XXI. Ueber die Zwillingungsverwachsungen des Kupferkieses.

Von

L. Fletcher in London.

(Mit Taf. VI.)

Die bereits im Jahre 1822 erschienene Arbeit Haidinger's über die Krystallformen des Kupferkieses (Memoirs of the Wernerian Society p. 4, vol. IV) war so erschöpfend und zugleich so einfach in ihren Resultaten, dass sie wenig übrig zu lassen schien, was zu weiteren Untersuchungen über dieses Mineral angeregt hätte. In der That liegen auch ausser den Publicationen des leider so früh verstorbenen Sadebeck und den dieselben bestätigenden Angaben Groth's in seinem Catalog der Strassburger Universitätssammlung keine weiteren Forschungen über den Kupferkies vor. Das Studium dieser Aufsätze und der betreffenden Stellen in den verschiedenen Handbüchern der Mineralogie liessen mir jedoch Zweifel daran aufsteigen, ob das eine der Zwillingsgesetze richtig bestimmt sei, und da es sich, wie weiterhin auseinandergesetzt werden soll, um ein fast oder sogar ganz einziges Gesetz krystallonomischer Verwachsung handelt, so habe ich auf den Rath Prof. Maskelyne's die Kupferkiessammlung unseres Museums näher untersucht in der Absicht, wenn möglich, jene Unsicherheit zu beseitigen.

Um eine klare Idee über den gegenwärtigen Zustand der Frage zu geben, ist es nothwendig, die Geschichte dieses speciellen Zwillingsgesetzes von der Zeit seiner Aufstellung ab bis jetzt kurz zu skizziren.

In dem erwähnten Aufsätze Haidinger's von 1822 wurden drei verschiedene Zwillingsgesetze des Kupferkieses aufgeführt: 1) Zwillingsebene oder Ebene der Rotation ist eine Fläche der Pyramide (444), Zusammensetzungs- oder Verwachsungsebene im Allgemeinen parallel, manchmal aber auch senkrecht zur Zwillingsebene (diese Arten der Verwachsung entsprechen denen der Blendezwillinge im regulären System); 2) Zwillingsebene ist eine Fläche der Pyramide (404) und die Verwachsungsfläche ist

senkrecht zur Zwillingssebene; 3) Zwillingssebene ist das Prisma (110) und es findet Durchdringung der Individuen statt. Das zweite Gesetz ist dasjenige, in Bezug auf welches Unsicherheit entstanden, und mit dem wir uns im Folgenden zu beschäftigen haben.

In der Originalarbeit von 1822 ist die Verwachsung so klar beschrieben und das Gesetz so deutlich ausgedrückt, dass es unmöglich ist, die Meinung des Verfassers misszuverstehen. Drei Jahre später publicirte indess Haidinger im »Edinburgh Journal of Science« eine Reihe von Aufsätzen »On the Regular Composition of Crystallised Bodies« mit zahlreichen Figuren, welche seitdem in die meisten Handbücher Aufnahme gefunden haben, und hier beschrieb er noch einmal, wenn auch kurz, an der geeigneten Stelle im tetragonalen System, diejenige Verwachsungsart des Kupferkieses, um welche es sich hier handelt. Es ist kein Zweifel, dass diese zweite Beschreibung die Ursache aller späteren Missverständnisse gewesen ist. Die betreffende Stelle, l. c. 1825, Vol. 3, S. 68 lautet:

»Regular composition often also takes place in this species parallel to a plane of $P-1$ {401}, or perpendicular to the terminal edges of $P\{111\}$: There are particularly two varieties of *this case*, which in the present place deserve our attention. The individuals are either joined in pairs, or one central individual is surrounded by four others, added in the direction of all the edges of P . The product of the first, in the fundamental pyramid, would be Fig. 30 (ähnlich Fig. 6, Taf. VI). This has not yet been observed; but it will serve for explaining Fig. 34, a variety of the form $P-\infty$ {001}, $P-2$ {112}, $P\{111\}$, $\frac{3}{2\sqrt{2}}P$ {302}, and $\frac{3}{2\sqrt{2}}P+1$ {332}; from the mines of the district of Siegen in Prussia. This and several other interesting varieties of forms from the same locality I have described on another occasion (Mem. Wern. Soc. Vol. IV, part. 4, p. 4, 1822), from specimens in the possession of Mr. Sack of Bonn.«

Auf den ersten Anblick kann diese Auseinandersetzung, für sich allein genommen, die Meinung hervorbringen, wie es in der That bei einigen Krystallographen der Fall gewesen zu sein scheint, dass es Zwillingsverwachsungen des Kupferkieses gäbe, in welchen die Verwachsungsebene einer Fläche der Pyramide (401) parallel ist. Diese Interpretation ist in keinem Falle von Haidinger beabsichtigt worden. Derselbe bemerkt in der Einleitung zu den in Rede stehenden Aufsätzen, dass in der scharfen Definition eines Zwillingsgesetzes zwei Ebenen angegeben werden müssten: erstens die Zwillings- oder Drehungsebene, um die relative Richtung correspondirender Flächen der beiden Individuen zu bezeichnen, und zweitens die Zusammensetzungsfläche, durch welche die gegenseitige Stellung bestimmt wird. Haidinger's obiger Ausspruch, dass die regelmässige Verwachsung stattfände parallel einer Fläche von (401) oder

senkrecht zu den Polkanten von (111), kann daher entweder auf die Zwillingsebene oder auf die Verwachsungsfläche bezogen werden und ist in dieser Ausdehnung unbestimmt. Da aber nun offenbar eine Ebene von (104) nicht senkrecht zu einer Polkante von (111) steht, so muss der obige Ausspruch, wenn er sich auf die Verwachsungsfläche bezieht, zwei verschiedene Fälle bezeichnen; bezieht er sich dagegen auf die Zwillingsebene, so ist nur ein einziger Fall gemeint, da, wie später gezeigt werden soll, die Drehung um 180° in einer Ebene von (104) in ihrem Resultate krystallographisch identisch ist mit einer gleich grossen Drehung senkrecht zu oder um eine Polkante der Pyramide (111). Dass aber Haidinger nur einen einzigen Fall gemeint hat, geht aus den mit Cursivschrift gedruckten Worten in der folgenden Zeile der oben angeführten Stelle hervor. Jedenfalls zeigt seine aus der Abhandlung von 1822 wiederholte Figur der verzwilligten Pyramide die Zusammensetzungsfläche senkrecht zur Zwillingsebene, obgleich dies nur bei sorgfältiger Betrachtung ersichtlich ist. Dass er sich am Schlusse der citirten Stelle auf die Originalabhandlung bezieht, ohne irgend eine Abweichung von derselben zu erwähnen, beweist ebenfalls, dass er noch mit der dort gegebenen Erklärung übereinstimmte.

Hieraus darf wohl geschlossen werden, dass ein aufmerksames Studium der späteren Haidinger'schen Arbeit über die regelmässigen Verwachsungen der Krystalle oder ein einfaches Zurückgehen auf die Originalarbeit über die Krystallisation des Kupferkieses die Thatsache klar gemacht haben würde, dass Haidinger die Verwachsungsfläche normal zur Zwillingsebene (104) annahm, obgleich zugegeben werden muss, dass es in seiner späteren Publication auf den ersten Anblick so scheint, als ob die Verwachsungsfläche, in einigen Fällen wenigstens, parallel der Zwillingsebene (104) sei.

In der That giebt 1830 Naumann in seinem Lehrbuch der reinen und angewandten Krystallographie das Gesetz abweichend von Haidinger an, und zwar so, dass die Zusammensetzungsfläche der Drehungsebene parallel sei. In der Vorrede erwähnt Naumann, dass er Haidinger's Aufsätze über die regelmässigen Verwachsungen benutzt habe, und in seiner Beschreibung der in Rede stehenden Zwillinge nimmt er mehrere der dort gegebenen Figuren auf. Es scheint ganz unmöglich, dass er diese Abweichung von Haidinger absichtlich gemacht habe, da er nirgends von einer Verschiedenheit seiner Auffassung von der Jenes spricht, und ebenso ist es sehr unwahrscheinlich, dass Naumann so bald nach Haidinger's Publication in der Lage gewesen sei, eine specielle und genaue Untersuchung über jenes Gesetz auszuführen.

Hieraus dürfte klar genug hervorgehen, dass Naumann's Angabe einfach auf einem Missverständniss derjenigen Haidinger's beruht, welches dadurch entstanden ist, dass Naumann sich nur auf die nach-

folgende und nicht auf die ursprüngliche Darstellung des Gesetzes bezogen hat. Bei der allgemeinen Anerkennung und Verbreitung der Naumann'schen Krystallographie hat seine Auffassung jenes Gesetzes, obgleich sie unrichtig ist, überall Aufnahme gefunden und ist wohl heutzutage diejenige aller Lehrbücher, obgleich, wie zu erwarten stand, in Haidinger's eigenem Lehrbuche (1845) die richtige Definition, wie in der Arbeit von 1822, gegeben ist.

Im Jahre 1868 publicirte Sadebeck (über die Krystallformen des Kupferkieses. — Zeitschrift der deutsch. geolog. Gesellschaft **20**, 605) die Resultate seiner Studien am Kupferkies, hauptsächlich der Exemplare des Berliner Museums, und nahm in seiner Beschreibung der Zwillinge die Richtigkeit der erwähnten Angabe Naumann's an. In einer im folgenden Jahre veröffentlichten zweiten Arbeit (Allgemeines Gesetz für tetraëdrische Zwillingbildung. — Ebenda, **21**, 642) giebt er eine so kurze und klare Darlegung der vorliegenden Schwierigkeiten, dass dieselbe hier wiedergegeben werden möge:

»Die Zusammensetzungsfläche beim Kupferkies ist eine Fläche ($a : \infty a : \frac{2}{10}c$). In meiner Abhandlung über den Kupferkies habe ich das Gesetz falsch angegeben, indem ich die Zwillingsebene zugleich als Zusammensetzungsfläche annahm. In Folge dessen mussten zwei Tetraëderflächen auf der einen Seite einen ausspringenden Winkel von $178^{\circ} 36'$ bilden, auf der anderen einen einspringenden. Nachdem ich dies publicirt hatte, schrieb mir v. Haidinger, dass er die Zwillinge nicht in dieser Weise erklärt habe, wie aus seinen Worten im Edinburgh Journal of Science hervorgehe, die also lauteten: »Composition takes place perpendicular to the terminal edges of P .« Ich hatte, als ich den Aufsatz las, geglaubt, Haidinger meine damit das erste stumpfere Oktaëder, eine Auffassung, die in allen Handbüchern zu finden war. In Folge dieser freundlichen privaten Mittheilung eines so berühmten Nestors der Wissenschaft unterwarf ich die Krystalle von Neuem einem genauen Studium. Das Resultat war, dass sich der mögliche Unterschied nicht feststellen liess, ob die Tetraëderflächen zusammenfallen oder einen Winkel von $178^{\circ} 36'$ bilden. Dies bewog mich, meine Ansicht aufrecht zu erhalten, da mir das Gesetz auch einfacher zu sein schien, wenn man das erste stumpfere Oktaëder zugleich als Zwillingsebene und Zusammensetzungsfläche annahm. Wende ich nun aber das allgemeine Gesetz für tetraëdrische Zwillinge auf diesen Fall an, so folgt daraus, dass bei den Krystallen Tetraëder gleicher Stellung neben einander liegen, dass die Zusammensetzungsfläche auf der Zwillingsebene senkrecht steht. Die Tetraëderflächen fallen also wirklich in eine Ebene, und ich hoffe, dass sich noch Krystalle finden werden, die dies unzweifelhaft zeigen. Durch Drehung kann man, von einer vollkom-

men parallelen Stellung der Individuen ausgehend, diese Zwillinge nicht erhalten.«

Hiernach war also Sadebeck der Naumann'schen Auffassung, in der Meinung, es sei zugleich diejenige Haidinger's, gefolgt und konnte, wegen der Schwierigkeit der Unterscheidung der beiden Verwachsungsgesetze, durch einfache Betrachtung der Krystalle zu keiner Entscheidung gelangen; zu Gunsten der Haidinger'schen Ansicht sprach jedoch nach ihm nur der Umstand, dass dieselbe einem zweiten Gesetze nicht widerspreche, welches sich in gewissen Fällen richtig erwies, dessen allgemeine Gültigkeit aber nicht nachgewiesen war.

Anscheinend fand vor dem Jahre 1876 bei Sadebeck ein abermaliger Wechsel seiner Ansicht statt, denn auf S. 82 von Rose-Sadebeck's Elementen der Krystallographie (1876), woselbst das Gesetz nur kurz erwähnt wird, findet sich folgende Stelle: »Die Individuen sind mit einer Fläche des ersten stumpferen Oktaeders verwachsen«, und in einer Anmerkung wird die erste Arbeit Sadebeck's citirt ohne eine Angabe darüber, ob er seitdem einen Nachweis für die Richtigkeit der Ansicht Haidinger's erhalten hätte, ein Nachweis, der offenbar zur Zeit der Publication der zweiten Arbeit noch fehlte. Die Weglassung jeder Erwähnung der vorliegenden Schwierigkeiten geschah jedenfalls mit Rücksicht auf den Charakter des für Anfänger bestimmten Buches.

Die nächste Erwähnung des Gesetzes geschah in Groth's Catalog der Strassburger Mineraliensammlung, woselbst es S. 54 heisst: »Was nun die regelmässigen Verwachsungen betrifft, so wurden die Angaben des Herrn Sadebeck vollständig bestätigt«, während weiterhin gesagt wird, dass diese Verwachsungen symmetrisch nach einer Fläche von (101) seien, d. h. mit anderen Worten, es wird Sadebeck's erste Erklärung oder diejenige Naumann's angenommen. Da eine Erwähnung der Schwierigkeiten, zu denen Sadebeck später gelangt war, nicht stattfindet, so ist es wahrscheinlich, dass die spätere, mit Haidinger's übereinstimmende Auseinandersetzung dem Verf. entgangen ist, da sie in einer Abhandlung von allgemeinem Charakter erschienen war, deren Titel sich nicht auf Kupferkies bezog. In jedem Falle werden auch hier keine Messungen mitgeteilt, welche es ermöglichten, zwischen den beiden Definitionen des Zwillingsgesetzes zu entscheiden.

Aus einer bald darauf erschienenen Arbeit Sadebeck's »über geneigtflächige Hemiëdrie« (Zeitschrift d. d. geol. Gesellsch. **30**, 604) geht hervor, dass der Verf. entweder noch im Zweifel über die richtige Definition war oder beide als correct betrachtete, denn wir lesen daselbst:

»Ist eine Fläche des ersten stumpferen Oktaeders zugleich Zusammenstellungsfläche, so bilden die neben einander liegenden Tetraëderflächen sehr stumpfe ein- und ausspringende Winkel; steht dagegen die Zusam-

mensetzungsfläche senkrecht auf einer der bei beiden Individuen parallelen Tetraëderflächen, so fallen natürlich diese Tetraëderflächen des einen Individuums mit denen des anderen zusammen.«

Es ist wahrscheinlich, dass hier beide nicht deshalb genannt werden, weil Sadebeck eines für ebenso richtig hielt, als das andere, sondern nur um zu zeigen, dass die von ihm erstrebte Auffassung in jedem Falle aufrecht erhalten werden könne; und in der That spielt die Zusammensetzungsfläche unter den weiteren Argumenten seiner Arbeit keine Rolle mehr.

Auf den ersten Anblick sollte es scheinen, dass eine Abweichung von 90° in der Lage der Zusammensetzungsfläche sich durch Winkeldifferenzen am Zwillinge zeigen müsste, welche gross genug wären, um jede Schwierigkeit bei der Unterscheidung zu beseitigen. Es möge daher versucht werden, die Differenzen klar zu stellen, welche sich bei Verwachsungen nach dem einen oder dem anderen Gesetze ergeben müssten.

Fig. 2, Taf. VI stellt die Kupferkies-Grundpyramide im Gleichgewicht dar, $abcd$ bilden die eine, $\alpha\beta\gamma\delta$ die andere Reihe zusammengehöriger Flächen, welche paarweise einander parallel sind (a mit α u. s. f.). Diese Form nähert sich bekanntlich sehr dem regulären Oktaëder, und es war zuerst in Haidinger's Arbeit von 1822, dass der Unterschied von letzterem erkannt wurde. Während der horizontale Durchschnitt $AB\bar{A}\bar{B}$ ein Quadrat darstellt, sind die beiden durch die Polkanten gehenden Durchschnitte $CA\bar{C}\bar{A}$ und $CB\bar{C}\bar{B}$ Rhomben von $90^\circ 54'$ (an der Verticalaxe) und $89^\circ 9'$ (an den horizontalen Axen). Der Winkel der gleichseitig dreieckigen Flächen ist oben $60^\circ 29'$, an den Seitenecken $59^\circ 45\frac{1}{2}'$.

In Figur 4 sind $abcd\alpha\beta\gamma\delta$ die stereographischen Projectionen der Pole der in Figur 2 dargestellten Pyramide, $T\bar{T}Q\bar{Q}$ diejenigen von vier Flächen der die Polkanten der Grundform (111) abstumpfenden Pyramide (104).

Nach Haidinger's Messung ist

$$2Ca = 108^\circ 40'$$

$$da \tan g QC = \tan g Ca \cos 45^\circ$$

so ergibt sich:

$$QC = 44^\circ 34\frac{1}{2}', QT = 90^\circ 54' \text{ und } Qa = 35^\circ 3\frac{3}{4}';$$

$$\text{ferner ist} \quad \cos Ta = \cos Qa \cos QT,$$

$$\text{woraus} \quad Ta = T\beta = 90^\circ 44\frac{3}{4}'$$

$$Ta = Tb = 89^\circ 48\frac{1}{4}'.$$

Figur 3 stellt einen zweiten Krystall dar, dessen Flächen $a_1 b_1 c_1 d_1 \alpha_1 \beta_1 \gamma_1 \delta_1$ den entsprechenden $abcd\alpha\beta\gamma\delta$ des ersten parallel sind.

Beide Definitionen des Gesetzes nehmen an, dass die Drehungs- oder Zwillingsebene eine der Flächen von (104) ist. Nehmen wir als solche die Fläche (04 $\bar{1}$), welche die Kante $\delta_1 c_1$ oder δc abstumpft und deren Pol in

der stereographischen Projection T ist. Denkt man sich den in Figur 3 dargestellten Krystall 180° um die Normale $T\bar{T}$ zur Ebene $(01\bar{1})$ gedreht, so erhält man Figur 4; die Pole der Flächen in dieser neuen Stellung sind in Figur 4 als $a_1 b_1 c_1 d_1 \alpha_1 \beta_1 \gamma_1 \delta_1$ eingetragen. Zunächst muss nun bemerkt werden, dass, da jedes der Flächenpaare $\delta_1 c_1$ und $\gamma_1 d_1$ diagonal symmetrisch ist zu der Linie $T\bar{T}$, um welche die Rotation stattfand, die Fläche c_1 nach der Umdrehung die vorher der Fläche δ_1 und unverändert der Fläche δ angehörige Lage erhalten hat, und ebenso d_1 diejenige von γ_1 resp. γ — mit anderen Worten: die Flächen $c_1 d_1 \gamma_1 \delta_1$ der gedrehten Pyramide Fig. 4 sind parallel den entsprechenden Flächen $\delta\gamma dc$ der Figur 2. Wäre die Pyramide nicht verschieden vom regulären Oktaëder, so würden nicht nur diese Flächen, sondern auch alle anderen Flächen und Kanten der Figuren 2 und 4 einander parallel sein. Da die $C\bar{C}$ halbirende Linie $T\bar{T}$ senkrecht zur Kante $\bar{C}A$ und daher nicht parallel zur Kante CA ist, so liegt der Punkt T nicht in der Mitte zwischen A und $\bar{C}$; daraus folgt, dass, obgleich die Kante $A\bar{C}$ in ihrer Richtung unverändert bleibt bei einer Drehung von 180° um $T\bar{T}$, während welcher B nach $\bar{B}$ und $\bar{B}$ nach B gelangt, doch $\bar{C}$ nach der Drehung nicht genau mit A , ebensowenig wie A mit $\bar{C}$ zusammenfällt, dass ferner die Kante CA von Figur 2 nicht parallel $\bar{A}_1 \bar{C}_1$ von Figur 4, noch die Kante BA mit $\bar{B}_1 \bar{C}_1$.

In der That ist, während Kante $A_1 \bar{C}_1$ parallel $\bar{C}A$, der Winkel $A_1 \bar{C}_1 \bar{A}_1$, wie oben gezeigt wurde, $= 90^\circ 54'$ und der Winkel $\bar{C}AC = 89^\circ 9'$, daher die Kanten $\bar{C}_1 \bar{A}_1$ und CA gegen einander eine Neigung von $1^\circ 42'$ besitzen müssen; in ähnlicher Weise beträgt, obgleich $A_1 \bar{C}_1$ parallel $\bar{C}A$ und die Ebene CAB parallel der Ebene $A_1 \bar{C}_1 \bar{B}_1$ sind, der Winkel $A_1 \bar{C}_1 \bar{B}_1$ nach Früherem $60^\circ 29'$, $\bar{C}AB$ dagegen $59^\circ 45\frac{1}{2}'$, und in Folge dessen sind die Kanten BA und $\bar{B}_1 \bar{C}_1$ gegen einander $43\frac{1}{2}'$ geneigt.

Dieselben Resultate kann man, vielleicht noch einfacher, auch aus der stereographischen Projection Figur 4 ableiten: da $Tc = T\delta$, so gelangt c_1 durch die Drehung in die Position von δ , und δ_1 in diejenige von c , ebenso γ_1 nach d , und d_1 nach γ . Anders verhält es sich mit den übrigen Polen: so dreht sich α in die Stellung α_1 , wobei

$$\begin{aligned} T\alpha_1 &= T\alpha = 89^\circ 18\frac{1}{4}' \\ \text{und} \quad a\alpha_1 &= Ta - T\alpha_1 = 90^\circ 44\frac{3}{4}' - 89^\circ 18\frac{1}{4}' = 1^\circ 23\frac{1}{2}' \\ &= \beta b_1 = a\alpha_1 = b\beta_1. \\ \text{Ebenso} \quad T\bar{Q}_1 &= T\bar{Q} = 89^\circ 9'; \\ \text{daher} \quad Q\bar{Q}_1 &= 90^\circ 54' - 89^\circ 9' = 1^\circ 42' \\ \text{und} \quad T\bar{C} &= T\bar{C}_1 = 44^\circ 34\frac{1}{2}', \quad C\bar{C}_1 = 90^\circ 54'. \end{aligned}$$

Möge M der Mittelpunkt des Bogens $Q\bar{Q}_1$ sein, so werden die Pole der beiden projecirten Krystalle symmetrisch liegen in Bezug auf die Zwillingsebene, welche in der Projection durch die Linie MBM dargestellt ist. Da

$TM = TB = 90^\circ$ und die Bögen $Tb_1, T\alpha_1, T\alpha, Tb, Ta, T\beta, Ta_1, T\beta_1$ alle gleich sind, so folgt:

$$Ma = M\beta = M\alpha_1 = Mb_1$$

und

$$Ma_1 = M\beta_1 = Mb = M\alpha.$$

Ebenso sind die Bögen $M\gamma, Md, M\gamma_1, Md_1, Mc, Mc_1, M\delta_1, M\delta$ einander gleich, da sie sämmtlich gleich 90° . Die Pole der beiden Individuen sind daher nicht nur symmetrisch zur Zwillingssebene $MB\bar{M}$, sondern auch zu der hierauf rechtwinkligen Ebene $TB\bar{T}$, welche einem irrationalen, dem Werthe (100.0.99) nahe stehenden Symbole entspricht und daher keine krystallonomische Ebene ist. In Folge hiervon kann die gleiche Anordnung der Pole erhalten werden durch Rotation der ursprünglichen Pyramide um die Gerade $M\bar{M}$, parallel der Tangente des Grundkreises bei T und daher auch parallel einer Polkante der Pyramide (111). Es muss indess bemerkt werden, dass zwar die gleiche Anordnung der Pole resultirt, die Buchstabenbezeichnung jedoch in beiden Fällen nicht identisch wird; eine krystallographische Differenz der Resultate der Herleitung nach beiden Methoden existirt jedoch nicht.

Dadurch ist bewiesen, dass Haidinger's Ausdruck: »Regelmässige Verwachsung findet oft statt parallel einer Fläche von (101) oder senkrecht zu den Polkanten von (111)«, wie bereits erwähnt, wenn man ihn auf die Drehungsebene bezieht, nur einen einzigen Fall bezeichnet. Haidinger's Gesetz kann daher ebensogut auf eine der beiden folgenden Arten ausgesprochen werden:

I. Zwillingssebene eine Fläche von (101), Zusammensetzungsfläche senkrecht zur Zwillingssebene.

II. Zwillingssaxe eine Polkante von (111), Zusammensetzungsfläche parallel der Zwillingssebene.

Wir sind nunmehr in der Lage, die Unterschiede in der Verwachsung zu discutiren, welche aus einer Veränderung in der Lage der Zusammensetzungsfläche resultiren.

Da die Gerade $T\bar{T}$ senkrecht zu den Kanten $A\bar{C}$ und $C\bar{A}$ ist und durch den Mittelpunkt des Krystalls geht, sind die Rhomben $TB\bar{T}\bar{B}$ und $TB_1\bar{T}\bar{B}_1$ der Figuren 2 und 3 senkrecht zur Zwillingssebene, und jede derselben stellt die Zusammensetzungsfläche Haidinger's dar. Nimmt man nun, ohne sie zu drehen, die über dem Rhombus gelegene Hälfte $TB\bar{T}BAC$ des Krystalls Figur 2 und setzt sie so an die unter dem entsprechenden Rhombus gelegene Hälfte $T\bar{B}_1\bar{T}B_1A_1C_1$ von Figur 4, dass die beiden Rhomben zusammenfallen, so erhält man Figur 5, d. i. diejenige einer Verwachsung nach dem Haidinger'schen Gesetze. Zur bequemerem Vergleichung mit den aus den Gesetzen von Naumann und Sadebeck folgenden Resul-

taten ist dieselbe Verwachsung in Figur 6 so gezeichnet, wie sie nach einer Drehung von 180° um die Hauptaxe oder bei Besichtigung von der Rückseite erscheinen würde.

Mögen ferner die Rhomben $MB\bar{M}\bar{B}$ und $MB_1\bar{M}\bar{B}_1$ der Figuren 2 und 3 die Durchschnitte der Pyramide parallel der Zwillingsebene, d. i. der Zusammensetzungsfläche nach Naumann, darstellen, und werden nun ebenso, wie vorhin, die über dem Rhombus liegende Hälfte $MB\bar{M}\bar{B}C\bar{A}$ von Figur 2 und die untere Hälfte $\bar{M}\bar{B}_1MB_1C_1A_1$ von Figur 4 mit einander so verbunden, dass die Rhomben zusammenfallen, so erhält man Figur 7, welche somit eine Verwachsung nach dem Naumann'schen Gesetze darstellt.

Mit Hilfe der stereographischen Projection Figur 4 sind wir nun im Stande, die Unterschiede der in Figur 6 und 7 gezeichneten Verwachsungsarten festzustellen.

Figur 6	Figur 7
Haidinger's Gesetz:	Naumann's Gesetz:
$\left. \begin{aligned} d\gamma_1 &= \gamma d_1 = 0 \\ c\delta_1 &= \delta c_1 = 0 \end{aligned} \right\}$	$\left\{ \begin{aligned} a\alpha_1 &= \beta b_1 = 1^\circ 23\frac{1}{2}' \text{ ausspring. W.} \\ \alpha\alpha_1 &= \beta_1 b = 1^\circ 23\frac{1}{2}' \text{ einspring. W.} \end{aligned} \right.$
Kanten $C\bar{T}_1\bar{T}_1C_1$ zusammenfallend	Winkel $CM.\bar{M}\bar{C}_1 = 1^\circ 42'$ ausspring.
- $ATTA_1$ zusammenfallend	- $\bar{A}\bar{M}_1\bar{M}A_1 = 1^\circ 42'$ einspring.
Winkel zwischen den abstumpfen- den Flächen von C und $C_1 = 89^\circ 9'$.	Winkel zwischen den abstumpfen- den Flächen von C und $\bar{C}_1 = 90^\circ 51'$.
Die Flächen $\alpha\beta\alpha_1\beta_1$ liegen nicht in einer Zone.	Die Flächen $d\gamma c_1\delta_1$ liegen in einer Zone.

Wir sahen, dass in der Projection die Zusammensetzungsebene eine Ebene der Symmetrie für die Pole der beiden Individuen darstellt, und es ist klar, dass in jedem Falle dieselbe Fläche eine Symmetrieebene für die an der Zwillingsverwachsung wirklich auftretenden Flächen bildet. Nun sind die Winkel der oberen Hälfte von Figur 6 genau gleich den ähnlich liegenden Winkeln der oberen Hälfte von Figur 7, ebenso die Winkel der unteren Hälfte von Figur 6 den entsprechenden der unteren Hälfte von Figur 7; die einzige Differenz zwischen beiden Verwachsungsarten liegt in der Beziehung der oberen zur unteren Hälfte.

Unter den Exemplaren von Kupferkies in unserer Sammlung befindet sich eines, von Haidinger selbst in dem Catalog der Allan-Greg-schen Sammlung (jetzt dem British Museum angehörig) abgebildet, welches, obgleich wahrscheinlich keines der Original-exemplare der Arbeit von 1822, doch sich als das ähnlichste darbot, um eine befriedigende Lösung der besprochenen Schwierigkeit zu liefern. Dasselbe stammt von Freiberg

und zeigt die Zwillinge einander parallel aufgewachsen auf Bleiglanz und verbunden mit Quarz, Chalybit und Calcit. Die Seitenlänge der dreieckigen Flächen beträgt circa 4,5 mm. Haidinger's für dieses Exemplar mitgetheilte Zeichnung stimmt im Wesentlichen überein mit Figur 9 (Copie nach Dessen Abhandlung von 1825), mit dem einzigen Unterschiede, dass die Flächen von (104) nach dem Cataloge meist sehr schmal auftreten oder ganz fehlen. Nach dieser Figur findet die Drehung statt um jede der Normalen zu den vier oberen Flächen von (104) des centralen Individuum, dessen obere und untere Hälfte ausgebildet sind.

Es muss nun zunächst bemerkt werden, dass eine vollständige Verwachsung dieser Art ebensowohl durch das Naumann'sche, als durch das Haidinger'sche Gesetz erklärt werden kann, da in der oberen Hälfte des Fünflings die Zusammensetzungsflächen den entsprechenden Zwillingsebenen parallel, in der unteren Hälfte dazu senkrecht sind. Da jedoch die Verwachsungen niemals ringsum ausgebildet sind, so stellt die Figur dieselben nicht in ihrer wirklichen Erscheinung, sondern nur in theoretischer Vervollständigung dar; ihren wirklichen Habitus zeigt vielmehr Figur 40, welche zugleich die auf den Flächen beobachtete Art der Streifung wiederzugeben sucht.

An einem Krystall von dem in Rede stehenden Exemplare schien es deutlich, dass die drei Flächen $o o_1 o_2$ nicht vollkommen in eine Ebene fielen, wie es nach der Haidinger'schen Erklärung der Fall sein müsste, doch war es nicht möglich, den Winkel der Flächen genügend genau zu messen. Dagegen konnte der einspringende Winkel in der Zone cc_1 an der Grenze der beiden Individuen mit grosser Präcision gemessen werden, obgleich die betreffenden Flächen parallel ihrer gegenseitigen Schnittkante fein gestreift waren. Von diesen Flächen war durch Haidinger angenommen worden, dass sie der gewöhnlichen Form $z(204)$ angehörten, und da der Winkel zwischen einer Fläche dieser Pyramide und der anliegenden Fläche von (404) $48^\circ 34'$ beträgt, müsste der einspringende Winkel nach der Theorie Jenes $37^\circ 2'$ messen. Die vorgenommene Bestimmung ergab jedoch $20^\circ 9'$, und bei genauerer Untersuchung zeigte sich, dass die gemessenen Flächen nicht der Form (204), sondern der weniger häufigeren $h(302)$ angehörten, während $z(204)$ nur mit ganz schmalen Flächen im Inneren des einspringenden Winkels auftrat. Da der Winkel zwischen (302) und (404) $44^\circ 20\frac{1}{2}'$ beträgt, so müsste der einspringende Winkel dieser Form nach dem Haidinger'schen Gesetze $22^\circ 44'$, nach dem Naumann'schen Gesetze dagegen müsste er $20^\circ 59'$ sein, d. i. die Differenz der Neigungen von (302) und ihrer parallelen ($\bar{3}0\bar{2}$) zur Ebene (404). Der gemessene Winkel war somit $50'$ kleiner, als der nach Naumann's Gesetz berechnete, der letztere jedoch $4^\circ 42'$ kleiner, als der aus dem Haidinger'schen Gesetze sich ergebende.

Diese Differenz zwischen berechnetem und beobachtetem Winkel ist so beträchtlich, dass man entweder annehmen muss, die Verwachsung sei kein streng regelmässiger Zwilling, oder es finde hier eine Abweichung von den durch Haidinger bestimmten Fundamentalwinkeln statt. Da die ausserordentliche Genauigkeit der Haidinger'schen Messungen am Kupferkies sowohl in der Arbeit von Sadebeck und in dem Catalog der Strassburger Sammlung, als auch von Kokscharow (Bull. Soc. Pétersb. 1874, 19, 562) bestätigt worden ist, und da der oben erwähnte Krystall selbst ausser dem gemessenen einspringenden Winkel keinen anderen genau zu bestimmen gestattete, so erschien das Resultat so unbefriedigend, dass die ganze Untersuchung für einige Zeit auf die Seite gelegt wurde. Zwei Jahre später gelang es indess, einen anderen Krystall an demselben Handstücke zu finden, welcher so gute Reflexe gab, dass eine genaue Messung des Winkels zweier Pyramidenflächen desselben Krystalls ausgeführt werden konnte; diese lieferte den Werth $108^{\circ} 17\frac{1}{2}'$, d. i. $22\frac{1}{2}'$ abweichend von den früheren Bestimmungen. Eine weniger genaue Messung des Polkantenwinkels ergab im Mittel $69^{\circ} 59\frac{1}{4}'$ (Grenzwerthe $69^{\circ} 54\frac{3}{4}'$ und $70^{\circ} \frac{1}{2}'$); endlich wurde mit Hülfe des Oculars δ des von Websky verbesserten Fuessschen Goniometers der Winkel oo_1 (s. Fig. 10) = $2^{\circ} 3'$ gefunden, während dieser nach Haidinger Null und nach Naumann und Sadebeck $1^{\circ} 23\frac{1}{2}'$ hätte betragen müssen. Damit war die ganze Schwierigkeit gehoben, wie aus folgender Tabelle hervorgeht:

Nimmt man an: $004 : 104$ $*44^{\circ} 34\frac{1}{2}'$ $*44^{\circ} 22\frac{1}{2}'$

so ergibt sich

		berechnet:		beobachtet:
	$\omega_2 \omega'_2$	$108^{\circ} 40'$	$108^{\circ} 17\frac{1}{4}'$	$108^{\circ} 17\frac{1}{2}'$
	$o : \omega$	$70 \quad 7\frac{1}{2}$	$69 \quad 56$	$69 \quad 59\frac{1}{4}$
				$(69^{\circ} 54\frac{3}{4}' - 70^{\circ} \frac{1}{2}')$
oo_1	{ Naumann's Ges.	$1 \quad 23\frac{1}{2}$	$2 \quad 3$	$2^{\circ} \quad 3'$
	{ Haidinger's Ges.	$0 \quad 0$	$0 \quad 0$	
hh_1	{ Naumann's Ges.	$20 \quad 59$	$20 \quad 42\frac{3}{4}$	$20 \quad 9$
	{ Haidinger's Ges.	$22 \quad 44$	$22 \quad 42\frac{3}{4}$	

An einem dritten Krystall, welcher nicht so vollkommen ausgebildet war, aber doch gute Bilder gab, wurde gemessen $\omega_2 \omega'_2 = 108^{\circ} 18\frac{3}{4}'$.

Aus diesen Resultaten folgt unzweifelhaft:

- 1) Die Verwachsung ist eine regelmässige.
- 2) Das Parameterverhältniss ist abweichend von dem durch die früheren Beobachter gefundenen und entspricht sehr nahe den in der zweiten Columnne oben berechneten Winkeln.
- 3) Die Zwillingssebene ist eine Fläche der Form (104).
- 4) Die Zusammensetzungsfläche ist parallel und nicht senkrecht zur Zwillingssebene.

Auf den Vorschlag des Herrn Maskelyne wurde im Laboratorium unseres Museums eine sorgfältige Analyse des untersuchten Exemplars vorgenommen, um zu sehen, ob die gefundenen Winkelabweichungen mit einer Verschiedenheit der chemischen Zusammensetzung gegenüber dem gewöhnlichen Kupferkies im Zusammenhange ständen. Herr Walter Flight erhielt die folgenden Resultate:

	Gefunden :		Berechnet nach der
	I.	II.	Formel $CuFeS_2$:
Kupfer	25,78	30,66	34,45
Eisen	35,16	34,11	30,57
Schwefel	37,52	[35,23]	34,98
Arsen	Spuren	—	—
Quarz	0,28	—	—
	<hr/> 98,74	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Andere Metalle wurden nicht nachgewiesen, obgleich sorgfältig hierauf geprüft wurde.

Das untersuchte Material enthielt somit einen beträchtlichen Ueberschuss von FeS_2 verglichen mit normalem Kupferkies; die erste Analyse entspricht sehr nahe der Formel $CuFeS_2 + \frac{1}{2}FeS_2$, die zweite $CuFeS_2 + \frac{1}{4}FeS_2$. Da nun eine sorgfältige Prüfung des Stückes die Gegenwart kleiner eingeschlossener Krystalle von Pyrit (und Arsenkies) erkennen liess, so ist es möglich, dass auch in dem Material der zweiten Analyse, welches mit specieller Rücksicht auf seine approximative Homogenität ausgewählt worden war, der Ueberschuss an FeS_2 fast ganz durch mechanische Beimengung von Eisenkies hervorgebracht wird.

Seitdem die obigen Bestimmungen ausgeführt worden waren, erhielt unsere Sammlung ein ausgezeichnetes, ebenfalls von Freiberg stammendes Stück von wesentlich derselben Art wie das beschriebene, aber von verhältnissmässig colossalen Dimensionen, da die Seitenlänge der dreieckigen Fläche oo_1o_2 (und dies ist eine der kleinsten) hier 24 mm betrug. Zufolge der Abwesenheit einspringender Winkel glich die Verwachsung ausserordentlich einem regulären Oktaëder, dessen Ecken durch den Würfel abgestumpft waren; eine der Oktaëderflächen oo_1o_2 zeigte indessen sehr deutlich die Zusammensetzung aus drei Feldern.

Bei weiterem Nachsuchen in der Sammlung gelang es ein Stück (von den Pool mines bei Redruth) zu finden, welches den Parallelismus der Verwachsungs- und der Zwillingsenebene in der befriedigendsten Weise bestätigte. Die Kupferkieskrystalle sind hier auf Quarz aufgewachsen, der von ihnen theilweise umschlossen wird; sie sind in Folge dessen nicht ringsum ausgebildet, und es ist schwierig, mehr von der Zwillingsverwachsung zu studiren, als Figur 44 darstellt, welche, so weit als es geht, die wirkliche Erscheinung wiedergiebt, während die punktirten Linien den Krystall in

theoretischer Vollständigkeit bezeichnen. Die von ω und ω_2 reflectirten Bilder waren so vollkommen, dass die stärkste Vergrösserung (Ocular α) des Fuess'schen Instrumentes angewendet werden konnte; drei verschiedene Messungen bei fast senkrechter Incidenz gaben für den Winkel $\omega\omega_2$ die Werthe $1^\circ 23'$, $1^\circ 23\frac{1}{2}'$ und $1^\circ 23'$, während bei fast streifender Incidenz, wobei die Bilder breiter wurden, sich $1^\circ 23\frac{1}{2}'$ ergab. Die Flächen oo_2 waren nicht so vollkommen, doch konnten mit dem Ocular δ noch genügend gute Einstellungen gemacht werden, deren Resultate in zwei auf einander folgenden Beobachtungen $1^\circ 23'$ und $1^\circ 23\frac{1}{2}'$ waren. Zwei Messungen des Winkels oo_1 gaben $108^\circ 39\frac{1}{2}'$ und $108^\circ 39\frac{3}{4}'$. Die folgende Tabelle zeigt deutlicher die nahe Uebereinstimmung zwischen beobachteten und berechneten Winkeln:

		Beobachtete		Berechnet	
Winkel des einen Krystalls:		analog gelegene Winkel des anderen:		aus $001:101 = 44^\circ 34\frac{1}{2}'$:	
$o\omega$	$70^\circ 7\frac{1}{2}'$	$o_2\omega_2$	$70^\circ 7\frac{1}{2}'$	70°	$7\frac{1}{2}'$
ωe	$35^\circ 3\frac{1}{2}'$	$\omega_2 e_2$	$35^\circ 4'$	35°	$3\frac{1}{2}'$
$\omega o'$	$70^\circ 4\frac{3}{4}'$	$\omega_2 o'_2$	$70^\circ 42', 70^\circ 4\frac{1}{2}'$	70°	$7\frac{1}{2}'$
		$o'_2 e'_2$	$35^\circ 4'$	35°	$3\frac{1}{2}'$
oo'	$108^\circ 39\frac{1}{2}'$	$o_2 o'_2$	$108^\circ 37'$	108°	$40'$

Ferner:

$\omega\omega_2$	$1^\circ 23', 1^\circ 23\frac{1}{2}', 1^\circ 23', 1^\circ 23\frac{1}{2}'$	$1^\circ 23\frac{1}{2}'$
oo_2	$1^\circ 23', 1^\circ 23\frac{1}{2}'$	$1^\circ 23\frac{1}{2}'$

Die äusserst schmalen Flächen $e(101)$ und die ebenfalls sehr kleinen einer anderen Pyramide $g(203)$ wurden, obgleich am Krystall beobachtet, in der Zeichnung fortgelassen.

Eine von Herrn Dr. Flight ausgeführte chemische Untersuchung zeigte, dass die Krystalle dieses Handstückes sehr nahe der Formel $CuFeS_2$ entsprachen. Es wurde gefunden:

	Berechnet:	
Cu	34,37	34,45
Fe	30,03	30,57
S	34,92	34,98
Quarz	4,19	—
	<u>100,54</u>	<u>100,00</u>

Der Einfachheit wegen ist bisher eine wichtige Eigenschaft des Kupferkieses, seine Hemiëdrie, soviel als möglich unberücksichtigt gelassen worden. Bekanntlich muss aber die Pyramide (111) dieses Minerals als aus zwei Spheuoëdern bestehend angesehen werden, deren eines o , gewöhnlich als positives bezeichnet, rauhe, gestreifte und häufig mit einer Eisenoxyd-

schicht bedeckte Flächen besitzt, während diejenigen des zweiten ω , des negativen, glatt, glänzend, frei von jener Bedeckung und im Allgemeinen kleiner als die ersteren sind. Hieraus folgt, dass die früher mit den Buchstaben $abcd$ bezeichnete Flächengruppe in physikalischer Beziehung verschieden von der durch die griechischen Buchstaben $\alpha\beta\gamma\delta$ markierten ist; in einer Verwachsung, wie sie Figur 7 darstellt, wo eine einfache Drehung von 180° des einen Krystalls aus der mit dem anderen identischen Orientierung zu Grunde gelegt ist, und in Folge dessen anliegende Flächen der beiden Individuen abwechselnd lateinische und griechische Buchstaben-signatur haben, kann daher die Verwachsungsebene wohl eine Ebene geometrischer, aber nicht physikalischer Symmetrie sein. Da indessen die zusammengehörigen Sphenoëder, ebenso wie die aus derselben ditetragonalen Pyramide hergeleiteten Skalenoëder nicht nur in ihrer charakteristischen Oberflächenbeschaffenheit, sondern auch in ihrem Auftreten am Krystall unabhängig von einander sind, so ist selbst die geometrische Symmetrie keine nothwendige Eigenschaft der in der Figur dargestellten Zwillingsverwachsung.

Nun hat aber Sadebeck nachgewiesen, dass an den betreffenden Zwillingen des Kupferkieses die Zusammensetzungsfläche nicht nur in geometrischer, sondern auch in physikalischer Beziehung Symmetrieebene ist, dass also die regelmässige Verwachsung zu derjenigen Klasse gehört, welche Groth »symmetrische Zwillinge« nennt; es gehören nämlich diejenigen Pyramidenflächen beider Individuen, welche einander genau oder nahezu parallel sind, nicht die eine dem positiven, die andere dem negativen Sphenoëder, sondern entweder beide dem einen oder beide dem anderen an. Um daher von der parallelen Stellung beider Krystalle ausgehend zu einem solchen Zwilling zu gelangen, muss man ausser der Drehung von 180° um die Normale zu (011) eine weitere Drehung des einen der beiden Individuen ausführen, und zwar entweder eine solche von 180° um die Normale zu einer der Flächen des Prisma (110) oder eine Drehung von 90° um die Hauptaxe. Allerdings könnte diese doppelte Drehung auch ersetzt werden durch eine einzige um die Normale zu einer Fläche der Pyramide (111), aber alsdann müsste der Winkel der Drehung nicht, wie bei den anderen Zwillingen, 180° , sondern $149^\circ 34'$ betragen. Es müsste also, wenn Sadebeck's Angabe wirklich begründet ist, die Verwachsung als eine bisher in ihrer Art einzige betrachtet werden, da bis jetzt wohl noch keine Zwillingsbildung aufgefunden worden ist, bei welcher, von paralleler Stellung ausgehend, zur Erreichung der gegenseitigen Orientierung beider Krystalle, eine doppelte Drehung absolut nothwendig wäre. Nun existiren allerdings Zwillinge tetartoëdrischer Krystalle, wie die des Natriumchlorates, und gewisse regelmässige Verwachsungen des Quarzes (von Groth beschrieben), welche eine Analogie mit unserem Falle zeigen,

aber diese können mehr oder weniger befriedigend dargestellt werden entweder durch eine Parallelverwachsung rechter und linker Individuen oder durch einfache Drehung des einen von ihnen um 180° ; ihre Orientirung steht überdies in einfachster Beziehung zu den krystallographischen Axen.

Da es indessen Sadebeck nicht möglich gewesen ist, sich durch einfache Betrachtung der Exemplare davon zu überzeugen, dass gewisse Flächen, welche Haidinger als parallel annahm, gegen einander unter einem Winkel von $1^\circ 23\frac{1}{2}'$ geneigt sind, so wäre auch ein Zweifel daran möglich, ob seine Exemplare überhaupt gut genug krystallisirt gewesen seien, um mit absoluter Sicherheit die Unterscheidung der beiden Spheuoöder zu gestatten; und da das in Rede stehende Gesetz wegen seiner ausserordentlichen Seltenheit und Einfachheit ebenso merkwürdig, wie in seiner Beziehung zu der in letzter Zeit so viel discutirten allgemeinen Frage der Zwillingsgesetze wichtig, so schien es wünschenswerth, dasselbe, wenn möglich, über jeden Zweifel zu erheben.

Die Richtigkeit der Sadebeck'schen Angabe über die Anordnung der beiden Spheuoöder wurde nun in der That durch die Exemplare unserer Sammlung auf das Vollständigste bestätigt. Das Freiburger Handstück (Figur 10) zeigt nicht nur, dass die Individuen symmetrisch sind in Bezug auf die Verwachsungsebene, sondern auch, dass die Unterschiede zwischen den beiden Spheuoedern jedes Krystalls zu deutlich sind, um die Annahme zu gestatten, dass die Symmetrie ihrer physikalischen Beschaffenheit an dem Zwilling etwas Zufälliges sei. Das Exemplar von Pool Mines ist sogar noch mehr beweisend, da die Flächen $\omega\omega_2$, welche so ausgezeichnete Bilder geben, eben und glänzend und im Ansehen auffallend verschieden von den beiden matten und gestreiften Flächen oo_2 sind (Figur 11). Ein weiteres Beispiel bot ein Stück von Cornwall (wahrscheinlich von der Trevannance mine, St. Agnes), in Figur 12 dargestellt, welches die Symmetrie in Bezug auf die Verwachsungsebene und die ausserordentliche Verschiedenheit der glänzenden und der stark gestreiften Spheuoöderflächen in überzeugendster Weise zeigt. Der Winkel zwischen den Streifen ist so scharf ausgebildet, dass er mit dem Mikroskop recht genau gemessen werden konnte; er ergab sich zu $120\frac{3}{4}^\circ$, während derselbe nach dem Naumann'schen Gesetz berechnet $120^\circ 28'$, nach dem Haidinger'schen $119^\circ 32'$ betragen würde.

Schliesslich soll noch ein in Figur 8 dargestelltes Exemplar, jetzt dem Museum angehörig und 1825 durch Haidinger selbst in seiner Abhandlung über die regelmässigen Verwachsungen der Krystalle abgebildet, hier besprochen werden. Dasselbe zeigt als vorherrschende Form jedes Individuums ein Skalenoöder und dieses ist symmetrisch gestellt in Bezug auf die Verwachsungsebenen. Trotz der Regelmässigkeit der Ausbildung sind

die Flächen s so getreift und gerundet, dass es unmöglich ist, ihnen ein bestimmtes Symbol zuzuschreiben; sie liegen jedoch in der durch die Indices $[44\bar{2}]$ bestimmten Zone und entsprechen nahezu dem Zeichen (342) .

Nach Obigem ist es unzweifelhaft, dass es sich hier um eine Zwillingungsverwachsung handelt, welche durch einfache Drehung um 480° , von der parallelen Stellung der Individuen ausgehend, nicht dargestellt werden kann, zu deren Erklärung vielmehr noch eine zweite Drehung erforderlich ist. Die einfachste Art der Definition ist jedoch diejenige, welche die beiden Individuen als symmetrisch in Bezug auf eine Ebene betrachtet.

British Museum, September 1882.

Erklärung der Tafel VI.

Um die Verschiedenheit des Zwillingsgesetzes nach Haidinger und nach Naumann besser hervortreten zu lassen, sind die Figuren 1—7 unter Zugrundelegung eines Fundamentalwinkels von $42\frac{1}{2}^\circ$, anstatt $44^\circ 34\frac{1}{2}'$, construiert.

Figur 1. Stereographische Projection der Pole von (441) in normaler und in Zwillingstellung, gedreht um $T\bar{T}$, die Normale zu $(04\bar{1})$.

Figur 2. Die Pyramide $abcd\alpha\beta\gamma\delta = (441)$.

Figur 3. Die der vorigen parallele Pyramide $a_1b_1c_1d_1\alpha_1\beta_1\gamma_1\delta_1 = (441)$.

Figur 4. Dieselbe, 480° um $T\bar{T}$ (Normale zu $04\bar{1}$) gedreht.

Figur 5. Zwilling von (441) nach Haidinger's Gesetz.

Figur 6. Derselbe, von der Rückseite gesehen.

Figur 7. Zwilling von (441) nach Naumann's Gesetz.

Figur 8. Zwillingungsverwachsung des Skalenoëders s (Haidinger, Edinb. Journ. of Sc. 1825).

Figur 9. Zwilling der Combination $(441)(004)(404)(204)$ (Haidinger, ebenda).

Figur 10. Zwilling, dem vorigen ähnlich.

Figur 11. Zwillingsskrystall von Pool mines bei Redruth.

Figur 12. Zwillingsskrystall, wahrscheinlich von der Trevaunance mine, St. Agnes.