

Über Translationen am Schwefel, Periklas und Kupferkies und einfache Schiebungen am Bournonit, Pyrargyrit, Kupferglanz und Silberkupferglanz.

Von

O. Mügge in Göttingen.

Mit 6 Textfiguren.

Inhaltsübersicht.

	Seite
Einleitung. Anordnung der Versuche	25
1. Translationen am Schwefel	26
Art der Einbettung. Translationsstreifung nach $T = 111$.	
Hohle Kanäle. Absonderung nach T .	
2. Translationen am Periklas. $T = [110]$, $t = [1\bar{1}0]$, $r = [001]$	29
3. Translationen am Kupferkies. $T = (111)$	30
4. Einfache Schiebungen am Bournonit. $z_1 = 110$, $\sigma_2 = [110]$	31
Die für Bournonit möglichen Gitter	32
5. Einfache Schiebungen am Pyrargyrit. $z_1 = (10\bar{1}4)$, $\sigma_2 = (0001)$	36
Mögliche Gitter des Pyrargyrit	38
Versuche am Proustit	39
6. Einfache Schiebungen am Kupferglanz	39
a) $z_1 = (201)$, $\sigma_2 = [100]$. Absonderungs- und Spaltflächen. Natürliche Lamellen durch Druck	42
b) $z_1 = (131)$, $\sigma_2 = [110]$	43
Eigentümlichkeit beider Paare von Schiebungselementen bei abwechselnden Schiebungen gleicher Art. Gegensatz zu Pyrargyrit	44
Die für Kupferglanz möglichen Gitter	47
7. Einfache Schiebungen am Silberkupferglanz	53
8. Versuche an Pyrit, Kobaltglanz, Markasit, Arsenkies, Blei- glanz, Enargit, Fahlerz und Eisenglanz	53

Die Versuche wurden angestellt nach der von A. JOHNSEN¹ angegebenen Methode: Einbettung der Kristalle in feines Pulver einer Substanz, die leicht löslich ist in einer Flüssigkeit, welche den Kristall und den Preßzylinder nicht angreift. Als solche wurden anfangs nach dem Vorschlage von A. JOHNSEN Schwefel und Schwefelkohlenstoff benutzt. Als sich dann herausstellte, daß sich auf Kupferglanz aus dieser Lösung Schwefel in einer nicht oder nur schwer löslichen Form niederschlägt, wurde Natronsalpeter benutzt. Es zeigte sich, daß dieser vor dem Schwefel noch andere Vorteile als den der leichten Löslichkeit in Wasser hat. Die Zusammendrückung seines feinen Pulvers erfolgt viel gleichmäßiger als beim Schwefel, ohne das explosionsartige, zuweilen von heftigem Krachen begleitete Herausschleudern des Schwefels. Er vertrug, auch längere Zeit, die höchsten bisher benutzten Drucke (34 000 Atm.), ohne in Bewegung zu geraten und aus undichten Stellen auszutreten.

Die Preßzylinder hatten dieselben Dimensionen wie bei JOHNSEN's Versuchen. Da der Hohlzylinder sich nach mehreren starken Pressungen (bis 25 000 Atm.) um mehr als 1 mm geweitet hatte, während der Stempel noch nicht merklich deformiert war und also nicht mehr schloß, wurde letzterer bei den zahlreichen folgenden Versuchen mit Papierstreifen so unwickelt, daß er annähernd wieder in den Hohlzylinder paßte. Man kann so Drucke bis zu 30 000 Atm. erzielen (mit Natronsalpeter), auch wenn der Abschluß nicht entfernt luftdicht ist. Später wurden meist dickere, nur roh in den Hohlzylinder eingepreßte Stempel von etwas weicherem Stahl mit Papierumwicklung benutzt, welche sich meist schnell deformierten und durch neue ersetzt werden mußten. Die Anwendung eines Gegenstempels erwies sich im allgemeinen als unnötig.

Die im folgenden angegebene Größe des Druckes kann nur die Bedeutung einer ungefähren Orientierung über die Größe des mittleren allseitigen Druckes haben. Es ist klar, daß der Druck kein gleichförmiger ist, denn dann könnten Gleitungen ja überhaupt nicht eintreten. Druckungleichheiten werden sich vor allem an Ecken und Kanten

¹ A. JOHNSEN, dies. Jahrb. Beil.-Bd. XXXIX. 500 u. 506. 1914.

der Kristalle einstellen, da die Zusammendrückbarkeit des Kristalls eine andere ist als die des Einbettungsmaterials. Wie groß diese Ungleichheiten sind, hängt aber offenbar in hohem Grade von Zufälligkeiten der Form des Kristalls und seiner Orientierung zur Druckrichtung ab, läßt sich meines Erachtens auch nicht annähernd schätzen. Dazu kommt, daß sich diese Differentialdrucke nach Größe und Richtung ändern müssen, sobald die Translationen oder einfachen Schiebungen beginnen, da damit Form, Größe und Lage der Angriffsflächen sich ändert.

1. Translationen nach (111) am Schwefel.

Am rhombischen Schwefel wurden Preßversuche angestellt, weil hier Zwillinge nach vier verschiedenen Gesetzen bekannt sind, nämlich nach (110), (011), (101) und (111), z. T. auch mit Lamellen, deren sekundäre Entstehung allerdings in keinem Falle wahrscheinlich war. Es wurden nur künstliche Kristalle von etwa 2—5 mm verwendet.

Da sich zeigte, daß die Oberfläche der Kristalle schon beim Pressen in Natronsalpeter erheblich an Glanz verlor, wurde zunächst versucht, die Oberfläche durch Einwickeln in Seidenpapier zu schützen, dann wurde der Kristall in eine kleine Kugel aus mit Öl angemachtem Ton (Groß-Almerode) eingebettet, die so in den Hohlzylinder gebracht wurde, daß sie nachher ganz von Natronsalpeter umgeben war. Obwohl das Öl dabei durch den Salpeter hindurch ausgepreßt wurde, entwich kein Ton zwischen Stempel und Hohlzylinder und die Kristallflächen blieben schön glänzend. Indessen erwies es sich als bequemer und ebenso erfolgreich, die Kristalle ganz in Ton (ohne Salpeter) einzubetten; dieser muß dann aber lufttrocken sein, sonst wird er schon bei kleinen Drucken ausgequetscht. Nach Einlegen in Wasser quillt der (steinhart gewordene) Ton bald aus dem Zylinder heraus, so daß der Kristall unversehrt herausgenommen werden kann. Ein noch besserer Schutz vor dem Blindwerden der Kristallflächen wurde in Feile von Radiergummi gefunden¹. Zum Schluß

¹ Die Continental-Kautschuk-Comp. in Hannover liefert solchen „Schleifstaub“ von Gummi. Es empfiehlt sich nicht, mehr davon zu verwenden, als zum Schutz der Flächen nötig ist, da sonst das Feststampfen

wurden die Schwefelkristalle in ein kurzes Stückchen dünnen und dünnwandigen Gummischlauchs gesteckt und seine beiden Öffnungen mit Schleifstaub verstopft, das Ganze in Salpeter eingebettet. Dieses Verfahren wird es voraussichtlich auch möglich machen, mit im Wasser löslichen Kristallen Versuche anzustellen, sobald die Technik in der Lage ist, dünnwandige Gummisäckchen herzustellen, deren offenes Ende wasserdicht verschlossen werden kann.

Die Schwefelkristalle zeigten schon nach Pressungen bis zu 10 000 Atm. Absonderungsflächen und Streifung // (111); stärkere Drucke bewirkten auch so starke Deformationen, daß die ursprüngliche Form kaum noch erkennbar war. Dabei trat keine Zertrümmerung oder nur an besonders exponierten Ecken und Kanten ein, die Kristalle waren vielmehr noch leidlich fest und ziemlich durchsichtig, stellenweise allerdings trüb, wachsartig. Dies Verhalten des ja als besonders spröde bekannten Schwefels war um so weniger erwartet, als sein als Einbettungsmaterial verwendetes Pulver bei Drucken von etwa 20 000 Atm. nach JOHNSEN'S und meinen Erfahrungen nicht stetig, sondern meist explosionsartig aus den Lücken zwischen Stempel und Hohlzylinder entweicht.

Die Translationsstreifen konnten, wo sie bündelweis auftraten, über sämtliche Flächen (001), (113), (011) und (111) verfolgt werden, verlaufen stets // (111) (erscheinen auf dieser mit 3 Spuren) und durchkreuzen sich, zuweilen ohne merkliche Verwerfungen. Der Reflex der Lamellen weicht überall nur wenig von dem der Hauptfläche ab, am wenigsten vielleicht auf (001), ist aber ohne deutliches Maximum; der Sinn der Abweichung von der Hauptfläche war zwar für die einander parallelen Lamellen auf einer Fläche meist derselbe, aber schwankend an verschiedenen Kristallen und an ver-

des Salpeters wegen der großen elastischen Vollkommenheit des Gummi erschwert wird. Das Gummi bewahrt diese bis zu sehr hohen Drucken (35 000 Atm.), derart, daß es z. B. den ihn umhüllenden, steinhart gewordenen Salpeter nach Aufhebung des Druckes alsbald sprengt. Bei Anwendung von mehr Gummischleifstaub nähert sich auch der Druck offenbar dem allseitig gleichen (Flüssigkeits-)Druck, was sich in der Geringfügigkeit der Deformationen auch nach starken Pressungen offenbart.

schiedenen Teilen desselben Kristalls, trotz gleicher Lage der Austrittsfläche zur Gleitfläche. Da außerdem in den stark gestreiften Teilen niemals von der ursprünglichen abweichende optische Orientierung beobachtet wurde, kann es sich nur um Translationen // (111) handeln. Eine bevorzugte, aber jedenfalls nicht alleinige Translationsrichtung ist vielleicht [110]. Auch durch starke Pressungen (bis 30000 Atm.) wurden niemals einfache Schiebungen erzielt, wohl aber beträchtliche „Verwerfungen“ noch fest aneinander haftender Kristallteile längs (111) unter Umbiegung der an die Verwerfungsspalte grenzenden Kristallteile um die Spur der Translationsfläche auf der Austrittsfläche („Schleppung“).

In trübe gewordenen Teilen der Kristalle stellt sich zuweilen eine sehr vollkommene Absonderung // (111) ein; die Kristalle zeigen dann starken Perlmutterglanz; die Absonderungsblättchen, welche z. T. so dünn sind, daß die Interferenzfarben bis zur ersten Ordnung sinken, verraten trotz der auch u. d. M. sichtbaren gitterartigen Translationsstreifung keine Spur optischer Veränderungen. Dagegen bemerkt man nach sehr kräftigen Pressungen zuweilen feine Strichelchen, gruppenweis parallel laufend und z. T. längs geradlinigen Grenzen endigend. Es sind anscheinend strichförmige, mit Luft gefüllte oder leere Hohlräume, an welchen totale Reflexion oder Umpolarisation stattfindet, so daß sie sich auch zwischen gekreuzten Nicols bemerklich machen: sie dürften daher rühren, daß hier Translationslamellen (vielleicht an Durchkreuzungsstellen mit anderen oder mit Absonderungsflächen) abgerissen sind. Sie erinnern in Form und Anordnung sehr an die Scharen meist schwarzer strichförmiger Einlagerungen in manchen Feldspaten, Augiten, Hornblenden etc., wie sie in älteren Eruptivgesteinen und kristallinen Schiefen namentlich da auftreten, wo diese starken Pressungen ausgesetzt waren. Sie sind in diesen möglicherweise ähnlich wie im Schwefel entstandene, ursprünglich leere, jetzt aber durch Infiltrations- oder Entmischungsvorgänge mit Erzen etc. gefüllte Räume. Man kennt sie vom Diallag u. a. auch flächenhaft entwickelt; daß dies auch beim Schwefel z. T. der Fall ist, wird durch den starken Perlmutterglanz // den Absonderungsflächen wahrscheinlich.

2. Translationen am Periklas.

Am Periklas hat E. SOMMERFELDT¹ Absonderung nach (110) beobachtet, das er als Gleitfläche betrachtet, außerdem doppelbrechende Streifen durch (001) parallel den Diagonalen der Flächen, woraus er schließt, daß sich „die Analogie“ mit Steinsalz nicht nur auf die Kristallform, sondern auch auf das physikalische Verhalten erstreckt. An Kristallen von Staßfurt² und aus Schmelzfluß entstandenen [vgl. SOMMERFELDT l. c., sie hatten im Gegensatz zu denen von Staßfurt und den natürlichen als herrschende Form (001)] konnte folgendes festgestellt werden:

Die in Salpeter eingebetteten Kristalle³ wurden Drucken von 16 000—30 000 Atm. ausgesetzt. Es entstanden auf den Spaltflächen feine Streifen nur parallel den Würfelkanten, auf (111) ebenso nur senkrecht zu den Kanten zum Würfel. Der Reflex benachbarter paralleler Streifen weicht meist nach derselben Seite von dem der Hauptfläche ab, aber nur wenig und um wechselnden Betrag; breitere Streifen fehlen, und da die Gleitfläche zweifellos (110), die Gleitrichtung $[1\bar{1}0]$ ist, handelt es sich um bloße Translation. Durch Pressung zwischen zwei gegenüberliegenden Würfelkanten entsteht auch Absonderung nach der in der Druckrichtung liegenden Fläche (110)⁴, ebenso kann man auf (001) Schlagfiguren erzielen von derselben Orientierung wie bei Steinsalz und mit derselben pyramidalen Emportreibung um die Schlagstelle.

An Spaltstücken mit etwas verletzten Würfelflächen gingen nach starken Pressungen von den verletzten Stellen einseitige

¹ E. SOMMERFELDT, Centralbl. f. Min. etc. 1907. 212.

² Industrieprodukt, vgl. OTTO u. KLOOS, dies. Jahrb. 1894. I. -14-.

³ Es zeigte sich, daß die Kristalle beim Lösen des Salpeters nicht merklich angegriffen werden.

⁴ Dies ist meines Erachtens keine frei gelegte Gleitfläche; man erhält solche Trennungsflächen auch, wenn der Druck z. B. in der Fläche $\{110\}$ vertikal gerichtet ist: also senkrecht zur Translationsrichtung $t = [1\bar{1}0]$ in $T = \{110\}$. Dies kann man zwar an Spaltstücken von Periklas mangels Material nicht zeigen, wohl aber an Steinsalz, wenn man ihnen 4 Flächen $\{111\}$, $\{11\bar{1}\}$, $\{\bar{1}\bar{1}1\}$ und $\{\bar{1}\bar{1}\bar{1}\}$ so weit anschleift, daß letztere zwei parallele Kanten $[1\bar{1}0]$ bilden und zwischen diesen preßt; bequemer noch, wenn man auf $\{001\}$ und $\{00\bar{1}\}$ parallel ihren Diagonalen $[1\bar{1}0]$ einen dünnen Drahtstift (ohne Kopf) legt und nun preßt.

Erhebungen von der Form eines von zwei Würfeldiagonalen begrenzten Viertels der Schlagfigur aus, und zwar war es auf allen Teilen derselben Fläche meist dasselbe Viertel. Offenbar ist das Einbettungsmaterial in die kleinen Verletzungen der Fläche eingedrungen und hat, während Kristall und Einbettungsmaterial sich unter großer Reibung aneinander verschoben, von diesen Vertiefungen aus eine Umbiegung der losgerissenen Teile um die Richtung $f \perp t$ bewirkt. Für derartige Schlagfigurviertel auf $\{001\}$ war dabei $T = \{101\}$ (oder $\{011\}$), $t = [10\bar{1}]$ (bezw. $[011]$), $f = [010]$ (bezw. $[100]$). Bemerkenswert ist, wie genau bei allen diesen Schlagfigurvierteln auf (001) die Krümmung der Würfffläche nur um eine Würfelkante erfolgt ist (obwohl doch die Bewegungsrichtung nur zufällig einmal eine dazu senkrechte gewesen sein wird): es läßt dies, ebenso wie der Umstand, daß keine Spur von Translationsstreifung nach andern als den angegebenen Richtungen auf (001) und (111) beobachtet wurde, darauf schließen, daß die Translationsfähigkeit in der Tat auf $t = [110]$ beschränkt ist. Auch die Deformationen, welche bei großen Drucken (bis 30 000 Atm.) gelegentlich beobachtet wurden, bestanden vor allem in Biegungen der Spaltstückchen um eine Würfelkante (mit Translation nach den beiden Flächen (110) aus der Zone dieser Kante). In solchen stark gepreßten Stücken wurden auch ähnliche, hier parallel den Würfelkanten verlaufende, Strichschären wie beim Schwefel beobachtet.

Der Periklas ist aber viel weniger deformationsfähig als Steinsalz: einige Spaltstücke konnten wiederholt bis 20 000 Atm. gepreßt werden, ohne Translationsstreifung anzunehmen, auch kann man z. B. durch Druck mit abgerundetem Metallstift auf (001) keine Dellen hervorbringen, wohl aber entstehen bei solchem Druck doppelbrechende Streifen parallel den Würfflächendiagonalen, parallel deren Richtung er liegt.

3. Translationen am Kupferkies.

An derben, etwas spätigen Stücken von Kupferkies kann man zuweilen Streifen beobachten, welche anscheinend // (111) verlaufen und den Eindruck mechanischer Entstehung machen.

Pressungen bis 10 000 Atm. hatten trotz der geringen Härte des Kupferkieses keinen Erfolg; bei 15 000 Atm. ent-

standen aber zahlreiche Streifen, die stets // (111) verliefen. Dieselbe Lamelle und parallele Scharen solcher ließen sich über die (ursprünglich sehr glatten) Flächen von (001), (203), (101), (201) und beide (111) verfolgen (Kristalle von Burgholzhausen bei Crombach von 1—3 mm Größe). Die Abweichungen der Reflexe dieser Lamellen von der Hauptfläche sind nach Größe und Sinn durchaus schwankend, es liegt also nur Translation vor und dementsprechend erscheinen bei der Pressung (d. h. wohl nach der Translation) entstandene muschlige Bruchflächen öfter vollkommen frei von Streifung, auch wenn die angrenzenden ursprünglichen Oberflächen voll davon sind. Da keine von Streifen freie Fläche beobachtet wurde, läßt sich keine bevorzugte Translationsrichtung angeben. Die Kristalle werden schon bei mäßiger Pressung stark verbogen, indessen ohne erkennbare Regelmäßigkeit. Zwillingslamellen wurden auch nach stärkeren Pressungen (bis 25 000 Atm.) nicht beobachtet.

Feinste Splitter gepreßter Kristalle zeigen im Licht der Bogenlampe zwischen gekreuzten Nicols graubraune Farben (etwas oliv) und löschen einheitlich aus, keine Spur von Zwillingslamellen erkennbar. Die Eigenfarbe im gewöhnlichen Licht war wegen starker Blendung des Auges nicht zu erkennen.

4. Einfache Schiebungen am Bournonit.

Bei der Kostbarkeit des Materials wurden zunächst einige Versuche an derbem Material mit sehr glänzenden muschligen Bruchflächen angestellt. Sie bedeckten sich schon bei Drucken bis 12 000 Atm. mit feinen Streifen, die (innerhalb gewisser Teile der krummen Oberfläche) einheitlich reflektierten.

An einem 3 mm großen, nur nach $\{1\bar{1}0\}$ verzwillingtem Kristall von Horhausen blieb Druck bis 11 000 Atm. ohne Wirkung; nach Druck bis 22 000 Atm. waren auf (0 $\bar{1}$ 1) und (101) Streifen nur // $\{110\}$ entstanden, deren Reflex auf den genannten Flächen alle nach derselben Seite von dem ihrer Hauptfläche abwichen, und zwar in dem Sinne, wie es das Schiebungs paar

$$\sigma_1 = (110), \sigma_2 = [110]$$

verlangt; der Betrag der Abweichung war nicht groß, konnte aber wegen der Feinheit der Lamellen und namentlich wegen der eingetretenen Krümmung der Flächen nicht gemessen werden: er soll (indem $\{hk1\}$ in $\{khl\}$ übergeht) auf $\{011\}$ und $\{101\}$ $3^{\circ} 5'$ sein. Auch auf (100) waren die Lamellen zu erkennen, während (001) streifenfrei geblieben war. Auch weitere Versuche führten nicht zur Entstehung von Lamellen mit meßbaren Reflexen; öfter war der Kristall erheblich verbogen und zerbrochen, zuweilen blieb auch Druck bis 22000 Atm. ohne Wirkung. Bei der Sparsamkeit des Materials wurden weitere Versuchsreihen mit Berücksichtigung der Orientierung des Druckes nicht angestellt.

Die für Bournonit möglichen Gitter.

Unter der Voraussetzung, daß die am Bournonit bewirkte Deformation eine „reine Gitterschiebung“¹ ist, ergeben sich als mögliche Gitter folgende (vgl. JOHNSEN, Centralbl. f. Min. etc. 1916. 121²).

I. Gitter nach rechtwinkligen Parallelepipeden.

Setzt man

$$\begin{aligned} p^1 &= (100), & p^2 &= (010), & p^3 &= (001), \\ q &= (\mu \nu \pi), & h' &= (110), & u' &= [110], \end{aligned}$$

so wird

$$z_1 = z_3 = z_4 = z_5 = z_8 = z_9 = 0,$$

$$z_2 = \frac{\mu}{\nu}$$

$$z_6 = \frac{\nu}{\mu}$$

$$z_7 = -1.$$

Es sind also sämtliche z Ganze und ohne gemeinsamen Teiler nur, wenn $\mu = \nu$; π dagegen ist beliebig.

Von derartigen Gittern kommen also für Bournonit nur solche in Frage, deren Kantenlängen

¹ JOHNSEN, Centralbl. f. Min. etc. 1917. 434.

² Es sei auch hier darauf aufmerksam gemacht, daß die Formel (A_2) bei JOHNSEN p. 123 einen aus dem Aufsatz von LIEBISCH in der math. Enzyklopädie V. 1. p. 411 übernommenen Druckfehler enthält; es muß p. 123, erste und zweite Zeile heißen R_1, R_2, R_3 statt R_1^2, R_2^2, R_3^2 ; ebenso bei LIEBISCH Zeile 12—14 K_1 statt K, K_1 usw.

// X und Y sich verhalten wie die Achseneinheiten a und b des Bournonits; die Kantenlänge // Z bleibt unbestimmt.

II. Gitter nach zentrierten Parallelepipeden.

Wählt man als Grenzflächen des primitiven Parallelepipeds die Flächen

$$p^1 = (\mu \bar{\nu} o), \quad p^2 = (\mu \nu o), \quad p^3 = (\mu o \pi), \quad q = (\bar{\mu} o \pi) \text{ (Fig. 1)}^1$$

so wird

$$\begin{aligned} z_1 &= -\frac{\mu^2 + \nu^2}{2\mu\nu} & z_2 &= \frac{\mu^2 - \nu^2}{2\mu\nu} & z_3 &= 0 \\ z_4 &= -z_1 & z_5 &= 0 & z_6 &= -z_2 \\ z_7 &= -1 & z_8 &= \frac{\mu(\mu - \nu)}{2\mu\nu} & z_9 &= -\frac{\mu(\mu + \nu)}{2\mu\nu} \end{aligned}$$

Aus z_4 folgt $\frac{\mu}{\nu} = z_4 \pm \sqrt{z_4^2 - 1}$.

Die Wurzel wird nur rational für $z_4 = \pm 1$; dann ist $\mu = \pm \nu$ und alle z werden Ganze und teilerfremd. Demnach ist die Schiebung nur möglich in Gittern dieser Art, wenn

entweder $p^1 = (1\bar{1}0), \quad p^2 = (110), \quad p^3 = (\mu o \pi), \quad q = (\bar{\mu} o \pi),$
 oder $p^1 = (110), \quad p^2 = (1\bar{1}0), \quad p^3 = (\mu o \pi), \quad q = (\bar{\mu} o \pi).$

Beiderlei Gitter sind wegen der Symmetrie der rhombischen Gitter identisch; die Kantenlängen in (001) verhalten sich wieder wie a:b des Bournonits, die Kantenlänge \perp (001) bleibt unbestimmt.

III. Gitter nach rhombischen Säulen der Stellung (hko).

Für

$$p^1 = (\mu \nu o), \quad p^2 = (\mu \bar{\nu} o), \quad p^3 = (001), \quad q = (\mu o \pi),$$

erhält man

$$\begin{aligned} z_1 &= \frac{\mu^2 + \nu^2}{2\mu\nu} & z_2 &= \frac{\nu^2 - \mu^2}{2\mu\nu} & z_3 &= 0 \\ z_4 &= -z_1 & z_5 &= 0 & z_6 &= -z_2 \\ z_7 &= -1 & z_8 &= 0 & z_9 &= 0 \end{aligned}$$

Aus z_1 folgt $\frac{\mu}{\nu} = z_1 \pm \sqrt{z_1^2 - 1}$.

¹ Die Kanten des gewählten primitiven Parallelepipeds sind in Fig. 1 und den folgenden kräftiger ausgezogen als die des Gitters (hintere gestrichelt); Gitterpunkte durch kleine Kreise bezeichnet.

Die Bedingungen für $\mu : \nu : \pi$ sind also dieselben wie unter II. Die Säulenflächen der Gitter dieser Art müssen also die Indizes (110) haben, ihre Kantenlänge // Z des Bournonits bleibt unbestimmt.

IV. Gitter nach rhombischen Säulen der Stellung (hol).

Setzt man

$$p^1 = (\mu \ 0 \ \pi), \quad p^2 = (\mu \ 0 \ \pi), \quad p^3 = (010), \quad q = (\mu \ \nu \ 0),$$

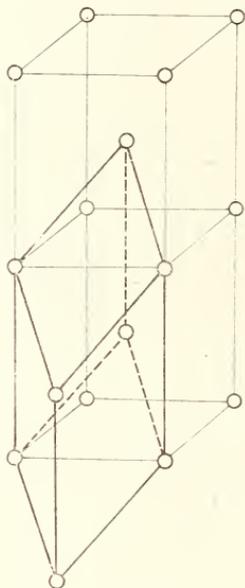


Fig. 1.

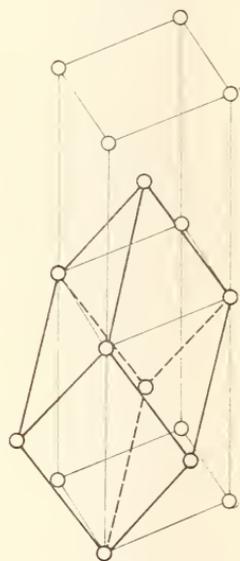


Fig. 2.

so erhält man u. a.

$$z_1 = -\frac{1}{2}.$$

Gitter nach rhombischen Säulen der Stellung (hol) kommen also für Bournonit nicht in Frage.

V. Gitter nach rhombischen Säulen der Stellung (okl).

Setzt man

$$p^1 = (100), \quad p^2 = (0 \ \bar{\nu} \ \pi), \quad p^3 = (0 \ \nu \ \pi), \quad q = (\mu \ 0 \ \pi),$$

so erhält man u. a.

$$z_4 = -\frac{1}{2}.$$

Gitter dieser Art und Stellung kommen also für Bournonit ebenfalls nicht in Frage.

VI. Gitter nach zentrierten Säulen der Stellung (hko).

Hier kann man ein primitives Parallelepiped der Art wählen, daß ist

$$p^1 = (100), \quad p^2 = (u\bar{v}\pi), \quad p^3 = (uv\pi), \quad q = (001) \text{ (Fig. 2),}$$

dann wird

$$\begin{aligned} z_1 &= 0 & z_2 &= \frac{\mu}{\nu} & z_3 &= -\frac{\mu}{\nu} \\ z_4 &= -\frac{\mu}{2\nu} - \frac{1}{2} & z_5 &= \frac{\mu}{2\nu} - \frac{1}{2} & z_6 &= \frac{\nu}{2\mu} - \frac{1}{2} \\ z_7 &= \frac{\mu}{2\nu} - \frac{1}{2} & z_8 &= -\frac{\nu}{2\mu} - \frac{1}{2} & z_9 &= -\frac{\mu}{2\nu} - \frac{1}{2} \end{aligned}$$

Nach z_2 und z_3 ist $\nu \overline{\equiv} \mu$; für $\nu = \mu$ werden alle z ganz und teilerfremd; für $\nu < \mu$ würden z_6 und z_8 nicht mehr ganz. Es sind also nur solche Gitter dieser Art und Stellung für Bournonit möglich, bei welchen $\mu = \nu$ ist, während π unbestimmt bleibt. Es bedeutet dies, daß die Säulenflächen der zentrierten Säulen (hko) die Indizes (110) haben müssen, während ihre Kantenlänge // z unbestimmt bleibt.

VII. Gitter nach zentrierten Säulen der Stellung (hol).

Das primitive Parallelepiped kann man hier durch dieselben Flächen bestimmen wie im Falle VI (Fig. 3) und erhält also die-

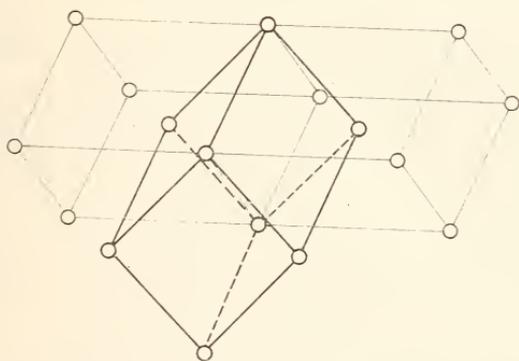


Fig. 3.

selben Bedingungen für $\mu : \nu : \pi$. Es bedeutet dies hier, daß die Länge der Säulenkanten (// Y) der zentrierten Säule sich zu ihrem Durchmesser // X wie $b : a$ des Bournonits verhalten müssen, während ihr Durchmesser // Z des Bournonits unbestimmt bleibt.

VIII. Gitter nach zentrierten Säulen der Stellung (okl).

Hinsichtlich der Wahl des primitiven Parallelepipeds und also auch der Bedingungen für $\mu : \nu : \pi$ gilt dasselbe wie vorher

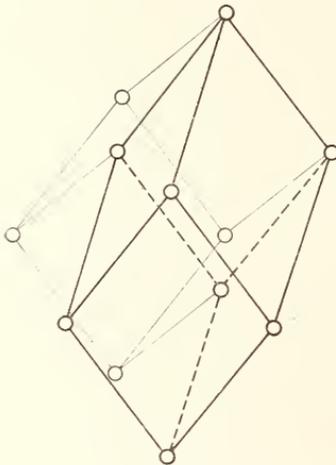


Fig. 4.

(Fig. 4). Es bedeutet dies hier, daß das Verhältnis zwischen der Länge der Kante der zentrierten Säule (okl) (also // X des Bournonits) und ihrem Durchmesser // Y des Bournonits gleich $a : b$ des Bournonits sein muß, während der Winkel der zentrierten Säule unbestimmt bleibt.

Im ganzen ergibt sich demnach: Unter den rhombischen Gittern sind für Bournonit ausgeschlossen nur die nicht zentrierten Säulen der Stellung (hol) und (okl); bei allen andern

ist das Verhältnis der Dimensionen in $\{001\}$ wie oben angegeben bestimmt, das Verhältnis zur Dimension $\perp (001)$ bleibt unbestimmt.

5. Einfache Schiebungen am Pyrargyrit.

Am dunklen Rotgülden kommen vielfach Zwillingslamellen nach $(10\bar{1}4)$ ¹ vor, die aber zuweilen äußerlich „vernarbt“ und daher nicht sicher zu erkennen sind. Es wurden daher bei Vorversuchen an Kristallbruchstücken mit glänzenden muschligen Bruchflächen diese nach der Pressung mit ihren ungepreßten Gegenflächen verglichen. Nachdem diese Versuche ergeben hatten, daß bei ca. 16 000 Atm. feine (aller-

¹ Bei den Rotgülden ist die Zwillingsstellung (Hemitropie) nach $(10\bar{1}4)$ von der nach der Polkante von $(01\bar{1}2)$ verschieden. Welches Gesetz vorliegt, wäre vielleicht durch Beobachtung der Ätzfiguren oder der Flächenverteilung [namentlich von $(10\bar{1}0)$] zu ermitteln, ist aber bisher nicht geschehen. Auch bei den durch Schiebung entstandenen Lamellen ist zwischen beiden Stellungen einstweilen nicht zu entscheiden. Hier ist, dem Gebrauch der Handbücher folgend, $(10\bar{1}4)$ als Zwillingsfläche angenommen.

dings erst u. d. M. sichtbare) Streifen entstanden waren, von denen aber unentschieden bleiben mußte, ob sie Translations- oder Zwillingstreifen waren und deren Orientierung auch nicht möglich war, wurden Versuche an Kristallen von Andreasberg i. H. von einigen Millimeter Größe angestellt.

Nach Pressung bis 20 000 Atm. war die (schon vorher durch oszillatorische Kombination gestreifte) Fläche $\{11\bar{2}0\}$ fast glanzlos geworden, und zwar dadurch, daß sehr feine und zahlreiche Streifen nach zwei nicht sehr verschiedenen Richtungen hinzugekommen waren; sie entsprachen offenbar Lamellen nach zwei Flächen von $(10\bar{1}4)$, gestatteten aber wegen ihrer Feinheit und der gleichzeitigen starken Verbiegung der Flächen keine Messung. An andern, ebenfalls bis 20 000 Atm. gepreßten Kristallen konnten dann aber Lamellen auf $(11\bar{2}0)$ und $(10\bar{1}0)$ näher verfolgt werden. Die Grenzflächen paralleler Lamellen neigen stets nach derselben Seite und sind in Übereinstimmung mit der nach Beobachtungen an natürlichen Lamellen in diesem Jahrb. 1897. II. 81 geforderten Grundzone¹, nämlich

$$z_1 = (10\bar{1}4), \quad \sigma_2 = [0001].$$

Danach gehen sämtliche Flächen der Säulenzone wieder in gleichartige über. Die allgemeine Transformationsformel wird, wenn h_1 , h_2 und h_3 den ersten, zweiten und vierten BRAVAIS'schen Index bedeuten,

$$h_1' : h_2' : h_3' = (h_3 - 2h_1) : -2h_2 : 2h_3.$$

Die Flächen, auf denen Lamellen beobachtet wurden, gehen in folgende über (für $z_1 = \{10\bar{1}4\}$)

$10\bar{1}0$	in	$10\bar{1}0$
$1\bar{2}10$	„	$1\bar{2}10$
$11\bar{2}0$	„	$2\bar{1}\bar{1}0$
$\bar{1}012$	„	$10\bar{1}1$
$10\bar{1}1$	„	$\bar{1}012$
$1\bar{1}02$	„	$01\bar{1}2$
$\bar{1}101$	„	$3\bar{2}\bar{1}2$
$0\bar{5}\bar{5}1$	„	$1 \cdot \bar{1}0 \cdot 9 \cdot 2$

Ein von zahlreichen Lamellen durchsetzter Kristall zeigte auf der Ebene der Schiebung parallelen Fläche $(11\bar{2}0)$

¹ mit welcher aber die Begrenzung der Lamellen auf einigen Flächen, vermutlich infolge Weiterwachsens der Lamellen, nicht im Einklang war.

keine Spur der Lamellen, ebensowenig auf den Flächen (01 $\bar{1}$ 2) aus der Zone der Schiebungsrichtung.

Die an den verschobenen Flächen beobachteten Winkel sind folgende (berechnet für $\alpha_1 = \{10\bar{1}4\}$)

	ber.	gem. ¹
10 $\bar{1}$ 0	25° 40'	*22° 51'
11 $\bar{2}$ 0	22 11	21 15
$\bar{1}$ 012	7 49½	8 46
01 $\bar{1}$ 0	12 45	11 35
10 $\bar{1}$ 1	7 49½	7 44
05 $\bar{5}$ 1	11 10	11 20
$\bar{1}$ 101	8 30	7 49
$\bar{1}$ 012	7 49½	7 55
10 $\bar{1}$ 2	7 49½	7 8
3214	8 12	*9 12

Ein vor der Pressung einheitlich auslöschendes Prisma (11 $\bar{2}$ 0) zeigte nachher zahllose optisch abweichende Streifen, gesehen durch die (streifenlos gebliebene) Ebene der Schiebung; indessen konnte die optische Orientierung der Lamellen wegen ihrer großen Feinheit nicht ermittelt werden.

Bei kleineren Drucken (bis 12 000 Atm.) wurden mehrfach keine Lamellen erhalten [Druckrichtung senkrecht (11 $\bar{2}$ 0)] oder nur in Spuren an besonders exponierten Kanten; andererseits entstanden auch bei hohen Drucken (bis 20 000 Atm.) zuweilen wohl starke Verbiegungen der Flächen, ohne daß aber, selbst u. d. M., auch nur Spuren von Lamellen zu erkennen gewesen wären. Es ist vielleicht die Druckrichtung von erheblicher Bedeutung, indessen war es nicht möglich, hinreichend zahlreiche Versuche über ihren Einfluß anzustellen. Die Lamellen sind übrigens, wie die Flächen, zuweilen stark verbogen, so daß namentlich an Stellen, wo Lamellen nach mehreren Flächen (10 $\bar{1}$ 4) sich durchkreuzen, der Anschein erweckt wird, als lägen nur unregelmäßige Kräuselungen der Oberfläche vor.

Gitter des Pyrargyrits.

Macht man das in der üblichen Aufstellung nächststumpferer Rhomboeder des Pyrargyrits zum Grundrhomboeder, so erhalten Gleitfläche und Grundzone dieselben Indizes wie beim Millerit. Es gelten daher die von A. JOHNSON (Centralbl.

¹ * bedeutet Schimmernmessung.

f. Min. etc. 1916. 128) gezogenen Schlußfolgerungen über die möglichen Gitter¹.

Prostit. 10 Bruchstücke von Kristallen und ein kleines nach (1120) tafeliges, gut durchsichtiges Blättchen [letzteres mit einigen Zwillinglamellen nach (1014)] wurden, in Salpeter eingebettet, Drucken bis 20 000 Atm. unterworfen. Es war danach weder auf den muschligen Bruch- und den Spaltflächen der ersteren, noch auf den Kristallflächen des letzteren Streifung zu erkennen, auch war die optische Homogenität ganz ungestört.

6. Einfache Schiebungen am Kupferglanz.

Natürliche Zwillinge sind hier bekannt nach (110), (130), (011), (112), (032) und (201). Am häufigsten sind solche nach (110); sie haben wie jene nach (130) ausgesprochen pseudosymmetrischen Charakter, indem sie die große Annäherung der einfachen Kristalle an hexagonale Symmetrie noch verstärken. Die Zwillinge nach (011) und (112) zeichnen sich dadurch aus, daß ihr Zusammentreten ebenfalls der hexagonalen Pseudosymmetrie entspricht und dadurch, daß sie (001) mit (010), bzw. mit (110) fast zur Deckung kommen lassen. Es wurde demnach erwartet, daß durch großen Druck am ehesten einfache Schiebungen nach (110) und (130) und nach (011) und (112) bewirkt werden würden, denn bei allen diesen Umstellungen hätte der Betrag der Schiebung sehr klein sein können, wenn nämlich im ersten Falle $\sigma_2 = [130]$, bzw. $[110]$, im zweiten Falle $\sigma_2 = (011)$, bzw. (312) gewesen wäre.

Die Versuche ergaben aber, daß dies durchaus nicht der Fall ist; es entstehen vielmehr Zwillinglamellen nach

$$z_1 = (201), \text{ mit } \sigma_2 = [100]$$

und nach einem bisher nicht bekannten Gesetz:

$$z_1' = (131), \text{ mit } \sigma_2' = [110],$$

so daß nunmehr am Kupferglanz Zwillinge nach nicht weniger als sieben Gesetzen (mit 18 Zwillingflächen verschiedener Lage für jedes Individuum) bekannt sind. Durch die Gesamtheit der Gleitflächen (201) und (131) und ihre zugehörigen Grund-

¹ und zwar kommen, worauf mich Herr JOHNSEN aufmerksam machte, trotz der hier zweifellos nur dreizähligen Achse auch hexagonale Gitter in Frage, da ja auch diese am Aufbau beteiligt sein können.

zonen kommt der pseudo-hexagonale Charakter des Kupferglanzes insofern ebenfalls zum Ausdruck, als die beiden Formen (201) und (131) zusammen nahezu eine hexagonale Pyramide II. Ordnung¹ bilden und die zugehörigen Grundzonen nahezu die Randkanten einer Pyramide I. Ordnung.

Zur Erzeugung der Lamellen nach (201) genügt ein Druck, der das Manometer der Presse nur eben ansprechen läßt. Auf frischen, stark glänzenden, muschligen Bruchflächen wurden nach 500 Atm. Druck schon feine Lamellen erkennbar. Die Lamellen nach (131) entstanden vielleicht erst bei etwas höheren Drucken. Charakteristische Präparate wurden bei Drucken von etwa 10 000 Atm. erzielt, indessen ergaben Versuche, daß man an kleinen Kristallen Lamellen sowohl nach (201) wie nach (131) schon dadurch hervorrufen kann, daß man einen kleinen Stahlzylinder ($d = 2$ mm) über die Fläche (001) eines auf etwas nachgiebiger Unterlage liegenden Kristalls unter Druck der Finger derart rollen läßt, daß die Achse // Y des Kupferglanzes liegt.

Den Verlauf der Lamellen auf gewöhnlichen Flächen zeigt Fig. 5. Charakteristisch ist, daß die Spur der Lamellen nach (201) auf (110) mit der Kante zur Basis einen Winkel von nahezu 60° , nämlich $59^\circ 2'$ einschließt, die Fläche erhält also, wenn vorher schon eine oszillatorische Kombinationsstreifung nach (hhl) vorhanden war, dadurch eine pseudo-hexagonale Streifung, wie sie die Basis bei Zwillingsbildung nach (130) und gleichzeitiger oszillatorischer Kombinationsstreifung nach (0kl) gewöhnlich aufweist, und jene Streifung auf (110) fällt auch mit der auf der Basis zusammen, wenn gleichzeitig Zwillingsbildung nach (112) eintritt. Säulenflächen mit Zwillingsstreifung nach (201) kann man daher mit Basisflächen in Zwillingslage nach (112) verwechseln, wenn man nur die Lage der Streifung beachtet oder der Reflex der Lamellen nach (201) nicht deutlich ist.

Da ferner (201) fast mit einer Fläche (131) eines nach (110) verzwilligten Teiles zusammenfällt, liegt die Zwillingsstreifung nach (131) auf (001) fast so wie die Zwillingsstreifung

¹ wenn man die gewöhnlichen Formen des Kupferglanzes als pseudo-hexagonale I. Ordnung bezeichnet.

Schiebungen nach $z_1 = \{201\}$ mit $\sigma_2 = [100]$.

Für diese lautet die Transformationsformel:

$$h_1' : h_2' : h_3' = -h_1 : h_2 : (h_3 - h_1) \quad (\text{Ia})$$

Danach gehen die folgenden Flächen, auf denen die Grenzflächen der Lamellen ermittelt werden konnten, über in:

110	in	$\bar{1}\bar{1}\bar{1}$
021	"	021
111	"	$\bar{1}\bar{1}0$
112	"	$\bar{1}\bar{1}1$
$\bar{1}\bar{1}2$	"	112
113	"	$\bar{1}\bar{1}2$
$\bar{1}\bar{1}3$	"	114
$\bar{2}01$	"	203

Die Messungen gestalteten sich deshalb schwierig, weil bei der Pressung meist sehr zahlreiche sich durchkreuzende Lamellen entstanden, verbunden mit Verbiegungen und Zerreißen von Lamellen und Hauptfläche; auch veranlaßte die Feinheit vieler Lamellen starke Beugung der Reflexe.

Für Lamellen nach $z_1 = \{201\}$ wurde gefunden:

	beob.	ber.
auf 110	4° 14'	4° 9'
001	33 21	33 24
$11\bar{1}$	14 35	14 19
$1\bar{1}3$	19 5	22 45
021	15 5	15 8
$1\bar{1}1$	4 35	4 15

Für die Lamellen auf $\{110\}$ konnte auch der Zonenverband zu $\{111\}$ und $\{021\}$ festgestellt werden; auch der richtige Sinn der Abweichung von der Hauptfläche; ebenso in andern Fällen. Die Lamellen auf (023) , (021) und (001) konnten häufig gemessen werden, die obigen Werte sind die besten.

An gepreßten Kristallen wurden mehrfach Absonderung nach der Gleitfläche (201) und zuweilen Spaltung nach (111) beobachtet und folgende Winkel ermittelt:

	beob.	ber.
$z_1 = 201 : 021$	82° 38'	82° 26'
: 001	73 34	73 18
: $1\bar{1}0$	34 —	33 57
: Spaltfl. 111	52 15½	52 50
$1\bar{1}0$: $\bar{1}\bar{1}1$	63 41	63 9
110 : 111	26 51	27 24½
$1\bar{1}0$: $1\bar{1}\bar{1}$	27 03	27 24½

Es muß bemerkt werden, daß die Absonderung nach der Gleitfläche öfter beträchtlich von der theoretischen Lage abwich, auch wenn die Reflexe (wie meist) ausgezeichnet waren. Es ist allerdings möglich, daß diese Absonderung zum Teil auch nach (131) erfolgte, was bei der Pseudosymmetrie der Kristalle nach dem Pressen meist nicht mehr entschieden werden konnte.

An zwei Kristallen von Redruth wurden auch natürliche Lamellen nach (201) beobachtet, die nach ihrer Begrenzung auf (001) und (021) durch Druck entstanden sein können.

Schiebungen nach $\alpha_1' = (131)$ mit $\sigma_2' = [110]$.

Lamellen nach (131) wurden niemals ohne solche nach (201) erhalten, sie durchkreuzen sich mit jenen, und da so in einem einheitlichen, von Natur nicht verzwilligten Kristall schon sechs Lamellenzüge entstehen können, ist die Streifung auf den Flächen zumal von Natur verzwilligter Kristalle nicht immer zu entwirren. Die ebenen Winkel dieser Lamellenzüge mit den Kristallkanten konnten, weil die Flächen meist uneben geworden waren, nur ungenau gemessen werden, stimmten aber innerhalb der zu erwartenden Abweichungen mit den berechneten überein.

Für $\alpha_1' = \{131\}$ und $\sigma_2' = [110]$ geht $\{h_1 h_2 h_3\}$ über in $\{h_1' h_2' h_3'\}$ mit

$$h_1' : h_2' : h_3' = (-h_1 + h_2) : (3h_1 + h_2) : (h_1 + h_2 - 2h_3) \quad (1b)$$

Die Lage der Grundzone $[110]$ konnte zwar nur durch zwei, noch dazu wenig gute Schimmermessungen bestimmt werden, ist aber doch unzweifelhaft, da sie durch zahlreiche Beobachtungen über den Sinn der Neigung der Lamellen zur Hauptfläche und die Größenordnung dieser Neigung, namentlich auch auf (001) bestätigt werden konnte. Die Messungen sind deshalb so selten möglich, weil die Lamellen nach (201) meist stark überwiegen und die Güte der Reflexe der Hauptfläche wie der nach (131) verschobenen Teile sehr ungünstig beeinflussen.

Eigentümlichkeit beider Paare von Schiebungselementen.

Die beiden Schiebungen des Kupferglanzes sind von einer Art, wie sie bisher noch nicht beobachtet sind, indem bei jeder von ihnen mit derselben Grundzone je 2 Gleitflächen sich verbinden können, nämlich ¹

$$\begin{array}{l} \text{a) mit } \sigma_2 = [100] \text{ die Gleitfl. } z_1 = \{201\} \text{ und } z_1' = \{\bar{2}01\} \\ \text{b) mit } \left\{ \begin{array}{l} \sigma_2' = [110] \quad " \quad " \quad z_1' = \{131\} \quad " \quad z_1' = \{\bar{1}\bar{3}1\} \\ \sigma_2' = [\bar{1}10] \quad " \quad " \quad z_1' = \{1\bar{3}1\} \quad " \quad z_1' = \{\bar{1}31\} \end{array} \right. \end{array}$$

wobei die Ebene der Schiebung für jedes Paar dieselbe ist. Dies hat eigentümliche Folgen, wenn ein Kristall nacheinander ein oder mehrere Male abwechselnd den beiden Schiebungen a) oder einer der beiden Schiebungs-paare b) unterliegt.

a) Durch die Schiebung mit den Elementen

$$z_1 = \{201\} \text{ und } \sigma_2 = [100]$$

geht $\{h_1 h_2 h_3\}$ über in $h_1'' h_2'' h_3''$ mit

$$h_1'' : h_2'' : h_3'' = -h_1 : h_2 : (h_1 + h_2) \quad (\text{II a})$$

Hat der Kristall schon vorher die Schiebung mit den Elementen $z_1 = \{201\}$, $\sigma_2 = [110]$ erfahren, so erhält die Fläche, die zu Anfang die Indizes $\{h_1 h_2 h_3\}$ hatte, nunmehr diejenigen Indizes, welche sich ergeben, wenn in (II a) für h_1 , h_2 und h_3 die Werte von $h_1' h_2' h_3'$ aus (I a) eingesetzt werden. Dies ergibt die Indizes

$$h_1 : h_2 : (-2h_1 + h_3) \quad (\text{I a, II a})$$

Folgt darauf wieder die Deformation Ia, so gehen die Indizes (I a, II a) über in

$$-h_1 : h_2 : (-3h_1 + h_3) \quad (\text{I a, II a, I a})$$

Eine weitere Schiebung nach $z_1 = (201)$ gibt

$$h_1 : h_2 : (-4h_1 + h_3) \quad (\text{I a, II a, I a, II a})$$

u. s. f.

Nach der n-ten Schiebung werden die Indizes der Fläche $\{h_1 h_2 h_3\}$:

$$(-1)^n \cdot h_1 : h_2 : (-n h_1 + h_3).$$

¹ Ein ähnlicher Fall liegt vor am Millerit und Rotgülden (Verbindung derselben Grundzone mit 3 Gleitflächen, aber verschiedenen Ebenen der Schiebung); Gegenstücke dazu in den Schiebungen am Eisenglanz, Korund und Magnetit, wo eine Gleitfläche sich mit drei gleichwertigen Grundzonen verbindet (vgl. JOHNSEN über VEIT'S und GRÜHN'S Untersuchungen. Centrallbl. f. Min. etc. 1918. 266) und A. GRÜHN, dies. Jahrb. 1918. 99.

Wenn also der zweite Index derselbe bleibt, wechselt der erste immer zwischen dem ursprünglichen und dem entgegengesetzt gleichen Wert, der dritte aber wird immer größer negativ. Daraus folgt, daß sich die Ausgangsfläche immer mehr der Lage (001), also der zweiten Kreisschnittsebene, nähert, d. h. der Kristall wird durch fortgesetzte abwechselnde Schiebung nach $\{201\}$ und $\{20\bar{1}\}$ zu einer immer dünneren Tafel nach der Basis gewissermaßen ausgewalzt, ohne dabei (in der Theorie) seine Homogenität einzubüßen (er könnte durch Vornahme der Schiebungen in der entgegengesetzten Reihenfolge

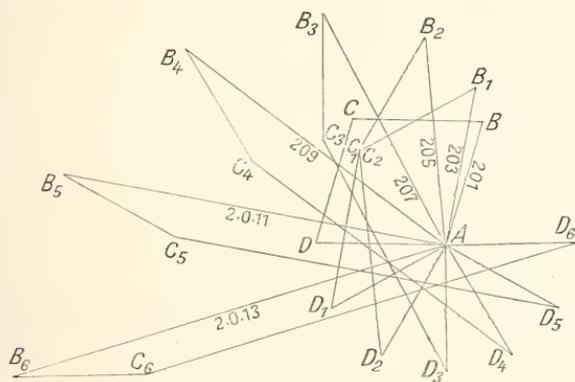


Fig. 6.

wieder in die ursprüngliche Form gebracht werden). Die ursprüngliche Form des Kristalls ist dabei ganz gleichgültig, denn $h_1 h_2 h_3$ sind ganz beliebige Indizes. Vielfach abwechselnde Deformation nach $\{201\}$ und $\{20\bar{1}\}$ wirkt also, was die Form des Kristalls betrifft, analog wie eine Translation längs (001) nach der Richtung $t = [100]$ (immer in demselben Sinne).

Bildet der Kristall ursprünglich ein Parallelepipid mit den Grenzflächen (001), (201) (beide gleich groß) und (010) (Fig. 6, ABCD, Schnitt parallel der Ebene der Schiebung), so ist er nach der 6. Deformation begrenzt von (001), (2.0.13) und (010).

Fig. 6. $AB_1C_1D_1$ Schnitt nach der Schiebung längs $\{20\bar{1}\}$, wenn man sich den Kristall dabei in A festgehalten denkt. Nach der 6. Deformation ist der Querschnitt $AB_6C_6D_6$, die Begrenzung wird gebildet von (001) und (2.0.13). Die Lage der Gleitfläche in den einzelnen Stadien ist parallel $DD_1, D_1D_2, \dots, D_5D_6$; alle die Punkte D liegen in gleichen Abständen voneinander auf einem Kreis um A derart, daß $\angle DAD_1$ gleich

ist der maximalen Kippung (der zweiten Kreisschnittsebene). Da alle Querschnitte $A B_n C_n D_n$ inhaltsgleich sind und $A D_n // B_n C_n$ ist, schneiden die $B_n C_n$ und ihre Verlängerungen den Kreis um A als Sehnen von gleicher Länge. $D D_1$ usw.

Nach der hundertsten Deformation würde der Kristallquerschnitt ein Parallelogramm bilden, dessen Flächen (hol) nur noch etwa 1° gegen (001) geneigt wären und der Kristall würde zu einem Blättchen von gleicher Breite // Y und 58facher Länge // X , quasi ausgewalzt erscheinen, dessen Dicke nur noch etwa $\frac{1}{58}$ der ursprünglichen sein würde.

Wiederholung der zweiten Schiebung. Durch die Schiebung mit den Elementen

$$z_1 = \{1\bar{3}1\}, \quad \sigma_2 = [110]$$

geht eine Fläche $h_1 h_2 h_3$ über in $h_1'' h_2'' h_3''$ mit

$$h_1'' : h_2'' : h_3'' = (h_1 - h_2) : (-3h_1 - h_2) : (h_1 + h_2 + 2h_3) \quad (\text{II b})$$

Eine Fläche, welche die Deformation (Ib) und (II b) nacheinander erfährt, erhält die Indizes

$$h_1 : h_2 : (-h_1 + h_2) + h_3 \quad (\text{I b. II b})$$

Ebenso eine Fläche, welche Ib. II b und wieder Ib erfährt:

$$(-h_1 + h_2) : (3h_1 + h_2) : (3(h_1 + h_2) - 2h_3) \quad (\text{I b. II b. Ib})$$

Bezeichnet man allgemein die n -malige Wiederholung der beiden Schiebungen Ib und II b mit $(\text{I b. II b})^n$, die dann folgende also mit $(\text{I b. II b})^n \cdot \text{I b}$, so werden die Indizes der Fläche:

$$\begin{aligned} h_1 : h_2 : (-n(h_1 + h_2) + h_3) & \quad (\text{I b. II b})^n \\ (-h_1 + h_2) : (3h_1 + h_2) : ((2n + 1)(h_1 + h_2) - 2h_3) & \quad (\text{I b. II b})^n \cdot \text{I b} \end{aligned}$$

Während also nach der $2n$ -ten Schiebung die Indizes für die Achsen X und Y wieder dieselben sind wie zu Anfang, wird der Index für Z immer größer negativ; nach jeder $(2n + 1)$ -ten Schiebung haben zwar die Indizes für die Achsen X und Y einen andern, aber immer denselben Wert, der also endlich bleibt, wie oft sich auch die Schiebung wiederholen möge, während der Index der Achse Z immer größer positiv wird.

In beiden Fällen nähert sich also durch die Aufeinanderfolge zahlreicher Schiebungen abwechselnd nach $(1\bar{3}1)$ und $(1\bar{3}\bar{1})$ jede beliebige Begrenzungsfläche immer mehr der Basis, d. h. der Kristall erhält auch hier immer mehr die Form einer dünnen (nach der Kante $[110]$ verlängerten) Tafel // (001). Die

Formänderung ist also analog wie bei einer Translation längs (001) in der Richtung $[110]^1$ (immer in demselben Sinne ausgeführt¹).

Anmerkung: Beim Rotgültigerz erhalten nach zweimal wiederholten Schiebungen nach allen 3 Gleitflächen (10 $\bar{1}$ 4) mit $\sigma_2 = [0001]$ alle Flächen wieder ihre ursprünglichen Indizes. Bei Benützung MILLER'scher Symbole werden die Indizes für die Fläche $h_1 h_2 h_3$:

$$\text{mit } z_1 = \{112\}, \sigma_2 = [111], (-h_1 + h_2 + h_3) : (h_1 - h_2 + h_3) : 2(h_1 - h_2) \quad \text{(I)}$$

$$\text{mit } z_1 = \{211\}, \sigma_2 = [111], 2(h_2 + h_3) : (h_1 - h_2 + h_3) : (h_1 + h_2 - h_3) \quad \text{(II)}$$

$$\text{mit } z_1 = \{121\}, \sigma_2 = [111], (-h_1 + h_2 + h_3) : 2(h_1 + h_3) : (h_1 + h_2 - h_3) \quad \text{III}$$

Führt man nacheinander die Schiebungen in der Reihenfolge I, II, III und noch einmal I, II, III aus, so werden die Indizes:

$$\begin{aligned} & (3h_1 + h_2 + h_3) : 2h_2 : (-h_1 - h_2 + h_3) && \text{(I, II)} \\ & -h_1 : (h_1 + h_3) : h_1 + h_2 && \text{(I, II, III)} \\ & (3h_1 - h_2 + h_3) : (-h_1 + h_2 - h_3) : 2h_3 && \text{(I, II, III, I)} \\ & (-h_1 + h_2 + h_3) : 2h_1 + 2h_3 : (h_1 + h_2 - h_3) && \text{(I, II, III, I, II)} \\ & h_1 : h_2 : h_3 && \text{(I, II, III, I, II, III)} \end{aligned}$$

Die für Kupferglanz möglichen Gitter.

Unter der Annahme, daß die einfachen Schiebungen am Kupferglanz reine Gitterschiebungen sind, ergibt sich für die Art und Form dieser Gitter folgendes:

I. Gitter nach rechtwinkligen Parallelepipeden.

Setzt man für p^1, p^2, p^3 und q dieselben Werte ein wie beim Bournonit (unter I), nämlich

$$p^1 = (100), p^2 = (010), p^3 = (001), q = (u \nu \pi)$$

und zunächst

1. $z_1 = (201), \sigma_2 = [100]$, so erhält man

$$\begin{array}{lll} z_1 = 1 & z_2 = 0 & z_3 = \frac{u}{\pi} \\ z_4 = -1 & z_5 = 0 & z_6 = 0 \\ z_7 = -1 & z_8 = 0 & z_9 = 0 \end{array}$$

Versteht man unter n eine ganze Zahl, so ist also die Bedingung

$$u = n \cdot \pi; \quad \nu \text{ bleibt unbestimmt.}$$

¹ Auf polierten Flächen von derbem Kupferglanz von Caterno, Chile, machte sich nach dem Pressen keine Streifung bemerkbar; das Material schien allerdings für solche Versuche wenig günstig (zu feinkörnig und nicht sehr homogen).

2. Für $z_1 = h' = (131)$, $\sigma_2 = u' = [110]$, erhält man u. a.

$$z^1 = -\frac{1}{2}.$$

Schiebungen dieser Art sind also in einem Gitter nach rechtwinkligen Parallelepipeden nicht möglich, und derartige Gitter kommen also für Kupferglanz nicht in Frage.

II. Gitter nach zentrierten rechtwinkligen Parallelepipeden.

Wählt man als Flächen des primitiven Parallelepipeds

$$p^1 = (\mu \bar{r} o), \quad p^2 = (\mu r o), \quad p^3 = (\mu o \pi) \quad \text{und} \quad q = (\bar{\mu} o \pi),$$

so wird für

1. $z_1 = h' = (201)$, $\sigma_2 = u' = [100]$

$$\begin{aligned} z_1 &= -\frac{\mu}{2\pi} & z_2 &= -\frac{\mu}{2\pi} + 1 & z_3 &= \frac{\mu}{2\pi} \\ z_4 &= -\frac{\mu}{2\pi} & z_5 &= -\frac{\mu}{2\pi} & z_6 &= -\frac{\mu}{2\pi} + 1 \\ z_7 &= \frac{\mu}{\pi} - 1 & z_8 &= \frac{\mu}{2\pi} - 1 & z_9 &= \frac{\mu}{2\pi} - 1 \end{aligned}$$

Die Bedingung für die Möglichkeit der ersten einfachen Schiebung ist also

$$\mu = 2n\pi, \quad r \text{ bleibt unbestimmt.}$$

2. Für $z_1 = h' = (131)$, $\sigma_2 = u' = [110]$, erhält man u. a.

$$z_8 = \frac{3\mu\pi + \mu r - r\pi}{4r\pi}, \quad z_9 = \frac{-3\mu\pi + \mu r - r\pi}{4r\pi}$$

also

$$z_8 + z_9 = \frac{\mu - \pi}{2\pi} \quad (I)$$

(I) erhält unter Berücksichtigung der Bedingung der ersten Schiebung

$$\mu = 2n \cdot \pi$$

den Wert

$$z_8 + z_9 = n - \frac{1}{2}.$$

Die Bedingung der ersten Schiebung ist also mit der für die zweite nicht verträglich; Gitter dieser Art können also nicht beide Schiebungen eingehen und kommen für Kupferglanz nicht in Betracht.

III. Gitter nach rhombischen Säulen der Stellung (hko).

Setzt man

$$p^1 = (\mu r o), \quad p^2 = (\mu \bar{r} o), \quad p^3 = (001), \quad q = (\mu o \pi),$$

so wird für

1. $x_1 = h' = (201), \sigma_2 = u' = [100]$

$$\begin{array}{lll} z_1 = 0 & z_2 = 1 & z_3 = \frac{\mu}{2\pi} \\ z_4 = 0 & z_5 = \frac{\mu}{2\pi} & z_6 = 1 \\ z_7 = -1 & z_8 = 0 & z_9 = 0 \end{array}$$

Die Bedingung für die Möglichkeit dieser Schiebung ist also

$$\mu = 2n\pi, \quad r \text{ bleibt unbestimmt.}$$

2. $x_1 = h' = (131), \sigma_2 = u' = [110]$

$$\begin{array}{lll} z_1 = \frac{3\mu^2 + \nu^2}{4\mu\nu} & z_2 = \frac{-3\mu^2 - 2\mu\nu + \nu^2}{4\mu\nu} & z_3 = \frac{\mu + \nu}{4\pi} \\ z_4 = -\frac{3\mu^2 + \nu^2}{4\mu\nu} & z_5 = \frac{\mu - \nu}{4\pi} & z_6 = \frac{3\mu^2 - 2\mu\nu - \nu^2}{4\mu\nu} \\ z_7 = -1 & z_8 = 0 & z_9 = 0 \end{array}$$

Aus $z_2 - z_6$ ergibt sich, unter N eine ganze Zahl verstanden:

$$\begin{aligned} \frac{3}{2} \frac{\mu}{\nu} - \frac{1}{2} \frac{\nu}{\mu} &= N, \\ \frac{\mu}{\nu} &= \frac{N \pm \sqrt{N^2 + 3}}{3}. \end{aligned}$$

Der Wert unter der Wurzel wird nur rational für

$$N = \pm 1$$

a) Für $N = +1$ wird $\frac{\mu}{\nu} = +1$ oder $-\frac{1}{3}$.

$\alpha)$ Für $\frac{\mu}{\nu} = +1$ erhält man unter Berücksichtigung der Bedingung der ersten Schiebung, wonach sein muß

$$\begin{array}{lll} \mu = 2n\pi & & \\ z_1 = 1 & z_2 = -1 & z_3 = n \\ z_4 = 1 & z_5 = 0 & z_6 = 0 \\ z_7 = -1 & z_8 = 0 & z_9 = 0 \end{array}$$

Beide Schiebungen sind also nur möglich für

$$\frac{\mu}{\nu} = +1; \quad \mu = 2n\pi.$$

$\beta)$ Für $\frac{\mu}{\nu} = -\frac{1}{3}$ erhält man unter Berücksichtigung, daß

$$\begin{array}{lll} \mu = 2n\pi & & \\ z_1 = -1 & z_2 = -1 & z_3 = -n \\ z_4 = +1 & z_5 = 2n & z_6 = 0 \\ z_7 = -1 & z_8 = 0 & z_9 = 0 \end{array}$$

Beide Schiebungen sind also auch möglich für $\frac{\mu}{\nu} = -\frac{1}{3}$,
 $\mu = 2n\pi.$

b) Für $\Lambda = -1$ wird

$$\frac{\mu}{\nu} = -1 \text{ oder } \frac{\mu}{\nu} = +\frac{1}{3}.$$

Wegen der Symmetrie aller rhombischen Gitter nach den für Kupferglanz gewählten Koordinatenebenen sind die aus b) abzuleitenden Gitter von den unter a) abgeleiteten nicht verschieden.

Im ganzen ergibt sich demnach: Die Schiebungen am Kupferglanz sind verträglich mit Gittern nach rhombischen Säulen, deren Säulenflächen entweder die Indizes (110) oder (130) zukommen; der Winkel der Säulen ist also in beiden Fällen nahezu 60° , die Länge der Säulenkante unterliegt nur der Beschränkung, daß $\mu = 2n\pi$ sein muß.

IV. Gitter nach rhombischen Säulen der Stellung (hol).

Für

$$p^1 = (\mu o \bar{n}), \quad p^2 = (\mu o \pi), \quad p^3 = (010), \quad q = (\mu \nu o) \text{ und}$$

1. $\alpha_1 = h' = (201)$, $\sigma_2 = u' = [100]$ wird

$$\begin{array}{lll} z_1 = \frac{\mu}{2\pi} & z_2 = 1 + \frac{\mu}{2\pi} & z_3 = 0 \\ z_4 = \frac{\mu}{2\pi} & z_5 = 0 & z_6 = 1 - \frac{\mu}{2\pi} \\ z_7 = -1 & z_8 = 0 & z_9 = 0 \end{array}$$

Diese Schiebung ist also nur möglich, wenn

$$\mu = 2n\pi; \quad \nu \text{ bleibt unbestimmt.}$$

2. $\alpha_1 = h' = (131)$, $\sigma_2 = u' = [110]$, man erhält u. a.

$$z_7 = \frac{1}{2}.$$

Also kann die zweite Schiebung des Kupferglanzes in Gittern dieser Art nicht stattfinden, sie sind also für Kupferglanz ausgeschlossen.

V. Gitter nach rhombischen Säulen der Stellung (okl).

Wir setzen

$$p^1 = (100), \quad p^2 = (o \bar{\nu} \pi), \quad p^3 = (o \nu \pi), \quad q = (\mu o \pi)$$

1. für $\alpha_1 = h' = (201)$, $\sigma_2 = u' = [100]$. wird

$$\begin{array}{lll} z_1 = 1 & z_2 = \frac{\mu}{\pi} & z_3 = \frac{\mu}{\pi} \\ z_4 = -1 & z_5 = 0 & z_6 = 0 \\ z_7 = -1 & z_8 = 0 & z_9 = 0 \end{array}$$

Die Schiebung ist also nur möglich, wenn

$$\mu = n\pi; \nu \text{ ist unbestimmt.}$$

2. Für $z_2 = h' = (131)$, $\sigma_2 = u' = [110]$ wird u. a.

$$z_1 = -\frac{1}{2},$$

also können einfache Schiebungen der zweiten Art in Gittern dieser Art nicht eintreten; letztere sind also für Kupferglanz ausgeschlossen.

VI. Gitter nach zentrierten rhombischen Säulen der Stellung (hko).

Trifft man hinsichtlich des primitiven Parallelepipeds dieselbe Wahl wie beim Bournonit für das Gitter gleicher Art, also

$$p^1 = (100), \quad p^2 = (\mu \nu \pi), \quad p^3 = (\mu \nu \pi), \quad q = (001).$$

so wird für die erste Schiebung

1. $z_1 = h' = (201)$, $\sigma_2 = u' = [100]$:

$$\begin{aligned} z_1 &= 1 - \frac{\mu}{\pi} & z_2 &= -\frac{\mu}{\pi} & z_3 &= -\frac{\mu}{\pi} \\ z_4 &= -1 + \frac{\mu}{2\pi} & z_5 &= \frac{\mu}{2\pi} & z_6 &= -1 + \frac{\mu}{2\pi} \\ z_7 &= -1 + \frac{\mu}{2\pi} & z_8 &= -1 + \frac{\mu}{2\pi} & z_9 &= \frac{\mu}{2\pi} \end{aligned}$$

In Gittern dieser Art ist demnach die erste Schiebung nur möglich, wenn

$$\mu = 2n\pi; \nu \text{ bleibt unbestimmt.}$$

2. $z_1 = h' = (131)$, $\sigma_2 = u' = [110]$, man erhält u. a.

$$z_1 = \frac{\mu + \pi}{-2\pi}, \text{ also } \frac{\mu}{\pi} = -2z_1 - 1.$$

Da z_1 ganz sein soll, muß $\frac{\mu}{\pi}$ ungerade sein; die Bedingung der ersten Schiebung lautet aber

$$\mu = 2n\pi, \text{ also } \frac{\mu}{\pi} \text{ gerade.}$$

Gitter dieser Art, soweit sie der ersten Schiebung fähig sind, können also die zweite nicht eingehen, Gitter dieser Art kommen also für Kupferglanz nicht in Betracht.

VII. Gitter nach zentrierten Säulen der Stellung (hol).

VIII. Gitter nach zentrierten Säulen der Stellung (okl).

Man kann in diesen beiden Gittern das primitive Parallelepiped und die Einheitsfläche ebenso wählen wie im Falle VI und erhält also dieselben Bedingungen wie dort. Gitter beider Stellungen kommen also für Kupferglanz nicht in Frage.

Übersicht für Kupferglanz.

Gitter nach Art und Stellung	Bedingung für einfache Schiebung mit	
	$z_1 = (201),$ $\sigma_2 = [100]$	$z_1 = (131), \sigma_2 = [110]$
I. Parallelepipede	$\mu = n \cdot \pi$ ν unbestimmt	nicht möglich
II. Zentrierte Parallelepipede	$\mu = 2n \cdot \pi$ ν unbestimmt	nicht möglich mit der ersten zusammen
III. Säulen (h k o)	ebenso	möglich mit der ersten zusammen nur wenn entweder $\mu = \pm \nu$ } und gleichzeitig oder $\mu = \pm \frac{1}{3} \nu$ } $\mu = 2n\pi$ also (h k o) = (110) } also (μ o π) oder (130) } = (2n . 0 . 1)
IV. Säulen (h o l)	ebenso	nicht möglich
V. Säulen (o k l)	$\mu = n \cdot \pi$ ν unbestimmt	nicht möglich
VI. Zentrierte Säulen (h k o)	$\mu = 2n \cdot \pi$ ν unbestimmt	nicht möglich mit der ersten zusammen
VII. Zentrierte Säulen (h o l)	ebenso	ebenso
VIII. Zentrierte Säulen (o k l)	ebenso	ebenso

Das Gitter des Kupferglanzes kann also nur ein solches nach nicht zentrierten Säulen sein, und zwar müssen die Säulenflächen entweder seinem Prisma (110) oder (130) parallel gehen; die Höhe der Säulen (Länge der Säulenkante) ist nicht bestimmt, sondern nur der Beschränkung

unterworfen, daß das Verhältnis zwischen der Länge der Säulenkante und ihrer halben Flächen-diagonale // der Achse X ein ganzes Vielfaches desselben Verhältnisses für die Gleitfläche (201) der ersten einfachen Schiebung ist.

Obwohl die Kristalle von Kupferglanz sehr viel öfter als nach (201) nach (110) und (130) verzwillingt sind, wurde trotz zahlreicher Versuche niemals Schiebung nach letzteren Flächen beobachtet. Es ist aber bemerkenswert, daß das für die Schiebungen nach (201) und (131) erfordernte Gitter auch Schiebungen nach (110) und (130) gestattet, und daß dieses Gitter zugleich große Netzdichte für die am Kupferglanz häufigsten Kristallflächen wahrscheinlich macht¹.

7. Einfache Schiebungen am Silberkupferglanz.

Ein 1 mm großer einfacher Kristall von Rudelstadt in Schlesien der Form (110) . (010) . (001) ließ nach Pressung bis 10 000 Atm. u. d. M. Lamellen auf (001) und (110) erkennen, die in ihren Spuren solchen nach (201) entsprechen; die parallel verlaufenden reflektieren meist bündelweis nach derselben Seite, eine Messung des Reflexes war aber nicht möglich. Lamellen nach (131) wurden nicht beobachtet.

8. Versuche am Pyrit, Kobaltglanz, Markasit, Arsenkies, Bleiglanz, Enargit, Fahlerz und Eisenglanz.

Pyrit. Drucke bis 35 000 Atm. blieben ohne Wirkung [außer Zerspaltung nach (001)]. Die (würflichen) Kristalle zeigten namentlich auch keinerlei unregelmäßige Deformation. Das ist in guter Übereinstimmung mit dem natürlichen Vorkommen stark gepreßter Kristalle. Diese (z. B. in Phyllit eingebettete Kristalle bis zu 1 Zoll Kantenlänge von Monthermé im Maas-Tal mit bis 1 Zoll langen [von Quarz erfüllten] Streckungshöfen in der Streckungsrichtung) zeigen zwar öfter

¹ Einfache Schiebungen, welche zur Zwillingbildung nach (011) und (112) führen würden, und zwar (wegen des mimetischen Charakters auch dieser Zwillinge) mit Grundzonen, die auf diesen Ebenen nahezu senkrecht stehen, d. i. mit $\sigma_2 = [011]$ bzw. $\sigma_2 = [312]$ würden dagegen bei den für $z_1 = (201)$ und $z_1 = (131)$ abgeleiteten Gittern nicht möglich sein.

Zurundungen der Ecken und Kanten, aber diese beruhen nur auf mechanischer (und vielleicht auch chemischer) Korrosion, nicht auf Deformation, die Winkel der Würfelflächen weichen nur innerhalb der gewöhnlichen Grenzen von 90° ab. Pyrit scheint demnach entsprechend seiner großen Härte (bei gewöhnlicher Temperatur) gegen hohe Drucke sehr widerstandsfähig.

Kobaltglanz und Markasit und Arsenkies verhielten sich bei Drucken bis 20000 Atm. wie Pyrit.

Bleiglanz. Bis 15000 Atm. gepreßte Spaltstücke zeigten die auch schon von freihändigen Versuchen her bekannten Translationen und Biegungen; auch in solchem Bleiglanz (von Freiberg), der einzelne, scharf begrenzte Zwillingslamellen nach (441) enthielt, entstanden bei Pressung bis 15000 Atm. keine neuen Lamellen der Art¹.

Bei Enargit und Fahlerz waren Pressungen bis 20000 Atm. ohne merkliche Einwirkung.

Eisenglanz. Hier ist schon von K. VEIT² das 1886³ aus der Begrenzung natürlicher sekundärer Lamellen nach (10 $\bar{1}$ 1) abgeleitete Schiebungs paar bestätigt worden. An sehr dünnen Blättchen aus Carnallit-Rückstand, welche stets frei von Zwillingslamellen sind, gelang es nicht (bei Drucken bis 15000 Atm.), künstliche Lamellen zu erzeugen, sie waren nur unregelmäßig zerbrochen. In etwas dickeren, nur noch eben durchsichtigen Kriställchen aus Carnallit entstanden dagegen Lamellen nach (10 $\bar{1}$ 1), die in ihrem optischen Verhalten mit dem geforderten übereinstimmten; allerdings sind sie weit weniger zahlreich als in dem früher beschriebenen (l. c. p. 46) Eisenglimmer vom Dallberg bei Suhl u. a.

Bei der Redaktion eingegangen am 24. Februar 1919.

¹ Es fehlt noch die Untersuchung, ob und mit welchen Grundzonen Schiebungen nach (441) bei den verschiedenen regulären Gittern verträglich sind.

² Bei JOHNSEN, Centralbl. f. Min. etc. 1918. 265.

³ Dies. Jahrb. 1886. II. 35.

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: 1920

Band/Volume: [1920](#)

Autor(en)/Author(s): Mügge Johannes Otto Conrad

Artikel/Article: [Über Translationen am Schwefel, Periklas und Kupferkies und einfache Schiebungen am Bournonit, Pyrargyrit, Kupferglanz und Silberkupferglanz. 24-54](#)