenfalls eine symmetrische Lage zu dem System.

Die Stellungen des tetragonalen Systems.

Die Axen B und C sind congruent und rechtwinklig gegeneinander und zur *Hauptaxe* A geneigt. Der Stellungen giebt es zwei. In beiden ist die Grundfläche in der Ebene von B und C .

1. Die *rectanguläre* Stellung. Die Projection der Molecule der nächsten Schicht fällt in die Orte der Molecule der ersten. Die Intervalle a und $b = c$ sind die kleinsten im Systeme. Reihenfolge normal.

2. Die *centrale* Projection fällt in die Mitte der Quadrate der Grundfläche. Die kleinsten Intervalle zwischen

zwei Moleculen benachbarter Schichten, deren vier congruent sind, sind kleiner als a oder b , zuweilen die kleinsten im Systeme.

Die Entfernung zweier benachbarter Schichten $= \frac{1}{2}a$; Reihenfolge anormal, ganz derjenigen der centralen Stellung der früher behandelten Systeme gleich.

Wenn statt der Linien mit dem kleinsten Intervall in der Ebene BC die zwei ebenfalls congruenten Diagonalen als Axen genommen werden, so wird die Reihenfolge in der rectangulären Stellung normal für lmo ; anormal für omn und dyanormal für lmn .

Für die centrale Stellung wird alsdann lmo und omn anormal, lmn dyanormal.

Die Stellungen des hexagonalen Systems.

In den den Axen B , C parallelen Schichten sind die Molecule hexagonal geordnet. Man könnte zwar dieses System auf zwei unter 60° geneigte Axen und eine dritte ihnen perpendikuläre Axe A reduciren; aber die Congruenz von B und C mit der Diagonale D des stumpfen Winkels macht eine Bezeichnung zweckmäfsig, in welcher sich diese Congruenz von B , C und D ausspricht.

Dieses geschieht, wenn die Lage eines Moleculs durch Linien bestimmt wird, welche perpendiculär auf den Axen stehen. Die Entfernungen der Punkte, wo die Axen durch die aus dem Molecul gefällten Perpendikel erreicht werden, sind die Coordinaten desselben. Diese Linien werden übrigens fast in jeder Hinsicht so behandelt, wie die gewöhnlichen den Axen parallelen Coordinaten.

In dem hexagonalen Systeme hat also jeder Punkt vier Coordinaten, von denen sich der erste la auf die Hauptaxe A , die anderen mb , nb , pb auf die Nebenaxen B , C und D beziehen. Das Zeichen eines Moleculs oder einer Molecular-Linie ist $lmnp$.

m , n , p sind nicht unabhängig von einander, sondern müssen der Gleichung $m+n+p=0$ genügen.

Die congruenten Molecular-Linien sind daher

$$\begin{array}{l} l m n p \quad l n p m \quad l p m n \\ l m p n \quad l n m p \quad l p n m, \end{array}$$

diese sechs Linien können für gewisse Werthe der Coëfficienten auf *drei* oder auch auf *eine* reducirt werden.

Es giebt in diesem Systeme zwei Stellungen, die beide mit hexagonaler Grundfläche aufgefaßt werden können.

1. Die *rectanguläre*. Die Projection der benachbarten und also aller Schichten fällt in die Molecule der Grundfläche selbst. Das Intervall a ist das kleinste auferhalb der Grundfläche. Die Reihelfolge ist normal.

2. Die *centrale*. Die Projection der Molecule der benachbarten Schicht fällt in die Mitte derjenigen gleichseitigen Dreiecke der Grundfläche, deren Seiten von den Winkeln aus dieselbe Richtung haben. Diese Dreiecke berühren sich nur an den Ecken. Ihre Zwischenräume bilden die zweite Klasse gleichseitiger Dreiecke, deren Seiten eine entgegengesetzte Richtung haben. In das Centrum der letzten fällt also die Projection keines Moleculs.

Die Entfernung benachbarter Schichten ist $\frac{1}{2}a$ und das kleinste Intervall zwischen Moleculen, die in verschiedenen Schichten liegen, ist daher kleiner als a oder b , möglicher Weise das kleinste im Systeme. Die Reihelfolge ist anormal.

Bei der *rectangulären* Stellung findet aufer der oben angegebenen Congruenz von *sechs* Molecular-Linien noch diejenige zwischen $l m n p$ und $\bar{l} m n p$ statt, so daß ihrer *zwölf* congruent werden. Bei der *centralen* ist diese Congruenz nicht vorhanden; man kann diesen wichtigen Unterschied schon in der Bezeichnung dadurch andeuten, daß man bei der centralen Stellung des hexagonalen Systems die drei auferhalb der Ebene BCD gelegenen einander congruenten Molecular-Linien mit den kleinsten Intervallen zu Axen wählt. Bei dieser Auffassung ist die Reihe normal.

Die Stellungen des tesseraleen Systems.

Drei verschiedene Stellungen sind mit der Reduction auf drei congruente einander perpendicularäre Axen ver-

einbar. Die Grundfläche immer quadratisch und zwei congruenten Axen parallel genommen.

1. Die *rectanguläre*. Die Projection fällt in die Molecule der Grundfläche selbst. Das Intervall a der *drei* Axen ist das kleinste im Systeme; die Reibefolge ist normal.

2. Die *centrale*. Die Projection fällt in die Mitte der Quadrate der Grundfläche. Die *vier* congruenten Molecular-Linien, welche durch die zwei nächsten Molecule benachbarter Schichten gehen, haben das kleinste Intervall im System; die Reihfolge ist anormal und derjenigen der centralen Stellung in anderen Klassen gleich.

3. Die *laterale*. Die Grundfläche ist zwar quadratisch, aber in der Mitte eines jeden Quadrats ist ein Molecul. Die Projection der Molecule der benachbarten Schicht fällt in die Mitte der Seiten jenes Quadrates. Das Intervall von einem Molecul nach dem Endpunkte der Seiten, über deren Mitte es liegt, ist das kleinste im System. Es giebt sechs congruente Molecular-Linien mit diesem Intervall.

Die Reihfolge der Molecule ist anormal für die Ebene zweier Axen, dyanormal für lmn .

Es giebt also 14 verschiedene von der Wahl der Axe unabhängige Stellungen der Molecule, von denen *eine* dem triklinischen Systeme, *zwei* dem monoklinischen, *vier* dem isoklinischen, *zwei* dem tetragonalen, *zwei* dem hexagonalen und *drei* dem tesseralen Systeme angehören.

Das Verhältniß der Molecular-Anordnung zur Krystallform.

Was über die Anordnung der Molecule gesagt werden mag, bleibt in sofern immer Hypothese, als Niemand sie beobachten kann. Aber zwischen dem, was sich mit Nothwendigkeit aus der Molecular-Theorie ergibt, und den Gesetzen der Krystallographie, findet eine entschiedene Uebereinstimmung statt.

Die *sechs* Systeme der Molecule entsprechen den *sechs* Systemen der Krystallographie, welche genau auf derselben Stufe der Symmetrie stehen, so vollständig, dafs ich kein

Bedenken getragen habe, sie auf gleiche Weise zu benennen.

In jedem dieser Krystall-Systeme, das triklinische ausgenommen, unterscheiden sich die einzelnen Krystall-Gattungen nicht nur durch die Größe der Intervalle und der Winkel, sondern auch durch die Lage der Spaltungsflächen, die Härte und vor Allem durch die Ausbildung in einer Weise, welche in der Lage und dem Verhältniß der Axen durchaus keine Erklärung findet. Einige dieser Unterschiede sind schon von Haüy, als das Resultat verschiedener Grundformen, aufgefaßt. Aber die Mittel, welche wir zur Unterscheidung dieser Grundformen besitzen, sind so unzureichend, daß die Anzahl und die Gestalt der Grundformen in sehr ungleicher Weise angegeben wird, und viele Krystallographen sie ganz verwerfen, indem sie die Eigenschaften, welche auf ihre Unterscheidung führen, für unwesentlich halten.

Die Annahme einer Grundform, man mag diese als die Gestalt der Molecule oder als diejenige der Gruppen von Moleculen ansehen, erscheint allerdings unzulässig, weil sie das postulirt, was sie beweisen soll, indem sie z. B. die Frage, warum es keinen einzigen Krystall in Prismen oder Doppel-Pyramiden mit regulär fünf- oder achtseitiger Basis gebe, da doch regulär vier- und sechsseitige Formen sehr häufig sind, auf keine andere Weise zu beantworten weiß, als mit der Behauptung die Natur habe eben jene Formen nicht hervorgebracht.

Bei der Entwicklung der den Gesetzen der Anordnung der Molecule entsprechenden Formen wird nichts vorausgesetzt; die sechs Klassen, welche die Erfahrung bei den Krystallen nachgewiesen hat, ergeben sich auch als notwendiges Resultat rein theoretischer Untersuchungen, und wir dürfen daher auch hoffen die Unterabtheilungen in den Anordnungs-Weisen der Molecule bei den Krystallen wiederzufinden.

Ich habe schon i. J. 1835 in meiner Cohäsionslehre angegeben, und zwar von denselben Principien ausgehend,

wie in dieser Abhandlung, daß sich die Krystalle in *fünfzehn* Familien theilen lassen und in dem 1842 erschienenen System der Krystalle sogar den Versuch gemacht, sämtliche damals bekannte Krystallformen nach jenen 15 Familien zu ordnen. Diese Eintheilung unterscheidet sich von der gegenwärtigen bloß dadurch, daß ich es jetzt zweckmäßiger finde, in dem monoklinischen Systeme zwei der damals angenommenen Unterabtheilungen zusammenzufassen, und demnach statt *drei* ihrer bloß *zwei* anzunehmen. Ich will, was ich früher unterlassen habe, die Uebereinstimmung der aus der Molecular-Theorie abgeleiteten Eintheilung mit derjenigen, welche sich aus der Beobachtung der Krystalle ergibt, näher begründen.

Die Uebereinstimmung der moleculären und krystallographischen Systeme vorausgesetzt, ist es unzweifelhaft, daß in den tesseralen, tetragonalen und isoklinischen Systemen, so wie für die Axe *A* des hexagonalen und des monoklinischen Systems die moleculären Axen mit den krystallographischen zusammenfallen. Aber bei den schiefwinkligen Axen *B*, *C* der monoklinischen und hexagonalen Systeme und im triklinischen ist diese Uebereinstimmung keineswegs entschieden. Die Lage der Krystallflächen zu den Molecular-Ebenen kann namentlich in zweifacher Weise stattfinden; entweder indem die Molecular-Linien den Krystall-Kanten oder indem sie den Normalen der Flächen parallel sind.

Die Frage hat einige Aehnlichkeit mit der optischen, wo es ungewiß ist, ob bei dem durch Reflexion polarisirten Lichte die Aethertheilchen in der Reflexions-Ebene schwingen oder perpendicular darauf. In der Krystallkunde ist jedoch die Antwort leichter zu finden.

Dem Anschein nach am anschaulichsten ist die Auffassung, daß die Krystallflächen den Schichten der Molecule parallel sind, und in der That liegt diese Ansicht auch der Haüy'schen, von der hier vorliegenden übrigens gänzlich verschiedenen Theorie zu Grunde. Die Molecular-Linien entsprechen den Kanten der Krystalle, und die Molecular-Linien

mit den kleinsten Intervallen sind denjenigen Kanten parallel, welche als Axen genommen für die Bestimmung der Flächen die einfachsten Coëfficienten zulassen, d. h. den Kanten der Grundformen, wenn diese möglichst gut gewählt sind. Die am häufigsten vorkommenden und durch ihre Spaltbarkeit ausgezeichneten Flächen sind denjenigen Molecular-Schichten parallel, welche die Molecular-Axen in den Entfernungen vom Scheitel

$$a \propto b \propto c, \infty a b c, a b c \dots$$

treffen, wenn a, b, c die Intervalle auf den Axen sind, wobei natürlich die Coëfficienten auch anders geordnet seyn können. Auf diese folgen Flächen, welche durch die Entfernungen

$$a 2b \propto c, a 2b c, a 2b 2c, a 3b \propto c \dots$$

gehen. Man sollte nun erwarten, daß die dann am häufigsten vorkommenden Flächen die Coëfficienten 2 und 3 haben würden, daß also unter den Flächen, deren Coëfficienten weder $= \infty$ noch einander gleich sind, die häufigste diejenige seyn würde, welche die Axen in den Entfernungen $3a 2b c$ treffen würde. Aber so ist es nicht. Eine Fläche, welche die Axen in diesen Entfernungen trafe, deren Zeichen also nach Weifs Terminologie ($3a:2b:c$) seyn würde, ist vermuthlich noch niemals beobachtet worden. Die am häufigsten vorkommende Fläche dieser Art hat weit minder einfache Coëfficienten, indem sie die Axen in den Entfernungen $2a, 3b$ und $6c$ trifft.

Diese Anomalie ist durch keine Umgestaltung der Axen zu beseitigen, und wird nur verhüllt, aber nicht entfernt, wenn man statt ganzer Zahlen Brüche setzt, also für jene Fläche ($a:\frac{1}{2}b:\frac{1}{3}c$). Bei der Annahme eines Parallelismus der Molecular-Linien mit den Kanten ist jenes Vorkommen unerklärlich.

Sobald man dagegen die *Normalen* den Molecular-Linien parallel setzt, nimmt die Ausbildung der Krystalle die einfachste Gestalt an. Die Normalen, die, zu Axen genommen, für alle beobachteten Formen die einfachsten Zeichen zulassen, werden in der Regel den Molecular-Linien mit den

kleinsten Intervallen parallel. Die durch die Häufigkeit des Vorkommens und durch Spaltbarkeit ausgezeichneten Flächen entsprechen den Molecular-Linien 100 011 111 211 . . . und von den Molecular-Linien, bei welchen ein Coëfficient weder $=0$ noch einem anderen gleich ist, entspricht 321 der nach jenen gewöhnlichsten, meistens der allein noch beobachteten Fläche.

Die Spaltungs-Flächen.

Wenn schon die Gestalt der Krystalle ein Resultat der Anordnung der Molecule ist, so wird dieses in noch höherem Grade bei den *physischen* Eigenschaften der Fall seyn, welche von vielen auf die äufsere Form einwirkenden Ursachen nicht berührt werden.

Die physischen Eigenschaften, welche ein Krystall in einer gegebenen Richtung hat, hängen ab von der Substanz des Körpers, oder was dasselbe ist, von den den Moleculen inwohnenden Kräften und dem Verhältnifs der Intervalle in verschiedenen Richtungen. Der Einfluß der Krystallisation zeigt sich in der ungleichen Vertheilung dieser auch in den sogenannten amorphen Körpern stattfindenden Kräfte, nach den verschiedenen krystallographischen Richtungen.

Es ist zwar bis jetzt noch bei keiner Art von Wirkung, auch den optischen nicht, gelungen, diese Function genau zu bestimmen; aber so viel steht mit wenigen und unsicheren Ausnahmen fest, daß bei Körpern von gleicher Krystallform die Intensitäten einer von der Richtung abhängigen physischen Wirkung stets in derselben Reihenfolge stehen, so daß, wenn z. B. bei einem Krystall die Geschwindigkeit des Lichts in einer gewissen Richtung größer ist als in einer anderen, dieses in den entsprechenden Richtungen eines isomorphen Körpers ebenfalls der Fall seyn wird, so verschieden auch die *mittlere* Geschwindigkeit des Lichts in beiden Körpern seyn mag.

Ich will mich hier auf die Spaltbarkeit beschränken und

behalte mir vor in einem anderen Abschnitte auf die optischen Eigenschaften überzugehen.

Diese hat zwar nicht die Eigenschaft der Härte und der Elasticität an Intensität *allmählich* zu steigen oder zu fallen, bis in einer gewissen Richtung ein Maximum oder ein Minimum eingetreten ist. Indessen sind die Flächen der leichtesten Spaltbarkeit jedenfalls Minima der Festigkeit, wo eine Trennung der Theile weniger Kraft verlangt als in den benachbarten Richtungen. Die durch einen Stofs erzeugten Wellen bringen im Körper an einigen Orten eine Dilatation hervor, welche bei einer gewissen Intensität eine bleibende Veränderung zur Folge hat. Diese besteht bei zähen Körpern in einem Länger- und Dünnerwerden der von dem Stofse am meisten betroffenen Stellen und führt allmählich auf den bei den weichen Metallen charakteristischen hakigen Bruch. Bei den sogenannten amorphen Körpern, die gewöhnlich nur ein Aggregat sehr kleiner in der Regel ungleichartiger Individuen sind, wird die Bruchfläche zu einem Aggregat krummer von der Gestalt der sich vielfach kreuzenden Wellen abhängiger Flächen und erlangt ein muschliges Ansehen.

Krystalle dagegen werden, aus ähnlichen Gründen wie Holz und andere Aggregate, sich in denjenigen Ebenen trennen, wo die Anziehung am kleinsten ist, nur mit dem Unterschiede, daß die Trennung, welche bei dem Holze schon als Gränze verschiedener Individuen vorhanden war, sich bei den Krystallen erst bildet und durch jeden Punkt des Körpers gehen kann.

Sollte es nun wirklich möglich seyn, daß für zwei in Form und Inhalt kaum zu unterscheidende Körper die Minima der Festigkeit in ganz abweichende Richtungen fallen sollten, ja daß zuweilen eine Richtung in dem einen Körper ein Minimum erlangen könnte, welche in dem andern einem Maximum entspricht?

Nach Beobachtungen, die an einigen Krystall-Gattungen angestellt sind, scheint dieses wirklich der Fall zu seyn. Man findet nicht selten, daß einige in den Winkeln über-

einstimmende, in der chemischen Zusammensetzung wenig abweichende Arten gänzlich verschiedene Spaltungs-Richtungen haben. Im *Augit* z. B. ist die Spaltung nach dem Prisma von 93° in der Regel entschieden leichter als nach den Abstumpfungen seiner Kanten. Aber im *Bronzit* und *Hypersthen* findet sich eine fast glimmerartige Spaltung nach der geraden Abstumpfung der scharfen Kante. Aehnliches in der *Hornblende*, wo die in der Regel sehr deutlichen Spaltungen nach dem Prisma von 124° von derjenigen, welche einer Abstumpfung der Kanten parallel ist und jenen in der Regel beinahe gleich steht, zuweilen weit übertroffen werden.

Aber in vielen und gerade den auffallendsten Beispielen dieser Anomalie hat sich bei genauer Untersuchung ergeben, daß die Erscheinung, welche für Spaltbarkeit gehalten wurde, bloß die Folge einer Einlagerung eines fremden Stoffes, gewöhnlich von Glimmerblättchen war.

Ueberhaupt wird die Absonderung, die weiter nichts ist, als das Bloßlegen einer schon *vor* der Trennung vorhandenen Gränzfläche zweier gleichartiger oder ungleichartiger Individuen, so gar oft nur ein feiner Sprung, der dem hygroskopischen Wasser und anderen Stoffen den Eintritt gestattet, sehr häufig mit der wahren Spaltbarkeit, wo die Trennungs-Fläche erst erzeugt wird, verwechselt. Der oft angegebene blättrige Bruch mit fasrigen, gestreiften oder matten Flächen ist niemals eine wahre Krystall-Spaltung; und die bei Aftersformen sehr häufig beobachtete Spaltbarkeit nach Richtungen, welche im ursprünglichen Krystall stattfinden, geben nun einen Beweis mehr, wie leicht die Trennung von Individuen mit der Spaltung von Krystallen verwechselt werden kann.

Wenn in diesen und anderen Beispielen durch Einlagerung fremder Stoffe oder auch von kleinen Höhlungen eine Spaltungs-Fläche in einer gewissen Richtung hervorgebracht wird, welche sonst fehlt, so wird durch Einlagerung anderer Art oft eine Spaltungs-Richtung verdeckt oder ein Unterschied zwischen Richtungen hervorgebracht, die krystallographisch einander gleich sind.

Dieses ist sehr häufig bei Feldspath und Skapolith, bei Augit und Hornblende, bei den dem Kalkspath und dem Aragonit isomorphen Salzen und vielen anderen, welche in der Regel ein Gemisch mehrerer isomorpher Verbindungen sind. Sie bilden einen auffallenden Gegensatz zu den wirklich homogenen Varietäten gleicher Form. Diese sind durchsichtig, haben glatte Krystall- und Spaltungsflächen, und die letzten in einem weit höheren Grade von Vollkommenheit als die gemischten Varietäten.

Man vergleiche den reinen Doppelspath mit den Talk-, Eisen- und Mangan-haltigen Kalkspäthen, die sämmtlich weder gut spiegeln, noch durchsichtig sind, obgleich sie keinen undurchsichtigen Bestandtheil enthalten, noch so glatte Krystallfläche haben, noch so gleichförmig spaltbar sind. Geringe Beimengungen von Strontian machen den Aragonit trübe, ein sicheres Zeichen, dafs der Lichtstrahl im Innern solcher Gemische, auch wenn sie isomorph sind, häufig gebrochen und reflectirt wird, und die Zusammensetzungs-Stücke im Verhältnifs zur Wellenlänge keineswegs zu vernachlässigende Durchmesser haben. Die Verbindungen isomorpher Körper sind gerade wie die nicht isomorpher Krystalle, nichts als ein Aggregat von Krystallen, oft von erkennbarer Gröfse, nur dafs die Uebereinstimmung der Form auch eine regelmässige Lagerung zuläfst und dem Ganzen eine krystallinische Begränzung leichter anzunehmen erlaubt wie den Aggregaten heterogener Körper, bei denen übrigens eine krystallinische Begränzung bekanntlich ebenfalls nicht selten ist. Bei chemisch reinen Körpern, welche die Natur freilich nur sehr selten darbietet, sind diese Anomalien in der Spaltbarkeit, Glätte und Durchsichtigkeit, so viel ich weifs, niemals beobachtet worden, ausgenommen an Körpern, welche eine isomere oder sonst chemische Umwandlung erfahren haben und daher eigentlich als After-Krystalle anzusehen sind.

Die Spaltbarkeit ist also keine von den Winkeln der Ausbildung und dem chemischen Gehalte unabhängige Eigenschaft. Sie ist für eine jede Krystall-Gattung ebenso

charakteristisch, wie die Krystallform selbst, und die Uebereinstimmung erstreckt sich auch auf die isomorphen Körper, zwischen denen zwar in der Intensität der Spaltbarkeit ein Unterschied stattfinden kann, aber keiner in den Richtungen selbst.

Was nun die Lage der Spaltungs-Flächen zu den krystallographischen Axen betrifft, so habe ich schon früher nachgewiesen, daß sie bei normaler Ausbildung der Krystalle den Axen selbst perpendikulär sind, und da diese den Molecular-Linien mit den kleinsten Intervallen entsprechen, so werden die Spaltungs-Flächen auf diesen Molecular-Linien perpendikulär stehen.

Wir können aber noch weiter gehen und nachweisen, daß auch da, wo sich das System nicht ohne der Symmetrie zu schaden, auf drei Axen zurückführen läßt, oder wo die Ausbildung anormal ist, die Spaltungs-Flächen stets den Molecular-Linien mit den kleinsten Intervallen entsprechen, und zwar so, *daß dem kleineren Intervall fast ohne Ausnahme die leichtere Spaltbarkeit entspricht.*

Bei der Bestimmung der relativen Gröfse der Intervalle bedürfen wir, nachdem das Verhältniß zwischen Krystallform und Molecular-Anordnung festgestellt ist, keiner Voraussetzung mehr. Es ergibt sich mit Nothwendigkeit aus den beobachteten Winkeln und Flächen und würde sogar in einer wenig veränderten Form seine Bedeutung behalten, wenn man der Molecular-Theorie auch nicht bestimmen wollte.

Für diesen Fall ist es besser den Ausdruck *Intervall*, der nur im Sinne der Molecular-Theorie eine Bedeutung hat, durch den Ausdruck *Werth* zu ersetzen, wenn man das den Intervallen entsprechende Verhältniß der Normalen bezeichnen will. Dieser Werth bezieht sich bloß auf die Häufigkeit des Vorkommens und die Spaltbarkeit. Für andere Kräfte im Krystall, deren Intensität sich mit der Richtung allmählich verändert, würden natürlich andere Zahlen-Verhältnisse auftreten.

Wir wollen nun auf die Bedeutung dieses Werths nä-

ber eingehen und die Uebereinstimmung desselben mit der Ausbildung und der Spaltbarkeit bei einigen Krystallsystemen nachweisen.

Die tesserale Krystalle.

Die Molecule können auf drei wesentlich verschiedene Arten geordnet seyn. Diesen entsprechen die drei Unterabtheilungen des Systemes.

1. In der *rectangulären* Stellung der Molecule ist das Intervall einer Molecular-Linie lmn , das von $100 = 1$ gesetzt

$$= \sqrt{l^2 + m^2 + n^2} = l : \cos \frac{100}{lmn}.$$

Es sind also die Intervalle oder Werthe von dem kleinsten beginnend

$100 = 1$	$021 = \sqrt{5}$	$031 = \sqrt{10}$
$011 \quad \sqrt{2}$	$211 \quad \sqrt{6}$	$321 \quad \sqrt{14}$
$111 \quad \sqrt{3}$	$122 \quad \sqrt{9}$	$221 \quad \sqrt{21}$.

Die Reihe ist also *normal*.

Da die Normale der Würfel-Fläche 100 den kleinsten Werth hat, so muß, wenn unsere Theorie richtig ist, in den *normal* gebildeten Krystallen die Spaltbarkeit nach den Flächen des *Würfels* entweder ausschliesslich oder doch am leichtesten seyn. Und so ist es auch. Alle tesserale Krystalle dieser Art, in welchen also das Octaëder 111 häufiger ist als das Leucitoëder 211 und dieses häufiger als 311 und wo von den 48 Flächern 321 am wenigsten selten ist, haben die leichteste Spaltbarkeit nach den Flächen des Würfels. So im *Bleiglanz*, *Glaserz*, *Chlornatrium*, und so überall, wo die Ausbildung deutlich zu beobachten ist.

2. In der *centralen* Stellung treten ganz andere Verhältnisse auf. Hier ist die Reihe der Molecular-Linien nach der Gröfse der Intervalle, oder was damit gleichbedeutend ist, die der Normalen nach der Gröfse ihrer Werthe geordnet, der Werth von $100 = 1$ gesetzt:

111 = $\sqrt{3:4}$	021 = $\sqrt{5}$	122 = $\sqrt{9}$
100 1	211 $\sqrt{6}$	031 $\sqrt{10}$
011 $\sqrt{2}$	511 $\sqrt{27:4}$	321 $\sqrt{14}$
311 $\sqrt{11:4}$	531 $\sqrt{35:4}$	

Diese Reihe ist also *anormal*.

Da die Normale des Octaëders 111 den kleinsten Werth hat, so ist die Spaltbarkeit *octaëdrisch*, die am häufigsten vorkommenden Flächen sind zwar auch hier Octaëder und Würfel; aber 311, das einen beträchtlich kleineren Werth als 211 hat, ist weit häufiger als dieses, dagegen 310, ungeachtet seiner Zonen-Verwandtschaft mit 311, der Normale 210 weit nachsteht.

Diesem entspricht die Ausbildung der Krystalle mit octaëdrischer Spaltbarkeit. Im *Magnet-Eisenstein* und anderen *Spinell-artigen* Krystallen sind 111 und 311 häufig, dagegen das sonst gewöhnliche Leucitoëder 211 und 122 sehr selten sind. Unter den 48-Flächern kommen 321 und 431 nicht vor, wohl aber 531.

Im *Flufsspath* ist die Ausbildung in der Zone von 111, 311 *anormal*, in der Zone von 011, 021 dagegen *normal*, also ganz den Gesetzen der Molecular-Anordnung gemäß.

Gold und *Silber* haben als zähe Körper keine Spaltungsflächen, aber eine Ausbildung wie der Flufsspath. Unter den 48-Flächern fehlt 321 gänzlich.

3. Bei der *lateralen* Stellung ist die Reihe der Molecular-Linien, $100 = 1$ gesetzt:

011 = $\sqrt{1:2}$	031 = $\sqrt{5:2}$	021 = $\sqrt{5}$
100 1	111 $\sqrt{3}$	
211 $\sqrt{3:2}$	321 $\sqrt{7:2}$	

Also hat 011 das kleinste Intervall und 111 ein größeres als 211. Die auf 011 perpendikuläre Flächen bilden das *Granatoëder*.

Diese Reihenfolge ist nun auch charakteristisch für den *Granat* und andere Krystalle, deren Ausbildung sich durch das Vorherrschen der Flächen 011 und 211, d. h. des Granatoëders und Leucitoëders, im Gegensatz zum Octaëder 111

auszeichnet, indem dieses weit seltener ist, wie in anderen tesseralen Krystallen. Von 48-Flächnern ist, der Theorie gemäß, 321 am häufigsten.

Wir finden also in den Krystallen dieses Systems eine vollständige Uebereinstimmung zwischen der Ausbildung und den Resultaten der Molecular-Theorie. Nur einige hemiëdrische Krystalle wie *Blende*, *Boracit* haben ein abweichendes Verhalten. Der *Schwefelkies* dagegen verhält sich wie die übrigen Krystalle mit kubischer Spaltbarkeit, von denen er sich nur durch das etwas häufigere Vorkommen der einen Hälfte von 021 unterscheidet.

Die tetragonalen Krystalle.

Wenn a das Intervall der Hauptaxe A ist, b das Intervall der darauf perpendicularen und congruenten Axen B und C , so ist das Intervall auf einer Molecular-Linie lmn

$$= \sqrt{a^2 l^2 + b^2 (m^2 + n^2)} = l \cos \frac{lmn}{100}$$

wenn unter dem letzten Zeichen der Cosinus des Winkels der Linien lmn und 100 verstanden wird.

1. Die *rectanguläre* Stellung. Man kann rechtwinklige Axen immer so wählen, daß die Ausbildung in allen Zonen normal wird. Die kleinsten Werthe entsprechen den Axen selbst und zwar so, daß wenn der Werth von b größer ist als der von a , die Spaltbarkeit nach A leichter ist, also basisch; und wenn b kleiner ist als a , die Spaltbarkeit nach B , dem tetragonalen Prisma, leichter ist. Wenn $b=a$ wird der Krystall kubisch.

Von gut ausgebildeten Krystallen kann ich in dieser Abtheilung, der *prismatischen*, bloß die isomorphe Gruppe des *Rutils* und des *Zinnsteins* anführen. Ihre Ausbildung ist ganz normal

$$100 \ 010 \ 011 \ 021 \ 110 \ 111 \ 111 \ 321.$$

Setzt man $\frac{110}{100} = 32^\circ 59'$, so sind die Werthe, der von $100 = 1$ gesetzt, in Logarithmen

$$\begin{array}{rcl} 010 & = & 9,827 \\ 011 & & 978 \end{array} \quad \begin{array}{rcl} 100 & = & 0,000 \\ 110 & & 076; \end{array}$$

also hier 010, d. h. das erste tetragonale Prisma am kleinsten. Die Spaltbarkeit ist auch parallel diesem Prisma am leichtesten.

2. Die *centrale* Stellung ist weit häufiger. Von den beiden kleinsten Werthen fällt entweder der erste oder der zweite auf 111, so daß entweder der Basis 100 oder dem Prisma 010 oder auch beiden ein größerer Werth zukommt als 111. Es ist daher auch entweder die leichteste, oder doch die der leichtesten am nächsten stehende Spaltungs-Richtung parallel den Flächen eines tetragonalen Octaëders, dessen Seiten-Ecken von den Axen *B* und *C* abgestumpft werden.

Wenn $a=b$ wird dieses Octaëder zum regulären.

Die der centralen Stellung entsprechenden Krystalle, die *octaëdrischen*, zerfallen also in drei, durch Formen des tesserale Systems begränzte Gruppen. Wenn α die Neigung von 111 zu 100 ist, so sind die Gränzwerte wenn $\alpha = 45^\circ$ und $= 54^\circ 44'$, und die Werthe der Intervalle sind alsdann

	$\alpha = 45^\circ$ Granatoëder.	$\alpha = 54^\circ 44'$ Octaëder.
für 100	1	1
010	$\sqrt{1:2}$	1
011	1	$\sqrt{2}$
111	$\sqrt{1:2}$	$\sqrt{3:4}$
110	$\sqrt{3:4}$	$\sqrt{2}$

Die Ausbildung ist *normal* in den Zonen *lmo* und *omn*, *anormal* in der Reihe der 16-Flächner.

Im *Uranit* ist $\frac{111}{100} = 71^\circ 31'$. Die Werthe also, der von 100 = 1 gesetzt, in Logarithmen sind:

$$\begin{array}{rcl} 100 & = & 0,000 \\ 111 & 0,198 & 110 = 0,368 \\ 011 & & 0,476 \\ 010 & 0,325. & \end{array}$$

Die Spaltbarkeit demgemäfs vollkommen nach 100.

Die Ausbildung mit Weglassung der fast bei keinem tetragonalen Krystalle fehlenden Flächen der beiden tetragonalen Prismen und der Basis ist:

$$110 \ 210 \ 111 \ 311 \ 511 \ 322.$$

Im *Schwerstein* ist $\frac{111}{100} = 65^{\circ} 45'$. Die Werthe in Logarithmen sind:

$$\begin{array}{ll} 100 = 0,000; & 110 = 0,225 \\ 111 & 085 \quad 011 \quad 346. \\ 010 & 196 \end{array}$$

Also 100 und 111 haben die kleinsten Werthe, denen auch die Spaltbarkeit entspricht.

Die Ausbildung ist 110 210; 111 311.

Im *Anatas* ist $\frac{111}{100} = 68^{\circ} 11'$. Die Werthe von

$$\begin{array}{ll} 100 = 0,000; & 110 = 0,307 \\ 111 & 129 \quad 011 \quad 398 \\ 010 & 247. \end{array}$$

Die Spaltbarkeit vollkommen nach 100, d. h. nach der Normale mit dem kleinsten Werthe, dieser am nächsten steht die Spaltbarkeit nach dem Octaëder 111.

Die Ausbildung ist 110 210; 111 311 511.

310, welches man nach der Zonenlage von 311 erwarten sollte, kommt hier und bei den folgenden Krystallen entweder gar nicht oder nur äußerst selten vor.

Dem *Anatas* in jeder Beziehung gleichgestaltet, ist *Eisen-Kalium-Cyanür* und *Eisen-Ammonium-Cyanür*, wo

$$\frac{111}{100} = 68\frac{1}{2}^{\circ} \text{ ist.}$$

Die Spaltbarkeit ist nach 100 am stärksten, nach 111 schwächer. Zwar ist durch v. Kobell's Beobachtung zweifelhaft geworden, ob diese Krystalle dem tetragonalen System angehören. Es würde dieses aber in dem Verhältniß der Werthe zur Spaltbarkeit keinen Unterschied machen.

Das *schwefelsaure Nickel* ist dem *Anatas* isomorph

$$\frac{111}{100} = 69^{\circ} 39', \text{ also die Werthe}$$

$$100 = 0,000$$

$$111 \quad 150$$

$$010 \quad 280.$$

Die Spaltbarkeit ist nach 100, aber nicht prismatisch.
Die beobachteten Flächen sind:

$$110 \ 120; \ 111 \ 311.$$

Im *Apophyllit* ist $\frac{111}{100} = 60\frac{1}{2}^\circ$, also

$$100 = 0,000; \ 010 = 0,097$$

$$111 \quad 007 \quad 011 \quad 247.$$

Das Minimum ist nach der Basisfläche und diese ist auch der Haupt-Spaltungs-Fläche parallel, nach anderen Richtungen schwächer.

Wenn $\frac{111}{100} = 60^\circ$, so sind die Intervalle und Werthe von 100 und 111 einander gleich. Aber diese Gleichheit hat keine Congruenz zur Folge.

Der *Hausmannit* hat $\frac{111}{100} = 58^\circ 57'$, also das Verhältniß der Werthe in Logarithmen:

$$111 = 9,987; \ 110 = 0,188$$

$$100 \quad 0,000 \quad 011 \quad 221$$

$$010 \quad 070$$

Beobachtete Flächen 111 311.

Die Werthe von 111 und 100 sind wenig verschieden, und so ist es auch mit ihrer Spaltbarkeit.

Der *Zirkon* hat $\frac{111}{100} = 42^\circ 10'$; also

$$111 = 9,987;$$

$$010 \quad 806 \quad 011 = 9,957$$

$$111 \quad 829 \quad 100 \quad 0,000.$$

Diesem entspricht die Spaltbarkeit nach 010 011 111. Nach 100 der Basis ist keine wahrnehmbar.

Beobachtete Flächen 110, selten 130; 111 113 133, 122 untergeordnet.

Der *Vesuvian* hat $\frac{111}{100} = 37^\circ 7'$; also

$$\begin{array}{rcl} 010 & = & 9,728; \quad 011 = 9,879 \\ 111 & \quad 797 & \quad 100 \quad 0,000. \end{array}$$

Diesem entspricht die prismatische Spaltbarkeit nach 010.

Beobachtete Flächen 111 311 113 133 und ganz untergeordnet 211.

In jeder Beziehung dem Vesuvian isomorph ist das *Platin-Magnium-Cyanid*.

Der *Skapolith* folgt ungeachtet seiner Hemiëdrie demselben Gesetze $\frac{111}{100} = 31^\circ 34'$; also

$$\begin{array}{rcl} 010 & = & 9,644; \quad 011 = 9,790 \\ 111 & \quad 9,770 & \quad 100 \quad 0,000. \end{array}$$

010 hat das bei weitem kleinste Intervall und also auch die leichteste Spaltbarkeit.

Dieses werden sämmtliche tetragonale Krystalle seyn, bei denen zugleich die Spaltungsrichtungen und eine reichere Ausbildung beobachtet ist. Unsere Gesetze finden also auch in dem tetragonalen Systeme ihre vollständige Anwendung.

Die hexagonalen Krystalle.

Den beiden Molecular-Stellungen des hexagonalen Systems entsprechen die hexagonal-prismatischen und die rhomboëdrischen Krystalle.

1. In den *prismatischen*, wo a das Intervall auf der Hauptaxe A ist, b das kleinste Intervall in der auf A perpendicularen Ebene, also auf $001\bar{1}$, ist das Grund-Verhältniß

$$\frac{b}{a} = \text{Tang. } \frac{101\bar{1}}{1000}$$

Das Intervall auf der Normale des zweiten hexagonalen Prismas 0211 ist $= b\sqrt{3}$, also größer als b , und der Unterschied in den Intervallen oder Werthen der beiden hexagonalen Prismen ist größer als der zwischen denen des tetragonalen Systems, wo er nur $1:\sqrt{2}$ ist. Daher auch eine Spaltbarkeit oft nach beiden tetragonalen Pris-

men, aber niemals nach beiden hexagonalen beobachtet wird.

In jeder anderen Richtung $lmnp$, wo jedoch stets $m+n+p=0$, ist der Werth $la: \cos \frac{lmnp}{1000}$.

Die Ausbildung ist ausschliesslich normal, indem nach $101\bar{1}$ am gewöhnlichsten $201\bar{1}$ oder $102\bar{2}$ folgt, $301\bar{1}$ oder $103\bar{3}$ dagegen weit seltener sind. Die einzige Ausnahme von dieser Regel findet sich bei dem hemiëdrischen oder vielmehr tetartoëdrischen Quarze.

Die Spaltbarkeit ist stets am leichtesten nach 1000 und $001\bar{1}$, d. h. der Basis und dem ersten hexagonalen Prisma, bald nach dieser, bald nach jener Richtung überwiegend. Eine Spaltbarkeit, die nach den Pyramidenflächen stärker wäre als nach jenen Richtungen, wird bei keiner einzigen gut ausgebildeten Gattung als constant beobachtet. Nur hin und wieder sollen einige Varietäten eine pyramidale Spaltung haben. In der That sind auch die Intervalle von $101\bar{1}$ und in noch höherem Grade von Pyramiden mit höheren Coëfficienten, stets gröfser als nach $001\bar{1}$ und 1000 .

So weit es bei einer vielen Irrthümern unterworfenen Beobachtung möglich ist, kann man sagen, dafs je kleiner $\frac{a}{b}$ ist, also je gröfser der Winkel $\frac{101\bar{1}}{1000}$, desto stärker die basische Spaltbarkeit im Verhältnifs zu den übrigen sey.

Im *Kupferglimmer*, wo jener Winkel $= 71^\circ 45'$ und also der Logarithmus des Intervalls von $001\bar{1} = 0,48$ ist, und im *Molybdänglanz*, wo der Winkel $= 70^\circ 28'$ und jener Logarithmus $= 0,45$ ist, ist die Spaltbarkeit glimmerartig.

Im *Zinkoxyd*, wo $\frac{101\bar{1}}{1000} = 62\frac{1}{2}^\circ$ (Levy) ist und der Werth $= 0,280$, ist die Spaltbarkeit nach der Basis entschieden am leichtesten.

Geringer ist der Unterschied in den Werthen a und b

und daher auch in der Spaltbarkeit nach den Richtungen 1000 und $001\bar{1}$, von denen bald die eine, bald die andere als die stärkste geschildert wird, im

Nephelin, wo $\frac{101\bar{1}}{1000} = 49\frac{1}{2}^{\circ}$; $\text{Log } \frac{b}{a} = 0,069$

Smaragd 48° 0' 045

Magnetkies 45° 8' 002

Greenockit 43° 35' 9,979

Polybasit 41 $\frac{1}{2}$ ° 964

Dagegen herrscht im *Apatit*, wo $\frac{101\bar{1}}{1000} = 40^{\circ} 15'$, also $\text{Log } \frac{b}{a} = 9,928$ die prismatische Spaltbarkeit entschieden über die basische vor. Der Intervall von $101\bar{1}$ würde 0,117 seyn, also beträchtlich größer. Nach einigen Angaben in mineralogischen Handbüchern soll das *Grünbleierz* zuweilen auch eine Spaltbarkeit nach den Flächen der hexagonalen Doppelpyramide $101\bar{1}$ haben. Es ist dieses aber wohl nur eine Absonderung.

2. In der *rhomboëdrischen* Stellung nehmen wir die Axen drei einander congruenten Molecular-Linien parallel und zwar denjenigen, welche unter allen Linien dieser Art die kleinsten Intervalle haben. Ist a dieses Intervall, α die gegenseitige Neigung der Axen und β die Neigung der Axen zur hexagonalen Hauptaxe, also $\frac{010}{001} = \alpha$, $\frac{111}{100} = \beta$, so ist

$$4 \sin \frac{1}{2} \alpha^2 = 3 \sin \beta^2.$$

Das Intervall auf $lmn = (l + m + n) \cos \beta : \cos \frac{lmn}{111}$.

Die *rhomboëdrischen* Krystalle zerfallen demnach in vier Gruppen, deren Unterschiede auch für die optischen und andere physischen Erscheinungen von Wichtigkeit ist.

Die äußersten Gränzen für die erste und vierte Gruppe sind da, wo der Winkel α zwischen den Axen = 0 und wo er 120° ist, die Axen also in eine Ebene fallen. Die

Uebergangs-Formen zwischen den Gruppen sind hier, wie im tetragonalen Systeme, tesseral.

Zeichen der Normalen.	Werthe der Nor- malen.	$\alpha = 60^\circ$ $\beta = 35^\circ 16'$ Granatoëder.	$\alpha = 90^\circ$ $\beta = 54^\circ 44'$ Würfel.	$\alpha = 109^\circ 28'$ $70^\circ 32'$ Octaëder.
100	1	1	1	1
011	$2 \cos \frac{1}{2} \alpha$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{4:3}$
01 $\bar{1}$	$2 \sin \frac{1}{2} \alpha$	1	$\sqrt{2}$	$\sqrt{8:3}$
111	$3 \cos \beta$	$\sqrt{6}$	$\sqrt{3}$	1
$\bar{1}11$	$\sqrt{[1+4 \sin^2 \frac{1}{2} \alpha^2]}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{8:3}$
$\bar{2}11$	$3 \sin \beta$	$\sqrt{3}$	$\sqrt{6}$	$\sqrt{8}$

Die *erste* Gruppe hat den Winkel α zwischen den Rhomboëder-Normalen kleiner als 60° oder die Rhomboëder selbst sind stumpfer als das Rhomboëder des Granatoëders. In der *zweiten* Gruppe steht das Rhomboëder zwischen denen des Granatoëders und Würfels. In der *dritten* steht es zwischen denen des Würfels und Octaëders, und in der *vierten* ist es spitzer als das des Octaëders.

In der *ersten* Gruppe hat 01 $\bar{1}$ einen kleineren Werth als 100. Dieses ist unter anderen im *Turmalin* der Fall:

hier ist $\frac{010}{001} = 47^\circ 0'$; $\frac{100}{111} = 27^\circ 9'$.

$$01\bar{1} = 9,902; 100 = 0,000; 111 = 0,426.$$

Die kleinsten Werthe haben also 01 $\bar{1}$ und 100, d. h. das Prisma und das Haupt-Rhomboëder, denen daher auch die Spaltungs-Richtungen parallel sind.

Im *Diopas* ist $\frac{010}{001} = 54^\circ 5'$; $\frac{100}{111} = 31^\circ 40'$.

$$01\bar{1} = 0,959; 100 = 0,000; 111 = 0,407.$$

Die kleinsten Werthe und die Spaltung sind ebenfalls in 01 $\bar{1}$ und 100.

Zu der *zweiten* an Krystallen reichsten Gruppe gehören:

Der *Phenakit* $\frac{010}{001} = 63^\circ 20'$; $\frac{100}{111} = 37^\circ 19'$.

$$100 = 0,000; 01\bar{1} = 0,022; 111 = 0,378.$$

Die kleinsten Werthe also ebenfalls in dem Haupt-Rhomboëder und dem die Kanten desselben abstumpfenden Prisma, und auch die Spaltung ist in diesen Richtungen am leichtesten und von nahe gleicher Stärke.

Der *Kalkspath* hat $\frac{010}{001} = 74^{\circ} 55'$; $\frac{100}{111} = 44^{\circ} 36'$.

$$100 = 0,000; 01\bar{1} = 0,085; 111 = 0,329.$$

Also hat 100 den kleinsten Werth und wie bekannt auch die leichteste Spaltbarkeit.

Ebenso verhalten sich die zahlreichen, dem Kalkspath isomorphen Krystalle, so wie auch das *Rothgiltigerz*.

Der *Chabasit* hat $\frac{010}{001} = 85^{\circ} 14'$; $\frac{100}{111} = 51^{\circ} 26'$.

$$100 = 0,000; 01\bar{1} = 0,138; 111 = 0,281.$$

Die Spaltbarkeit ist in dem Rhomboëder 100 am leichtesten.

Im *Quarz* ist $\frac{010}{001} = 85^{\circ} 44'$; $\frac{100}{111} = 51^{\circ} 46'$.

$$100 = 0,000; 01\bar{1} = 0,166; 111 = 0,269.$$

Die Spaltbarkeit ist daher nach dem Haupt-Rhomboëder, wenn auch schwach, doch besser als nach anderen Richtungen.

Quarz und Chabasit haben also beinahe dieselben Winkel und daher auch ähnliche Spaltungs-Richtungen. Aber deshalb sind sie noch nicht isomorph, da ihre Ausbildung und die Hemiëdrie des Quarzes auf gänzlich verschiedene Cohäsions-Verhältnisse hinweisen. Es ist zwar möglich, daß Körper, deren Krystallisation in einer ebenso entfernten Verwandtschaft steht wie die des Quarzes und Chabasites, auch eine gewisse chemische Verwandtschaft haben, aber bis jetzt ist noch kein einziges sicheres Beispiel einer solchen niederen Stufe von Isomorphie bekannt.

Der *Zinnober*, der seinen Dimensionen nach auch zu dieser Gruppe gehören würde, hat zwar die Spaltungs-Richtungen parallel dem Prisma $01\bar{1}$, jedoch eine von den übrigen Krystallen gänzlich abweichende Ausbildung. Er

ist, wie ich an einem anderen Orte gezeigt habe, als hemiëdrisch hexagonal anzusehen.

Zur *dritten* Gruppe gehört die sehr zahlreiche, dem *Korund* isomorphe Reihe von Krystallen. In dem Korund

$$\text{ist} \quad \begin{array}{l} 010 \\ 001 \end{array} = 93^{\circ} 54'; \quad \begin{array}{l} 100 \\ 111 \end{array} = 57^{\circ} 33'.$$

$$100 = 0,000; \quad 011 = 0,135; \quad 01\bar{1} = 0,165; \quad 111 = 0,207.$$

Die Spaltbarkeit ist nach 100 wie es die Theorie verlangt.

$$\text{Im } \textit{Eudialyt} \text{ ist} \quad \begin{array}{l} 010 \\ 001 \end{array} = 106^{\circ} 30'; \quad \begin{array}{l} 100 \\ 111 \end{array} = 67^{\circ} 42'.$$

$$100 = 0,000; \quad 111 = 0,052; \quad 011 = 0,078; \quad 01\bar{1} = 0,205.$$

Die beobachteten Spaltungs-Richtungen sind demnach 100 und 111, d. h. Rhomboëder und Basis.

In der *vierten* Gruppe wird der Werth der Basis kleiner als der des Rhomboëders, die Spaltung ist daher parallel der Basis am leichtesten. In der That sind auch bei allen zu dieser Klasse gehörigen Krystallen mit einer sehr guten basischen Spaltbarkeit die Winkel zwischen der Basis und dem Rhomboëder sehr groß, also die Rhomboëder selbst sehr spitz.

Die isoklinischen Krystalle.

In den Krystallen dieser Klasse wird gewöhnlich *eine* Richtung, entweder die, welche vorherrscht oder auch die, welche gegen die andere sehr zurücktritt, vertical gestellt und die ganze Terminologie so sehr an diese Stellung gebunden, daß sie gänzlich verändert werden muß, wenn man eine andere Axe vertical stellen wollte. Es wird auch nicht selten über die Zweckmäßigkeit, eine oder die andere Axe vertical zu stellen, sogar in solchen Fällen gestritten, wo dadurch in dem Grund-Verhältniß keine Aenderung eintreten würde.

Für unseren Standpunkt ist die Stellung natürlich vollkommen gleichgültig. Wir setzen bloß um die Uebersicht zu erleichtern das Intervall oder den Werth der kleinsten Axe = 1 und ihren Coëfficienten zuerst, den Coëfficienten

der grössten Axe zuletzt, so dafs sich in dem Zeichen der Normale lmn die Gröfse l auf die kleinste Axe A , und n auf die grösste Axe C bezieht. Das Grund-Verhältnifs ist identisch mit dem Verhältnifs der Intervalle oder Werthe der drei Axen $a:b:c$. Aber da a stets $=1$ genommen wird, so bleiben nur noch die Gröfsen b und c anzugeben, was am besten durch die Logarithmen geschieht.

Den vier in dem isoklinischen Systeme möglichen Stellungen der Molecule entsprechen ebenso viele Unterabtheilungen der Krystalle. Aber so scharf sich auch die Charaktere derselben theoretisch bestimmen lassen, so ist es bei der unvollkommenen Ausbildung der meisten Krystalle selten möglich die Unterabtheilung, der sie angehören, mit Sicherheit anzugeben. Von denen, wo es geschehen konnte, will ich einige anführen.

1. In der *rectangulären* Stellung fallen die kleinsten Intervalle oder Werthe auf die Axen selbst und das Parallelepipiped, welches von den kleinsten Intervallen gebildet wird, ist ein *gerades Prisma mit rechtwinkliger Basis*, dem auch die Spaltungs-Richtungen parallel sind und zwar so, dafs der Axe mit dem kleinsten Werthe die deutlichste Spaltungs-Richtung perpendicular ist. Die Ausbildung ist also normal. Dahin gehört das *Chlor-Baryum*. Es sind darin beobachtet:

100 011 101 201 301 110 210 310 110 111.

Von diesen sind 301 und 310 nur selten und blofs in solchen Combinationen, in denen auch 201 und 210 vorkommen.

Die Spaltungs-Flächen sind am vollkommensten nach 100, schwächer nach 010 und 001.

Das Grund-Verhältnifs in Logarithmen ist 0,132 0,177.

Ebenso regelmäfsig ausgebildet ist der *Bournonit*. Sein Grund-Verhältnifs ist 0,028 0,059.

Die Spaltung ist am leichtesten nach 100, der Fläche mit dem kleinsten Werthe, und weniger leicht nach 010 und 001.

Dasselbe findet sowohl was die Ausbildung, als die

Spaltbarkeit betrifft, statt bei der zahlreichen Gruppe des *Chrysolith*, des *Chrysoberyll*, des *Anhydrit* und vermuthlich auch des *schwefelsauren* und *unterschwefligsauren Kali*.

2. In der *centralen* Stellung sind die Werthe der Normalen der drei Hauptprismen 011 101 110

$$= \sqrt{(b^2 + c^2)}, \sqrt{(a^2 + c^2)}, \sqrt{(a^2 + b^2)},$$

$$\text{und der Werth von } 111 = \frac{1}{2} \sqrt{(a^2 + b^2 + c^2)} = \frac{1}{2a \cos \frac{111}{100}}.$$

Die Werthe der Normalen der Prismen sind offenbar gröfser als die der beiden in ihrer Ebene liegenden Axen. Aber der Werth von 111 ist kleiner als c , möglicher Weise auch kleiner als a und b , und alsdann der kleinste im Systeme. Die Figur, welche von den auf den vier congruenten Normalen 111 perpendicular stehenden Flächen gebildet wird, ist ein *Rhomben-Octaëder*.

Die Ausbildung der Krystalle ist in dieser Abtheilung ganz normal in der Reihe der Prismen der drei Zonen *omn lon lmo*; aber anormal in der Reihe der Octaëder.

Zu dieser Abtheilung gehört der *Schwefel*, dessen Grund-Verhältnifs 0,278 0,369 ist.

Die an ihm beobachteten Formen:

$$\begin{array}{c} 100 \ 001 \ 011 \ 110 \ 101 \\ 111 \ 311 \ 331 \ 511 \end{array}$$

211 ist dagegen sehr selten.

Spaltbarkeit nach 100 und schwach nach 111.

Der Werth von 111 = 0,201, also nächst 100 der kleinste im Systeme.

Im *schwefelsauren Natron* oder *Silber*, wo das Grund-Verhältnifs 0,165 0,327 ist, ist der Werth von 111 = 0,129. Die Ausbildung ist

$$100 \ 101 \ 110 \ 111 \ 131.$$

Die Spaltungs-Richtungen sind nicht beobachtet.

3. Die *laterale* Stellung ist oben durch eine rectanguläre Basis und die Projection auf die Mitte zweier Seiten des Rechtecks aufgefasset worden. Man kann diese Anordnungsweise jedoch anschaulicher machen, wenn man

die Basis rhombisch nimmt und die Projection der nächsten Schicht auf die Molecule der ersten selbst fallen läßt. Die auf der rhombischen Basis stehende Axe kann als die *Hauptaxe* des Systemes angesehen werden. Die Intervalle derselben sind zwar nicht nothwendig die kleinsten im System, aber doch die kleinsten aller außerhalb der Ebene der Basis befindlichen Intervalle. Innerhalb der Basis selbst ist die Seite des Rhombus kleiner als eins, möglicher Weise als beide Intervalle der Axen, so daß die drei den beiden congruenten rhombischen Seiten und der Hauptaxe parallelen Intervalle, wenn nicht die kleinsten im System, doch diesen sehr nahe stehen. Die auf diesen Linien perpendicularen Flächen bilden ein *gerades rhombisches Prisma*.

Setzt man die Hauptaxe parallel *A*, jedoch ohne Rücksicht auf die relative Gröfse der Intervalle, so ist die Ausbildung normal in der Reihe der Prismen *lmo* und *lon*, anormal bei den Prismen *omn* und dyanormal für die Rhomben-Octaëder. Also

100 010 001; 110 210 120... 101 201 102...

011 031 013... 211 111 231 213...

Das Intervall oder der Werth von

011 = $\frac{1}{2}\sqrt{(b^2 + c^2)}$; von 211 = $\frac{1}{2}\sqrt{(4a^2 + b^2 + c^2)}$

101 = $\sqrt{(a^2 + c^2)}$ 111 = $\sqrt{(a^2 + b^2 + c^2)}$.

110 = $\sqrt{(a^2 + b^2)}$

Also der Werth von 011 kleiner als der von *c*, und der Werth von 211 kleiner als der von 111.

Wenn man auch in dieser Abtheilung *A* immer als die Axe mit dem kleinsten, *C* als die mit dem größten Werthe nimmt, so wird die Ausbildung und Spaltbarkeit blofs in sofern modificirt werden, als in den oben angeführten Zeichen die zuerst gesetzte Zahl an die zweite oder dritte Stelle rückt.

In diese Abtheilung gehört die zahlreiche dem *Aragonit* isomorphe Gruppe. Das Grund-Verhältniß desselben ist 0,160 0,375, die beobachteten Formen:

110 210 120... 011 031... 211 231.

Der Werth von 011 ist $\approx 9,982$, also der kleinste im System. Die Spaltbarkeit diesem Prisma parallel am leichtesten.

Der *Baryt* gehört wahrscheinlich auch hierher. Sein Grund-Verhältnifs ist 0,108 0,217.

Die Spaltbarkeit nach 100 am deutlichsten, etwas schwächer nach dem Prisma 011, dessen Werth 0,019 ist, also etwas gröfser als der von 100, viel kleiner als der Werth von 010.

Ebenso verhält sich der *Dichroit*, der *Atakamit*, sowie auch trotz ihrer Hemiëdrie das *Zink-Vitriol* und der *Weinstein*.

4. In der *rhombischen* Stellung sind die Intervalle oder Werthe von $011 = \frac{1}{2}\sqrt{(b^2 + c^2)}$; $101 = \frac{1}{2}\sqrt{(a^2 + c^2)}$; $110 = \frac{1}{2}\sqrt{(a^2 + b^2)}$; also sämmtlich kleiner als das Intervall einer der Ebene ihrer liegenden Axen, möglicher Weise als beider. Unter den drei nicht in *einer* Ebene liegenden Normalen mit den kleinsten Werthen sind daher stets zwei oder selbst alle drei perpendicular auf den Flächen eines oder zweier Prismen. Zwei solche Prismen bilden ein *Rectangulär-Octaëder*.

Die Ausbildung der Prismen-Reihen *omn lon lmo* ist anormal, die des Rhomben-Octaëder *lmn* dagegen dyanormal, d. h.

$$211 \ 121 \ 112 \ 111 \ 231 \dots 411.$$

Der Werth von $111 = \sqrt{(a^2 + b^2 + c^2)}$ ist gröfser als der von $211 = \frac{1}{2}\sqrt{(4a^2 + b^2 + c^2)}$ u. s. w.

Es gehört hierher das *Kieselzinkerz*, dessen Grund-Verhältnifs 0,106 0,316 ist. Der Werth von 110 $\approx 0,909$ ist der kleinste im System und dieser Fläche entspricht daher auch die leichteste Spaltbarkeit.

Die beobachteten Formen sind:

$$100 \ 010 \ 001 \ 011 \ 031 \ 101 \ 301 \ 501 \ 701 \ 110 \ 310 \ 510$$

$$211 \ 121 \ 212 \ 411 \ 321 \ 231 \ 341 \ 413.$$

Die Formen 111 102 201 sind sehr selten oder gar nicht beobachtet.

Eine ähnliche Ausbildung und Spaltbarkeit haben der *Andalusit*, *Olivenit* u. a. m., nur mit dem Unterschiede,

dafs 100 zuweilen einen kleineren Werth und also eine leichtere Spaltbarkeit hat als 110.

Bei den *monoklinischen* und *triklinischen* Krystallen, wo die Freiheit in der Wahl der Axen gröfser ist als in den Systemen mit höherer Symmetrie, läfst sich die Uebereinstimmung zwischen dem Grund-Verhältnifs, der Spaltbarkeit und der Ausbildung noch leichter nachweisen. Es ist daher unnöthig näher darauf einzugehen, um so mehr da jene Uebereinstimmung gewöhnlich schon bei der in den mineralogischen Handbüchern oder den Beschreibungen üblichen Auffassungsweise von selbst einleuchtend ist. Ich will nur noch anführen, dafs in den beiden Stellungen des monoklinischen Systems die Normalen, deren Intervalle oder Werthe entweder die kleinsten sind oder doch den kleinsten zunächst stehen, auf ein *gerades rhomboïdisches Prisma* und auf ein *schief rhomboïdisches Prisma* oder *Octaëder* führen.

Indem ich mir vorbehalte diese Gesetze auf die physischen, namentlich optischen Erscheinungen anzuwenden, will ich zum Schlufs noch den Inhalt dieser Abhandlung kurz wiederholen.

Von jeder Hypothese über den elementaren Zustand der Körper abgesehen, ist folgendes das Resultat der Beobachtung.

1. Man kann für jede Krystall-Gattung drei Axen finden, welche die Eigenschaft haben, dafs die Gleichung einer jeden auf eine Krystallfläche perpendicularen und durch den Scheitel gehenden Linie (einer Normale) sich ausdrücken läfst durch

$$\frac{x}{la} = \frac{y}{mb} = \frac{z}{nc}$$

wobei a, b, c für *alle* Normalen denselben Werth haben, l, m, n dagegen $= 0, \neq 1$, selten $\neq 2$ und nur in einer kleinen, $\frac{1}{10}$ der Krystall-Gattungen nicht erreichenden Anzahl $\neq 3$ oder noch gröfser sind.

2. Den Werth einer Normale, deren Zeichen lmn ist, nennen wir die Länge der Diagonale des Parallelepipeds, dessen auf den Axen liegenden Seiten respective die Werthe $la\ mb\ nc$ haben. Für lmn werden die möglichst kleinsten ganzen Zahlen genommen, also z. B. 123, nicht 246 oder 369.

Je kleiner dieser Werth, desto häufiger ist im Allgemeinen das Vorkommen und desto stärker die Spaltbarkeit der Fläche.

3. Die Ausbildung der Krystalle ist in sofern abhängig von der Lage und den Werthen der Axen, als die kleinere Axe in den Nebenflächen geneigter ist einen höheren Coëfficienten anzunehmen als die Axe mit dem größeren Werthe. Im Uebrigen ist die Ausbildung aller Krystalle identisch und die Verschiedenheit in den Angaben geht nur aus der Art die Krystallformen aufzufassen, nicht aus ihrem Wesen hervor.

Von diesen Regeln machen nur einige *hemiëdrische* Krystalle eine Ausnahme. Die überwiegende Mehrzahl derselben verhält sich in ihrer Ausbildung und Spaltbarkeit wie die *holoëdrischen*, nur dafs von zwei congruenten Flächen die eine weit häufiger, die andere weit seltener vorkommt.

Wenn man dagegen von der am Eingange dieser Abhandlung aufgestellten Molecular-Theorie ausgeht, so wird das, was sonst nur als das Resultat der Beobachtung aufgestellt werden kann, zum Resultate der Theorie selbst.

Sämmtliche Krystallformen werden demnach in *sechs* Klassen oder 14 Ordnungen getheilt. Von diesen gehören *drei*, die kubische, die *rectangulär-octaëdrische* und die *granatoëdrische* der *tesseralen* Klasse an,

zwei, die *tetragonal-prismatische* und *-octaëdrische* der *tetragonalen* Klasse,

zwei, die *hexagonal-prismatische* und die *rhomboëdrische* der *hexagonalen* Klasse,

vier, die *rectangulär-prismatische*, *rhombisch-octaëdrische*, *rhombisch-prismatische* und die *rectangulär-octaëdrische* der *isoklinischen* Klasse,

zwei, die gerad-rhomboïdische und die schief-rhombische der *monoklinischen* Klasse,

eine, die schief-rhomboïdische der *triklinischen* Klasse.

Diese Unterabtheilungen treten also an die Stelle der *Grundformen* in der Haüy'schen Krystallographie, ohne jedoch mit ihnen identisch zu seyn, da es in Haüy's *Theorie* durchaus keine Ursache giebt, die Grundformen auf eine gewisse Anzahl zu beschränken, und diese auch mit unserer Eintheilungsweise keineswegs übereinstimmen.

Eine andere Erscheinung, welche, wenn man Grundformen annimmt, oder der Materie die Eigenschaft giebt, einen Raum stetig auszufüllen, für jetzt wenigstens nicht erklärt werden kann, ist die, daß unter den bekannten isoklinischen Krystallen, bei denen die Hauptflächen den Seitenflächen und der Basis eines geraden rhombischen Prismas parallel sind, die Abstumpfung der scharfen Seitenkante sich in allen ihren Eigenschaften den Seitenflächen des Prismas um so mehr nähert, je weniger der Winkel von 60° entfernt ist, so daß man nicht zweifeln kann, daß wenn der Winkel genau 60° wird, die Form zu einer wahren hexagonalen werden müßte. Dasselbe ist der Fall bei Rhomboëdern, deren Winkel dem Octaëder-Winkel nahe steht, so daß die Abstumpfung der Hauptecke den Rhomboëder-Flächen fast congruent wird. Dieses und ähnliches ist nichts als eines der einfachsten Resultate der Molecular-Theorie.

Andererseits können die Erscheinungen der Hemiëdrie mit dieser Theorie nur dann in Einklang gesetzt werden, wenn man noch andere von der Stellung der Molecule unabhängige Kräfte voraussetzt, der Theorie also ihre große Einfachheit zum Theil wieder nimmt.

Ich wage es daher nicht die Gesetze der Krystallographie als einen empirischen Beweis für die Richtigkeit der Molecular-Theorie anzunehmen. Aber von der Wichtigkeit und Ausdehnung der Resultate, welche man für die Krystallographie aus den einfachsten Prämissen erlangen

kann, hoffe ich in dieser Abhandlung ein Beispiel gegeben zu haben.

II. *Ueber die Verbreitung eines elektrischen Stromes in Metallplatten; von G. Quincke.*

Die folgenden Untersuchungen sind im Laboratorium des Hrn. Prof. Kirchhoff in der Absicht angestellt worden, die von diesem in Pogg. Ann. Bd. 64 S. 497 gegebene Theorie der Verbreitung eines elektrischen Stromes in einer Metallplatte durch Versuche zu prüfen. Diese Theorie ist bisher nur für den Fall durch Versuche bestätigt worden, wo die angewandte Metallplatte kreisförmig war, und in zwei Punkten ihrer Peripherie sich Elektroden befanden.

In dem einen der beiden Fälle, für welche ich diese Prüfung ausgeführt habe, wurde die Verbreitung der strömenden Elektricität in einer quadratischen Bleiplatte $OPQR$ (Fig. 1, Taf. IV) beobachtet, bei der in den Punkten O und O_1 der Diagonale OR sich Elektroden befanden. Die Seiten QR und PR wurden bei der theoretischen Entwicklung dieses Falles als in der Unendlichkeit liegend angenommen. Der andere Fall bezog sich auf eine aus Blei und Kupfer bestehende kreisförmige Scheibe. Die beiden Metalle waren in dem Durchmesser PQ (Fig. 2, Taf. IV) aneinander gelöthet, und die beiden Elektroden befanden sich im Blei, in den Punkten A und B der Peripherie der Scheibe, so daß die Verbindungslinie derselben AB der Löthungslinie beider Metalle parallel war.

Im Wesentlichen stimmt die von mir benutzte Methode der Messungen mit der von Kirchhoff angewandten und beschriebenen überein.

Die zu den Versuchen selbst angewandte Bleiplatte $OPQR$ (Fig. 1, Taf. IV) hatte etwa 23 Par. Zoll im Quadrat. Auf