Spinellgesetz beim Pyrit und über Rangordnung der Zwillingsgesetze.

Von

V. Goldschmidt (Heidelberg) und **W. Nicol** (Kingston).

Mit Taf. XVI, XVII und 2 Textfiguren.

Im vorigen Jahre (1903) entdeckte W. Nicol unter einer grossen Zahl oktaëdrischer Pyritkryställchen von French Creek (Pennsylvanien) zwei prächtige Zwillinge nach dem Spinellgesetz. Eine Durchmessung am zweikreisigen Goniometer ergab die volle Übereinstimmung zwischen Messung und Rechnung. Es blieb darnach kein Zweifel darüber, dass in der That das Spinellgesetz vorliegt, nicht zufällige, unregelmässige Verwachsung. Spätere sorgfältige Durchmusterung des Materials liess noch zehn weitere solche zierliche Zwillinge auffinden.

In einer Notiz im American Journal of Science[1] wurde eine kurze Mittheilung darüber publicirt, doch erscheint es wichtig, auf die Sache näher einzugehen.

Die Entdeckung des Spinellgesetzes am Pyrit ist von besonderem Interesse aus mehrfachem Grund. Zunächst ist es merkwürdig, dass dies im regulären System wichtigste Gesetz beim Pyrit nicht bekannt war, trotz seiner leichten Erkennbarkeit, trotz der ausserordentlichen Häufigkeit der Krystallart und trotz der grossen Zahl zuverlässiger Beobachter, die sich mit den Pyritformen eingehend beschäftigt haben. Es ist vielleicht nicht zu viel gesagt, wenn man annimmt, jeder Krystallograph habe auch einmal Pyrit gemessen.

---

[1] W. Nicol, Amer. Journ. 1904. **17**. 93.

Wenn nun trotzdem dies Gesetz beim Pyrit bisher nicht gefunden wurde, so erscheint es als eine grosse Seltenheit und sein sicherer Nachweis ist wichtig, ebenso die Aufsuchung der Gründe für diese auffallende Thatsache.

C. Hintze schreibt darüber in seinem vortrefflichen Handbuch der Mineralogie 1900. 1. 717. Fussnote 3:

„Gelegentliche Angaben über Zwillingsbildung nach (111) sind wohl nur durch zufällige, nicht gesetzmässige Durchwachsung von Würfeln (ähnlich den Fluorit-Zwillingen) veranlasst; eine exacte Bestimmung solcher Zwillinge liegt nicht vor. Dagegen kommen (selten) Zwillinge nach (111) beim Glanzkobalt, Speiskobalt und Ullmannit vor.“

Es entsteht nun die Frage: Warum fehlen Spinellzwillinge gerade beim Pyrit? Hängt das etwa zusammen mit dem Wesen der pentagonalen Hemiëdrie?

Wir bemerken ferner, dass unsere Pyritzwillinge unter lauter Oktaëdern erscheinen, und dass sie selbst Oktaëder sind. Es entsteht daher die weitere Frage: Ist hier ein genetischer Zusammenhang? Ist der oktaëdrische Habitus dem Spinellgesetz günstig, entspringen etwa beide der gleichen Ursache? Auf beide Fragen wollen wir hier etwas näher eingehen.

Beschreibung der Einzelkrystalle. Die Einzelkrystalle sind Oktaëder, scharfkantig glänzend, hier und da mit einer minimalen Würfelfläche. Sie liegen, ebenso wie die Zwillinge, rundum ausgebildet oder in kleinen Gruppen in einer weichen feinfaserigen Masse, die wesentlich aus Byssolith besteht, aus dem sie leicht unverletzt herausbröckeln. In Begleitung des Pyrit finden sich grosse Spaltstücke von Calcit, die reichlich Viellingsstreifung zeigen. Daneben eigenthümlich flache Partien von Magnetit, mit denen die Pyritkryställchen öfters verwachsen sind. Die Pyritkryställchen sind meist einzeln, öfters zu je zweien unregelmässig verwachsen; in letzterem Fall fast immer ein grösserer und ein kleinerer Krystall zusammen. Manchmal sitzen die Pyrite rundum ausgebildet mitten im durchsichtigen Calcit.

Die Oktaëderflächen sind nicht eben. Sie zeigen vielmehr regelmässige flache Erhöhungen (Taf. XVI Fig. 1), herrührend von einem aufgesetzten Triakisoktaëder von der ungefähren Position $\frac{9}{10}$ 1 = (9 . 10 . 10). Dies zieht sich mit Unter-

brechungen über die ganze Oktaëderfläche hin. Im Reflex mit Punktsignal und Verkleinerung zeigt sich an Stelle des Oktaëderpunktes ein reizendes Lichtkränzchen von der Form eines gleichseitigen Dreiecks (Taf. XVI Fig. 2).

Trotz der regelmässigen Wiederkehr dürfte die Form $\frac{9}{10}$ 1 doch nicht als typisch, sondern als accessorisch, vicinal zum Oktaëder, anzusehen sein. Auch sind die Neigungen nicht ganz constant.

Die Messung ergab an zwei Krystallen folgende Resultate:

Symbol pq	Gemessen Krystall 1		Gemessen Krystall 2		Berechnet	
	φ	ϱ	φ	ϱ	φ	ϱ
$\frac{9}{10}$ 1	42° 27′	53° 24′	42° 53′	53° 44′	41° 59′	53° 22′
$\frac{10}{9}$	45 29	57 19	45 10	56 49	45 00	57 31
1 $\frac{9}{10}$	48 17	53 24	47 25	53 44	48 01	53 22
1 $\frac{\bar{9}}{10}$	131 33	53 10	131 47	53 34	131 59	53 22
$\frac{10}{9}$ $\frac{\bar{10}}{9}$	134 40	57 14	134 39	57 11	135 00	57 31
$\frac{9}{10}$ $\bar{1}$	137 42	53 44	138 30	53 34	138 01	53 22
$\frac{\bar{9}}{10}$ $\bar{1}$	$\bar{1}$37 44	53 41	$\bar{1}$38 57	52 44	$\bar{1}$38 01	53 22
$\frac{\bar{10}}{9}$	$\bar{1}$34 54	57 10	$\bar{1}$34 43	57 07	$\bar{1}$35 00	57 31
$\bar{1}$ $\frac{\bar{9}}{10}$	$\bar{1}$32 26	53 34	$\bar{1}$30 29	52 44	$\bar{1}$31 59	53 22
$\bar{1}$ $\frac{9}{10}$	$\bar{4}$8 32	53 06	$\bar{4}$8 03	53 13	$\bar{4}$8 01	53 22
$\frac{\bar{10}}{9}$ $\frac{10}{9}$	$\bar{4}$5 11	57 57	$\bar{4}$5 33	56 51	$\bar{4}$5 00	57 31
$\frac{\bar{9}}{10}$ 1	$\bar{4}$0 42	53 00	$\bar{4}$2 08	53 13	$\bar{4}$1 59	53 22

Die Grösse der Einzelkrystalle geht von mikroskopischer Kleinheit bis auf 2 mm im Durchmesser.

Beschreibung der Zwillinge. Dieselben haben das charakteristische Aussehen der Spinellzwillinge. Ausbildung der beiden zum Pärchen vereinigten Individuen im Gleichgewicht, einspringende Winkel und Abplattung in der Richtung der Zwillingsaxe. Die Zwillinge zeigen nicht reine Juxtaposition, sondern Durchdringung resp. Durchkreuzung, wie in Taf. XVI Fig. 3 und 4 möglichst getreu nach der Natur dargestellt. Durch die Abplattung unterscheiden sich die Zwillinge auffallend von den Einzelkrystallen und von den unregelmässigen Verwachsungen.

Die Grösse der Zwillinge übertrifft nicht die der Einzelkryställchen. Es fand sich vielmehr eines der Pärchen mit einem etwas grösseren Einzelkrystall unregelmässig verwachsen (Taf. XVI Fig. 5). Es verlohnt sich, diesen Umstand hervorzuheben, weil bei anderen Krystallarten Fälle beobachtet werden, wo die Zwillinge die mit ihnen auftretenden Einzelkrystalle an Grösse regelmässig übertreffen.

Die Grösse der Zwillinge beträgt 1—2 mm.

Die Individuen des Zwillings zeigen die gleiche Flächenausbildung wie die Einzelkrystalle und sind darnach als gleichzeitige Bildungen mit diesen anzusehen, wofür auch die ganze Art des Vorkommens spricht. Die Flächen, auch die schmalen an der Zwillingsgrenze, sind bedeckt mit den Facetten des oben genannten vicinalen Triakisoktaëders. Eine Störung dieser Ausbildung an der Zwillingsgrenze war nicht zu bemerken.

Taf. XVI Fig. 5 zeigt die Verwachsung des Spinellzwillings mit dem einfachen Oktaëder in richtiger gegenseitiger Orientirung und möglichst der natürlichen Ausbildung entsprechenden Dimensionen. Die genaue gegenseitige Orientirung lässt sich dadurch fixiren, dass man bei zweikreisiger Messung die ganze Gruppe wie einen einheitlichen Krystalls misst, ins Projectionsbild bringt und zeichnet.

Bei der graphischen Discussion der Messung zeigte es sich, dass die Verwachsung des Einzelkrystalls mit dem Zwilling keine ganz unregelmässige ist. Es fällt eine Fläche (p_1') des Oktaëders der Richtung nach zusammen mit einer Würfelfläche (*c* der Figur) des einen Zwillingsindividuums und zugleich mit einer Fläche $u = \frac{1}{2}\,1$ des anderen Individuums, die freilich beide nicht ausgebildet sind. c und u sind, wie wir weiter unten sehen werden, wichtige Deckflächen beim Spinellgesetz und es ist daher sehr wahrscheinlich, dass hier eine Gesetzmässigkeit der Verknüpfung vorliegt. Eine solche Art der Verwachsung wurde in der Zeitschr. f. Kryst. 1898. 29. 382. als einaxiges (einflächiges) Einrichten bezeichnet. Leider war diese Gruppe die einzige Verwachsung von Oktaëder und Zwilling und konnte deshalb nicht geprüft werden, ob die Erscheinung sich wiederholt.

Die **Ursache der Seltenheit des Spinellgesetzes beim Pyrit** suchen wir in der Eigenthümlichkeit des Formensystems des Pyrit, das eine Function der Partikelkräfte ist, in der pentagonalen Hemiëdrie, in Ort und Rangordnung der Hauptflächen (Hauptknoten) und Hauptzonen.

Zwillingsgesetze beim Pyrit kennen wir zwei:

I. Zwillingsebene Dodekaëder d = 01 (011) } Drehung 180°.
II. „ Oktaëder p = 1 (111) }

Von diesen ist I sehr gewöhnlich, II dagegen so selten, dass es bisher nicht nachgewiesen wurde, trotzdem man nach ihm suchte und es manchmal zu finden glaubte.

Unsere Frage können wir auf Grund obiger Bezeichnung der Zwillingsgesetze so aussprechen: Warum hat d den Vorzug vor p als Zwillingsebene?

Es fragt sich zunächst: Ist die Frage richtig gestellt, oder ist sie anders zu formuliren?

Wir haben hierzu für den Pyrit aus der Erfahrung eine **Rangordnung der Zwillingsgesetze** festzustellen. Das ist leicht geschehen. Gewiss ist das Gesetz I häufiger und wichtiger als das Gesetz II; es hat den höheren Rang. Wir möchten wissen: warum.

Es wurde an anderer Stelle zu zeigen gesucht[1]:

1. Dass die Verknüpfung zum Zwilling stattfindet nach den Hauptflächen (Hauptknoten), so zwar, dass das Auftreten einer Fläche als Verknüpfungsfläche ein Kriterium ist für deren Rang im Formensystem der Krystallart.

2. Dass die Verknüpfung stattfindet durch Parallelrichten (Einrichten) einer Vorzugsrichtung (Hauptknoten) und ferneres Einrichten möglichst vieler und möglichst starker Flächennormalen (Knoten), sowie möglichst vieler und möglichst starker Zonen (Kraftebenen) in beiden Individuen.

Ist nun im Formensystem des Pyrit das Dodekaëder d = 01 wichtiger als das Oktaëder p = 1? Das ist gewiss nicht der Fall. Die Hauptformen des Pyrit sind in absteigender Rangordnung:

$$c = 0\ ;\quad p = 1;\quad e = 0\tfrac{1}{2}.$$

Dann folgen:

$$d = 01;\quad q = \tfrac{1}{2};\quad u = \tfrac{1}{2}\,1;\quad x = \tfrac{1}{3}\,\tfrac{2}{3};\quad \psi = \tfrac{1}{4}\,\tfrac{1}{2}.$$

[1] Zeitschr. f. Kryst. 1900. 33. 468; dies. Jahrb. 1902. Beil.-Bd. XV. p. 588.

d steht im Rang gegen p zurück und doch sind Zwillinge nach d so häufig, solche nach p so selten. Wie erklärt sich der Widerspruch?

Lösung des Widerspruches. Wir unterscheiden beim Studium der Zwillinge, wie der Krystallformen überhaupt zwei Arten der Behandlung:

1. eine formelle,
2. „ genetische.

Jede von beiden hat ihre Vorzüge und ihr Verwendungsgebiet.

Formell suchen wir die **Zwillingsebene,** d. h. die krystallonomisch mögliche Fläche (oder Zonenebene), die beiden Individuen des Zwillings gemeinsam ist und die die Eigenschaft hat, dass Individuum I durch Drehung um 180° um die Normale dieser Ebene mit Individuum II gleich gerichtet wird.

Es wurde gezeigt, dass es praktisch ist für Beschreibung der Zwillinge und Benennung der Zwillingsgesetze, diese formelle Behandlung festzuhalten.

Genetisch suchen wir die **Verknüpfungsebene**, die Richtung der verknüpfenden Kraft (senkrecht zu einer Hauptfläche, Hauptknoten), besser gesagt, die durch Parallelrichtung verknüpfenden Kräfte, die Knoten der Verknüpfung. Es giebt deren beim Zwilling nicht einen, sondern viele. Wir greifen zur Bezeichnung nur einen, den wichtigsten heraus oder nennen auch wohl mehrere, indem wir die Aufsuchung der übrigen und ihrer Beziehungen dem Studium im Einzelnen überlassen.

Ferner suchen wir genetisch die **Zonen der Verknüpfung,** die Kraftebenen (Ebenen der Flächennormalen), durch deren Einrichten (Parallelstellen) sich die Verknüpfung der Individuen zum Zwilling vollzieht.

Genetisch ist es nicht nöthig, dass Individuum I in Stellung II übergeführt werden kann durch Drehung um 180°.

Unsere Frage nach dem „Warum“ ist eine genetische. Es fragt sich also, was ist bei unseren Zwillingen genetisch das Verknüpfende? das ist bei Gesetz I nicht das Dodekaëder d = 01, sondern der Würfel c = 0. Drehung ist dann nicht 180°, sondern 90°. Bei Gesetz II ist das Verknüpfende das Oktaëder p = 1. Drehung 180° oder 60°. Wir be-

zeichnen daher Gesetz I als Würfelgesetz, Gesetz II als Oktaëdergesetz (Spinellgesetz).

Festigkeit, Wahrscheinlichkeit und Häufigkeit der Verknüpfung. Die Festigkeit der Verknüpfung zweier Partikel ist um so grösser, je mehr und je stärkere Partikelkräfte parallel gestellt (eingerichtet) sind und diejenige Anordnung der Partikel im festen Körper ist die wahrscheinlichste und daher die häufigste, bei der die stärkste Verknüpfung stattfindet. Die stärkste Verknüpfung ist daher die **parallele Verwachsung** beider Partikel. Dies hat zwei wichtige Folgen:

1. dass sich Krystalle überhaupt bilden, d. h. dass die Theilchen beim Festsetzen sich parallel richten, wenn nicht eine Störung zu anderer Anordnung zwingt;

2. dass Partikel fester Körper sich in Parallelstellung umlagern, d. h. eine krystalline Structur annehmen, wenn häufige Erschütterungen oder Erwärmung die Umlagerung begünstigen.

Eine **regelmässige Verwachsung** ist um so wahrscheinlicher und daher um so häufiger, wir wollen sagen: im Rang um so höher, je mehr und je stärkere Partikelkräfte gleich gerichtet sind. Als Richtungen der Partikelkräfte betrachten wir die Flächen-Normalen. Fallen zwei Partikelkräfte in den verbundenen Individuen I und II zusammen, so decken sich die entsprechenden Flächen resp. deren Projectionspunkte. Wir wollen von regelmässigen Verwachsungen hier nur Zwillingsbildung betrachten.

Bestimmung der Rangordnung der Verwachsungsarten. Obiges giebt uns eine Methode zur Bestimmung der Rangordnung der verschiedenen bei einer Krystallart beobachteten Verwachsungsarten.

Verfahren zur Bestimmung der Rangordnung zweier Zwillingsgesetze. Es seien für eine Krystallart, z. B. Pyrit, zwei Individuen I und II zum Zwilling verwachsen, und zwar nach zwei Gesetzen A und B, und man will beurtheilen, welches von beiden das wahrscheinlichere, wichtigere ist, so verfährt man folgendermaassen:

1. Man macht ein gnomonisches Punktbild der beobachteten Formen der Krystallart in Stellung I.

2. In das gleiche Bild trägt man die gleichen Punkte für den Krystall in Stellung II; zunächst nach dem ersten Gesetz A.

3. Man sieht zu, welche Punkte und Zonen im gemeinsamen Bild (Zwillingsbild) sich decken.

4. Man macht das Gleiche für das zweite Gesetz B und vergleicht nun, ob im Zwillingsbild A sich mehr oder weniger wichtige Punkte und Zonen decken als in B. Decken sich in A mehr und wichtigere Punkte und Zonen als in B, so ist A das wichtigere, im Rang höhere Zwillingsgesetz.

Bemerkungen. Zu diesem Verfahren ist im Einzelnen Manches zu bemerken.

Ad 1. Ist die Krytallart sehr formenreich, z. B. Calcit, Pyrit, Quarz, so genügt das Einzeichnen der wichtigsten Punkte und der wichtigsten Zonen. Hierbei kann man die publicirten Gesammtbilder solcher Krystallarten zu Hilfe nehmen [1]. Sind nicht gar zu viele Formen der Art bekannt, so ist es am besten, alle Punkte ins Bild zu tragen.

Zonenlinien sind auch da einzutragen, wo sie nicht differencirt, sondern durch Krümmungen ersetzt sind. Gerade solche Zonen, solche Reflexzüge sind genetisch wichtig. Sie zeigen die Ebenen der Kraftwirkung.

Auftragen der Punkte geschieht in der für gnomonische Projection üblichen Weise. An die Stelle der gnomonischen Projection kann unter Umständen die stereographische treten.

Unterscheidung der Punkte von Krystall I und II geschieht am besten durch Farben. Man umgiebt den Punkt mit einem Ringel und füllt dies bei Krystall I z. B. roth aus, bei II blau oder grün. Beim Vielling giebt man jedem Individuum eine andere Farbe [2]. Den Hauptpunkten giebt man etwas grössere Ringel, so dass sie dicker erscheinen. Fallen Punkte von I und II zusammen, so giebt man ihnen zwei concentrische Ringel. Wir wollen sie **Deckpunkte** nennen. Ebenso könnte man Zonen, die sich im Zwilling decken, **Deckzonen** nennen. Zonenlinien soll man nicht viele und nicht zu stark ausziehen, da sie sonst das Bild verwirren. Die Anordnung der Punkte in Reihen charakterisirt genügend den

---

[1] z. B. Goldschmidt, Kryst. Projectionsbilder. Berlin 1887, bei Springer.

[2] Beispiel vergl. dies. Jahrb. 1902. Beil.-Bd. XV. Taf. XV—XVII.

Verlauf der Zonen. Solche Deckzonen, in denen sich alle Punkte von I und II decken, wollen wir **absolute Deckzonen** nennen.

Die **Wahl der Projectionsebene** richtet sich nach dem Zwillingsgesetz. In der Regel ist die Verknüpfungsebene als Projectionsebene zu wählen. Ihr Projectionspunkt ist dann der Mittelpunkt des Bildes (Pol). Bei solcher Wahl hat das Bild den Vorzug leichtester Ausführung und grösster Übersichtlichkeit. Bild II ist dann = Bild I nur um einen Winkel um den Pol gedreht.

Beispiel 1. Pyrit Würfel-Gesetz. Verknüpfungsebene = Projectionsebene die Würfelfläche $c = 0$, Drehung von II gegen I = 90°.

Beispiel 2. Spinell-Gesetz. Projectionsebene = Verknüpfungsebene die Oktaëderfläche $p = 1$, Drehung von II gegen I = 60°.

Beispiel 3. Cerussit Hauptgesetz[2]. Zwillingsebene $m = \infty$; Verknüpfungsebene = Projectionsebene $c = 0$, Drehung = 62° 46′.

Cerussit 2. Gesetz. Zwillingsebene $r = \infty 3$; Verknüpfungsebene = Projectionsebene $c = 0$, Drehung = 57° 18′.

Hierzu ist öfters **Umformung der Symbole bei nicht normaler Projection** nöthig. Dies geschieht nach den Regeln der Vertauschung der Axen[1], auch vergleiche man hierüber die Untersuchungen über Projection auf eine andere als die normale Ebene[2]. Besonders wichtig ist die Projection der regulären Formen auf die Oktaëderfläche[3]. Hierbei ist die Art der Hemiëdrie zu beachten, die ebenfalls in den genannten Abhandlungen discutirt ist.

Pyritzwilling nach dem Würfel. Zwei Individuen I und II seien zum Zwilling verwachsen. Wir tragen die Hauptformen des Pyrit in die normale gnomonische Projectionsebene, die Würfelfläche, und zwar folgende Formen:

$c = 0\,(001)$; $p = 1\,(111)$; $e = +0\,\frac{1}{2}\,(012)$; $d = 0\,1\,(011)$
$q = \frac{1}{2}\,(112)$; $u = \frac{1}{2}\,1\,(122)$; $x = +\frac{1}{3}\,\frac{2}{3}\,(123)$; $\psi = \frac{1}{4}\,\frac{1}{2}\,(124)$

Diese Formen genügen zur Charakterisirung des Formensystems des Pyrit in den Hauptzügen und für die vorliegenden Schlüsse über Rangordnung der Zwillingsgesetze. Ein Ge-

---

[1] Goldschmidt, Winkeltabellen. 1897. p. 7.

[2] Zeitschr. f. Kryst. 1889. **17**. 191; 1891. **19**. 35.

[3] Ebenda p. 36 und 52. Dort sind die Symbole der Hauptflächen in oktaëdrische Symbole umgerechnet.

sammtbild der beobachteten Pyritformen wurde 1887 publicirt [1]. Ein solches Gesammtbild des Pyrit leidet an einiger Unklarheit, indem die ±-Formen nicht immer geschieden sind. Im Zweifel wurde von den Autoren stets dem Zeichen + der Vorzug gegeben.

Die —-Felder der pentagonalen Hemiëdrie sind durch einen röthlichen Farbenton von den +-Feldern geschieden. Die Punkte für Individuum I sind roth eingetragen, die von II schwarz. Die Punkte von II ergeben sich aus denen von I durch Drehung des Bildes um 90°. Dadurch fallen alle +-Punkte von II in die —-Felder von I, d. h. in die rothen Felder und umgekehrt. Die ±-Grenzpunkte fallen bei der Drehung zusammen und bilden Deckpunkte.

Zusammenfallen von Punkten und Zonen im Zwillingsbild. Eine Betrachtung des Zwillingsbildes Taf. XVI Fig. 6 zeigt unmittelbar, dass von den wichtigsten Formen alle Punkte zusammenfallen, nämlich

alle: c p d q u

Ausserdem fallen alle Hauptzonen zusammen, so besonders die Axen und Prismenzonen = c d c, die Diagonalzonen und Parallelzonen 1 = c p d. Die Parallelzone 2 = c q e·q c fällt mit der schwächeren, immerhin wichtigen c q e· q c zusammen. Mit ihr gleichwerthig ist die Parallelzone $\frac{1}{2}$ und die Diagonalzone [0 : ∞2].

e = + $0\frac{1}{2}$ fällt in Zwillingstellung zusammen mit e· = — $0\frac{1}{2}$. Letztere Form ist für Pyrit entfernt nicht so wichtig als + $0\frac{1}{2}$. Immerhin ist sie nicht selten.

Die Zahl der Doppelpunkte und Doppelzonen ist sehr gross. Sie steht nicht weit zurück hinter der bei Parallelverwachsung, wenn man nur die Hauptpunkte und Hauptzonen betrachtet. Das ist die Ursache der Häufigkeit dieses Zwillingsgesetzes.

Zwillingsbild nach dem Spinellgesetz. Die Verknüpfung wird am verständlichsten bei Projection auf die Zwillingsebene p = 1, die zugleich Verknüpfungsebene ist. Die Herstellung solcher Projectionsbilder geschieht leicht mit Hilfe des hexagonalen Netzes in der in Zeitschr. f. Kryst. 1891.

---

[1] Goldschmidt, Kryst. Projectionsbilder. Berlin 1887. Taf. 1, 2 und 7.

19. 36 angegebenen Weise. Projectionsbild und Symbole nehmen dabei rhomboëdrischen Charakter an.

Geht man von den dreizifferigen Symbolen aus $p\,q = p\,q\,1 = h\,k\,l$, die den rhomboëdrischen MILLER-Symbolen entsprechen, so erhält man die hexagonalen Projectionssymbole nach der Rechnungsvorschrift:

$$p\,q\,(O_1) \doteqdot \frac{h-k}{h+k+l};\ \frac{k-l}{h+k+l}; \qquad \text{Element: } p_0 = \sqrt{2}.$$

Aus diesen findet man die hexagonalen Symbole der zweiten Aufstellung O_2 nach der Vorschrift:

$$p\,q\,(O_2) \doteqdot p+2\,q;\ p-q\,(O_1); \qquad \text{Element: } p_0 = \sqrt{\tfrac{2}{3}}.$$

Die Symbole O_2 entsprechen besser als die O_1 den Verhältnissen der rhomboëdrischen und ebenso der regulären Krystalle. Wir wollen sie für die oben genannten Hauptformen des Pyrit anschreiben.

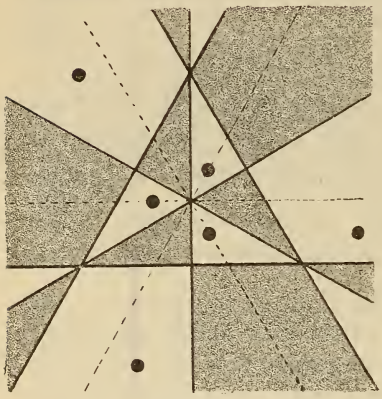
Buchstaben	GDT.	MILLER	O_2			
c	0	001	1			
p	1	111	0	-2		
d	01	011	$-\frac{1}{2}$	$\infty\,0$		
e	20	201	01	$+14$		
q	21	211	$+\frac{1}{4}$	$-\frac{1}{2}\,2$	∞	
u	2	221	$-\frac{1}{5}$	-1	-25	
x	23	231	$0\,\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}\,\frac{5}{4}$	$-\frac{1}{2}\,\frac{7}{2}$	$\infty\,2$
ψ	24	241	$+\frac{1}{7}\,\frac{4}{7}$	$-\frac{1}{5}\,\frac{7}{5}$	03	$+47$

Für die pentagonale Hemiëdrie ist die entsprechende Feldertheilung zu beachten, wie sie in der Zeitschr. f. Kryst. 1891. **19**. 41. Fig. 14 angegeben ist. Textfig. 1 (p. 104) zeigt diese Feldertheilung. In den dunklen Feldern sitzen die —-Formen, in den weissen die +-Formen der pentagonalen Hemiëdrie, d. h. es sind die Punkte der +-Formen der pentagonalen Hemiëdrie nur in die weissen Felder einzutragen, die —-Formen nur in die dunklen. Zugleich theilt sich das Gebiet in Sextanten (Textfig. 2), die abwechselnd ± sind nach den ±-Vorzeichen der Symbole O_2. Wir haben also gleichzeitig eine doppelte Feldertheilung. Das Auftragen der +-Punkte pentagonaler Hemiëdrie geschieht in die rhomboëdrischen +- oder

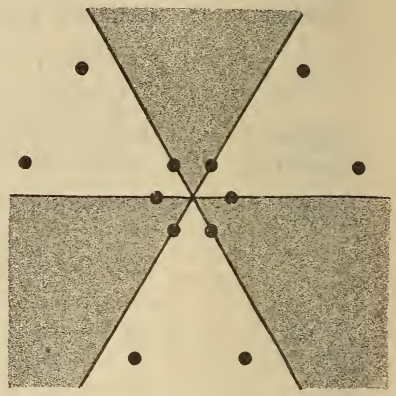
—-Felder, so, wie es das Symbol O_2 verlangt, aber nur dann, wenn der Punkt in ein pentagonales +-Gebiet fällt.

Beispiel (Textfig. 1, 2). e = + $0\frac{1}{2}$ (012) hat die oktaëdrischen Symbole: $O_2 = 01$; + 14 (vergl. obige Tabelle).

01 sitzt rhomboëdrisch auf der Grenze ± und würde holoëdrisch 6 Punkte geben (Textfig. 2). Als pentagonal-hemiëdrische +-Form sind von diesen sechs Punkten nur die drei einzutragen, die ins weisse Feld (Textfig. 1) fallen.



Textfig. 1.



Textfig. 2.

Zu e gehört ferner + 14 (O_2). Dies träte bei regulärer Holoëdrie mit je zwei Flächenpunkten in jedem rhomboëdrischen +-Feld auf, also im Ganzen mit sechs Punkten (Textfig. 2). Von diesen fällt jedoch nur je einer, also im Ganzen drei, in das pentagonale +-Feld. Nur diese drei Punkte werden eingetragen (Textfig. 1).

Das Verfahren erscheint vielleicht nach dieser Beschreibung etwas umständlich, ist aber in der Ausführung einfach.

Die **Herstellung des Zwillingsbildes** geschieht nun durch Drehung des gnomonischen Bildes mit allen seinen Punkten um 60° und Einzeichnen der Punkte auch am neuen Ort. Die Punkte erster Stellung machten wir roth, die der zweiten schwarz. Deckpunkte erhielten doppelte Ringel. Deckzonen erscheinen im Zwillingsbild als Reihen, in denen rothe und schwarze Punkte sich mischen (Taf. XVII Fig. 7 und 8).

Bestimmung der Rangordnung unserer beiden Zwillingsgesetze. Auf Grund der so hergestellten Projectionsbilder können wir aussagen, welches der vorliegenden Zwillingsgesetze den höheren Rang, d. h. die grössere Wichtigkeit und Wahrscheinlichkeit hat. Die Probe auf die Richtigkeit des Urtheils ist die beobachtete Häufigkeit. Dabei gilt das oben aufgestellte **Kriterium**:

Eine Verwachsungsart ist um so höher im Rang, je mehr und je wichtigere Deckpunkte und Deckzonen im gnomonischen Zwillingsbild gefunden werden.

Wir wollen nun auf Grund dieses Kriteriums die zwei Zwillingsarten des Pyrit betrachten und zum Vergleich das Spinellgesetz bei Holoëdrie heranziehen (Taf. XVII Fig. 7).

Pyrit. Pentagonale Hemiëdrie. Würfelgesetz. Aus dem Zwillingsbild Taf. XVI Fig. 6 lässt sich Folgendes entnehmen. Wir wollen für die eingetragenen Flächenarten c p d e q u x ψ die Deckpunkte zählen. Dabei wollen wir Hauptpunkte und Nebenpunkte unterscheiden. Als Hauptpunkte mögen c p e gelten, die übrigen als Nebenpunkte. Desgleichen wollen wir unter den Deckzonen Haupt- und Nebenzonen unterscheiden. Hauptpunkte und Hauptzonen mögen durch fetten Druck hervorgehoben werden. Die Scheidung ist nicht streng, aber genetisch wichtig und so weit durchführbar, als die hier vorliegenden Schlüsse erfordern. Wir finden:

Buchst.	Symbole			Deckpunkte	
c	0	0 ∞		**6**	Hauptpunkte
p	1			**8**	„
d	01	∞		12	Nebenpunkte
e	0 $\frac{1}{2}$	∞ 2		0	
q	$\frac{1}{2}$	12		24	Nebenpunkte
u	$\frac{1}{2}$ 1	2		24	„
x	$\frac{1}{3}$ $\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$ $\frac{3}{2}$	23	0	
ψ	$\frac{1}{4}$ $\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$ 2	24	0	

Zusammen:
14 Hauptpunkte,
60 Nebenpunkte.

Bei der Zählung wurden die Gegenflächen mitgerechnet.

Deckzonen: c d c = 3 Hauptzonen
c p d = 6 „
c u q e = 8 Nebenzonen
c x q d = 4 „
c ψ x u q = 6 „

Zusammen:
9 Hauptzonen.
18 Nebenzonen.

Die Wichtigkeit der Deckzonen richtet sich nach Zahl und Rang der darin liegenden Punkte beider Art und besonders der Deckpunkte. Von entscheidender Wichtigkeit sind die absoluten Deckzonen, bei denen alle Punkte beider Individuen sich decken.

Von noch schwächeren Deckpunkten als den aufgezählten kann abgesehen werden. Der Verband dürfte wesentlich durch die Hauptpunkte c (vielleicht noch e d) geschehen, sowie durch die Hauptzonen c d c, c p d (vielleicht noch c u q e). Die Nebenpunkte und Nebenzonen dürften secundäre Wirkung haben und noch schwächere Flächen und Zonen dürften der Wirkung nach in solcher Grössenordnung stehen, dass ihr Einfluss unwesentlich ist.

Bei solchen Verwachsungsarten, wo die Hauptzonen sich nicht decken, dürften sonst untergeordnete Zonen zu wesentlichen Zonen der Deckung und zur Verknüpfung von Einfluss werden.

Spinellgesetz. Holoëdrie. Aus dem Zwillingsbild Taf. XVII Fig. 7 lassen sich folgende Deckpunkte und Deckzonen ablesen:

Buchst.	Symb. O_2		Deckpunkte
c	$+1$		6 N.-P. mit $u = -1$
p	0		2 H.-P.
	-2		0
d	$-\frac{1}{2}$		0
	$0\,\infty$		6 H.-P.
e	01		12 N.-P.
	$+14$		0
q	$+\frac{1}{4}$	$-\frac{1}{2}\,2$	0
	∞		6

Buchst.	Symbole O_2			Deckpunkte
u	$-\frac{1}{5}$	-25		0
	-1			6 N.-P. mit $c = +1$.
x	$0\,\frac{1}{2}$			12 N.-P.
	$-\frac{1}{2}\,\frac{5}{4}$	$-\frac{1}{2}\,\frac{7}{2}$		0
	$\infty\,2$			12 N.-P.
ψ	$+\frac{1}{7}\,\frac{4}{7}$	$-\frac{1}{5}\,\frac{7}{5}$	$+47$	0
	03			12 N.-P.

Zusammen: **2** Hauptpunkte,
72 Nebenpunkte.

Deckzonen:

d x q x d	= **1**	Hauptzone (hexag. Prismenzone)
p x e ψ d	= **3**	„ („ Axenzonen)
c x ψ c u e	= **6**	„
p d c p q	= 3	Nebenzonen (hexag. Zwischenaxen)
c e d e c	= 6	„

Zusammen:
10 Hauptzonen,
9 Nebenzonen.

c ist nicht als Hauptdeckpunkt anzusehen, weil es sich nicht mit c deckt, sondern mit dem schwächeren und andersartigen u.

Die Deckpunkte stehen nicht an Zahl, aber an Stärke hinter denen des Würfelgesetzes bei pentagonaler Hemiëdrie zurück. So besonders fehlt die Deckung der c-Flächen und von den acht Oktaëderpunkten p decken sich nur zwei. Hauptverknüpfung ist hier durch das eine p, und durch die hexagonale Prismenzone 1 die hexagonale Axenzone.

Die Trennung von Hauptzonen und Nebenzonen ist nicht streng. An Zonenverknüpfung dürfte das Spinellgesetz bei Holoëdrie dem Würfelgesetz bei pentagonaler Hemiëdrie nahe kommen. An Verknüpfung durch Deckpunkte steht es zurück. Dabei ist noch die wechselnde relative Intensität der Knotenpunkte von Einfluss. Von diesen soll weiter unten die Rede sein.

Spinellgesetz. Pentagonale Hemiëdrie. Aus dem Zwillingsbild Taf. XVII Fig. 8 lassen sich folgende Deckpunkte und Deckzonen ablesen:

Buchst.	Symb. O_2		Deckpunkte
c	$+1$		6 N.-P. mit $u = -1$
p	0		2 H.-P.
	-2		0
d	$-\frac{1}{2}$		0
	$0\,\infty$		6 N.-P.
e	01	$+14$	0

Buchst.	Symbole O_2				Deckpunkte
q	$+\frac{1}{4}$	$-\frac{1}{2}\,2$			0
	∞				6 N.-P.
u	$-\frac{1}{5}$	-25			0
	-1				6 N.-P. mit $c = +1$
x	$0\,\frac{1}{2}$	$-\frac{1}{2}\,\frac{5}{4}$	$-\frac{1}{2}\,\frac{7}{2}$		0
	$\infty\,2$				6 N.-P.
ψ	$+\frac{1}{7}\,\frac{4}{7}$	$-\frac{1}{5}\,\frac{7}{5}$	$+47$	03	0

Zusammen: 2 Hauptpunkte,
30 Nebenpunkte.

c, obwohl besonders wichtig bei pentagonaler Hemiëdrie, ist doch nicht als Hauptdeckpunkt anzusehen, weil es sich nicht mit c, sondern mit Punkten des schwächeren und andersartigen u deckt.

d ist an Wichtigkeit durch e zurückgedrängt. Es ist beim Pyrit weit schwächer und seltener als e und ist nicht als Hauptknoten anzusehen. In anderen Fällen pentagonaler Hemiëdrie ist es möglicherweise Hauptknoten und begünstigt dann das Spinellgesetz.

Es ist wesentlich, die Rolle der **Knoten e** zu untersuchen. Das Pentagondodekaëder e = $0\frac{1}{2}$ tritt beim Pyrit an die Stelle des Dodekaëders d = 01. e ist beim Pyrit ein Primärknoten, der dessen ganzem Formensystem seinen eigenthümlichen Charakter giebt. Das Verhältniss von d zu e, ebenso das Verhältniss von e zu e· erkennen wir in der Zahlenreihe c d e. In dieser sind c und e Endknoten, d Dominante. Eine Discussion der wichtigeren Formen dieser Reihe zeigt Folgendes:

Buchstaben:	c	e·	b·	d	i	b	e
Symbol p q =	0	$0\frac{1}{2}$	$0\frac{2}{3}$	01	$0\frac{4}{3}$	$0\frac{3}{2}$	02
$\frac{1}{2}$ q =	0	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{3}$	0	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{4}$	1
$\frac{v}{1-v}$ =	0	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	1	2	3	∞

Die Zahlen der letzten Reihe bezeichnen die Rangordnung der Formen.

Deckzonen sind dieselben, wie bei der Holoëdrie, doch sind sie mit weniger gemischten Punkten und weniger Deckpunkten besetzt, die die Verknüpfung zum Zwilling besorgen. Beachtenswerth ist die punktreiche Zone c ψ x u q ψ e ψ q u, die ganz ungemischt ist, ausser dem Deckpunkt c u nur schwarze oder nur rothe Punkte enthält. Bei der Holoëdrie sind in ihr noch x und c Doppelpunkte.

Wir sehen, wie bei pentagonaler Hemiëdrie die Verknüpfung zum Zwilling nach dem Oktaëder weit schwächer ist als die Verknüpfung nach dem Würfel. Das ist die Begründung dafür, dass das Spinellgesetz beim Pyrit so selten ist, das Würfelgesetz so häufig.

Einwand. Es mag eingewendet werden, dass bei der Hemiëdrie die Zahl der Flächenpunkte für die gleichen Formen, z. B. c p d q u e x ψ nicht so gross ist als bei der Holoëdrie und deshalb die Zahl der Deckpunkte beim Zwilling kleiner. Es sei daher unrichtig, wie oben geschehen, für die Holoëdrie, wie für die Hemiëdrie, die Deckpunkte und Deckzonen abzuzählen und ihre Zahl zu vergleichen. Man sollte vielmehr nur die Zahl der Deckpunkte und Deckzonen im Verhältniss zur Zahl der vorhandenen Flächenpunkte vergleichen, da nur dies Verhältniss für den Rang der Zwillingsart wesentlich sei.

Der Einwand ist gewiss richtig. Doch ist zu beachten, dass durch die Hemiëdrie oft nur die unwichtigeren Formen halbflächig gemacht werden und dadurch die Zahl der Hauptflächen, die allein für die Verknüpfung entscheidend sind,

nicht vermindert wird. In solchem Fall kann von der complicirteren Vergleichsrechnung abgesehen werden, die ja doch nur dann streng wäre, wenn man jedem Binder sein Gewicht geben könnte, was derzeit nicht möglich ist.

Bei unserem Fall des Pyrit mit den Formen c p d q u e x ψ liegt es nun so, dass durch die pentagonale Hemiëdrie von allen diesen Formen nur e x ψ halbflächig werden. Aber gerade diese sind für das Spinellgesetz, wie für das Hexaëdergesetz, nun untergeordnete Binder, von denen man im Vergleich mit den Hauptbindern c p mit d q u, die alle vollflächig bleiben, absehen kann.

Die vorliegenden Pyritzwillinge regen noch zwei principielle Fragen an:

Frage 1. Spinellzwillinge, die bisher beim Pyrit fehlen, sind bekannt bei den ebenfalls pentagonal hemiëdrischen Mineralien: Glanzkobalt, Speiskobalt, Ullmannit, obwohl diese Mineralien so viel seltener sind als Pyrit. Wie ist das zu erklären? Es entscheidet also die pentagonale Hemiëdrie allein nicht über die Wahrscheinlichkeit des Spinellgesetzes.

Wir wollen eine Erklärung der Erscheinung versuchen und dabei Folgendes beachten:

Rangordnung der Knoten. Starke und schwache Hemiëdrie. Die Erklärung möge an einem speciellen Beispiel versucht werden, das für ein allgemeines gelten kann.

Betrachten wir die verschiedenen **holoëdrisch-regulären Krystalle**, so finden wir die Rangordnung der Hauptflächen $c = 0$, $d = 01$, $p = 1$ verschieden.

Beim Steinsalz herrscht der Würfel c, selten das Oktaëder p, das Dodekaëder d ist schwach. Wir können schreiben:

$$\text{Steinsalz: } c > p > d.$$

Beim Spinell ist das Oktaëder die stärkste Form, dann folgt das Dodekaëder, der Würfel ist äusserst selten. Wir können schreiben:

$$\text{Spinell: } p > d > c.$$

Beim Granat herrscht das Dodekaëder, das Oktaëder ist wesentlich schwächer, der Würfel selten. Wir können schreiben:

$$\text{Granat: } d > p > c.$$

Beim Flussspath herrscht der Würfel in der Form, das Oktaëder als Spaltfläche, das Dodekaëder steht zurück. Wir können schreiben:

Flussspath: $c > p > d$ oder $c \geqq p > d$.

In der relativen Stärke der Hauptknoten p c d der verschiedenen holoëdrisch regulären Krystallarten giebt es alle möglichen Übergänge. Das Gleiche gilt von den Nebenformen. Je stärker aber der Knoten ist, desto wichtiger ist er als Verknüpfer zum Zwilling.

Ebenso ist es bei der Hemiëdrie, z. B. bei der **pentagonalen**. Hier tritt das Pentagondodekaëder $e = +0\frac{1}{2}$ unter die Hauptformen. Auch hier finden wir alle möglichen Übergänge in der Rangordnung der Hauptformen.

Beim Pyrit ist das Pentagondodekaëder $e = +0\frac{1}{2}$ besonders stark; stärker als das Dodekaëder d. Im Rang etwa gleich dem Oktaëder p, mit dem es gern im Gleichgewicht ausgebildet ist. Wir können schreiben:

Pyrit: $c > p \geqq e > d$.

Beim Glanzkobalt ist der Würfel nicht so wichtig als beim Pyrit, das Oktaëder ist wichtiger. Es dürfte zu setzen sein:

Glanzkobalt: $p > c \geqq e > d$.

Beim Speisskobalt herrscht entschieden der Würfel, Oktaëder und Dodekaëder sind schwächer, $e = 0\frac{1}{2}$ ist bisher unbekannt. Wir können schreiben:

Speisskobalt: $c > p > d > (e)$.

Beim Hauerit herrscht in der Form entschieden das Oktaëder, dann folgt der Würfel als Spaltfläche, selten ist e und noch schwächer d. Wir können schreiben:

Hauerit: $p > c > e > d$ vielleicht $p \geqq c > e > d$,

e ist so schwach, dass die Hemiëdrie selten wahrgenommen wird.

Für die relativen Grössen haben wir derzeit kein bestimmtes Maass. Vielleicht lässt sich einmal ein solches gewinnen. Wir können die Rangordnung nur da angeben, wo die Unterschiede gross sind. Das ist aber meist der Fall.

Wir können nun annehmen: Je wichtiger die Deckflächen im Formensystem einer Krystallart, desto stärker sind sie als Verknüpfer zum Zwilling.

Solche Schlüsse wurden bereits gezogen in einer Schrift über Cerussit von Mapimi (dies. Jahrb. 1902. Beil.-Bd. XV. p. 562).

Frage 2. Es ist auffallend, dass das Spinellgesetz sich gerade bei solchen Pyriten findet, bei denen das Oktaëder die herrschende Form ist. Es entsteht die Frage:

Besteht ein Zusammenhang zwischen Habitus und Zwillingsbildung?

Dies scheint in der That der Fall zu sein. So finden wir bei Cerussit Viellingen nach $r = \infty 3$ (130) die Form r vorzugsweise ausgebildet, das sonst stärkere $m = \infty$ (110) zurücktretend. Andere Beispiele sind:

Feldspath nach dem Karlsbader Gesetz. Verknüpfer die Flächen der Prismenzone $M = 0\infty$, $t = \infty$. Diese Flächen vorzugsweise ausgebildet.

Feldspath nach dem Bavenoer und Manebacher Gesetz. Verknüpfer $P = 0$ und $M = 0\infty$. Diese Flächen herrschen, die Prismen treten zurück.

Um die Frage zu verstehen und zu beantworten, wollen wir auf unsere Anschauungen über **Kraftsphäre** und **Vorzugskräfte** zurückgehen. Es möge gestattet sein, aus einer Publication über Entwickelung der Krystallformen (Zeitschr. f. Kryst. 1897. 28. 414 ff.) einige Stellen wiederzugeben:

„Denken wir die Partikel nach allen Richtungen anziehend, in jeder Richtung vom Schwerpunkt aus die Intensität aufgetragen, so erhalten wir die Partikel umgeben von einer continuirlichen Kraftsphäre. Die Sphäre kann durch Einzelkräfte ersetzt werden, indem jede Zwischenkraft in Componenten nach bevorzugten Richtungen zerfällt. So scheiden sich die Primärkräfte aus.“

S. 416. „Durch die Neigung der Kraftsphäre, sich auf bestimmte Weise zu reduciren, durch die Fähigkeit der Primärkräfte, sich auf äussere Anregung unter sich in bestimmter Weise zu differenziren (Complication) und gewisse abgeleitete Kräfte zu bilden, durch die Fähigkeit dieser Kräfte, einander in ganz bestimmter Weise zu beeinflussen — durch alles dieses enthält die Kraftsphäre eine grosse Reihe von flächenbildenden Resultanten als möglich vorgebildet, nach Intensität und Wahrscheinlichkeit im Rang abgestuft. Die Beobachtung lässt bis zu einer gewissen Rangstufe herab die Wahrscheinlichkeit zur Wirklichkeit werden. Das, was oberhalb dieser Grenze liegt, bildet die Gesammtheit der Formen

einer Krystallart in den Grenzen der Beobachtung, ihr Formensystem. Die Gesammtheit der in einem speciellen Fall aus der Kraftsphäre zugleich ausgeschiedenen flächenbildenden Resultanten nennen wir eine Combination. Die Abbildung des Formensystems nennen wir ihr Gesammtbild. In der Kraftsphäre der Partikel ist das Formensystem der Krystallart, sowie alle möglichen Combinationen als Fähigkeit vorgebildet."

Der **Habitus** eines Krystalls wird bestimmt durch diejenigen Attractionskräfte, die sich im speciellen Fall aus der Kraftsphäre als Hauptflächenbildner abscheiden. Diese Hauptflächenbildner (Hauptknoten) haben ihre Rangordnung nach Wahrscheinlichkeit und Häufigkeit. Es giebt für jede Krystallart nicht nur einen Habitus, sondern viele, abgestuft nach Rang (Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit).

Die Verknüpfer zum Zwilling sind im Allgemeinen dieselben Primärkräfte, die Hauptflächenbildner. Es fragt sich nun, ob sie als Zwillingsverknüpfer dieselbe Rangordnung haben wie als Flächenbildner. Dies ist nicht streng der Fall.

Zunächst können Flächenbildner nicht Zwillingsverknüpfer sein, wenn sie parallele Verwachsung liefern würden; ferner ist entscheidend für den Rang einer Fläche als Verknüpfer, welche Verknüpfungen (Deckflächen und Deckzonen) sie mit sich bringt. Die Hauptknoten als Zwillingsverknüpfer haben daher eine Rangordnung, die nicht nothwendig die gleiche ist, wie die derselben Knoten als Flächenbildner, die den Habitus bestimmen.

Immerhin bilden die Hauptknoten jeder Krystallart eine kleine bevorzugte Gruppe, die Gruppe der Aristokraten unter den Formen, die in beiden Fällen die gleiche ist, deren Rangordnung jedoch sich nicht nothwendig deckt.

Schluss. Obige Beobachtungen und Betrachtungen sprechen für Folgendes:

Sind die äusseren Bedingungen bei der Krystallbildung derart, dass sie gewisse Primärkräfte zu Hauptflächenbildnern machen, so verstärken sich dadurch dieselben Kräfte als Zwillingsverknüpfer. Ihre Wahrscheinlichkeit erhöht sich. So kommt es, dass das Vorherrschen einer Attractionsrichtung, die den Habitus bestimmt, dieselbe Richtung als Zwillingsverknüpfer wahrscheinlicher macht, begünstigt, so dass

beide Erscheinungen oft zusammen angetroffen werden, jedoch nicht nothwendig einander bedingen.

So erklärt es sich, warum bei unseren Pyritzwillingen das Oktaëder als herrschende Form vom Spinellgesetz begleitet ist. Das Würfelgesetz hätte übrigens bei diesen Kryställchen eine erkennbare Zwillingsbildung nicht hervorgebracht, denn es fehlt ihnen jede hemiëdrische Form, selbst in den krummen Zügen der Accessorien.

Fig. 3.

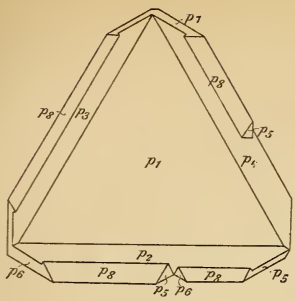


Fig. 4.

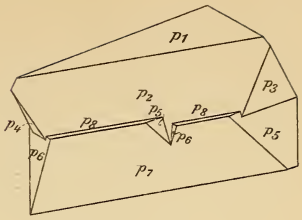


Fig. 1.

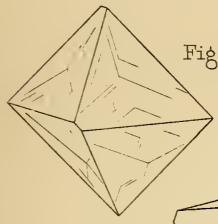


Fig. 2.

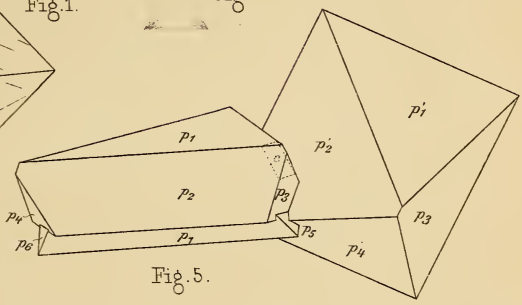
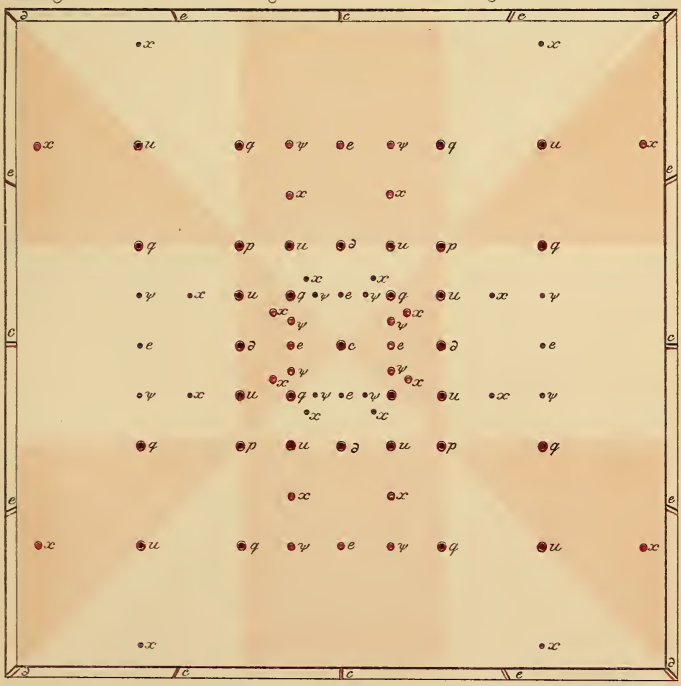


Fig. 5.

Fig. 6.

Pentagonale Hemiedrie. Reguläres System. Zwilling nach Würfel Gesetz.



gez. V. Goldschmidt u. W. Nicol. Wilh. C. Rübsamen, Stuttgart.

Goldschmidt u. Nicol: Spinellgesetz beim Pyrit etc.

Holoedrie. Reguläres System. Zwilling nach Spinell Gesetz.

Fig. 7.

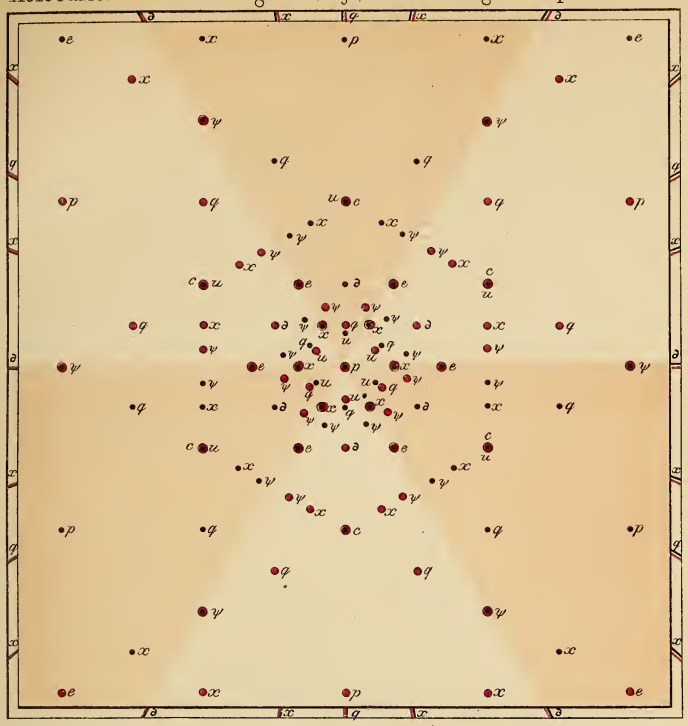
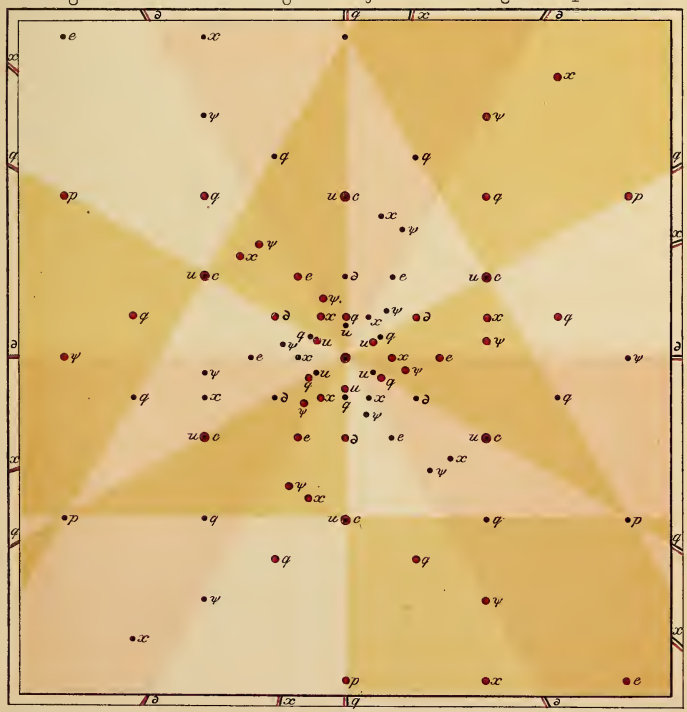


Fig. 8.

Pentagonale Hemiedrie. Reguläres System. Zwilling nach Spinell Gesetz.



gez. V. Goldschmidt u. W. Nicol. Wilh. C. Rübsamen, Stuttgart.

Goldschmidt u. Nicol: Spinellgesetz beim Pyrit etc.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie

Jahr/Year: 1904

Band/Volume: 1904_2

Autor(en)/Author(s): Goldschmidt V. Moritz, Nicol W.

Artikel/Article: Spinellgesetz beim Pyrit und über Rangordnung der Zwillingsgesetze. 93-113