

**II. Ueber das Verwitterungsellipsoid und das krystallographische rechtwinklige Axensystem des Kupfervitriols;
von Carl Pape,**

Docent der Physik und Mathem. a. d. landw. Akademie zu Proskau.

Die im 125. Bande dieser Annalen mitgetheilten Untersuchungen über das Verwitterungsellipsoid verschiedener wasserhaltiger Salze sind veranlaßt durch die Beobachtung nach Form und Richtung auffallend regelmässiger Verwitterungsflecke auf den verschiedensten Flächen von Kupfervitriolkrystallen, deren Verwitterung zu anderen Zwecken eingeleitet war. Die weiteren Beobachtungen an diesem Salze ließen keinen Zweifel darüber, daß ein gewisser Zusammenhang zwischen der Krystallform einerseits und der Gestalt und Richtung der Flecke anderseits bestehen müsse, das Krystallsystem des Kupfervitriols und die in seiner Verwitterungsart begründete Schwierigkeit, übereinstimmende Messungen zu erhalten, verhinderten es indess, nun auch an diesem Salze die erwartete Gesetzmässigkeit nachzuweisen. Dagegen gab die Ausdehnung dieser Beobachtungen auf eine Reihe von Salzen der anderen Systeme günstigere Resultate, und es konnte nachgewiesen werden, daß die Verwitterungsflecke als Schnitte der betreffenden Krystallfläche mit einem dem Krystalle eigenthümlichen, im Allgemeinen dreiaxigen Verwitterungsellipsoide anzusehen sind, dessen Axen mit den rechtwinkligen krystallographischen Axen zusammenfallen. Ein Vergleich der Zahlenwerthe der Ellipsoidaxen mit denjenigen der krystallographischen Axen ergab ferner das erwartete Resultat, daß die kleinere Verwitterungsaxe regelmässig mit der gröfseren krystallographischen zusammenfällt, daß also die Gröfse der chemischen Axen durch die der krystallographischen bedingt ist.

Hiernach mußte das Ellipsoid im 2- und 2gliedrigen, im 2- und 1gliedrigen und im 1- und 1gliedrigen Systeme

ein dreiaxiges, im 4gliedrigen und im 6gliedrigen ein Rotationsellipsoïd und im regulären Systeme eine Kugel seyn. Eine grössere Reihe mitgetheilte Beobachtungen haben diese Annahme bestätigt, nur das 6gliedrige System verhält sich nicht der Erwartung gemäß, indem hier als Verwitterungsoberfläche sich nicht ein Rotationsellipsoïd, sondern eine Kugel ergeben hat. Dieses unerwartete Resultat würde ein Grund gegen die Allgemeingültigkeit des Gesetzes nicht seyn, es würde daraus vielmehr nur folgen, daß die 6gliedrige Form sich ganz analog den regulären verhalten, mit denen sie sich auch krystallographisch in gewisse Beziehungen bringen lassen. Obwohl diese Resultate an vier verschiedenen 6gliedrigen Salzen erzielt sind, so wird die beabsichtigte Untersuchung anderer Salze desselben Systemes doch nicht zwecklos seyn, weil eine weitere und allgemeinere Feststellung gerade dieser Beobachtung wünschenswerth erscheinen muß, namentlich mit Rücksicht darauf, daß die Salze dieses Systemes in Bezug auf Wärmeleitung, optisches Verhalten und andere physikalische Eigenschaften sich ganz so verhalten, wie es auch hier ursprünglich erwartet war.

Der Mangel geeigneter Salze des 6gl. Systemes hat es bis jetzt nicht möglich gemacht, in dieser Richtung eine weitere Prüfung der Verwitterungsgesetze vorzunehmen. Es ist zunächst das Augenmerk darauf gerichtet gewesen, das Gesetz auch für das in dieser Beziehung noch nicht untersuchte 1- und 1gliedrige System festzustellen. Es war dieß von Interesse, weil einmal noch kein Salz dieses Systemes hatte genau untersucht werden können, und dann weil gerade an einem Salze dieses Systemes die Existenz eines solchen Gesetzes zuerst erkannt war. Der experimentelle Nachweis dieses Gesetzes auch für das eingliedrige System war um so mehr zu wünschen, als das ganz ausnahmsweise krystallographische Verhalten der 1- und 1gl. Krystalle das Vorhandenseyn derselben Gesetzmäßigkeit ohne Weiteres nicht übersehen liefs, wenn auch begründete Zweifel dagegen in keiner Weise hervortraten.

Eine Ausdehnung der Untersuchung nach dieser Seite

bot deshalb nicht unerhebliche Schwierigkeiten. Bei der völligen Unsymmetrie der eingliedrigen Krystalle konnte die Krystallform nicht, wie es bei Krystallen der übrigen Systeme der Fall ist, einen sicheren Inhalt für die weitere Untersuchung bieten. Dazu trat der nicht weniger störende Umstand, daß die Zahl der zu Verwitterungsbeobachtungen geeigneten Krystalle dieses Systemes überhaupt eine sehr beschränkte ist und daß wiederum von den brauchbaren nur sehr wenige leicht in genügender Zahl und in passendem Zustande herzustellen sind. Eigentlich in Frage konnten nur das schwefelsaure Manganoxydul und das schwefelsaure Kupferoxyd mit je 5 Aeq. Wasser kommen. Das erstere eignet sich aber nicht, weil bei seiner sehr niedrigen Verwitterungstemperatur die Verwitterung nicht so geregelt werden kann, wie es für die Untersuchung erforderlich ist: die mittlere Zimmertemperatur bewirkt schon eine so vollständige und gleichmäßige Verwitterung, daß keine Unterscheidung, viel weniger eine Messung gesonderter Flecke möglich ist. Es blieb somit nur der Kupfervitriol, der neben seiner leichten Darstellbarkeit in den größten und schönsten Krystallexemplaren auch leicht in genügender Menge erhalten wird und namentlich auch bei der Höhe seiner Verwitterungstemperatur von 46° bis 50° C. in dem passenden Apparate beliebig verwittert werden kann.

Ungeachtet dieser unverkennbaren Vorzüge des Kupfervitriols bot derselbe bei der Ausführung der Beobachtungen so mancherlei in seiner Verwitterungsart begründete Schwierigkeiten, daß es erst eines eingehenden Studiums bedurfte, ehe daran gedacht werden konnte, zu weiteren Schlüssen brauchbare Beobachtungen zu erhalten. In diesen Hindernissen ist hauptsächlich der Grund davon zu suchen, daß dieses Salz, obwohl an ihm die Regelmäßigkeit der Erscheinungen zuerst beobachtet ist, erst zuletzt einer genaueren Untersuchung hat unterworfen werden können. Die vorliegende Abhandlung enthält die Beobachtungen am Kupfervitriol und die Resultate derselben, aus denen die Gültigkeit

des Verwitterungsgesetzes auch für das 1- und 1gl. System folgt.

§. 1.

Die ausgesprochene Absicht, für das 1- und 1gl. Krystallsystem, speciell für den 1- und 1gl. Kupfervitriol die Gültigkeit des für die anderen Systeme gefundenen Verwitterungsgesetzes nachzuweisen, also zu zeigen, daß hier ebenso ein Verwitterungsellipsoïd existirt und daß dessen Axen mit dem rechtwinkligen Axensysteme des Krystalls zusammenfallen, setzt die Kenntniß des letzteren voraus. Für den Kupfervitriol ist aber ein solches nicht bekannt, die vollständig unsymmetrische Vertheilung seiner Flächen bietet auch keinerlei Anhalt, mit einiger Wahrscheinlichkeit die Lage des naturgemäßen Axensystemes aus seiner Form zu bestimmen, wie es bei den Krystallen aller übrigen Systeme mehr oder weniger leicht möglich ist. Die hier zu lösenden Aufgaben waren also folgende. Es mußte zunächst das natürliche rechtwinklige Axensystem des Krystalls ermittelt werden, sodann war das Ellipsoïd der Verwitterung nach Lage und Gröfse seiner Axen zu bestimmen und ferner zu untersuchen, ob beide Axensysteme in dem früher ausgesprochenen Sinne zusammenfielen.

Zur Lösung dieser Aufgaben konnte die Bestimmung jedes einzelnen Axensystemes für sich versucht und darauf durch einen Vergleich der Resultate das vermuthete Zusammenfallen beider geprüft werden. Ebenso zulässig wäre es gewesen, wenn zuerst das krystallographische Axensystem bestimmt und darauf versucht worden wäre, wie es bei den früheren Untersuchungen geschehen ist, ob die Verwitterungsbeobachtungen auf den verschiedenen Flächen sich darauf beziehen lassen. Endlich war es gestattet, aus der Combination der verschiedenen Verwitterungsbeobachtungen das Ellipsoïd nach Gröfse und Richtung seiner Axen zu bestimmen und zu untersuchen, ob dieselben auch den Bedingungen des natürlichen krystallographischen Axensystems genügten.

Die erstere dieser Methoden war nicht zur Ausführung

zu bringen, weil weder die Betrachtung der Krystallform allein die nöthigen Anhaltspunkte zur Bestimmung des Axensystems bot, noch die Verwitterungsbeobachtungen in so genügender Zahl und auf hinreichend vielen Flächen vorlagen, um aus ihnen allein die Lage des Ellipsoïdes zu bestimmen. Ebenso wenig konnten aber deshalb die beiden anderen Wege in der beschriebenen Weise gewählt werden, und es blieb daher Nichts übrig als der Versuch, durch eine Combination der krystallographischen Beobachtungen mit den ausgeführten Messungen von Verwitterungsellipsen zum Ziele zu gelangen. Dieser Weg, bei dem die Existenz beider rechtwinkligen Axensysteme vorausgesetzt werden mußte und nach den früheren Resultaten auch vorausgesetzt werden konnte, hat denn nun auch in der That zum Ziele geführt und die gesuchten Resultate mit einer Zuverlässigkeit gegeben, die weitere Zweifel an der Allgemeingültigkeit des Verwitterungsgesetzes nicht zuläßt.

Eine nicht gering anzuschlagende Schwierigkeit lag bei der Ausführung der Untersuchung in der eigenthümlichen Verwitterungsart des Salzes. Unverkennbar war zwar eine gewisse Regelmäßigkeit in der Form der Flecke und namentlich ihrer Richtung, aber sie trat nie mit der Klarheit und Schärfe hervor, wie sie an anderen Krystallen beobachtet ist. Bald schien es, als ob ein Parallelismus zwischen den entsprechenden Ellipsenaxen gewisser Flächen mit bestimmten Hauptrichtungen des Krystalls unzweifelhaft seyn müsse, bald stellten Beobachtungen an anderen Exemplaren die Richtigkeit der Beobachtung wieder in Frage. Es gilt dieß namentlich von den Flächen, die den Kupfervitriolkrystallen gewöhnlich ein säulenförmiges Ansehen geben. Viele Beobachtungen zeigten einen vollkommenen Parallelismus zwischen den großen Ellipsenaxen dieser Flächen und der Axe der Zone, welche sie bilden, auf anderen Krystallen schien dagegen eine ganz bestimmte, wenn auch nur geringe Neigung derselben Ellipsenaxen gegen diese Hauptrichtung des Krystalles vorzuliegen. Anderseits erwies sich die Form der Ellipsen und ihr Axenverhältniß auf denselben Flächen

sowohl derselben Krystallexemplare, wie auf den gleichen Flächen verschiedener Krystalle häufig sehr wechselnd. Bald waren die Flecke von genau elliptischer Form, bald hatten sie eine fast rechteckige Gestalt, deren grösste Dimension den grossen Axen der Ellipsen parallel war. Die letzteren konnten Mißbildungen in Folge unregelmässiger Verwitterung seyn, aber auch anscheinend rein elliptische Figuren wichen beträchtlich unter einander ab und gaben verschiedene Axenverhältnisse.

In Fig. 1, Taf. II ist es versucht, durch eine genaue Kopie der Verwitterungserscheinungen auf einer der immer besonders gut ausgebildeten Säulenflächen (*m*) ein Bild derselben zu geben und namentlich auch eine Vorstellung der häufig verschiedenen Form der Flecke und ihrer Lage an der Gränze zweier Flächen zu ermöglichen. Fig. 2, Taf. II stellt einen regelmässigen, Fig. 3 einen unregelmässig gebildeten Fleck dar. In beiden Zeichnungen ist gleichzeitig die äussere Erscheinung der verwitterten Masse innerhalb der Umgränzung angedeutet. Gewöhnlich tritt die Mitte der Figur in Form eines Punktes, in Wirklichkeit einer kleinen Lücke in der verwitterten Masse hervor, von der aus vier radiale Risse bis zur Peripherie fortlaufen, die dem Flecke häufig ein Briefcouvert ähnliches Ansehen geben. Ausserdem zeigen sich vielfach feinere Streifungen in der Richtung der grösseren Ellipsenaxe. Diese Risse sind jedenfalls sekundärer Natur, sie entstehen gewöhnlich erst, wenn der Krystall sich längere Zeit im Luftbade befunden und der Fleck grössere Ausdehnung angenommen hat, wie es scheint durch Aufblättern der verwitterten Masse. Ganz kleine Flecke zeigen in der Regel eine gleichmässige Oberfläche. Durch Liegen an der Luft und dadurch bedingtes Wasseranziehen treten am Krystalle diese Risse noch stärker hervor und selbst die unverwitterte Masse erhält Sprünge.

Frühere Beobachtungen über die quantitative Zusammensetzung bei verschiedenen Temperaturen verwitterter Krystalle liessen hoffen, den Grund der erwähnten Unregelmässigkeiten zu finden. Es hatte sich herausgestellt, dafs der

Wasserverlust bei verschiedenen Temperaturen aequivalentweise stattfindet, dafs 2 Aeq. Wasser von 46° C. an fortgehen, das dritte bei 56° C., das vierte bei 59° C. und das fünfte endlich erst in sehr hoher Temperatur ¹⁾. Die Temperaturen, bei welchen 2 und 3 Aeq. Wasser fortgehen, liegen sehr nahe bei einander, namentlich wenn man berücksichtigt, dafs 2 Aeq. Wasser im günstigsten Falle bei 46° C., häufig aber auch erst bei 48°, ja selbst 50° fortgehen, es war also erklärlich, dafs deshalb, bei der Schwierigkeit so nahe liegende Temperaturgränzen streng inne zu halten, bei einem etwas unregelmässigen Gange des Verwitterungsapparates an dem einen Krystalle ein Verlust von 2 Aeq., an dem anderen in einem zweiten Versuche ein solcher von 3 Aeq. entstehen konnte. Aus denselben Gründen konnten auf demselben Krystalle Flecke mit verschiedenem Wassergehalte entstehen, wenn die ursprünglich zu hohe Verwitterungstemperatur erniedrigt war. Da jedesmal eine verwitterte Masse von genau atomistischer Zusammensetzung zurückbleibt, ist es erklärlich, dafs jeder eine besondere Ellipse entsprechen mufs.

Ein zufälliges Ueberspringen von einer Temperatur in die andere, was anfänglich nicht immer vermieden werden konnte, mufste ein verschiedenes Fortschreiten der Verwitterung von den Umgränzungen vorhandener Flecke bedingen, und dadurch war eine gewisse Unförmlichkeit der Flecke zu erklären. Nicht minder konnte hierauf aber von Einflufs seyn das beim Kupfervitriol selten grofse Axenverhältnifs der Ellipsen auf den am leichtesten verwitternden und deshalb hauptsächlich beobachteten Flächen. Viele krystallisirte Salze zeigen sehr häufig eine sehr ungleichmässige Masse, man beobachtet im Innern vielfach unregelmässige Stellen; es gilt das namentlich vom Kupfervitriol, der ausserdem durch sehr starke Spannungen im Innern, kennlich an einer gewissen Art von Streifungen, ausgezeichnet ist. Die Verwitterung mufste hier bei ihrem Fortschreiten weit eher in ihrer ruhigen Entwicklung gestört werden,

1) Diese Ann. Bd. 125, S. 524.

als es bei Krystallen seyn kann, die leichter verwittern, eine größere Homogenität und kleinere Axenverhältnisse der Ellipsen besitzen.

Ein eingehenderes Studium der Verwitterungsart des Kupfervitriols hat gezeigt, daß diese Vermuthungen begründet gewesen sind. Denn bei sehr vorsichtigem Erhitzen bis etwas über die Temperatur, bei welcher die Verwitterung beginnt, ergibt sich eine weit größere Regelmäßigkeit. Zwar sind gut ausgebildete, regelmäßige Ellipsen immer noch sehr selten, aber die vorhandenen zeigen Constanz des Axenverhältnisses; ebenso tritt bei Beobachtung dieser Vorsichtsmaßregel der Parallelismus zwischen Krystallkanten und Ellipsenaxen auf der als Säule bezeichneten Flächenzone so unzweifelhaft hervor, daß er als Ausgangspunkt für die weitere Untersuchung hat dienen können.

Im Folgenden sind die Resultate enthalten, welche sich aus der Betrachtung der Verwitterungserscheinungen am Kupfervitriol ergeben, wie sie zwischen den beiden niedrigsten Verwitterungstemperaturen auftreten; für diese ist das Verwitterungsellipsoïd bestimmt. Für andere Temperaturen, z. B. also für die nächst höhere, bei welcher 3 Aeq. Wasser fortgehen, wird ein anderes Ellipsoïd gefunden werden, dessen Lage mit der des ersteren zusammenfällt, dessen Axen aber einen anderen Werth haben. Die Bestätigung dieser Ansicht und die Bestimmung der Axen werden einer späteren Untersuchung vorbehalten bleiben müssen.

§. 2.

Sämmtliche bis jetzt am Kupfervitriol beobachteten 14 eingliedrigen Formen sind in drei verschiedenen Zonen enthalten. Die fünf Flächenpaare r, m, n, t, h bilden die erstere dieser Zonen; sie ist gewöhnlich am meisten ausgebildet und giebt den Krystallen das säulenförmige Aussehen. Senkrecht zu ihrer Axe liegt die Ebene, in welcher in Fig. 4 Taf. II die Zeichnung sämmtlicher Flächen entworfen ist. Die beiden übrigen Zonen werden von den Flächen r, w, q, o, k, v und r, z, p, s, x gebildet. Die allen drei Zonen gemeinsame Fläche r , die hier in dem Zonenzusammenhange

besonders hervortritt, gewinnt in Verbindung mit den Verwitterungsbeobachtungen eine weitere, für die Feststellung des rechtwinkligen Axensystemes entscheidende Bedeutung.

Die schon erwähnte Beobachtung der Verwitterungsfiguren auf den Flächen der ersten Zone *rmnth* zeigt, daß auf allen die großen Ellipsenaxen der Zonenaxe, also den Kanten der Flächen dieser Zone parallel sind. Eine der drei Axen des Verwitterungsellipsoïdes muß also denselben Kanten parallel seyn. Dasselbe muß aber von einer der drei krystallographischen Axen gelten, wenn wir, nach den Resultaten früherer Untersuchungen, zu der Annahme berechtigt sind, daß die Axen der Verwitterung mit den naturgemäßen rechtwinkligen krystallographischen Axen zusammenfallen. Es bliebe hiernach nur noch die Lage der übrigen beiden Axen festzustellen und dann zu prüfen, ob das so ermittelte Axensystem den beiderlei Beobachtungen der Flächenlage und der Axenverhältnisse der Verwitterungsfiguren auch wirklich genügt.

Beide Axen müssen in einer Ebene liegen, welche senkrecht zur Axe der Zone *rmnthr* steht. Würde ein Paar der Flächen dieser Zone senkrecht zu einander stehen, so könnte man das zum Ausgang für die weitere Untersuchung benutzen, mit einiger Wahrscheinlichkeit ihre Normalen als die gesuchten Axen bezeichnen und mit einiger Aussicht auf Erfolg die Flächen und Verwitterungsfiguren darauf beziehen. Diese Voraussetzung trifft aber nicht zu, direct sind also die wahrscheinlichen Richtungen der gesuchten beiden Axen nicht bestimmt.

Betrachtet man aber das Verhältniß der Fläche *r* zu den drei vorhandenen Zonen, so kann daraus mit einiger Wahrscheinlichkeit auf die Lage der Axen geschlossen werden. Nimmt man nämlich an, daß eine der beiden Axen durch den Pol von *r* geht, also senkrecht zu dieser Fläche steht, so gewinnt *r* die Bedeutung einer Hexaïdfläche und sämtliche Flächen der beiden übrigen Zonen erscheinen als Flächen von Octaëdern, die in Beziehung auf diese Axe von verschiedener Schärfe sind. Diefes Resultat schien hinreichend für die so bestimmte Lage der Axen zu sprechen,

um sie für die naturgemäße zu halten und durch die Ermittlung der krystallographischen Flächenzeichen, unter Zugrundelegung dieser Axen, eine weitere Prüfung anzustellen. Möglichst kleine Zahlen für die Indizes würden die Richtigkeit der Annahme beweisen und man würde mit vermehrter Aussicht auf Erfolg von hieraus die Verwitterungserscheinungen weiter verfolgen können.

Krystallographische Messungen am Kupfervitriol liegen vor von Kupffer¹⁾ und von Miller²⁾. Ersterer hat 12 verschiedene Winkel gemessen, Letzterer nur die nöthige Zahl von fünf Winkeln. Wenn ich es trotzdem vorgezogen habe, statt der größeren Zahl von Winkeln des Ersteren der Rechnung die letzteren zu Grunde zu legen, so ist das geschehen, weil Kupffer's Messung eine sehr geringe Uebereinstimmung unter einander zeigen und weil sein eigenes Urtheil über seine Messungen ihnen geringeren Werth beilegt³⁾. Dazu kommt, daß sie zu einer Zeit angestellt sind, als man bei den Meßinstrumenten den Grad der Genauigkeit noch nicht beanspruchen konnte, der den Vorzug der neueren Instrumente bildet, und den man bei den späteren Miller'schen Messungen eher voraussetzen darf, wenn auch bestimmte Angaben a. a. O. sich nicht darüber finden. Die Miller'schen Winkel, die Neigungen der Normalen, sind folgende:

<i>nt</i>	31° 13'
<i>rt</i>	69 28
<i>pn</i>	59 10
<i>pk</i>	50 28
<i>kr</i>	65 4

Wenn aus diesen Messungen die übrigen Winkel des Krystals berechnet und dann mit den Resultaten verglichen werden, die man bei Zugrundelegung der Kupffer'schen Beobachtungen erhält, so stellen sich Abweichungen heraus, die zu groß sind, um sie allein auf die Ungenauigkeit der

1) Diese Annalen Bd. 8 und Rammelsberg's krystallogr. Chemie, Suppl.

2) *An elementary introduction to mineralogie by the late W. Phillips, ed. by Brooke and Miller.*

3) A. a. O. S. 219 u. 223.

Kupffer'schen Beobachtungen schieben zu können. Es liegt nahe, sie in der eigenthümlichen Beschaffenheit der Kupfervitriolkrystalle begründet zu sehen, bei denen Unregelmäßigkeiten in der äußeren Erscheinung der Flächen und in der inneren Structur nicht selten sind. Diese bewirken, daß die Winkel derselben Flächen an verschiedenen Krystallen Abweichungen bis fast 1° zeigen. Es ist deshalb eine Uebereinstimmung der Resultate auch von vornherein nur innerhalb solcher Gränzen erwartet, die zwar einen Zweifel an ihre Zuverlässigkeit nicht aufkommen lassen, aber doch weiter gesetzt sind, als man sie bei anderen Krystallen zu finden gewöhnt ist.

Wir benutzen die vier ersten Miller'schen Winkel und gehen aus von dem Zonenzusammenhange der Krystallflächen, wie er durch die, Fig. 4 Taf. II vervollständigende Kugelprojection in Fig. 5 dargestellt ist ¹⁾. Danach steht also die Zone *rmnthr* senkrecht zu der Zone *tpot*. Der Krystall wird so gestellt, wie in diesen beiden Figuren, daß die den Kanten der Zone *rmnthr* parallele Axe *C* vertical steht. Durch den Pol von *r* geht die Axe *B* und die Axe *A* steht senkrecht zu beiden. Diese Stellung des Krystalles ist gewählt, um die Flächen, welche ihm das säulenförmige Aussehen geben, auch als Säulenflächen zu erhalten, obwohl der allgemeinere Gebrauch die horizontale Stellung der Fläche *r*, also die Betrachtung der Flächen *w*, *q*, *o*, *k*, *v* und *z*, *p*, *s*, *x* als Octaëderflächen von verschiedener Schärfe in Beziehung auf die verticale Axe fordern würde. Die durch die gewählte Stellung erleichterte Anschauung wird indess diese Abweichung vom Herkommen rechtfertigen. Auf diese so festgestellten drei Axen sind die einzelnen Flächen bezogen und ihre Abschnitte von denselben berechnet, ausgedrückt durch die der Einheit gleichgesetzten Abschnitte auf der Axe *B*. Beschränken wir uns hierbei zunächst auf die Flächen der beiden Zonen *rmnthr* und *rzpsxr*, so erhalten wir die in der folgenden Tabelle enthaltenen Resultate. In derselben sind α , β , γ die Winkel der Flächen-

1) Die drei Zonenkreise *hp*, *mz*, *rw* schneiden sich im Punkte *q*, was in der Zeichnung nicht erreicht ist.

normalen mit den drei Axen A , B und C ; A und C sind die Abschnitte der Flächen von den gleichnamigen Axen, die Abschnitte $B=1$ gesetzt.

	α	β	γ	A	A_0	C	C_0	Indices
r	90°	$0'$	90°	$0'$	∞	∞	∞	$[0\ 1\ 0]$
h	43	9	90	0	$0,9376 = \frac{1}{1,0663}$	∞	∞	$[2\ 5\ 0]$
t	20	32	90	0	$0,3746 = 1 \cdot 0,3746$	∞	∞	$[1\ 1\ 0]$
n	10	41	90	0	$0,1886 = \frac{1}{5} \cdot 0,3772$	∞	∞	$[2\ 1\ 0]$
m	36	55	53	5	$0,7513 = 2 \cdot 0,3757$	∞	∞	$[1\ 2\ 0]$
p	55	51	77	52	$0,3744 = 1 \cdot 0,3744$	$0,2626 = 1 \cdot 0,2626$	$0,2626$	$[1\ 1\ 1]$
x	67	46	41	13	$1,9890 = 5 \cdot 0,3978$	$1,3950 = 5 \cdot 0,2790$	$1,3950$	$[1\ 5\ 1]$
z	68	10	40	23	$2,0480 = 5 \cdot 0,4096$	$1,4690 = 5 \cdot 0,2938$	$1,4690$	$[1\ 5\ 1]$
s	61	38	55	51	$1,1810 = 3 \cdot 0,3937$	$0,8281 = 3 \cdot 0,2760$	$0,8281$	$[1\ 3\ 1]$

Nehmen wir weiter an, daß p eine Fläche des Grundoctaëders der Formen des Kupfervitriols sey, dessen Abschnitte mit A_0 und C_0 bezeichnet seyn mögen, so erhalten wir in den entsprechenden Reihen der Tabelle diese Werthe, wie sie sich durch Division mit den beigefügten sehr einfachen Zahlen aus den beobachteten Abschnitten der anderen Flächen berechnen lassen. Die Uebereinstimmung dieser Zahlen mit den an der Grundform beobachteten Abschnitten ist eine so befriedigende, wie sie hier nicht größer erwartet werden kann. Die Abschnitte der übrigen Flächen sind also sehr einfache Vielfache derjenigen der Fläche p . Aus den dies Vielfache angehenden Zahlen erhalten wir in der letzten Reihe, die sehr einfachen Indices der einzelnen Flächen, die der Grundform mit $[1\ 1\ 1]$ bezeichnet.

Dieses Resultat läßt schon erkennen, daß das gewählte rechtwinklige Axensystem wirklich das naturgemäße des Kupfervitriols ist, da es für 9 seiner Flächen so sehr einfache Indizes ergibt. Eine weitere Bestätigung erhalten wir, wenn wir die Indizes unter Zugrundelegung des Zonenzusammenhanges und der in Figg. 4 und 5 Taf. II festgesetzten Vorzeichen der Axen berechnen. Wir gehen aus, außer von den beobachteten Indizes

$$n [\bar{2} \bar{1} 0], t [\bar{1} 1 0], r [0 1 0], p [\bar{1} 1 1],$$

auch noch von denen der Fläche $s [\bar{1} 3 1]$ aus der Zone $rzpsxr$, deren Lage unter Berücksichtigung aller Messungen festgestellt ist, und machen Gebrauch von dem Inhalte des Zonengesetzes. Danach haben die Indizes u, v, w einer Zone $|uvw|$, durch die Indizes hkl und pqr zweier in ihr gelegener Flächen ausgedrückt, folgende Werthe:

$$u = kr - lq$$

$$v = lp - hr$$

$$w = hq - kp$$

Ebenso werden die Indizes hkl einer, zwei Zonen $|uvw|$ und $|abc|$ gemeinsamen Fläche (hkl) erhalten:

$$h = vc - wb$$

$$k = wa - uc$$

$$l = ub - va.$$

Die Ausführung der Rechnung giebt für die 14 verschiedenen Formen die folgenden Indizes

$r [0 1 0]$	$z [1 5 1]$	$w [1 13 3]$
$m [1 2 0]$	$p [1 1 1]$	$q [1 7 3]$
$n [2 1 0]$	$s [1 3 1]$	$o [1 13]$
$t [1 1 0]$	$x [1 5 1]$	$k [1 5 3]$
$h [2 5 0]$		$v [1 11 3]$

Die Indizes der beiden ersten Zonen stimmen mit den direct aus den Messungen abgeleiteten Werthen überein, neu hinzugetreten sind die der dritten Zone $rwqokvr$.

Wenn wir unter Benutzung des Zonenzusammenhanges auf Grund der vorhin angewandten Daten eine Zeichnung des Kupfervitriols in der Projection der Flächennormalen

entwerfen und die Fläche $r(010)$ zur Projectionsfläche wählen, wie dies in Fig. 6 Taf. II geschehen ist ¹⁾, so erhalten wir einfach mit Hülfe eines Maßstabes oder eines Zirkels hier genau dieselben Indizes.

Mit Ausnahme von zwei Flächen haben auch in der dritten Zone die Indizes sehr einfache Werthe, welche die Zahl 7 nicht übersteigen. Nur für v und w ergeben sich die hohen Werthe 11 und 13, die beim ersten Anblick vielleicht Bedenken erregen können, weil im Allgemeinen so hohe Indizes nicht beobachtet werden. Berücksichtigt man jedoch die selten große Zahl verschiedener Formen, die hier beim Kupfervitriol auf 14 steigt, so kann das Auftreten dieser beiden Zahlen 11 und 13 kaum auffallen, um so weniger als sie nach Fig. 6 Taf. II unmittelbar auf einander folgende Glieder einer und derselben Reihe sind. Bei dem einzigen bisher auf rechtwinklige Axen bezogenen 1- und 1 gliedrigen Krystalle, dem Axinit mit 16 verschiedenen Flächenpaaren, hat Neumann ²⁾ Indizes gefunden, wie 16, 17 und selbst 23, und doch wird man selbst da keinen Anstand nehmen, das ihnen zu Grunde liegende rechtwinklige Axensystem als naturgemäß zu bezeichnen.

Es würde noch überbleiben, die für die Flächen der Zone $wqokv$ berechneten Indizes mit den Werthen zu vergleichen, welche sich direct durch Bestimmung der Axenabschnitte aus den Winkelmessungen ergeben. Dazu dient die folgende Tabelle, welche sich der auf S. 375 mitgetheilten anschließt.

1) In dieser Figur sind die Abschnitte der Fläche $p(111)$ von den Axen A und C gleich angenommen, um die Zeichnung auf einen kleineren Raum beschränken zu können.

2) Diese Annalen Bd. 4.

	α	β	γ	A	A_0	C	C_0	Indices
w	$79^\circ 14'$	$39^\circ 58'$	$52^\circ 6'$	$4,1050 = 13 \cdot 0,3158$		$1,2480 = \frac{13}{3} \cdot 0,2880$		$[1 \ 13 \ 3]$
q	$75 \ 54$	$56 \ 57$	$36 \ 42$	$2,2380 = 7 \cdot 0,3197$		$0,6803 = \frac{7}{3} \cdot 0,2916$		$[1 \ 7 \ 3]$
o	$73 \ 14$	$83 \ 47$	$18 \ 3$	$0,3747 = 1 \cdot 0,3747$		$0,1139 = \frac{1}{3} \cdot 0,3417$		$[1 \ 1 \ 3]$
v	$77 \ 59$	$45 \ 45$	$46 \ 44$	$3,3520 = 11 \cdot 0,3047$		$1,0190 = \frac{11}{3} \cdot 0,2779$		$[1 \ 11 \ 3]$
k	$74 \ 32$	$66 \ 36$	$28 \ 36$	$1,4890 = 5 \cdot 0,2978$		$0,4523 = \frac{5}{3} \cdot 0,2708$		$[1 \ 5 \ 3]$

Legen wir die vorher gefundenen Indizes zu Grunde und berechnen damit aus den hier ermittelten Werthen von A und C die Abschnitte A_0 und C_0 des Grundoctaëders, so erhalten wir für C_0 Werthe, die sehr nahe mit den für die Flächen z , p , s , x gefundenen übereinstimmen, während die für A_0 berechneten Zahlen zwar noch unter einander stimmen, aber so beträchtlich von dem A_0 der Fläche $(111)p$ abweichen, daß von einer Uebereinstimmung gar nicht mehr die Rede seyn kann. Trotzdem muß man in diesen Resultaten, so unwahrscheinlich es auch beim ersten Anblick erscheint, eine Bestätigung der früheren Rechnung sehen. Um dieß zu erkennen, ist einmal zu berücksichtigen, daß bei der Natur des Kupfervitriols, wie dieß an einer anderen Stelle schon hervorgehoben ist, die benutzten Messungen auf größte Zuverlässigkeit keinen Anspruch erheben können, und dann muß die Lage der Flächen in der Zone *wqokor* und die Lage dieser Zone gegen die Axenebene BC in Betracht gezogen werden. Diese Ebene und der genannte Zonenkreis schließen nach den angegebenen Daten einen Winkel von $16^\circ 54'$, also einen sehr kleinen Winkel ein. Eine leichte Rechnung zeigt, daß Schwankungen in dem Werthe dieses Winkels von 1 bis 2° , wie sie bei der Unsicherheit in den gemessenen Größen möglich ist, die Zuverlässigkeit der für die Flächen der Zone $zpsx$ ermittelten Indizes gar nicht alterirt. Die Werthe der Abschnitte werden nur so unbedeutend modificirt, daß

man keinen Augenblick zweifelhaft seyn kann, ob für die Indizes die nächst höhere oder nächst niedrige ganze Zahl die richtige ist. Ebenso wenig werden die in der letzten Tabelle angegebenen Werthe von C für die Flächen der Zone *rwqokv* geändert, dagegen erfahren die Abschnitte B dadurch eine ganz beträchtliche Aenderung und nähern sich den aus den Indizes berechneten Werthen sehr, wenn die oben angegebene Schwankung von 1 bis 2° eine Vergrößerung des Winkels CBv bedingt.

Für die Fläche o ergibt sich A_0 in genauer Uebereinstimmung mit den für die Flächen der Zone *rzpsxr* gefundenen Werthen, während C_0 beträchtlich von den entsprechenden Zahlen abweicht. Es ist diese Abweichung von den bei den übrigen Flächen derselben Zone gefundenen Resultaten darin begründet, daß die Zone *opt* rechtwinklig zur Zone *rmnr* steht und so in die Rechnung eingeführt ist. Durch diese Annahme ist für o der Abschnitt $A = A_0$ festgesetzt und die Abweichung, welche bei den anderen Flächen der Zone *rov* hauptsächlich auf A fiel, muß jetzt ganz auf C fallen und dessen Abweichung so bedeutend vergrößern.

Um einen weiteren Beweis für die Richtigkeit der Indizes zu erhalten, welche für die Flächen w, q, o, k, v aufgestellt sind, vergleichen wir die Winkel β mit einander, welche zwischen den Normalen dieser Flächen und der Fläche r von Kupffer beobachtet sind und die, welche aus den Indizes berechnet werden. Es sollen dazu die Parameter

$$A_0 : B_0 : C_0 = 0,3755 : 1 : 0,2778$$

benutzt werden. C_0 ist das Mittel aus den an den Flächen der Zone *rzpsx* erhaltenen Werthen, A_0 ist nicht den Resultaten an diesen Flächen entnommen, sondern als Mittel aus den an den Flächen der Zone *rmnth* ermittelten Zahlen berechnet. Es ist diese Auswahl gerechtfertigt, und wir können A_0 und C_0 , wie sie hier gewählt sind, nahezu als von gleichem Gewichte annehmen, weil C_0 weniger von Fehlern in den ursprünglich beobachteten Winkel afficirt wird,

wie A_0 . In der folgenden Tabelle sind die angegebenen Winkel mit den in der Tabelle Seite 375 und 378 aufgezeichneten zusammengestellt. Gleichzeitig sind darin auch für die übrigen Flächen die von Kupffer beobachteten, die nach den Miller'schen Beobachtungen und aus den obigen Parametern in Verbindung mit den ermittelten Indizes berechneten Winkel angegeben:

Flächen.	Von Kupffer beobachtet.	Nach Miller's Beobachtungen berechnet.	Mit $A_0 = 0,3755$ $C_0 = 0,2788$ berechnet.		Indizes.
			0°	$0'$	
r	—	$0^\circ 0'$	0°	$0'$	[0 1 0]
h	—	46 51	46	49	[2 5 0]
t	$69^\circ 50'$	69 28	69	25	[1 1 0]
n	79 19	79 19	79	22	[2 1 0]
m	53 20	53 5	53	6	[1 2 0]
p	76 33	77 52	77	25	[1 1 1]
x	—	41 13	41	51	[1 5 1]
z	40 47	40 23	41	51	[1 5 1]
s	—	55 51	56	11	[1 3 1]
w	40 17	39 58	40	36	[1 13 3]
q	58 20	56 57	57	49	[1 7 3]
o	85 38	83 47	84	52	[1 1 3]
v	—	45 45	45	18	[1 11 3]
k	65 3	66 36	65	38	[1 5 3]

Die Annäherung an die beobachteten Zahlen ist eine hinlängliche und die Abweichung, welche noch bleibt, kann nicht in Betracht kommen, wenn man die von Kupffer selbst hervorgehobene Unsicherheit seiner Beobachtungen berücksichtigt. Wenn diese Beobachtungen auch an und für sich nicht den Anspruch auf so große Zuverlässigkeit erheben können, wie man sie sonst bei Krystallmessungen erhält, so können sie doch nicht so ungenau seyn, um in ihnen nicht einen Anhaltspunkt für den Vergleich zu finden, wie er eben angestellt ist.

Hiernach können wir, ungeachtet der geringeren Uebereinstimmung der Zahlen der Zone rov mit den übrigen, und

abgesehen von den in Fig. 6, Taf. II enthaltenen Resultaten, in ihrem Werthe doch nur einen Beweis für die Richtigkeit der berechneten Indizes erblicken.

Bei Betrachtung der Indizes, welche hier für die verschiedenen Flächen des Kupfervitriols ermittelt sind, zeigt sich eine Eigenthümlichkeit, die in derselben Weise bei den von Neumann für die auf rechtwinklige Axen bezogenen Flächen des Axinit gefundenen Zahlen auftritt und deshalb eine kurze Besprechung zu verdienen scheint.

Es war nach Allem zu erwarten, daß das ein- und eingliedrige Verhalten des Kupfervitriols auch bei dem rechtwinkligen Axensysteme gewahrt bleiben und daß jedes der 14 verschiedenen Flächenpaare auch eine besondere durch abweichende Indizes charakterisirte Krystallform repräsentiren würde. Es hat sich aber ergeben, daß den Flächen x und z der Zone $|101|$ die gleichen Indizes 1, 5, 1 in derselben Reihenfolge zukommen, beide Flächenpaare gehören also einer und derselben Form an und sind eine parallelflächige Hemiedrie des Octaëders $[151]$. Dieß auffallende Auftreten einer Hemiedrie ersten Grades an einem Krystalle, für den man das alleinige Auftreten von Hemiedrien zweiten Grades als charakteristisch zu betrachten gewöhnt ist, könnte zu Zweifeln an der Zulässigkeit des gewählten Axensystemes führen, wenn die hier gemachte Beobachtung vereinzelt stünde. Vergleicht man aber die Indizes, welche sich für den ebenfalls ein- und eingliedrigen Axinit ergeben, wenn dessen Flächen auf das rechtwinklige Axensystem bezogen werden, so ergibt sich etwas ganz Aehnliches, indem die dort mit r und r' bezeichneten Flächen ebenfalls gleiche Indizes, 1, 7, 1, zeigen, also auch eine zweigliedrige Form bilden.

Berücksichtigt man nun, daß hier beim Kupfervitriol das gewählte rechtwinklige Axensystem sich als das naturgemäße nicht bloß durch die Kleinheit der ermittelten Indizes erweist, sondern auch dadurch, wie das im Folgenden gezeigt wird, daß es den Verwitterungsbeobachtungen genügt, daß also

die Flächen x ($1 \bar{5} 1$) und z ($\bar{1} 5 1$) in Beziehung auf die Verwitterung gleiche physikalische Bedeutung haben, so kann die Richtigkeit der Beobachtung nicht bezweifelt werden. Der Kupfervitriol und der Axinit erscheinen hiernach also nicht mehr als rein 1- und 1 gliedrige, sondern als 2- und 1 gliedrige Krystalle, und zwar in der allgemeinsten Gestalt, bei denen die Symmetrie zwischen rechts und links noch fehlt, die sonst als charakteristisch für das 2- und 1 gliedrige System gilt.

Ob nun eingliedrige Formen nur in Verbindung mit einer zweigliedrigen auftreten können, ob also ein unsymmetrischer 2 und 1 gliedriger Krystall auch die allgemeinste Krystallgestalt ist, oder ob auch bei rechtwinkligen Axen rein 1- und 1 gliedrige Formen einen Krystallraum umschließen können, mnfs ein weiteres Studium der 1- und 1 gliedrigen Krystalle entscheiden. Dabei müssen natürlich alle überhaupt beobachteten Flächen in Betracht gezogen werden. Nach den Resultaten bei diesen beiden, bislang als Muster rein 1- und 1 gliedriger, vollständig unsymmetrischer Gebilde betrachteten Krystallen scheint es fast, als ob die symmetriellosen 2- und 1 gliedrigen Krystalle den allgemeinsten Fall der Krystallformen darstellten.

§. 3.

Nachdem in dieser Weise ein rechtwinkliges Axensystem im Kupfervitriol festgestellt war, konnte an eine Benutzung der Verwitterungsbeobachtungen zur Bestimmung des Verwitterungsellipsoides gedacht werden. Beobachtet sind, wie schon oben bemerkt ist, die Flecke, welche am Krystalle zwischen den beiden niedrigsten Verwitterungstemperaturen entstehen. Die Methode der Messungen ist hier dieselbe gewesen, wie sie bei den früheren Untersuchungen zur Anwendung gekommen ist. Ausgeführt sind die Beobachtungen mit einem aus der Werkstätte des Hrn. Dr. Meyerstein in Göttingen hervorgegangenen vorzüglichen Mikrometer-Mikroskope von ganz gleicher Einrichtung, wie das früher

benutzte des dortigen physikalischen Kabinets der Universität. Die Vergrößerung war eine 40 fache ¹⁾.

Von den 14 verschiedenen Flächenpaaren des Kupfervitriols haben nur 9 wirkliche Messungen geliefert und diese auch wieder in sehr verschiedener Zahl. Auf den übrigen haben keine Ellipsen gemessen werden können, weil entweder die Flächen selbst zu selten in gehöriger Ausdehnung am Krystalle auftreten oder weil die etwa beobachteten Figuren zu unvollkommen ausgebildet waren. Zum Theil ist an dem gänzlichen Mangel dieser Beobachtungen und der häufig sehr geringen Zahl auf den ersteren 9 Flächen auch wohl die an verschiedenen Krystallen, namentlich am Kupfervitriol beobachtete Eigenthümlichkeit Schuld, daß einzelne Flächen zum Unterschiede von den anderen auffallend schwieriger und seltener bei der gleichen Temperatur von selbst verwittern. Die erhaltenen Beobachtungen sind jedoch in einer solchen Zahl vorhanden, daß sie für den Nachweis des Verwitterungsgesetzes ausreichen.

Die 9 Formen, auf deren Flächen Messungen ausgeführt werden konnten, sind folgende:

I. Säulenflächen, Flächen der Zone rm , 001 .

$$r = [010]$$

$$m = [120]$$

$$n = [210]$$

$$t = [110]$$

$$h = [250]$$

II. Octaëderflächen.

a. Flächen der Zone rp , $[101]$. b. Flächen der Zone rc , $[\bar{3}01]$.

$$p = [111]$$

$$w = [1133]$$

$$s = [131]$$

$$q = [173].$$

Die folgenden Tabellen enthalten die auf den einzelnen Flächen gemessenen Axenverhältnisse der Verwitterungsfi-

1) Die im 125. Bd. dieser Annalen über die Vergrößerung des früher benutzten Mikrometers gemachte Angabe ist dahin zu berichtigen, daß sie auch dort nahezu eine 40 fache gewesen ist.

guren. Die römischen Zahlen über den einzelnen Reihen geben die No. des Krystalls an, an welchem die angegebenen Zahlen ermittelt sind. Mit seltenen Ausnahmen hat jeder untersuchte Krystall nur eine zu Messungen geeignete Fläche geliefert.

1. Säulenflächen r [0 1 0].

I	II	III	IV	V	VI
1,776	1,856	1,789	1,824	1,912	1,887
1,794	1,894				
1,868					
VII	VIII	IX	X	XI	XII
1,848	1,862	1,853	1,876	1,847	1,858

Mittel = 1,850.

2. Säulenflächen m [1 2 0].

XIII	XIV	XV	XVI	XVII
2,329	2,409	2,325	2,403	2,321
		2,356	2,360	
			2,346	

Mittel = 2,356

3. Säulenflächen n [2 1 0].

XVIII	XIX
2,542	2,515
2,516	2,492
	2,469

Mittel = 2,506.

4. Säulenflächen t [1 1 0].

XX	XXI	XXII
2,397	2,450	2,481

Mittel = 2,443.

5. Säulenflächen h [2 5 0].

XXIII	XXIV
2,200	2,235
	2,160

Mittel = 2,198.

6. Octaëderflächen p [111].

XIX	XXV	XXVI	XXVII	XXVIII
1,490	1,611	1,539	1,528	1,554
	1,568			
XXIX	XXX	XXXI	XXXII	XXXIII
1,501	1,568	1,563	1,533	1,521
		1,501		1,536
		1,473		1,563
Mittel = 1,537.				

7. Octaëderflächen s [131].

XII	XXXIV	XXV
1,438	1,417	1,429
Mittel = 1,428.		

8. Octaëderflächen w [1133]

An mehreren Krystallen haben Flecke beobachtet werden können, sie erschienen aber sämmtlich so genau kreisförmig, daß die Auffindung der Richtung der verschiedenen Axen und ihre Messung nicht möglich war. Jedenfalls ist das Axenverhältniß sehr nahe der Einheit gleich.

9. Octaëderflächen q [173].

Nur an einem einzigen Krystalle konnte eine Ellipse von tadelloser Form beobachtet und gemessen werden, und diese ergab:

XXXVI
1,293.

Vergleichen wir die mitgetheilten Messungen mit solchen, welche früher bei anderen Krystallen, namentlich beim Eisen-
vitriole erhalten sind, so zeigt sich hier eine geringere Uebereinstimmung der an verschiedenen Krystallexemplaren für dieselbe Fläche ermittelten Werthe der Ellipsenaxen, als dort. An der Messung selbst kann es nicht liegen, denn dieselbe hat hier mit eben der Schärfe und mit der nämlichen Zuverlässigkeit ausgeführt werden können, wie bei jenen Beobachtungen. Der Grund muß vielmehr in

der beim Kupfervitriole weniger vollkommenen Entwicklung der Verwitterungsfiguren liegen. Die Abweichungen sind jedoch nicht so groß, daß man gegen die Anwendung der Mittelzahlen irgend welche Bedenken tragen könnte, so lange es sich hauptsächlich darum handelt, die Existenz des Verwitterungsellipsoïdes und das Zusammenfallen seiner Axen mit den eingeführten rechtwinkligen krystallographischen Axen nachzuweisen. Nur die mit diesen Zahlen ermittelten Werthe der chemischen Axen werden nicht den Anspruch auf Genauigkeit erheben können, wie die z. B. für den Eisenvitriol gefundenen. Für die weitere Berechnung kommen hauptsächlich die Beobachtungen auf den Flächen $r[010]$ und $p[111]$ in Betracht, und gerade diese liegen in hinreichender Anzahl vor. Unter Berücksichtigung dieses Umstandes müssen für den Hauptzweck der Untersuchung auch die wenigen an anderen Flächen gewonnenen Zahlen genügen.

Das nächste wichtige Resultat, welches die Messung ergeben, ist das schon im Eingange der Abhandlung erwähnte, daß auf sämtlichen Flächen der Zone $|001|$ die eine Ellipsenaxe, und zwar die größere, den Kanten dieser Zone parallel ist. Daraus folgt unmittelbar, daß eine der Axen des Ellipsoïdes mit der Axe dieser Zone zusammenfällt. Hiernach gewinnt die nach den Resultaten bei anderen Krystallsystemen schon sehr wahrscheinliche Annahme des Zusammenfallens des chemischen und krystallographischen Axensystemes noch mehr an Wahrscheinlichkeit und wir können mit größerer Aussicht auf Erfolg die Untersuchung von dem Gesichtspunkte aus weiterführen; daß auch die beiden anderen Ellipsoïdaxen mit den beiden übrigen krystallographischen Axen zusammenfallen. Es würde hiernach eine der beiden horizontalen Axen durch den Pol der Fläche $r(010)$ gehen und die dritte senkrecht zu den beiden ersteren stehen.

Es ist für eine erfolgreiche Durchführung der Untersuchung ganz wesentlich, daß sich ein solcher Angriffspunkt bietet. Denn würden wir darauf angewiesen seyn; allein aus der bekannten gegenseitigen Lage der einzelnen Flächen

und den beobachteten verschiedenen Axenverhältnissen der Ellipsen das Ellipsoïd nach Richtung und Gröfse seiner Axen zu bestimmen, so würde diese Aufgabe hier aus denselben Gründen nicht durchgeführt werden können, die es beim Eisenvitriole verhinderten, aus den beobachteten Axenverhältnissen der Ellipsen auf den Octaëderflächen desselben das Ellipsoïd zu bestimmen ¹⁾. Abgesehen von dieser Schwierigkeit würden für diesen Zweck weder die Zahl noch die Genauigkeit der verschiedenen Beobachtungen ausgereicht haben. Aus dem letzteren Grunde konnte hier auch nicht daran gedacht werden, unter Berücksichtigung des Zusammenfallens der einen chemischen Axe mit der Axe der Zone $rm [001]$, die Lage der beiden übrigen Axen allein aus den Beobachtungen auf den Flächen dieser Zone zu bestimmen, was sonst allerdings möglich gewesen wäre.

Wir suchen jetzt das Ellipsoïd unter der Voraussetzung zu bestimmen, dafs die Axe c der Axe der Zone $rm [001]$ und dafs gleichzeitig die Fläche $r (010)$ der Axenebene ac parallel sey. Bei dieser Annahme giebt die Beobachtung auf (010) das Axenverhältnifs $a:c$ direct, und wir können mit Hülfe dieses Werthes und den auf irgend einer Fläche gemessenen Ellipsenaxen das Verhältnifs $b:c$ berechnen. Mit diesen beiden Werthen läfst sich dann rückwärts das Verhältnifs der Ellipsenaxen auf jeder beliebigen Fläche bestimmen und mit den direct beobachteten Werthen vergleichen. Die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung ist dann ein Beweis für die Existenz des Ellipsoïdes und für das Zusammenfallen seiner Axen mit den krystallographischen.

Bezeichnen wir mit α, β, γ die Winkel der Normale einer Krystallfläche mit den Axen a, b, c des um den Krystallmittelpunkt beschriebenen Verwitterungsellipsoïdes und drücken wir a und b durch c aus, setzen also $c=1$, so sind die Quadrate der Axen ϱ_1 und ϱ_2 der Schnittellipse bestimmt durch die Gleichungen:

1) Diese Annalen Bd. 125, S. 542.

$$\frac{1}{\varrho_1^2} + \frac{1}{\varrho_2^2} = \frac{\sin^2 \alpha}{a^2} + \frac{\sin^2 \beta}{b^2} + \sin^2 \gamma = m,$$

$$\frac{1}{\varrho_1^2 \varrho_2^2} = \frac{\cos^2 \alpha}{b^2} + \frac{\cos^2 \beta}{a^2} + \frac{\cos^2 \gamma}{a^2 b^2} = n.$$

Wenn ϱ_2 die größere der beiden Axen ist, so ergibt sich das Axenverhältniß $\frac{\varrho_2}{\varrho_1} = k$ der Schnittellipse aus der Gleichung

$$k^2 = \frac{m + \sqrt{m^2 - 4n}}{m - \sqrt{m^2 - 4n}} \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Ist von den beiden Axen a und b die Axe a bekannt, und soll mit Hülfe des auf irgend einer Fläche beobachteten Verhältnisses k die zweite Axe b bestimmt werden, so ergibt sich dieselbe aus der Gleichung

$$b^2 = \frac{-q \pm \sqrt{q^2 + 4pr}}{2p} \quad . \quad . \quad . \quad (2),$$

worin p , q und r folgende Bedeutung haben:

$$p = (\sin^2 \alpha + a^2 \sin^2 \gamma)^2 - \left(\frac{k^2 + 1}{k} \right)^2 a^2 \cos^2 \beta,$$

$$q = 2 a^2 \sin^2 \beta (\sin^2 \alpha + a^2 \sin^2 \gamma) - \left(\frac{k^2 + 1}{k} \right)^2 \cdot a^2 \cdot (a^2 \cos^2 \alpha + \cos^2 \gamma),$$

$$r = -a^4 \sin^4 \beta.$$

Das Axenverhältniß der Ellipsen auf den Flächen r $[010]$ giebt direct das Verhältniß $c:a=1,850$, also wenn $c=1$ gesetzt wird

$$a = 0,5403.$$

Um mit Hülfe dieses Werthes aus Gleichung (2) die Axe b zu bestimmen, wird am Besten die Beobachtung von $k=1,537$ auf den Flächen p $[111]$ benutzt, weil die Beobachtungen auf diesen Flächen, nächst denen auf r , $[010]$ am zahlreichsten vorliegen. Es ergibt sich dann

$$b = 0,3963.$$

Die Axen des so bestimmten Ellipsoïdes sind also:

$$a : b : c = 0,5403 : 0,3963 : 1.$$

Ein Vergleich mit den gewählten Parametern des Krystalls, also den Abschnitten der Flächen p , $[111]$ von den Axen, zeigt, dafs hier ebenso wie beim Eisenvitriole und

dem Zinkvitriole und anderen Krystallen dem Verwitterungsgesetze entsprechend die kleinere chemische Axe mit der größeren krystallographischen zusammenfällt.

Wird nun weiter mit den ermittelten Axen a , b und c nach Gleichung (1) das Axenverhältnifs k für die Schnitte dieses Verwitterungsellipsoïdes mit den übrigen 7 Flächen berechnet, auf welchen Beobachtungen angestellt sind, so ergeben sich die folgenden Resultate:

		Beobachtet.	Berechnet.
r	[0 1 0]	1,850	(1,850)
m	[1 2 0]	2,356	2,306
n	[2 1 0]	2,506	2,504
t	[1 1 0]	2,443	2,449
h	[2 5 0]	2,198	2,242
p	[1 1 1]	1,537	(1,537)
s	[1 3 1]	1,428	1,457
w	[1 13 3]	kreisförmig	1,102
q	[1 7 3]	1,293	1,236.

Ein Vergleich der berechneten Zahlen mit den direct beobachteten ergibt eine Uebereinstimmung, wie sie unter den Verhältnissen, die hier in Betracht kommen, nicht größer erwartet werden kann. Die Berechnung ist unter der Voraussetzung ausgeführt, daß die Verwitterungsoberfläche ein Ellipsoïd sey, und die Gleichung eines Ellipsoïdes ist der Rechnung zu Grunde gelegt; ferner ist für das Ellipsoïd eine bestimmte Lage angenommen. Die Uebereinstimmung zwischen Rechnung und Beobachtung ist also ein Beweis für die Richtigkeit der gemachten Voraussetzungen. Es existirt demnach beim Kupfervitriol ebenfalls ein Verwitterungsellipsoïd und ebenso, da das bei der letzten Rechnung eingeführte rechtwinklige Axensystem das vorher bestimmte krystallographische ist, fällt auch hier im 1- und 1 gliedrigen Systeme das Axensystem der Verwitterung mit dem rechtwinkligen krystallographischen in derselben Weise zusammen, wie das für die übrigen Krystallsysteme nachgewiesen ist. Danach muß nun auch die weitere Annahme gerecht-

fertigt erscheinen, dafs das hier bezeichnete rechtwinklige Axensystem wirklich das naturgemäße des Kupfervitriols ist.

Nach den Untersuchungen über die Verwitterung steht dieselbe mit der Krystallbildung im engsten Zusammenhange, indem sie gerade als das Entgegengesetzte zu betrachten ist. Wenn also die eine Erscheinung auf ein rechtwinkliges Axensystem bezogen werden kann, so muß dasselbe auch von der anderen gelten. Die Gröfse der Indizes einzelner Flächen hat bei den niedrigen Werthen der übrigen mit Rücksicht auf die sehr grofse Zahl verschiedener Flächenarten nichts Auffallendes. Jedenfalls kann die gröfsere Einfachheit der Flächenzeichen bei Einführung schiefer Axen kein Grund seyn, diese für mehr in der Natur begründet als die rechtwinkligen Axen zu halten, da bei einer gröfseren Zahl verfügbarer Constanten, wie sie schiefe Axen bieten, die gröfsere Einfachheit der Zeichen eine unmittelbare Folge ist.

§. 4.

Nach den Resultaten der Verwitterungsbeobachtungen an Krystallen sämtlicher Krystallssysteme ist die allgemeine Bedeutung des chemischen Axensystemes nicht zu verkennen. Es gewährt für die grofse Klasse der wasserhaltigen krystallisirten Körper die Mittel, das natürliche krystallographische Axensystem auch in den bisher schwierigsten Fällen der völligen krystallographischen Unsymmetrie festzustellen. Diefs scheint um so wichtiger zu seyn, als bisher eine directe Beobachtung dieses Axensystemes, wie es jetzt die Anschauung der Verwitterungsellipsen giebt, nicht möglich war. Das Axensystem der Verwitterung ist bis jetzt gleichzeitig das einzige der verschiedenen physikalischen Axensysteme, welches sich am Krystall selbst direct beobachten läfst, wenn man davon absieht, dafs ein solches für die Krystalle mit voller Symmetrie auch äußerlich angezeigt ist.

Die Bedeutung des chemischen Axensystemes für krystallisirte Körper ohne Ausnahme legt es nahe, einen Vergleich anzustellen zwischen diesem und den verschiedenen anderen bis jetzt beobachteten physikalischen Axensystemen,

um gewisse Beziehungen unter denselben, eine etwaige Abhängigkeit derselben von einem der Axensysteme ausfindig zu machen, deren Existenz durch eine Betrachtung der verschiedenen Erscheinungen an Krystallen und der Art ihrer Vertheilung wahrscheinlich gemacht ist. Man hat für eine Reihe verschiedener physikalischer Erscheinungen an Krystallen beobachtet, dafs eine jede sich auf ein rechtwinkliges Axensystem beziehen läfst, von dem die Symmetrie ihrer Vertheilung um den Mittelpunkt des Krystalles abhängig ist. Diese Erscheinungen sind die der Fortpflanzung des Lichtes, der Ausdehnung durch die Wärme, die der Kohäsion, des Magnetismus bez. Diamagnetismus, der Leitungsfähigkeit für Wärme, Elektrizität, Schall und endlich auch die der Krystallform und der Verwitterung. Zum Theil fallen diese Systeme zusammen, zum Theil gruppiren sie sich so, dafs man mehrere, mindestens zwei, verschiedene Axensysteme anzunehmen hat, von denen ein jedes die Symmetrie der Vertheilung mehrerer Erscheinungen bedingt.

Für den Gips und den Feldspath hat Ångström¹⁾ in einer Zusammenstellung die Lage dieser Axen angegeben und den Winkel bezeichnet, welchen eine derselben beim Gips mit der Richtung des faserigen Blätterdurchganges, beim Feldspath mit der schiefen Basis bildet:

	Gips	Feldspath
Mittellinie der optischen Axen . . .	14°	4°
Kleinste Ausdehnung durch die Wärme	12	—
Größte Härte	14	4°, 1
Magnetische Anziehung	14	4, 1? Diam.
Größtes Leistungsvermögen für Wärme	50	60
Größte Elasticitätsaxe in akustischer Hinsicht	53	63
Kleinste Leistungsvermögen für Elek- tricität	62	63 +

1) Ångström, *mémoire sur la polarisation rectiligne et la double réfraction des cristaux à trois axes obliques*, Upsal 1849, (Auszug aus den *actis regiae societatis Upsulensis*); Liebig und Kopp, Jahresbericht, 1852, S. 151.

Nicht alle diese Axensysteme haben eine absolut feste Lage, ihre Richtung hängt vielmehr wesentlich von der Temperatur des Krystalles ab, bei welcher sie beobachtet werden. Bestimmt nachgewiesen ist dies von den optischen Elasticitätsaxen des Gipses durch Neumann ¹⁾ und von den Axen der Wärmeleitung des Gipses durch Ångström ²⁾. Die Beobachtungen Herschel's und Brewster's ³⁾ am Glauberit über die Verschiedenheit des Winkels der optischen Axen für verschiedenfarbige Strahlen, seine Abhängigkeit von der Temperatur und die Fortbewegung der zusammengefallenen optischen Axen in einer zu der früheren senkrechten Ebene, wenn eine weitere Temperaturerhöhung stattfindet; ferner die Angaben Des Cloiseaux' ⁴⁾ über die Veränderung des Winkels der optischen Axen mit steigender Temperatur beim Feldspath, Cymophan und Brookit lassen vermuthen, daß bei den genannten Krystallen eine Aenderung der Lage der optischen Elasticitätsaxen ebenso stattfindet, wie beim Gips, obwohl irgend welche bestimmtere Angaben hierüber noch nicht vorliegen.

Nach Ångström sind die Axen der Wärmeleitung des Gipses auf der glatten Fläche $\frac{a}{b} = 1,22$. Die Neigung von a gegen die Richtung des faserigen Blätterdurchganges ist aber verschieden, je nachdem die Ångström'sche Beobachtung mit einem Ueberzuge von einer dünnen Eisschicht, mit einem Wachstüberzuge oder durch Erhitzen bis zum Weißwerden der Gypsplatte, also bis zur eintretenden Verwitterung angestellt wird. Es ergab sich dem entsprechend die Neigung

für die Isotherme von $0^{\circ} . . = 46^{\circ}$

» » » » $68 . . = 49$

bei der Zersetzung des Gipses $= 55$

Ångström bemerkt hierzu; daß das Wärmeleitungs-

1) Diese Ann. Bd. 35.

2) A. a. O.

3) Diese Ann. Bd. 21.

4) Diese Ann. Bd. 119.

vermögen sich am Meisten nach der Krystallform richte und daß die Richtung der Blätterdurchgänge die Richtung der größten Härte und der kleinsten Ausdehnung, in gewissem Grade auch die Elasticität des Aethers bestimmen.

Es bieten diese Resultate einen sehr schätzenswerthen Beitrag für die Untersuchung der Frage nach dem inneren Zusammenhange der verschiedenen Axensysteme und sie werden seiner Zeit mit Erfolg benutzt werden können. Neben dem Nachweise einer großen Reihe verschiedener Axensysteme muß es von besonderer Bedeutung erscheinen, daß die Abhängigkeit mehrerer derselben von der Temperatur festgestellt ist, indem dadurch ein neuer Anhaltspunkt für die weitere Untersuchung gewonnen ist.

Eines der verschiedenen physikalischen Axensysteme, das thermische, welches die Dilatationen eines Krystalles bei einer durchweg gleichen Temperaturänderung oder, was auf dasselbe hinauskommt, bei überall gleichmäßiger Veränderung des äußeren Druckes bestimmt, kann seinem Begriffe nach nicht von der Temperatur abhängen, es muß vielmehr eine feste Lage haben. Drücken wir dies in anderer Weise aus, so will das sagen, daß alle die Krystalltheilchen, welche sich bei einer bestimmten Temperatur oder bei einem bestimmten äußeren Drucke auf den durch die thermischen Axen bezeichneten Linien befinden, noch auf denselben Linien liegen, auch wenn die Temperatur oder der äußere Druck sich verändert haben. Alle übrigen geradlinigen Punktreihen, welche sich im Durchschnittspunkte der thermischen Axen kreuzen, bleiben als solche zwar auch nach der Temperatur- und Druckänderung bestehen, haben aber ihre Richtung geändert.

Bei den durch drei rechtwinklige Ebenen symmetrisch theilbaren Krystallen fallen die thermischen Axen mit den Durchschnitten dieser Ebenen, den drei rechtwinkligen Krystallaxen zusammen, also auch mit den chemischen Axen. Alle drei Axensysteme bestimmen die symmetrische Anordnung von Erscheinungen an Krystallen, die in unmittelbarer Beziehung zum Baue der Krystalle stehen, also die

Veränderung der gegenseitigen Lage der ponderablen Krystalltheile durch die Wärme, die Anordnung der Theile bei der Bildung der Krystalle und endlich auch die Lostrennung einer Art der Bestandtheile, die bei der Bildung der Krystalle in Folge der Wechselwirkung zwischen ihnen und den übrigen Bestandtheilen nach einem bestimmten Gesetze regelmäfsig durch die ganze Masse vertheilt sind. Wir sind hiernach wohl zu der Annahme berechtigt, dafs bei diesen Krystallsystemen auch das krystallographische und das chemische rechtwinklige Axensystem ebenso wenig von der Temperatur abhängen, wie das thermische, dafs sie mit diesem also identisch sind.

Eine weitere Frage würde nun die seyn nach dem gegenseitigen Verhalten dieser drei Axensysteme bei Krystallen der übrigen Systeme, deren Flächencomplex direct nicht durch drei rechtwinklige Ebenen symmetrisch getheilt werden kann. Die Frage bleibt gegenstandslos, wenn wir die Krystalle dieser Systeme ebenso als holoëdrische Gestalten betrachten, wie die der ersteren Systeme, weil dann eine volle krystallographische Symmetrie nicht möglich ist. Benutzen wir aber die Resultate, zu welchen die Verwitterungsbeobachtungen geführt haben und wonach die zweigliedrigen und eingliedrigen Formen als Hemiedrien des ersten, bezüglich des zweiten Grades angesehen werden können und dafs die chemischen Axen bei diesen Krystallen die Richtungen sind, welche die Symmetrie der angenommenen, ideellen holoëdrischen Gestalten der wirklich vorhandenen Hemiedrien bestimmen und sie nach krystallographischen Grundsätzen als sehr wahrscheinlich und wirklich naturgemäfs erscheinen lassen, so steht der Untersuchung in dem angedeuteten Sinne Nichts entgegen.

Nehmen wir hiernach an, dafs die krystallographischen Axen dieser Systeme, des 2- und 1gliedrigen, und des 1- und 1gliedrigen, wirklich vorhanden sind, wie bei den übrigen Systemen, und mit den zweifellos gefundenen chemischen Axen identisch sind, so ist damit die krystallographische Symmetrie bestimmt und es müssen dann mit diesen Axen

auch die thermischen Axen zusammenfallen, da ihre Lage durch die krystallographische Symmetrie festgestellt wird. Diese müssen ihrem Begriffe nach auch hier eine unveränderliche, von der Temperatur unabhängige Lage haben und ebenso müssen dann auch, aus den angeführten Gründen, die krystallographischen und chemischen Axen von der Temperatur unabhängig seyn.

Für das 2- und 1gliedrige Krystallsystem hat sich bei dem Gypse diese Ansicht bereits bestätigt gefunden, soweit sie die Beziehung zwischen dem thermischen und dem krystallographischen Axensysteme betrifft; das Axensystem der Verwitterung ist für diesen Krystall noch nicht bestimmt. ¹⁾ Nach Neumann's Untersuchungen ²⁾ ist das thermische Axensystem des Gypses gleichzeitig seyn rechtwinkliges krystallographisches, da die zahlreichen Flächen auf das nach Mitscherlich's Beobachtungen bestimmte thermische Axensystem bezogen sehr einfache Zeichen erhalten. Dieselben sind, als Indizes geschrieben, folgende:

$$\begin{array}{ll}
 f = [111] & n = [832] \\
 M = [101] & T = [401] \\
 o = [121] & x = [431] \\
 r = [131] & s = [892] \\
 l = [238] & u = [634] \\
 k = [298] & w = [614] \\
 v = [535] & E = [302]
 \end{array}$$

Beim 2- und 1gliedrigen Eisenvitriol fehlt die Bestimmung der thermischen Axen, dagegen sind die der Verwitterung bestimmt ³⁾, sie fallen mit den krystallographischen Axen zusammen. Seine Flächen auf diese Axen bezogen erhalten die sehr einfachen Indizes:

1) Beobachtungen, welche im Laufe des vorigen Jahres nach dem Abschlusse der in vorliegender Abhandlung mitgetheilten Versuche an verwitterten Gypskrystallen angestellt sind, haben die Ansicht bestätigt, daß die Verwitterungsaxen mit dem thermischen und dem im Folgenden erwähnten rechtwinkligen krystallographischen Axensysteme des Gypses zusammenfallen. — Proskau, 5. März 1868.

2) A. a. O.

3) Diese Annalen Bd. 125.

[1 1 1]	[1 0 4]
[1 2 4]	[1 0 2]
[1 2 2]	[9 0 4]
[0 2 3]	[0 1 0]
[1 0 1]	[0 0 1]

Diese beiden Fälle sprechen wechselseitig für das Zusammenfallen der thermischen, krystallographischen und chemischen Axen im 2- und 1gliedrigen Systeme.

Für das 1- und 1gliedrige Krystallsystem liegt nur die im Vorhergehenden mitgetheilte Beobachtung am Kupfervitriole vor. Danach kann das Zusammenfallen des krystallographischen Axensystems mit dem der Verwitterung in keiner Weise bezweifelt werden, und aus den angeführten Gründen werden wir auch hier zu der Annahme berechtigt seyn, daß das thermische Axensystem ebenfalls mit den beiden genannten zusammenfällt. Eine directe Beobachtung des thermischen Axensystemes wird hier zwar erst die endgültige Entscheidung geben können. Die Beobachtung wird aber, abgesehen von den Schwierigkeiten, welche das Krystallsystem bietet, mit bedeutenderen Schwierigkeiten verbunden seyn, als bei irgend einem anderen Krystalle, namentlich weil die Temperaturgränzen, innerhalb welcher der Kupfervitriol ungeändert bleibt, beträchtlich kleiner sind, als zu solchen Messungen wünschenswerth ist.

Vielleicht wird man aber im Stande seyn, durch die Beobachtung anderer Erscheinungen an den eingliedrigen Krystallen, speciell am Kupfervitriol, eine weitere Bestätigung dieser Ansicht zu gewinnen, wenn auch nicht direct, so doch zunächst indirect wenigstens in der Weise, daß die Bedeutung der drei Axenebenen, welche durch die Verwitterungsbeobachtungen festgestellt sind, außer Zweifel gesetzt wird für die Erscheinungen, für welche sie bei anderen Krystallsystemen eine Bedeutung haben. Es sind dieß die optischen Erscheinungen und die der Wärmeleitung. Bei den regulären, 4 gliedrigen, 2- und 2 gliedrigen und 6 gliedrigen Krystallen fallen die Axen der Wärmeleitung und die optischen Elasticitätsaxen mit den Krystallaxen zusammen. Bei den 2- und 1 gliedrigen Krystallen fällt die Ebene der optischen Axen

mit der Symmetrieebene zusammen oder sie steht senkrecht dazu, und eine Axe der Wärmeleitung fällt entweder mit der Symmetriecaxe zusammen oder liegt in der Ebene der Symmetrie. Nach den Beobachtungen am Gips und am Eisenvitriole ist aber die Symmetrieebene gleichzeitig eine der drei rechtwinkligen krystallographischen Ebenen, für das 2- und 1 gliedrige System hängt also die Lage der optischen Axen und die der isothermen Oberfläche in gewisser Weise von den drei rechtwinkligen krystallographischen Axen ab.

Es wäre interessant und für die Entscheidung der vorliegenden Frage wichtig, wenn wenigstens diese Beziehung zwischen den genannten Axensystemen auch für das 1- und 1 gliedrige Krystallsystem festgestellt werden könnte, die Bedeutung der durch die Verwitterungsversuche, durch rein krystallographische Betrachtungen oder durch Bestimmung der thermischen Axen festgestellten rechtwinkligen Axen würde dadurch zweifelloser hervortreten. Die Ausführung der Wärmeleitungsversuche bietet verhältnismäfsig geringe Schwierigkeit und ebenso wird bei vielen Krystallen auch die Lage der optischen Axen ohne wesentliche Schwierigkeiten festgestellt werden können. Nach einzelnen vorliegenden Versuchen an eingliedrigen Krystallen verspricht die Untersuchung nach dieser Richtung von Erfolg zu seyn. Nach Haidinger's Beobachtungen am Axinit¹⁾ steht die Ebene seiner optischen Axen senkrecht zu der Kante der beiden Flächen *M* und *P*, welche einer der von Neumann²⁾ bestimmten drei rechtwinkligen krystallographischen Axen parallel ist, fällt also mit einer der drei Axenebenen zusammen. In ähnlicher Weise scheint beim Kupfervitriol die Ebene der optischen Axen zu einer der im Vorhergehenden festgestellten drei rechtwinkligen Ebenen senkrecht zu stehen, also eine der drei optischen Elasticitätsaxen in einer der drei rechtwinkligen krystallographischen Ebenen zu liegen.

1) Diese Ann. Bd. 63.

2) Diese Ann. Bd. 4.

Nach Beer's Angaben ¹⁾ steht die Ebene der optischen Axen beim Kupfervitriol ungefähr senkrecht zu der Fläche $(\bar{1}11)$ und geht fast parallel der Kante zwischen $(\bar{1}11)$ und $(\bar{1}10)$, mit der auch die eine optische Axe fast parallel ist. Vorläufige Beobachtungen an Platten, von denen die eine senkrecht zur Axe der Zone $|110|$, also senkrecht zur Kante zwischen $(\bar{1}11)$ und $(\bar{1}10)$, die andere parallel (010) geschliffen war, haben gezeigt, daß die Resultate in der That nur angenäherte seyn können. Die Beobachtungen sprechen weit mehr dafür, daß die Ebene der optischen Axen zwar nahezu senkrecht zur Fläche $(\bar{1}11)$, aber auch senkrecht zur Fläche (010) , also auch zur Axenebene ab ist und demnach durch die Axe b geht.

Vorläufige Beobachtungen über die Lage des Ellipsoïdes der Wärmeleitung haben zunächst gezeigt, daß sie von der des Verwitterungsellipsoïdes abweicht. Untersucht sind in dieser Beziehung, nach der etwas veränderten Methode Sénarmont's, die Flächen $(\bar{2}\bar{1}0)$, $(\bar{1}11)$ und $(0\bar{1}0)$. Auf der ersteren liegt die in einem Gemisch aus Wachs und Kokusöl bei einer Schmelztemperatur von $52^{\circ},5$ erzeugte elliptische Isotherme so, daß die große Ellipsenaxe mit der Kante von $(\bar{2}\bar{1}0)$ und $(\bar{1}10)$ einen Winkel von etwa 20° einschließt, und bei der in Fig 4, Taf. II gewählten Stellung des Krystalles von unten rechts nach oben links gerichtet ist. Auf der Fläche $(\bar{1}11)$ weicht die Lage der Isotherme gleichfalls beträchtlich von der der Verwitterungsellipse ab, ihre große Axe ist von vorne rechts, nach hinten links gerichtet und bildet mit der Kante zwischen $(\bar{1}11)$ und $(\bar{2}\bar{1}0)$ einen Winkel von etwa 13° , während der Winkel zwischen derselben Kante und der entsprechenden Axe der Verwitterungsellipse etwa 34° beträgt. Das Axenverhältniß auf $(\bar{2}\bar{1}0)$ ist etwa 1,25, auf $(\bar{1}11)$ etwa 1,15.

Die Richtung der großen Ellipsenaxe auf der zu (010) unter einem von 90° um nur 10° abweichenden Winkel

1) Beer, Einl. in d. höh. Optik S. 397.

geneigten Fläche $(\bar{2}10)$ deutet darauf hin, daß eine der drei Wärmeleitungssachsen mit der chemischen Axe a zusammenfällt; die Lage der Isotherme auf $(\bar{1}11)$ spricht gleichfalls für diese Annahme. Sie wird zweifellos bestätigt durch die Beobachtung der Isotherme auf $(0\bar{1}0)$, deren Axenverhältniß sich zu etwa 1,10 ergibt, und deren große Axe sich genau parallel der Axe der Zone $[001]$ also der Kante zwischen $(0\bar{1}0)$ und $(\bar{1}\bar{2}0)$ erweist.

Hiernach fällt die mittlere Axe der isothermen Oberfläche zusammen mit der chemischen Axe a , die beiden anderen liegen in der Ebene bc und swar so, daß die größte Axe zwischen $+c$ und $-b$, die kleinste zwischen $+c$ und $+b$ fällt. Es sind also die drei rechtwinkligen Axenebenen des Verwitterungsellipsoïdes für die symmetrische Vertheilung der Eigenschaft der Wärmeleitung maßgebend, wie für die Vertheilung der optischen Eigenschaften des Kupfervitriols. Der Unterschied ist nur der, daß hier ein wirkliches Zusammenfallen zweier Axen vorliegt, während bei Betrachtung der optischen Erscheinungen sich nur ergeben hat, daß eine der optischen Elasticitäts-Axen in einer der drei rechtwinkligen Axenebenen liegt.

Jedenfalls geht aus diesen Versuchen hervor, daß die Ebenen der drei rechtwinkligen Krystallaxen auch für das 1- und 1 gliedrige Krystallsystem von Bedeutung für die Vertheilung zweier anderer wichtiger Eigenschaften der Krystalle sind. Die genauere Feststellung der Größe und Richtung der Axen der optischen Elasticität und der Wärmeleitung muß weiteren speciellen Untersuchungen vorbehalten bleiben. Die Resultate werden dann nicht allein an sich einen interessanten weiteren Beitrag zu unseren Kenntnissen von der Physik der Krystalle liefern, sondern auch das Material vermehren, dessen Benutzung uns einst in den Stand setzen wird, die unverkennbare Abhängigkeit der verschiedenen physikalischen Axensysteme von dem der rechtwinkligen krystallographischen Axen festzustellen.

Proskau, Juli 1867.

