UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Elemente der Mineralogie

Naumann, Carl Friedrich

Leipzig, 1901

Allgemeiner Theil.

urn:nbn:de:hbz:466:1-84232

Visual Library

Allgemeiner Theil.

Erster Abschnitt.

Von den morphologischen Eigenschaften der Mineralien.

§ 7. **Eintheilung.** Die krystallinischen Mineralien zeigen in ihren frei ausgebildeten Varietäten die streng gesetzlichen Gestalten der Krystalle, deren genaue Auffassung von grösster Wichtigkeit ist. In den aggregirten oder zusammengesetzten Varietäten dagegen treten eigenthümliche, durch die Aggregation selbst bedingte Formen auf, welche zum Theil mit denen der amorphen Mineralien übereinstimmen. Demgemäss zerfällt dieser Abschnitt in Krystallographie oder Morphologie der Krystalle, und in Morphologie der krystallinischen Aggregate und der nichtkrystallinischen Mineralien, an welche sich eine kurze Betrachtung der secundären Formen anschliesst, in welchen gewisse Mineralien recht häufig vorkommen.

I. Abtheilung. Krystallographie.

§ 8. **Begrenzungselemente der Krystalle.** Die Krystalle sind die ebenflächigen, mehr oder weniger regelmässig gebildeten Gestalten der vollkommenen unorganisirten Individuen. Flächen sind diejenigen Ebenen, welche den Krystall äusserlich begrenzen, Kanten diejenigen Linien, welche durch das Zusammentreffen zweier Flächen gebildet werden, Ecken diejenigen Punkte, in denen drei oder mehr Kanten oder Flächen zusammenstossen.

Betreffs der Anzahl der Flächen (F), Ecken (E) und Kanten (K) gilt der Satz: $F + E = K + 2$, woraus $K = E + F - 2$, oder $F = K - E + 2$.

An fast allen vollflächig ausgebildeten Krystallen wird beobachtet, dass für jede Fläche auf der entgegengesetzten Seite des Krystalls eine mit ihr parallele Fläche zugegen ist, so dass es hier lauter Flächenpaare sind, welche den Krystall begrenzen. Ist dann von einer Fläche die Rede, so wird im Allgemeinen die ihr parallele Gegenfläche mit einbegriffen.

Eine Krystallfläche erleidet keine Veränderung ihres krystallographischen Charakters, wenn dieselbe parallel mit sich selbst verschoben gedacht wird; es kommt also nicht auf die absolute, sondern nur auf die relative Lage derselben an.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Unter einer Zone versteht man den Inbegriff von mindestens drei Flächen, welche unter einander lauter parallele Kanten an dem Krystall bilden, oder welche einer und derselben Linie im Raum parallel sind; diese in einer Zone liegenden Flächen heissen tautozonal, und die gerade Linie, mit Bezug auf welche solcher Parallelismus stattfindet, wird Zonenlinie oder Zonenaxe genannt. Die Lage einer Zone ist bestimmt durch Angabe zweier Flächen derselben, welche einander nicht parallel sind. Durch Erhöhung oder Verminderung der Temperatur erleidet der Zonenverband keine Störung oder Beeinträchtigung; die Krystallflächen, welche bei irgend einer Temperatur eine Zone bilden, fahren auch bei jeder anderen Temperatur fort, einander in parallelen Kanten zu schneiden.

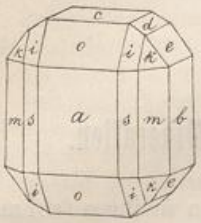


Fig. 1.

An dem Krystall von Olivin in Fig. 1 bilden einerseits die Flächen *asmb*, anderseits die Flächen *aoc*, ferner *cdeb* je eine Zone. Die Zonenaxe für die erstere steht vertical (parallel der Kante zwischen *a* und *s*), die für die zweite geht horizontal von links nach rechts (parallel der Kante zwischen *a* und *o*), die für die dritte horizontal von vorne nach hinten (parallel der Kante zwischen *c* und *b*).

Gleiche Ecken eines Krystalls werden durch gleich viele einander beziehungsweise gleiche Flächen und Kanten gebildet, die in der gleichen Ordnung auf einander folgen. Gleiche Kanten heissen diejenigen, in denen sich beziehungsweise gleiche Flächen unter gleichen Winkeln schneiden.

Gleichwerthige Flächen eines Krystalls sind solche, von denen bei einer vollkommenen Ausbildung desselben (auf Grund seiner Symmetrie) niemals die eine ohne die anderen auftreten kann. Sind alle gleichwerthigen Flächen von dem Mittelpunkt des Krystalls gleich weit entfernt, so schneiden sie sich so, dass sie alle die gleiche Form und Grösse besitzen. Da aber wegen der Möglichkeit einer parallelen Verschiebung die gleichwerthigen Flächen nicht denselben Abstand von dem Mittelpunkt des Krystalls zu haben brauchen, so können sie unter einander sehr verschiedene Grösse und Gestalt besitzen, bedingt durch die zufälligen Umstände, welche die Ausbildung des Krystalls begleiteten. Die gegenseitige Richtung indessen, unter welcher sich die gleichwerthigen Flächen einer krystallisirten Substanz schneiden, ist, so lange keine Aenderung der Temperatur eintritt, allemal constant, die Winkel, welche sie mit einander einschliessen, sind stets dieselben. Es ist dies das Gesetz von der Constanz der Kantenwinkel.

Die an einem Krystall vorhandenen unter einander gleichwerthigen Flächen denkt man sich, sofern dies nicht schon der Fall ist, zu einer selbständigen Gestalt vereinigt, welche eine einfache Krystallform genannt wird; eine einfache Krystallform wird also blos von gleichwerthigen Flächen begrenzt, deren Gesammtheit durch die Existenz irgend einer derselben vermöge der Symmetrie bedingt ist. Diese einfachen Krystallformen sind theils geschlossene (z. B. der Würfel, das Oktaëder), deren Flächen den Raum ringsum allseitig abschliessen, theils offene, welche als solche den Raum nach gewissen Richtungen hin offen lassen (z. B. das vierseitige, das sechsseitige Prisma, das die Basis genannte horizontale Flächenpaar). Derlei offene Formen können natürlich isolirt oder selbständig für

sich nicht vorkommen. Die Zahl der Flächen einer einfachen Form beträgt höchstens 48, in der Regel[1]) mindestens 2. — Eine Krystallgestalt, welche von den Flächen mehrer, neben einander ausgebildeter einfacher Formen begrenzt wird, nennt man eine Combination dieser Formen; eine solche weist daher ungleichwerthige Flächen auf. Die Durchschnittslinien zweier Flächen, welche zwei verschiedenen einfachen Formen angehören, heissen Combinationskanten. Offene Formen bedürfen zu ihrer Existenz immer der Combination mit anderen offenen oder geschlossenen Formen.

In Combinationen erleiden gleiche Begrenzungselemente der Krystalle — gleiche Flächen, Kanten und Ecken — auch gleiche Veränderungen (Modificationen) durch die dazutretenden Flächen. Eine von 2 gleichwerthigen Flächen gebildete Kante eines vollflächigen Krystalls kann daher von einer einzeln hinzutretenden Fläche nie anders als gerade abgestumpft werden. Wenn eine solche Kante durch eine Fläche schief abgestumpft wird, so erfordert dies allemal das Dasein noch einer zweiten Fläche, welche dieselbe Kante nach der anderen Seite hin ebenso schief abstumpft, d. h. diese beiden hinzutretenden Flächen schärfen dann zusammen die Kante gleichmässig zu. Kanten zwischen zwei ungleichwerthigen Flächen können aber auch von einer einzelnen Fläche schief abgestumpft werden. Ist an einer vollflächigen Krystallform eine Kante so abgestumpft oder zugeschärft, so müssen auch alle anderen ihr gleichwerthigen Kanten in genau derselben Weise eine Abstumpfung oder Zuschärfung erleiden. Die an den Ecken erfolgenden Modificationen stehen unter demselben Gesetz.

Um nun überhaupt die Krystalle einer mathematischen Untersuchung unterwerfen zu können, bezieht man ihre Gestalt auf krystallographische Axen, d. h. auf Linien, welche durch den Mittelpunkt der Krystalle gezogen gedacht werden und welche in zwei gegenüberliegenden gleichartigen Flächen, Kanten oder Ecken übereinstimmend endigen. Die Axen sind ein Coordinatensystem, welches man den Gestalten im Raum zu Grunde legt, um, in ganz ähnlicher Weise, wie dies in der analytischen Geometrie geschieht, die Lage der Flächen darauf zu beziehen und einen mathematischen Ausdruck für die Bezeichnung derselben zu gewinnen. Alle Theile des Krystalls liegen regelmässig oder symmetrisch um dieses Kreuz von idealen, einander durchschneidenden Linien vertheilt.

Die krystallographischen Axen sind im Allgemeinen die Durchschnittslinien dreier Ebenen (Axenebenen), welche parallel gedacht werden zu drei Krystallflächen, die ihrerseits entweder unmittelbar oder nach ihrer Verlängerung eine Ecke bilden und, wenn sie auch nicht an dem Krystall auftreten, wenigstens daran möglich sein müssen. Auf dieselben Axenrichtungen gelangt man, wenn man die drei, einander nicht parallelen Kanten, welche von den drei ausgewählten Flächen gebildet werden, parallel mit sich in den Krystall versetzt, so dass sie dort durch einen gemeinsamen Durchschnittspunkt gehen. Aus praktischen Gründen wird stets ein solches Axensystem gewählt, welches bestimmte Vortheile für die Berechnung und für die Angabe der gegenseitigen Lage der Flächen zu einander bietet.

§ 9. **Krystallsysteme. Symmetrie.** Mit Rücksicht auf den durch die verhältnissmässige Länge gegebenen Werth, auf die Anzahl und gegenseitige Lage der krystallographischen Axen lassen sich die Krystalle in sechs verschiedene Abtheilungen oder Systeme bringen, wie folgt[2]):

1) In gewissen Fällen kann eine »einfache Krystallform« sogar nur aus einer einzelnen Fläche bestehen, indem eine damit parallele Gegenfläche nicht vorhanden, oder wenn sie auftritt, mit ersterer streng genommen nicht aequivalent ist.

2) *V. v. Lang* (Lehrb. d. Krystallogr. S. 99) und *Sohncke* (Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 132)

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die verschiedenen Kystallformen werden bezogen:

I. Auf gleichwerthige Axen: drei Axen von gleicher Länge schneiden sich unter rechten Winkeln: 1) Reguläres System.

II. Auf Axen von zweifach verschiedenem Werth:

a) zwei gleichwerthige Axen schneiden sich in einer Ebene unter rechtem Winkel, eine dritte von abweichendem Werth steht rechtwinkelig darauf: 2) Tetragonales System.

b) drei gleichwerthige Axen schneiden sich in einer Ebene unter 60°, eine vierte von abweichendem Werth steht rechtwinkelig darauf: 3) Hexagonales System.

III. Auf Axen von dreifach verschiedenem Werth:

a) drei Axen, alle von abweichendem Werth, kreuzen sich rechtwinkelig: 4) Rhombisches System.

b) zwei ungleichwerthige Axen schneiden sich unter schiefem Winkel, eine dritte von verschiedenem Werth kreuzt beide rechtwinkelig: 5) Monoklines System.

c) drei Axen von verschiedenem Werth kreuzen sich schiefwinkelig: 6) Triklines System.

Ein Krystallsystem ist die Vereinigung aller Gruppen krystallisirter Körper, welche auf ein übereinstimmendes krystallographisches Axensystem zu beziehen sind. Das reguläre System begreift nur geschlossene Formen, in den übrigen Krystallsystemen spielen offene Formen eine mehr oder weniger wichtige Rolle.

Durch Erhöhung oder Verminderung der Temperatur wird die Zugehörigkeit eines Krystalls zu einem dieser sechs Systeme nicht verändert, sofern sein Moleculargefüge bei jenen Temperaturänderungen dasselbe bleibt.

Man kann auch den Begriff eines Krystallsystems so definiren, dass man dasselbe als die Gesammtheit aller Krystallformen bezeichnet, welche bei vorhandener Vollflächigkeit denselben Grad von Symmetrie besitzen. Eine gewöhnliche Symmetrie-Ebene (oder ein Hauptschnitt, im Folgenden der Kürze halber als S.-E. bezeichnet) ist diejenige Ebene, nach welcher ein Krystall symmetrisch ist, d. h. die den Complex aller möglichen Flächen des Krystalls in zwei Hälften zerlegt, welche unter sich genau gleich und entgegengesetzt sind, von welchen die eine das Spiegelbild der anderen mit Bezug auf diese S.-E. darstellt. Wenn von einer Seite her eine Fläche unter einem bestimmten Winkel auf die S.-E. stösst, so gehört zu dieser Fläche auf der entgegengesetzten Seite der S.-E. eine zweite Fläche, welche die letztere unter demselben Winkel schneidet. Dabei brauchen die entsprechenden Flächen beiderseits nicht in gleichen Entfernungen von der S.-E. vorhanden zu sein; sie müssen nur Gleichheit der Lage gegen die letztere aufweisen, womit alsdann zusammenhängt, dass zu beiden Seiten derselben die entsprechenden Kanten und Ecken gleiche Winkel besitzen, und die gleichwerthigen Begrenzungselemente übereinstimmend auf einander folgen. Schliesst eine Fläche

---

haben auf verschiedenem Wege den Beweis erbracht, dass in der That nur sechs Krystallsysteme möglich sind. Vgl. auch *Sohncke*, Entwickelung einer Theorie der Krystallstructur. Leipzig, 1879.

In den Fällen der Hemimorphie (§ 14) gewinnen einzelne Axen eine polare Entwickelung.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mit einer S.-E. einen Winkel von 90° ein, so fällt die entsprechende Fläche auf der anderen Seite der S.-E. natürlich in der Richtung mit ihr zusammen. Eine Linie, welche von irgend einem Punkt auf der einen Seite des Krystalls senkrecht zu der durch den Mittelpunkt gelegten S.-E. gezogen und jenseits derselben um ihre eigene Erstreckung verlängert wird, trifft bei normaler Ausbildung stets einen gleichartigen entsprechenden Punkt auf der anderen Seite des Krystalls. Eine S.-E. hat stets die Richtung einer vorhandenen oder möglichen Krystallfläche, weil sie mit jedem einzelnen Flächenpaar in einer Zone liegt. Schon die Beobachtung, dass nur ein Paar von Flächen, Kanten oder Ecken eines Krystalls symmetrisch zu einer Ebene gelegen ist, gestattet den Schluss, dass diese letztere auch für alle anderen Begrenzungselemente des Krystalls — mithin für diesen überhaupt — eine S.-E. ist. — Bei einem vollflächigen Krystall kann die Anzahl der S.-E.n nur 9, 7, 5, 3, 1 oder 0 betragen.

Durch das Auftreten von 3 sich rechtwinkelig kreuzenden S.-E.n wird der Raum in 8 gleiche Theile (Oktanten) getheilt; eine Fläche, die in einem dieser Oktanten alle 3 S.-E.n gleichzeitig schneidet, muss in jedem der übrigen 7 Oktanten übereinstimmend auftreten und diese 8 Flächen bilden dann eine einfache Krystallform (S. 12).

Ebenen der Symmetrie heissen gleiche, wenn es gleiche Hälften sind, in welche durch sie der Krystall getheilt wird. Als Haupt-Symmetrie-Ebene (H.-S.-E.) gilt diejenige, auf welcher mehre der gewöhnlichen S.-E.n von unter einander gleichem Werth senkrecht stehen; das Vorhandensein einer oder mehrer H.-S.-E.n bedingt natürlich einen höheren Grad der Regelmässigkeit in der Ausbildung der betreffenden Krystallgestalt.

Lässt sich ein Krystall durch eine bestimmte, von 360° abweichende Drehung mit sich selbst wieder zur Deckung bringen, indem dadurch jede Fläche und jede Richtung in eine gleichwerthige Fläche und gleichwerthige Richtung übergeführt wird, so liegt Symmetrie nach einer Axe vor und die betreffende, als Drehungsaxe dienende gerade Linie wird Symmetrie-Axe (S.-A.) genannt. Eine solche S.-A. hat stets die Lage einer an dem Krystall möglichen Kante, oder diejenige der Axe einer daran möglichen Zone; sie ist auch allemal die Normale einer möglichen Fläche. Stets ist der Durchschnitt zweier S.-E.n auch eine S.-A. Die Normale auf einer S.-E. ist immer auch eine S.-A., aber es braucht nicht umgekehrt jede auf einer S.-A. senkrecht stehende Ebene auch eine S.-E. zu sein (wie z. B. zwar die Normale auf einer Oktaëderfläche eine S.-A., die Oktaëderfläche selbst aber keine S.-E. ist).

Die Krystalle können nur durch eine Drehung um 180°, durch eine solche um 120°, um 90° oder um 60° mit sich selbst zu einer derartigen Deckung gebracht werden, dass sie in allen ihren Punkten mit Punkten der Anfangslage zusammenfallen. Darnach unterscheidet man je nach dem aliquoten Theil von 360° die S.-A.n beziehungsweise als zweizählige (digonale, 180°), dreizählige (trigonale, 120°), vierzählige (tetragonale, 90°), sechszählige (hexagonale, 60°). Andere S.-A.n kommen in der Krystallwelt nicht vor. Der Anblick des Krystalls wird also bei einer vollkommenen Umdrehung um eine zweizählige S.-A. zweimal wiederhergestellt, bei einer solchen um eine vierzählige S.-A. viermal u. s. w. Zweizählig ist z. B. die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Verticalaxe in Fig. 1, dreizählig die in Fig. 165 oder 166, vierzählig die in Fig. 20 oder 111, sechszählig die in Fig. 136 oder 151.

Die Normale auf einer Haupt-Symmetrie-Ebene bezeichnet man als Haupt-Symmetrie-Axe (H.-S.-A.) oder Hauptaxe. In ihr schneiden sich daher zwei oder mehr gleichwerthige gewöhnliche S.-E.n. Eine zweizählige S.-A. kann keine H.-S.-A. sein.

Sind 3 oder mehr S.-A.n vorhanden, so werden aus ihnen stets die krystallographischen Axen gewählt, wobei immer die H.-S.-A.n, auch wenn deren nur eine vorhanden ist, vor den gewöhnlichen den Vorzug erhalten. Existirt überhaupt nur 1 gewöhnliche S.-A., dann werden als fernere krystallographische Axen andere, an sich beliebige Linien genommen.

Abgesehen von den vorstehend betrachteten Erscheinungen der Symmetrie, bei welchen die Deckung einerseits blos durch Spiegelung nach einer Ebene, anderseits blos durch Drehung um eine Axe erfolgt, können in gewissen Fällen Krystalle aber auch noch durch ein drittes Verfahren mit sich selbst zur Deckung gebracht werden, indem nämlich eine Zerlegung des Krystalls nach einer Ebene in zwei Hälften und sodann noch eine Drehung um die zu dieser Ebene senkrechte Axe ausgeführt wird. Diese Vereinigung der oben getrennt erwähnten Vornahmen heisst die Drehspiegelung. Wo die Symmetrie nur vermöge dieser combinirten Operation zur Anschauung gebracht werden kann, ist sie keine unmittelbar sich kundgebende Erscheinung. Den Krystallen, welche so durch Drehspiegelung mit sich selbst zur Deckung gelangen, schreibt man daher eine Axe und Ebene der zusammengesetzten oder mittelbaren Symmetrie zu. Im Gegensatz dazu würden die obenstehenden Ausführungen sich auf die einfache oder unmittelbare Symmetrie beziehen[1]).

Besitzt jede an einem Krystall vorhandene Fläche eine parallele Gegenfläche, so muss es im Inneren desselben einen Punkt geben, welcher sämmtliche, durch ihn gelegten und äusserlich vom Krystall begrenzten geraden Linien halbirt; dieser Punkt ist das sog. Centrum der Symmetrie. Derselbe ist gleichzeitig stets der geometrische Mittelpunkt. Aber nicht umgekehrt ist der geometrische Mittelpunkt eines Krystalls allemal auch ein Centrum der Symmetrie, wie denn z. B. die hemiëdrischen Krystalle, welche keinen Flächenparallelismus aufweisen, zwar einen geometrischen Mittelpunkt, aber kein Centrum der Symmetrie besitzen. Ein Centrum der Symmetrie wird noch von vielen Krystallen aufgewiesen, welche einer Ebene oder einer Axe der Symmetrie entbehren. Bei einer kleinen letzten Abtheilung von Krystallen ist aber überhaupt gar kein Element der Symmetrie mehr vorhanden.

Aus dem durch Ebenen, Axen und Centrum der Symmetrie gegebenen Symmetriegrad eines Krystalls lassen sich unmittelbar die an ihm möglichen einfachen Formen ableiten.

Betrachtet man die vollflächigen Krystalle nach ihrer Symmetrie, nach dem Vorhandensein oder Fehlen der beiden Arten von Symmetrie-Ebenen, so ergeben sich folgende sechs Abtheilungen, welche sich mit den oben genannten sechs Krystallsystemen decken:

---

1) Die Verticalaxe ist bei der holoëdrischen hexagonalen Pyramide (Fig. 136) eine sechszählige Axe der einfachen Symmetrie, bei einem Rhomboëder (Fig. 158) eine dreizählige Axe der einfachen Symmetrie. Wenn man dagegen ein Rhomboëder in derselben um 60° dreht, aber gleichzeitig eine Spiegelung nach der zur Drehungsaxe senkrechten Ebene der Basis vornimmt, so kommt eine Fläche ebenfalls wiederum in die Lage einer gleichwerthigen Fläche. Von diesem Gesichtspunkt aus ist dann die Verticalaxe des Rhomboëders zugleich eine sechszählige Axe der zusammengesetzten Symmetrie.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

I. Krystalle mit drei rechtwinkelig auf einander stehenden gleichwerthigen Haupt-Symmetrie-Ebenen (mit drei gleichwerthigen Hauptaxen), und sechs gewöhnlichen Symmetrie-Ebenen, welche die Winkel der letzteren halbiren: 1) Reguläres System.

II. Krystalle mit einer Haupt-Symmetrie-Ebene (mit einer Hauptaxe):
   a) ausserdem mit vier gewöhnlichen Symmetrie-Ebenen, senkrecht auf der Hauptebene: 2) Tetragonales System.
   b) ausserdem mit sechs gewöhnlichen Symmetrie-Ebenen, senkrecht auf der Hauptebene: 3) Hexagonales System.

III. Krystalle ohne Haupt-Symmetrie-Ebene (ohne Hauptaxe):
   a) mit drei auf einander senkrechten gewöhnlichen Symmetrie-Ebenen: 4) Rhombisches System.
   b) mit einer gewöhnlichen Symmetrie-Ebene: 5) Monoklines System.
   c) ohne Symmetrie-Ebene überhaupt: 6) Triklines System.

Es muss noch besonders hervorgehoben werden, dass diese Charakteristik der Krystallsysteme sich nur auf die vollflächigen Formen bezieht und die aus den letzteren abgeleiteten theilflächigen Krystalle in den einzelnen Abtheilungen ein minderes Maass der Symmetrie aufweisen. Die auf die krystallographischen Axen gegründete Charakteristik der Systeme (S. 14) ist aber sowohl für die vollflächigen, als für die theilflächigen Formen derselben gültig.

Es ist ein Grundgesetz der Krystallographie, dass mit einer Form nur solche andere in Combination treten, welche denselben Grad der Symmetrie besitzen. Die S.-E.n der Combination fallen dabei mit denjenigen zusammen, welche die einfachen, mit einander combinirten Formen für sich selbst aufweisen.

Mit der Symmetrie der Krystalle steht auch diejenige der daran auftretenden Flächen im Zusammenhang. Eine Linie theilt eine Fläche symmetrisch, wenn zu beiden Seiten der ersteren die Kanten gleich gelegen sind. Eine Fläche wird asymmetrisch genannt, wenn sie keine solche Linie besitzt, also überhaupt nicht in zwei symmetrische Hälften theilbar ist (z. B. ungleichseitiges Dreieck, Rhomboid); monosymmetrisch, wenn nur eine solche Linie vorhanden ist (z. B. gleichschenkeliges Dreieck, Deltoid Fig. 27, symmetrisches Pentagon Fig. 75); disymmetrisch, wenn zwei solcher Linien (z. B. Rhombus, Rechteck); trisymmetrisch, wenn drei (z. B. gleichseitiges Dreieck); tetrasymmetrisch, wenn vier (z. B. Quadrat); hexasymmetrisch, wenn sechs (z. B. regelmässiges Hexagon) derselben zugegen sind. Im Allgemeinen muss nun natürlich eine Fläche einen um so höheren Grad von Symmetrie zeigen, je grösser die Zahl der S.-E.n ist, auf denen sie senkrecht steht: ist sie senkrecht auf einer S.-E., so hat sie monosymmetrischen, senkrecht auf keiner, dann asymmetrischen Charakter. Daraus folgt, dass die triklinen Krystalle lediglich von asymmetrischen Flächen begrenzt werden; die monoklinen besitzen asymmetrische und monosymmetrische; die rhombischen ausser diesen beiden noch disymmetrische; die tetragonalen ausser diesen drei auch tetrasymmetrische; die regulären ausser diesen vier auch trisymmetrische Flächen; die hexagonalen zeigen ausser a-, mono-, di- und trisymmetrischen auch hexasymmetrische Flächen.

§ 10. **Lage und Bezeichnung der Flächen.** Diejenigen Abschnitte, welche irgend eine Fläche nach entsprechender Vergrösserung an den Axen hervorbringt, werden, gemessen vom Durchschnittspunkt der letzteren, Parameter genannt. OA, OB, OC sind die Parameter der Fläche ABC (Fig. 2); bei ihnen kommt es nicht auf ihre absolute, sondern nur auf die relative gegenseitige Länge an.

Von den sechs Halbaxen eines dreilinigen Axenkreuzes werden diejenigen drei, welche den vorderen oberen rechten Oktanten begrenzen, als positiv oder (mit ungestrichelten Buchstaben) als X, Y, Z, die drei anderen als negativ, $-X$, $-Y$, $-Z$ oder (mit gestrichelten Buchstaben) X', Y', Z' eingeführt (Fig. 2); also die verticale Axe ist oben, die Queraxe rechts, die Längsaxe vorne positiv.

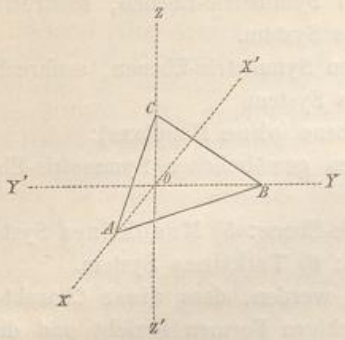


Fig. 2.

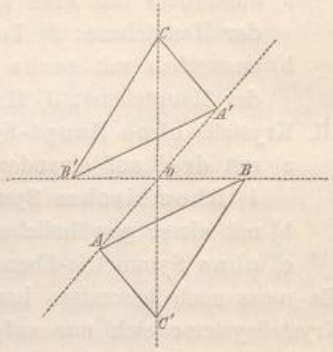


Fig. 3.

Die auf den ersteren positiven Axenästen hervorgebrachten Abschnitte werden bei der Aufzählung der Parameter gleichfalls als positiv oder ungestrichelt, die auf den anderen negativen erzeugten ebenso als negativ oder gestrichelt angegeben. Bezeichnet man abgekürzt OA, OB, OC als a, b, c, so wird die Lage der Fläche ABC (Fig. 2) durch die Parameter $a : b : c$ ausgedrückt; diejenige der Fläche ABC' (vorne unten rechts) durch $a : b : -c$, diejenige der Fläche $A'B'C$ (hinten oben links) durch $-a : -b : c$ (Fig. 3).

Bei einem dreilinigen Axenkreuz werden diejenigen zwei Oktanten, welche durch eine Axenebene getrennt sind, anliegende genannt (z. B. der vordere obere rechte und der vordere obere linke); diejenigen, die sich nur in einer Axe berühren, gegenüberliegende (z. B. der vordere obere rechte und der vordere untere linke); diejenigen, die nur im Durchkreuzungspunkt der Axen zusammenstossen, entgegengesetzte (z. B. der vordere obere rechte und der hintere untere linke Oktant).

Wenn man die drei Parameter einer Fläche alle mit derselben Zahl multiplicirt oder durch dieselbe dividirt, so erhält man die Parameter keiner neuen anderen Fläche, sondern nur einer solchen, welche mit der vorigen parallel ist, weil dadurch die bezügliche Lage am Axenkreuz sich nicht verändert. So repräsentirt $3a : 3b : 3c$, oder $\frac{1}{2}a : \frac{1}{2}b : \frac{1}{2}c$ keine andere Fläche als $a : b : c$. Jeder Flächenausdruck, in welchem gebrochene Zahlen als Parameter vorkommen, kann durch Multiplication oder Division mit einer Zahl in einen Ausdruck mit ganzen Zahlen verwandelt werden; so ist die Fläche mit dem Parameterverhältniss $\frac{3}{4}a : b : \frac{3}{2}c$ gleich derjenigen mit $3a : 4b : 6c$. — Eine jede Fläche dagegen, welche mit Bezug auf eine gegebene andere abweichende Parameterverhältnisse besitzt, hat auch eine andere Lage als diese, ist mit ihr nicht parallel; so ist $2a : 3b : c$ eine ganz abweichend gerichtete Fläche als $a : b : c$.

Geht eine Fläche einer Axe parallel, kann also für die letztere kein endlicher Parameter angegeben werden, so gelangt dies dadurch zum Ausdruck, dass der betreffende Parameter als unendlich gross (∞) bezeichnet wird.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Jede Fläche liegt an einem dreilinigen Axenkreuz so, dass sie entweder:

1) alle drei Axen schneidet (Pyramidenfläche, z. B. $a : b : c$ oder $a : 2b : 3c$),
2) zwei Axen schneidet, der dritten parallel geht (Prismenfläche, z. B. $a : b : \infty c$ oder $a : \infty b : 2c$), oder
3) nur eine Axe schneidet, den beiden anderen parallel geht (Pinakoidfläche, z. B. $a : \infty b : \infty c$ oder $\infty a : b : \infty c$). Ein fernerer Fall ist nicht denkbar.

Unter einer Form versteht man (s. S. 12) in der Krystallographie den Inbegriff von solchen Flächen, welchen ein und dasselbe Parameterverhältniss zukommt, also den vollzähligen Complex von lauter isoparametrischen Flächen. Soll nicht jede einzelne Fläche für sich, sondern die Gesammtheit aller gleichen, eine einfache Form bildenden Flächen auf einmal bezeichnet werden, so pflegt man das Zeichen der einzelnen Fläche mit einer Klammer zu umschliessen.

So bedeutet also $(a : b : c)$ gemeinsam die Flächen:

$a : b : c$	$-a : b : c$	$a : -b : c$	$a : b : -c$
$-a : -b : c$	$a : -b : -c$	$-a : b : -c$	$-a : -b : -c$.

$(\infty a : \infty b : c)$ bedeutet die eingeklammerte Fläche und ausserdem noch $\infty a : \infty b : -c$. Doch fallen auch oft, wo kein Missverständniss zu besorgen ist, die Klammern weg.

In jedem Raumabschnitt (Oktanten oder Dodekanten), welcher durch die krystallographischen Axensysteme gebildet wird, müssen auf allen gleichen Axen des Systems durch die vollzählig auftretenden Flächen eines Krystalls gleiche Stücke abgeschnitten werden und ferner müssen in allen unter einander gleichen derartigen Raumabschnitten dann stets gleichviel solcher Flächen vorhanden sein.

Bei der Betrachtung der Gestalten eines krystallisirten, nicht dem regulären System angehörenden Minerals geht man von einer ausgewählten Form, der Grundform aus, deren Fläche man das Parameterverhältniss $a : b : c$ zuschreibt, indem dessen einzelne Glieder als Einheit gesetzt werden. Dieses Parameterverhältniss, also das Zahlenverhältniss der Parameterlängen der Grundform, wird gewöhnlich das Axenverhältniss genannt, welches, weil es sich nur um die relativen, nicht um die absoluten Längen handelt, auf die Form gebracht werden kann, dass wenigstens eine der drei Zahlen als 1 erscheint; z. B.: 0,8584 . . . : 1 : 1,3697 . . ., d. h. wenn die Fläche der Grundform von der einen Axe die Länge 1 abschneidet, so trifft sie die beiden anderen in den Entfernungen 0,8584 . . . und 1,3697 . . . Diese Werthe sind, mit Ausnahme von 1, irrational.

Die Nothwendigkeit der Irrationalität des Axenverhältnisses ergibt sich z. B. daraus, dass die Winkel des Krystalls, aus denen dasselbe berechnet wird, sich mit der Temperatur stetig ändern, also alsdann auch das Axenverhältniss einer bestimmten Temperatur continuirlich in dasjenige einer anderen Temperatur übergehen muss, was nur dann erfolgen kann, wenn dasselbe im Allgemeinen überhaupt irrationale Werthe aufweist. — Bei den Krystallen des regulären Systems mit seinen lediglich gleichwerthigen Axen verliert der Begriff des Axenverhältnisses seine Bedeutung.

Die Lage irgend einer Fläche einer anderen Form, welche an derselben krystallisirten Substanz auftritt, wird nun nicht sowohl durch das Zahlenverhältniss ihrer eigenen Parameterlängen ausgedrückt, als vielmehr durch die Angabe, das Wievielfache ihre Parameter sind von den entsprechenden, auf dieselben Axen bezogenen Parametern der Grundform. Die ganze Krystallwelt ist aber von

dem allgemeinen, zuerst (1785) von *Haüy* angegebenen Grundgesetz beherrscht, dass, wenn an einem Krystall eine Fläche das Parameterverhältniss $a : b : c$ hat, dann an demselben Krystall neben dieser Grundform nur solche ferneren Flächen vorhanden oder möglich sind, in deren allgemeinem Parameterverhältniss $ma : nb : rc$ die Coëfficienten m, n, r wechselnde rationale Zahlen (oder theilweise ∞) und ausserdem insbesondere recht einfache Zahlen sind. Solche Formen, welche nur nach irrationalen Werthen dieser Coëfficienten (z. B. $\sqrt{2}$) abgeleitet werden können, sind also in der Krystallwelt unmöglich; sie lassen sich zwar geometrisch construiren, haben aber keine objective Realität in der Natur. Das Gesetz ist empirisch gefunden, ist aber auch eine Folgerung der Anschauungen über die Molecularstructur der Krystalle. Man nennt dieses merkwürdige Gesetz, durch welches die Krystalle eine ganz besondere Stellung innerhalb der Fülle der denkbaren stereometrischen Polyëder einnehmen, dasjenige der Rationalität der Ableitungs-Coëfficienten. Dasselbe beschränkt daher die Combinationsfähigkeit von Gestalten noch in dem Falle, wo das Gesetz der Symmetrie sie zuliesse. Bei ihm wird natürlich vorausgesetzt, dass die gewählten Axen parallel sind mit wirklichen oder möglichen Kanten des Krystalls[1]).

Hat eine Fläche das Parameterverhältniss $a : b : c$, so hat z. B. eine andere das Verhältniss $2a : b : c$, eine andere $a : 3b : c$, eine weitere $a : 2b : 3c$, eine fernere $2a : \infty b : c$, oder $a : \infty b : \infty c$. Ist das Axenverhältniss für die Fläche $a : b : c$, in Zahlen ausgedrückt, $= 0{,}8584 \ldots : 1 : 1{,}3697 \ldots$, so ist dasjenige für die Fläche mit dem Parameterverhältniss $2a : b : 3c = 1{,}7168 \ldots : 1 : 4{,}1091 \ldots$

Die Flächen, deren Parameter für 2 Axen ein constantes Verhältniss aufweisen, liegen in einer Zone; so bilden z. B. eine Zone die Flächen $a : b : \infty c$, $a : 2b : \infty c$, $a : 3b : \infty c$, $a : \infty b : \infty c$.

Im Allgemeinen ist also die Grundform eines Krystalls bestimmt durch die Kenntniss 1) der drei Axenwinkel (α der Axenwinkel zwischen Z und Y in Fig. 2, β der zwischen X und Z, γ der zwischen X und Y); 2) der Axenlängen ($a = OA$ in Fig. 2, $b = OB$, $c = OC$), von denen, da die eine $= 1$ gesetzt wird, nur zwei zu bestimmen sind. Diese fünf von einander unabhängigen Grössen heissen die Elemente des Krystalls.

Die im Vorstehenden befolgte Methode, die Flächen durch Symbole anzugeben, welche die das Axenverhältniss andeutenden Buchstaben enthalten und nebstdem die rationalen Coëfficienten für die Axenabschnitte aufführen, rührt von *Christian Samuel Weiss* her. Sie empfiehlt sich durch ihre unmittelbare Anschaulichkeit namentlich bei den anfänglichen allgemeinen Darlegungen der Verschiedenheiten der Flächenlage, während sie in Folge ihrer Länge und Umständlichkeit zu wissenschaftlichen Beschreibungen minder geeignet erscheint.

Eine zweite krystallographische Bezeichnungsweise ist die von *Carl Friedrich Naumann* (zuerst angewandt 1826), welche in diesen Elementen in erster Linie zu Grunde gelegt und deshalb später specieller erläutert wird. Im Gegensatz zu der Flächenbezeichnung von *Weiss* unternimmt sie kurz und logisch, den Körper als solchen, also den Inbegriff sämmtlicher seiner Flächen, durch ein Symbol zu

1) Die Gesammtheit aller jener unendlich zahlreichen einfachen Krystallformen, welche mit ihren Flächen in Folge dieses Gesetzes für eine krystallisirte Substanz möglich sind, nennt man den Formencomplex oder die Krystallreihe dieser Substanz.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

repräsentiren, wobei natürlich auf die Angabe einer einzelnen von den gleichen Flächen verzichtet werden muss. Auch bei dieser Methode gewähren die Zeichen unmittelbar und ohne Schwierigkeit eine Vorstellung über die Lage der Flächen.

Nach einer dritten, der sog. *Miller*'schen [1]) Methode werden anstatt der Coëfficienten deren reciproke Werthe in derselben Reihenfolge unmittelbar nebeneinander geschrieben. Letztere werden Indices genannt und allgemein mit h, k, l bezeichnet. Sind für die Axenschnitte a, b, c die Coëfficienten m, n, r, so ist

$$m : n : r = \frac{1}{h} : \frac{1}{k} : \frac{1}{l} \text{ sowie } h : k : l = \frac{1}{m} : \frac{1}{n} : \frac{1}{r}.$$

Die drei Zahlen h, k, l sind, als Nenner von Brüchen mit dem Zähler 1, den durch die Coëfficienten ausgedrückten Abschnitten der Fläche an den drei Axen umgekehrt proportional, während die Coëfficienten der *Weiss*'schen und *Naumann*'schen Symbole diesen Abschnitten direct entsprechen.

Ist die Lage der Grundform-Fläche ABC (Fig. 4) durch deren Parameter (Axenlängen) OA, OB, OC bekannt und handelt es sich um Bestimmung der Lage der (nicht parallelen und dem Axenschnittpunkt näher gerückt erscheinenden) Fläche HKL an demselben Axenkreuz, so sei
OH der h-te Theil von OA, OK der k-te Theil von OB, OL der l-te Theil von OC,

also $$h = \frac{OA}{OH},\ k = \frac{OB}{OK},\ l = \frac{OC}{OL}.$$

Alsdann wird durch diese drei Grössen h, k, l die Fläche HKL mit Bezug auf ABC vollkommen bestimmt. Die Grössen h, k, l können mit einer beliebigen Zahl m multiplicirt werden, ohne dass dadurch an dem Verhältniss der beiden Flächen HKL und ABC, d. h. der Richtung derselben etwas geändert wird; denn jene Multiplication von h, k, l mit m ist gleichbedeutend mit einer Multiplication der Parameter OA, OB, OC mit m, wodurch für die Fläche ABC selbst keine Veränderung, sondern nur eine Parallelverschiebung bewirkt wird. Die Indices können also immer auf eine Form gebracht werden, in welcher sie sämmtlich ganze rationale Zahlen darstellen und das Gesetz von der Rationalität der Ableitungs-Coëfficienten heisst daher auch dasjenige von der Rationalität der Indices.

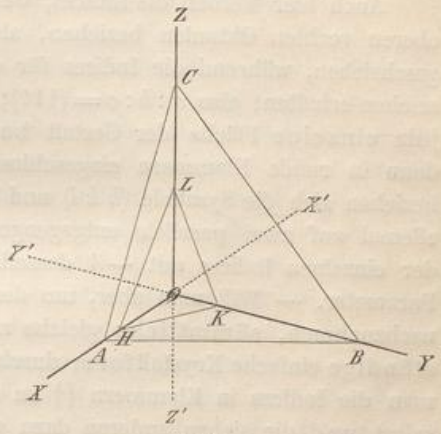


Fig. 4.

Um nun aus den Coëfficienten m, n, r die Indices h, k, l zu erhalten, kann man auf zweierlei Weise verfahren: Entweder man nimmt statt der Coëfficienten deren reciproke Werthe und bringt das entstehende Verhältniss auf ganze Zahlen, welche dann die Indices darstellen.

In dem Parameterzeichen $a : 2b : 3c$ werden statt der Coëfficienten 1, 2, 3 deren reciproke Werthe $\frac{1}{1}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$ gesetzt, welche der Multiplication mit 6 bedürfen, um auf

1) Diese Methode wurde 1825 zuerst von *Whewell*, dann unabhängig davon 1829 von *Grassmann* ersonnen, aber erst durch *W. H. Miller* (A Treatise on crystallography, London 1839) allgemeiner eingeführt.

ganze Zahlen gebracht zu werden und dann zuerst $\frac{6}{1}$, $\frac{6}{2}$, $\frac{6}{3}$, darauf als Indices (632) liefern.

Oder man bringt die Coëfficienten durch Division mit einer gemeinsamen Zahl auf die Form $\frac{1}{x}$, und schreibt die so erhaltenen drei Nenner als Indices an.

In dem Parameterzeichen $a : 2b : 3c$ werden die Coëfficienten 1, 2, 3 durch Division mit 6 (zuerst auf die Form $\frac{1}{6}$, $\frac{2}{6}$, $\frac{3}{6}$ oder) auf die Form $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ gebracht, woraus sich abermals die Indices (632) ergeben.

Das Zeichen $3a : \frac{3}{2}b : c$ wird zuerst in $6a : 3b : 2c$ verwandelt, welches zunächst $\frac{1}{6}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{2}$ oder $\frac{6}{6}$, $\frac{6}{3}$, $\frac{6}{2}$ und sodann die Indices (123) liefert. — $2a : \frac{3}{2}b : c = 4a : 3b : 2c = (346)$.

Die Indices der Grundform, deren Parameter $= a : b : c$, sind offenbar (111). Dem maximalen Coëfficientenwerth ∞ entspricht hier der Minimalwerth 0. So liefert $a : \infty b : c$ nach dem zuerst angegebenen Verfahren das Verhältniss $\frac{1}{1} : \frac{1}{\infty} : \frac{1}{1}$, d. h. die Indices (101). Ebenso ist $a : \infty b : \infty c = (100)$.

Um umgekehrt die Indices (h, k, l) in die Coëfficienten m, n, r zu verwandeln, hat man nur zu bedenken, dass $h = \frac{1}{m}$, $k = \frac{1}{n}$, $l = \frac{1}{r}$ ist; die Indices (221) liefern also zunächst $\frac{1}{2}a : \frac{1}{2}b : \frac{1}{1}c$, was durch Multiplication mit $2 = a : b : 2c$; die Indices (432) ergeben $\frac{1}{4}a : \frac{1}{3}b : \frac{1}{2}c = a : \frac{4}{3}b : 2c$.

Auch hier werden die Indices, welche sich auf die drei Halbaxen im vorderen oberen rechten Oktanten beziehen, als positiv oder ohne weiteres Nebenzeichen geschrieben, während die Indices für die drei anderen Halbaxen oben ein Minuszeichen erhalten; also $a : b : c = (111)$; $a : b : -c = (11\bar{1})$. Dadurch ist es möglich, jede einzelne Fläche der Gestalt besonders zu bezeichnen, deren Indices alsdann in runde Klammern eingeschlossen zu werden pflegen. Auf diese Weise beziehen sich die Symbole $(h\,k\,l)$ und $(\bar{h}\,\bar{k}\,\bar{l})$, oder die Symbole $(h\,\bar{k}\,l)$ und $(\bar{h}\,k\,\bar{l})$ allemal auf zwei parallele entgegengesetzte Krystallflächen, da die Multiplication der einzelnen Indices mit -1 dasselbe liefert, wie die gleiche Multiplication der Parameter. — Will man aber, um den Vorzug der *Naumann*'schen Schreibweise nachzuahmen, sämmtliche gleiche zusammengehörende Flächen, also die vollständige einfache Krystallform durch ein einziges Symbol repräsentiren, so pflegt man die Indices in Klammern $\{\}$ zu setzen; also $(a : b : c) = \{111\}$, d. h. (111) selbst und die sieben anderen dazu gehörigen Flächen $(\bar{1}11)$, $(1\bar{1}1)$, $(11\bar{1})$, $(\bar{1}\bar{1}1)$, $(1\bar{1}\bar{1})$, $(\bar{1}1\bar{1})$, $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$.

§ 11. **Projection.** Um eine Uebersicht über die Formen eines Krystalls zu gewinnen und insbesondere die Zonenverhältnisse desselben hervortreten zu lassen, wird eine sog. Projection seiner Flächen vorgenommen. Man bedient sich dabei namentlich zweier Methoden, der Linearprojection (der *Quenstedt*'schen) und der sphärischen, stereographischen oder Kugelprojection (*Miller*'schen)[1].

Die erstere Methode besteht darin, jede Fläche durch eine gerade Linie darzustellen, und zwar durch diejenige, in welcher sie die Ebene der Zeichnung

1) Beide Methoden wurden von *F. E. Neumann* ersonnen, die erstere von ihm nur angedeutete aber später von *Quenstedt* ausführlich entwickelte, 1835, die zweite, insbesondere durch *Miller* zur Verbreitung gelangte, schon 1823.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

durchschneiden würde, wenn man sich sämmtliche Flächen durch einen einzigen Punkt gelegt vorstellt. Man denkt sich den Krystall so gerichtet, dass die zu seiner Verticalaxe senkrechte, also horizontale Ebene parallel wird der Projectionsebene, d. h. der Papierfläche, und verschiebt nun in der Vorstellung alle Flächen des Krystalls parallel mit sich selbst so weit, bis sie sich in einem Punkt schneiden, welcher von dem Mittelpunkt der Zeichnung in verticaler Richtung um die Länge der Verticalaxe der Grundform absteht. Der Endpunkt der Verticalaxe erscheint dann als das Centrum der Projection. Jedes Paar von parallelen Flächen fällt dabei natürlich zu einer einzigen Fläche zusammen, welche dann die Projectionsebene in einer Linie (Sectionslinie) schneidet, die ihrerseits ausgezogen wird. Die Fläche, welche der Projectionsebene parallel gestellt wurde, liefert in der Zeichnung selbstverständlich keine Linie. Schneiden sich zwei oder mehre Sectionslinien in einem Punkt, so zeigt dies an, dass die denselben entsprechenden Flächen in einer Zone liegen, deren Zonenaxe eben jenen Schnittpunkt (Zonenpunkt) als Projectionspunkt liefert. Wenn es sich aber um einen Zonenverband handelt, zu welchem die Projectionsebene als Krystallfläche selbst gehört, so geht die Zonenaxe der Projectionsebene parallel und alle sonst in solche Zone fallenden Flächen liefern ein System paralleler Sectionslinien, deren gemeinsame Richtung parallel der Zonenaxe ist. — Offenbar kann auch jede andere Krystallfläche als Projectionsebene gewählt werden. Bei einer hinreichend genauen Construction gestattet die Linearprojection, das Symbol einer Fläche zu bestimmen, welche sich an zwei Zonen betheiligt.

Die sphärische Projectionsmethode besteht darin, dass die Flächen des Krystalls als Punkte projicirt werden. Man denkt sich um einen Punkt des Krystalls als Centrum eine Kugelfläche von beliebigem Radius construirt und darauf, von diesem Mittelpunkt aus, gegen die Krystallflächen senkrechte Linien gezogen, welche verlängert die Kugeloberfläche in Punkten treffen. Jede Krystallfläche liefert so auf der Kugeloberfläche einen Punkt, den Pol der Krystallfläche genannt, durch welchen dieselbe ihrer Lage nach vollständig bestimmt ist. Da die Senkrechten, welche vom Centrum aus auf die Flächen einer Zone gezogen werden, sämmtlich in einer Ebene liegen, die auch ihrerseits durch das Centrum geht, eine so gerichtete Ebene aber allemal die Kugeloberfläche in einem grössten Kreis schneidet, so müssen die Pole aller tautozonalen Flächen auf einem grössten Kreis liegen. Auf der Kugeloberfläche erscheinen die Kantenwinkel des Krystalls als deren Supplemente in der Gestalt der sog. Normalenbögen.

Nun handelt es sich darum, von der Kugeloberfläche mit den darauf gelegenen Flächenpolen durch die Projection ein Bild in der Ebene zu entwerfen. Dies geschieht nicht etwa so, dass die Projection die Kugel aus einer grösseren Entfernung gesehen, bildlich darstellt, sondern in der Weise, dass dieselbe gleichsam die Innenansicht der Kugel ist, welche sich einem in der Kugelfläche befindlichen Auge darbietet. Man wählt zur Projectionsebene eine durch den Mittelpunkt gehende Ebene, welche die Kugel in dem sog. Grundkreis schneidet. Nimmt man dazu diejenige Ebene, welche senkrecht steht zu den Flächen der verticalen prismatischen Zone des Krystalls, also der horizontalen Basis parallel geht, so liegen natürlich die Pole aller vertical gerichteten Flächen in dem Grundkreis. Die eine

der beiden durch den Grundkreis getrennten Kugelhälften wird nun so auf dessen Ebene projicirt, dass man sich das Auge in den am weitesten entfernten Punkt der anderen Kugelhälfte versetzt denkt, welcher von allen Punkten des Grundkreises um 90° absteht. Wenn man also vom Mittelpunkt der Kugel aus nach derjenigen Seite, welche ihrer abzubildenden Hälfte entgegengesetzt ist, eine Senkrechte zur Ebene des Grundkreises zieht, und den Punkt, in welchem dieses Loth die Kugeloberfläche trifft, mit allen Flächenpolen jener Hälfte durch gerade Linien verbindet, so sind die Punkte, in denen diese Linien die Grundkreisebene schneiden, die Projectionen der Flächenpole. Der Projectionspunkt einer Fläche F ist also, um es anders auszudrücken, der Punkt, in welchem eine von dem Südpol der Kugel nach dem Pol der Fläche F gezogene Linie die Aequatorialebene schneidet. Bei dieser Projection der halben Kugelfläche auf die Ebene des Grundkreises erscheint jeder auf der Kugel befindliche grösste Kreis, welcher die Pole einer Flächenzone enthält, als Durchmesser des Grundkreises oder als Kreisbogen (Zonenkreis), welcher den Grundkreis in den Enden eines Durchmessers desselben schneidet. Alle Zonen, welche senkrecht zu derjenigen des Grundkreises stehen, deren Pole also in letzteren fallen, stellen sich als Durchmesser dar. Der Pol der horizontalen Basis ist der Mittelpunkt des Grundkreises. Bei der oben angegebenen Wahl des Grundkreises sind die Pole der einzelnen Flächen der Verticalzone unmittelbar durch die Winkel ihrer Normalen gegeben, indem diese letzteren in der Ebene des Grundkreises selbst liegen.

In Fig. 5 ist o der gemeinsame Mittelpunkt des Krystalls und der Kugel. Die Normale auf die Fläche b trifft die Kugeloberfläche im Punkt B, die auf b' in B', die auf d, a, e und c beziehungsweise in D, A, E und C. Diese Pole der eine Zone bildenden Flächen b, d, a, e u. s. w. liegen auf einem grössten Kreis. — Der Bogen BD zwischen den Polen von b und d misst im Centrum einen Winkel BoD, welcher das Supplement des wirklichen, einwärts gerichteten Winkels bnd zwischen jenen beiden Flächen ist.

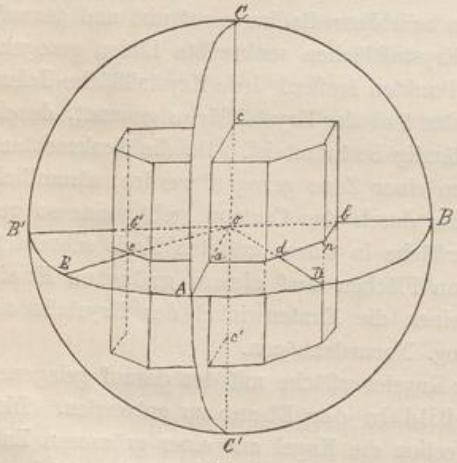


Fig. 5.

Diese sphärische Projectionsmethode ist sehr bequem für die Sichtbarmachung und Ermittelung der Zonenverhältnisse, sowie für die Darstellung des Zusammenhangs zwischen der Form und den physikalischen Eigenschaften der Krystalle, indem z. B. die optischen Elasticitätsaxen, die optischen Axen für die verschiedenen Farben als Punkte markirt werden können, in welchen diese Richtungen die Kugelfläche treffen. Sie gewährt ferner den Vortheil, dass die wichtigsten krystallographischen Rechnungen mit ihrer Hülfe auf einfache Probleme der sphärischen Trigonometrie zurückgeführt werden können. Da es die Normalenwinkel, d. h. die Supplemente der körperlichen Winkel der Flächen sind, welche bei diesen Projectionen gebraucht und den Berechnungen zu Grunde gelegt werden, so hat *Miller* vorgeschlagen, anstatt der wahren Winkel stets diese, bei der Messung unmittelbar gefundenen Supplemente anzuführen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Der Olivinkrystall Fig. 7 ist in Fig. 6 in der Linearprojection, in Fig. 8 in der Kugelprojection dargestellt. In der ersteren geht die Projectionsebene horizontal, parallel der Fläche *c*. Die verticale Zone *msab*, ferner diejenigen *aid*, *eka*, *oikb* liefern Projectionslinien, welche je durch einen Punkt gehen. Die Zone *bed*, zu welcher auch die Projectionsebene *c* selbst gehört, besitzt aber eine horizontale, auf *b* senkrechte Zonenaxe und deshalb müssen die Sectionslinien ihrer Flächen sämmtlich parallel und zwar senkrecht auf *a* verlaufen; ebenso müssen *o* und *a* horizontale parallele Linien liefern. — In der Kugelprojection Fig. 8 erscheinen die erstgenannten Zonen als Theile je eines Kreises, die verticale *msab* als Peripherie (Grundkreis); die Zonen *aoc* und *bede* stellen sich aber als gerade Linien dar, indem sie auf der Projectionsebene senkrecht stehen.

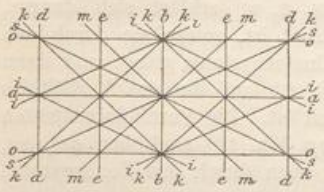


Fig. 6.

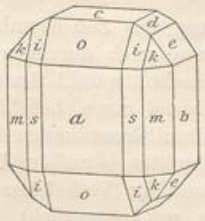


Fig. 7.

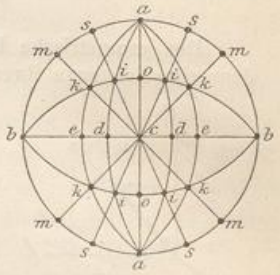


Fig. 8.

Die Symmetrie einer jeden Abtheilung von Krystallformen kann nach dem Vorgang von *A. Gadolin* leicht durch die sphärische Projection ihrer allgemeinsten Form dargestellt werden, wovon im Folgenden bei den einzelnen Gebrauch gemacht ist. Die Schnittpunkte der 2-, 3-, 4- oder 6-zähligen Symmetrie-Axen mit der Kugeloberfläche werden beziehungsweise durch die Zeichen ⬬ ▲ ◆ ⬢ wiedergegeben; eine Symmetrie-Ebene wird durch eine ausgezogene Linie (Zonenkreis) repräsentirt, wogegen eine punktirte Linie das Fehlen einer S.-E. anzeigt. Die Lage der krystallographischen Axen, soweit sie in der Ebene des Grundkreises liegen, ist durch einen Pfeil an den Enden jener Linien bezeichnet; die nicht gezeichneten Axen stehen (mit Ausnahme des triklinen Systems) senkrecht zu den Grundkreisen. Der Pol einer Fläche in der oberen Hälfte des Krystalls (oberhalb der Projectionsebene) wird durch ein Kreuzchen, ein solcher in der unteren durch ein Kreischen markirt. Fallen zwei Flächenpole zusammen (oder liegen sie auf der Kugel senkrecht über einander), so erscheinen die beiden letzteren Zeichen vereinigt.

Unsere üblichen Krystallbilder sind nicht nach den Regeln der gewöhnlichen Perspective entworfen (sonst müssten z. B. parallele Linien, wie die Kanten eines Würfels, welche auf den Beschauer zulaufen, nach der vom Beobachter abgewendeten Richtung convergiren) — sondern sie sind nach der Methode der Parallelperspective gezeichnet, d. h. es sind Bilder, welche die Krystalle, wie man sagt, aus unendlicher Entfernung gesehen darstellen, und zwar weil anderenfalls der für die Auffassung der Zonenverhältnisse so wichtige Kantenparallelismus verloren gehen würde.

§ 12. **Zonenverband.** Eine Krystallfläche, welche zugleich in zwei Zonen, also in der Durchkreuzung derselben gelegen ist, geht sowohl der Zonenaxe der einen als derjenigen der anderen parallel und ist deshalb dadurch vollkommen bestimmt, da überhaupt eine Ebene durch zwei derselben parallele gerade Linien ihrer Richtung nach gegeben ist. Es kann natürlich nur eine einzige Fläche sein, die im Durchschnitt zweier Zonen liegt. Sind daher die zwei Zonen bekannt, so ist die Fläche in ihrer Durchkreuzung auch bekannt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

In Fig. 9 bildet z. B. die Fläche 111 eine Zone mit 100 und 011, ferner mit 101 und 010, sodann auch mit 001 und 110, stets je mit den nach hinten liegenden parallelen Gegenflächen. — Die Fläche 110 liegt in einer Zone mit 100 und 010, sowie mit 111 und $\bar{1}11$.

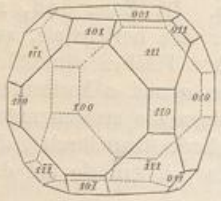


Fig. 9.

Eine Zone ist aber ihrerseits bekannt, sofern die Durchschnittslinie zweier in ihr liegender nicht paralleler Flächen bekannt ist. Aus den Indices dieser Flächen müssen sich somit Werthe ableiten lassen, durch welche die Richtung jener gemeinsamen Durchschnittskante (= der Zonenaxe) bestimmt ist. Die Indices dieser Durchschnittslinie $[u, v, w]$ heissen das Zonensymbol oder Zonenzeichen.

Die geometrische Bedeutung des Zonensymbols $[u, v, w]$ erklärt sich daraus, dass eine Zonenaxe ihrer Richtung nach durchaus bestimmt ist, sofern sie durch den Durchschnittspunkt des Coordinatensystems gelegt und dann für irgend einen beliebigen Punkt auf ihr das Verhältniss der Parallelcoordinaten bekannt ist. Die Parallelcoordinaten des Punktes p auf der Linie op (Fig. 10) sind eben ou, ov, ow und ihr Verhältniss wird eben durch das Zonensymbol $[u, v, w]$ ausgedrückt.

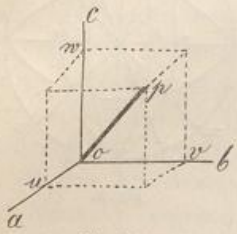


Fig. 10.

Haben die beiden Flächen die Indices hkl und $h'k'l'$, so ist

$$u = kl' - lk',\ v = lh' - hl',\ w = hk' - kh'$$ [1].

Sind die bekannten Indices einer Fläche z. B. (111), die einer anderen (123), so erhält man nach Vorstehendem das Symbol ihrer Zone, indem man die Indices der einen Fläche zweimal hintereinander schreibt, darunter die der anderen ebenfalls zweimal setzt, sodann die erste und letzte Colonne weglässt und nun bei dem Rest den ersten oberen Index mit dem zweiten unteren multiplicirt, darauf den zweiten oberen mit dem ersten unteren multiplicirt und alsdann die beiden Producte von einander abzieht, deren Differenz den ersten Index u des gesuchten Zonensymbols liefert. Durch entsprechende Fortsetzung des Verfahrens dieser kreuzweisen Multiplication erhält man auch die beiden anderen Indices derselben.

$$\begin{array}{cc|cc|c} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 2 & 3 \end{array}$$

$u = (1\times3) - (1\times2) = 1$; $v = (1\times1) - (1\times3) = -2$; $w = (1\times2) - (1\times1) = 1$.

Also ist das Zonensymbol hier $[1\bar{2}1]$; aus den Indices zweier Flächen (201) und (110) würde man so das Zonenzeichen $[\bar{1}12]$ erhalten; dasjenige für die beiden Flächen (201) und (314) ist $[\bar{1}\bar{5}2]$.

Da die Indices stets ganze rationale Zahlen sind, so müssen es auch die Grössen u, v, w sein.

Wenn eine Fläche R mit zwei anderen, Q und S, in einer Zone liegen soll, so müssen die Indices jener Fläche einer besonderen Bedingung genügen. Diese besteht darin, dass, wenn das Zonensymbol von Q und S nach der eben gegebenen Berechnung $[u\,v\,w]$ ist und die Indices von $R = h\,k\,l$ sind, alsdann $uh + vk + wl = 0$. Da diese Bedingungsgleichung nicht abhängt von den Elementen des Krystalls, sondern nur von den Indices, welche ihre rationalen Werthe bei jeder Temperatur

[1] Die theoretische Ableitung dieser Zonenregeln, welche hier nur als solche gegeben werden können, mag man z. B. in *Groth*, Physikal. Krystallogr. 1895. S. 301 nachsehen.

constant beibehalten, so folgt daraus das S. 12 erwähnte Gesetz von der »Erhaltung der Zonen«.

Sind die Indices von Q und S z. B. (111) und (123), so ist ihr Zonensymbol, wie oben, $[1\bar{2}1]$. Die Fläche R mit den Indices (432) liegt daher auch in dieser Zone, da $(1\times4)+(-2\times3)+(1\times2)=0$. Ebenso gehört die Fläche $(\bar{3}11)$ in die (z. B. die Flächen 201 und 314 aufweisende) Zone, deren Symbol $[\bar{1}\bar{5}2]$ ist. — Anderseits erkennt man auf Grund dieser sog. Zonencontrolle, dass die Fläche (112) dagegen nicht in der Zone $[1\bar{2}1]$ liegen kann, da man bei jener Addition der Producte nicht 0, sondern 1 erhält.

Das Zeichen $[uvw]$ einer Zone liefert daher auch die Gesammtheit aller möglichen zu ihr gehörigen Flächen, indem man für k und l in obiger Bedingungsgleichung der Tautozonalität nach und nach alle einfachen rationalen Zahlen 0, 1, 2 u. s. w. einsetzt und jedesmal das entsprechende h aus derselben berechnet.

Wie angeführt, ist eine Krystallfläche, welche zugleich in zwei Zonen liegt, dadurch vollkommen bestimmt. Man erhält nun die Indices des Durchschnittspunkts zweier Zonen, d. h. der in beiden liegenden Fläche auf dieselbe Weise, nach welcher man das Zonensymbol aus den Flächen-Indices entwickelt. Sind die Symbole der beiden Zonen $[uvw]$ und $[u'v'w']$, so sind die Indices der in beiden liegenden Fläche hkl:

$$h = vw' - wv';\ k = wu' - uw';\ l = uv' - vu'.$$

Das Zonensymbol der beiden Flächen (123) und (113) ist $[30\bar{1}]$, dasjenige der beiden Flächen (011) und (122) ist $[01\bar{1}]$. Wird zufolge obigem Schema der nach Abtrennung der ersten und letzten Colonne vorgenommenen kreuzweisen Multiplication u. s. w. nunmehr mit diesen beiden Zonensymbolen selbst verfahren, so erhält man die gesuchten Indices (133) für diejenige Fläche, welche sowohl in der einen als in der anderen Zone liegt, also einerseits mit (123) und (113), anderseits mit (011) und (122) parallele Kanten bildet. Ebenso liegt die Fläche (531) in der Durchkreuzung der beiden Zonen $[1\bar{2}1]$ und $[\bar{1}12]$.

Da die auf diese Weise berechneten Indices für eine in zwei Zonen liegende Fläche stets rational sind, so ist eine solche Fläche stets am Krystall möglich. Anderseits sind aber auch in einem Krystallsystem nur solche Flächen möglich, welche je zweien Zonen dieses Systems zugleich angehören.

Die Indices einer Fläche, welche die Kante zweier gleichartiger Flächen gleichmässig abstumpft, werden erhalten durch die Addition der Indices der letzteren bezüglich jeder Axe. So ist es eine Fläche mit den Indices (332), welche die Kante der beiden gleichartigen Flächen (211) und (121) gerade abstumpft.

Auch vermittels einfacher Sätze der analytischen Geometrie und an der Hand der Linearprojection können die im Vorstehenden angeführten Ermittelungen vorgenommen werden [1]).

Aus dem Vorstehenden sieht man, dass: 1) die Ableitung der Indices einer Zone aus zwei, durch ihre Indices bekannten Flächen; 2) die Ableitung der Indices einer Fläche aus den Indices zweier Zonen, in welchen sie liegt, möglich ist, ohne Verwendung von Winkeln. Diese Operationen heissen Deduction. Geht man von vier beliebigen, an einem Krystall auftretenden Flächen aus, von denen nie je drei in einer Zone liegen, so kann man aus den vorhandenen Durchschnitts-

1) Vgl. darüber z. B. *Quenstedt*, Grundriss der bestimmenden und rechnenden Krystallographie, 1873. S. 188. — *Klein*, Einleitung in die Krystallberechnung, 1876. S. 39.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

kanten fortwährend vermittels solcher Deduction neue Flächen, und alsdann aus den von diesen gebildeten Durchschnittskanten wiederum weitere neue Flächen herleiten. Da zufolge der Deductionsweise ihre Indices allemal rational sein müssen, so sind alle diese deducirten Flächen auch möglich. So kann man auf solchem Wege im Voraus alle möglichen Flächen eines Krystalls ableiten, gerade so, wie wenn man in das allgemeine Flächensymbol $ma : nb : rc$ nach einander alle rationalen Zahlen für die Coëfficienten m, n, r einsetzen würde.

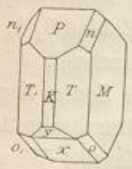


Fig. 11.

In dem monoklinen Krystall Fig. 11 wird $k = (100)$, Orthopinakoid, $M = (010)$, Klinopinakoid, $P = (001)$, Basis, $o = (11\bar{1})$ und $o_1 = (1\bar{1}\bar{1})$, Grundpyramiden angenommen. Die Indices sämmtlicher übrigen Flächen können nun, ohne trigonometrische Rechnung, blos durch den Zonenverband, bestimmt werden: Die Fläche x liegt in der Zone kP, deren Zonensymbol (nach dem Vorstehenden aus (100) und (001) berechnet) $= [10\bar{1}]$, und in der Zone Mo, deren Zonensymbol (aus (010) und $(11\bar{1})$ berechnet) $= [\bar{1}0\bar{1}]$; daraus ergeben sich für x die Indices $(10\bar{1})$. — Die Fläche T liegt in der Zone kM und in derjenigen Po; ihre Indices sind daher (110); $T_1 = (1\bar{1}0)$. — y liegt in der Zone kx und To_1, hat demnach die Indices $(20\bar{1})$. — n liegt in der Zone PM und Ty, besitzt deshalb die Indices (021); $n_1 = (0\bar{2}1)$. — Bisweilen erhält man bei diesen Bestimmungen die Indices der Fläche, die mit der gesuchten parallel ist; so hätte man bei einer Wahl zweier anderer Zonen auch für x die Indices $(\bar{1}01)$ finden können, welche sich dann aber auf die mit x parallele Gegenfläche x_1 (auf der hinteren Seite des Krystalls oben gelegen) beziehen: in diesem Falle braucht man die gefundenen Indices nur mit -1 einzeln zu multipliciren, um das Symbol der gesuchten Fläche zu erhalten.

§ 13. **Vollflächigkeit und Theilflächigkeit.** Vollflächige Formen oder Holoëder sind solche einfache Krystallformen, welche diejenigen Symmetrie-Ebenen, die ihnen durch das betreffende Krystallsystem vorgeschrieben werden (S. 17), auch in voller Zahl besitzen. Hälftflächner oder Hemiëder werden zunächst diejenigen, aus den holoëdrischen durch ein bestimmtes Verfahren ableitbaren Krystallformen genannt, für welche man sich vorstellen kann, dass bei ihnen eine oder mehre Gruppen von gleichwerthigen Symmetrie-Ebenen aus dem Complex ausgetreten und nicht mehr vorhanden sind. Hiermit ist dann auch der Verlust von anderen Symmetrie-Elementen verbunden, jedesmal der von Symmetrie-Axen, möglicherweise auch der des Symmetrie-Centrums.

Die Ableitung der Hemiëder aus den Holoëdern erfolgt in der Weise, dass von jedem Flächenpaar, für welches eine bestimmte Ebene die Bedeutung einer S.-E. einbüssen soll, je eine Fläche unterdrückt wird und zum Verschwinden gelangt, wobei aber die andere Fläche sich soweit ausdehnt, dass sie mit den übrigen verbleibenden Flächen zum Durchschnitt gelangt und Kanten bildet. Dies ergibt sich aus der Erwägung, dass eine Ebene, welche ja in dem Falle den Charakter einer S.-E. besitzt, wenn alle übrigen Krystallflächen paarweise zu ihr auftreten, dann anderseits diese Bedeutung verlieren muss, wenn alle Flächen mit Bezug auf sie nur einmal am Krystall vorhanden sind.

Nach den Symmetriegesetzen muss das Verlorengehen einer S.-E. als solcher zugleich auch das Austreten aller übrigen, mit ihr gleichwerthigen S.-E.n zur Folge haben, so dass, wenn eine S.-E. nicht als einzige ihrer Art vorliegt, es eine

Gruppe derselben ist, welche ausscheidet. Ferner kann der Verlust einer S.-E. es bisweilen nach sich ziehen, dass auch eine darauf senkrecht stehende, sonst ungleichwerthige Ebene ihre Bedeutung als besondere S.-E. einbüsst, in welchem Falle also verschiedenartige S.-E.n gleichzeitig verschwinden (vgl. die sphenoidische Hemiëdrie im tetragonalen, die rhomboëdrische im hexagonalen System).

Die morphologische Wirkung eines Hemiëdrischwerdens ist nun bei den verschiedenen Formen abweichend. Einerseits zeigt es sich sehr vielfach, dass die hemiëdrische Form zwar ihre Flächen in genau derselben Lage am Axenkreuz besitzt, wie eine holoëdrische, aber diese Flächen wirklich auch nur in der halben Anzahl aufweist, weshalb man von der einen Form auf die andere gelangt, wenn man die symmetrisch vertheilte Hälfte ihrer Flächen verschwinden lässt, wobei die übrig bleibende, gewissermassen sich ausdehnende Hälfte der Flächen für sich eine geschlossene, von unter einander gleichen Flächen begrenzte Gestalt bildet (vgl. Fig. 49 in Verbindung mit 50 und 51, oder die drei Formen der Fig. 157). Dies ist stets dann der Fall, wenn die Flächen einer Form schief geneigt liegen gegen die abhanden kommende S.-E. Die Auswahl der zum Verbleiben bestimmten Hälfte der Flächen muss immer so getroffen werden, dass sie die Enden aller gleichwerthigen S.-A.n in derselben Anzahl, unter gleichen Winkeln und unter übereinstimmender Centraldistanz schneiden.

Es leuchtet ein, dass unter diesen Verhältnissen bei jeder Hemiëdrie zwei hemiëdrische Formen entstehen müssen, welche sich gegenseitig zur holoëdrischen Stammform ergänzen, daher sie complementäre oder correlate Formen, oder auch Gegenkörper genannt worden sind. Diese beiden Gegenkörper sind entweder congruent, wenn sie durch einfache Drehung zur gegenseitigen Deckung gebracht werden können, so dass das für den einen geltende Modell, blos in seiner Stellung verwendet, zugleich auch das Modell für den congruenten Gegenkörper abgibt (vgl. Fig. 50 und 51, oder Fig. 157); oder in selteneren Fällen enantiomorph, d. h. sie sind nur spiegelbildlich gleich und können, wie z. B. ein rechter und ein linker Handschuh, durch keinerlei Drehung zur Congruenz gebracht werden (vgl. Fig. 90 und 92, oder *a* und *b* in Fig. 180). Die congruenten Formen besitzen selbst noch S.-E.n, die enantiomorphen sind eben solche, welche jede S.-E. verloren haben und auch kein Centrum der Symmetrie mehr besitzen.

In den bisher gedachten Fällen weisen die Hemiëder thatsächlich nur die halbe Flächenzahl der Holoëder auf. Sofern nun aber anderseits die holoëdrische Form ihre Flächen so liegen hat, dass diese senkrecht stehen auf deren verloren gehenden S.-E.n (oder dass ihre Normalen innerhalb dieser S.-E.n liegen), so muss, wenngleich auch die eine Hälfte solcher zur S.-E. senkrechten Fläche verschwindet, sich doch die andere Flächenhälfte in eben derselben Richtung darüber hinaus ausdehnen, wo die erstere verschwunden ist, und demnach in diesem Falle die ursprüngliche Gestalt als solche erhalten bleiben. Alsdann äussert sich daher die Hemiëdrie nicht morphologisch, die Wirkung derselben ist das Zustandekommen einer Form, welche, rein geometrisch betrachtet, von dem betreffenden Holoëder nicht verschieden ist und die thatsächliche Verminderung der Symmetrie äusserlich nicht erkennen lässt; oder es gehen vielmehr hier aus dem Holoëder zwei complementäre Gegenkörper hervor, welche gestaltlich weder

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

unter sich noch von dem Holoëder abweichen. In der inneren Molecularstructur indessen, in der Bedeutung der einzelnen Begrenzungselemente, sowie auch in der Combination mit anderen Gestalten zeigen sich wesentliche Unterschiede zwischen einem solchen nur scheinbar holoëdrischen Hemiëder und einem wahren Holoëder; die Flächen des ersteren besitzen auch einen geringeren Symmetriegrad als die anscheinend übereinstimmenden Flächen des letzteren.

In den ersten drei Krystallsystemen, in denen die Holoëder mehr als drei S.-E.n besitzen, kann es verschiedene Modalitäten der Hemiëdrie geben, je nachdem diese oder jene Gruppe von S.-E.n aus dem Complex austritt, oder was dasselbe sagt, je nachdem auf diese oder auf eine andere Weise die Auswahl der zum Verschwinden bestimmten Flächen erfolgt. — Besitzt ein Krystall überhaupt keine S.-E., so kann er nach dem Vorstehenden auch nicht hemiëdrisch werden; ist aber noch ein Centrum der Symmetrie bei ihm vorhanden, so kann auch dieses verloren gehen und dadurch eine Wirkung erzeugt werden, welche mit der Hemiëdrie eine gewisse Aehnlichkeit hat (vgl. triklines System).

Die Hemiëdrie lässt sich daher auch als die Erscheinung bezeichnen, dass die geometrisch gleichen Krystallräume entweder in morphologischer und physikalischer Hinsicht oder allein in letzterer blos abwechselnd gleich sind.

In den Krystallsystemen höherer Symmetriegrade, in welchen mehre Arten von Hemiëdrie möglich sind, können die nach einer Modalität gebildeten hemiëdrischen Formen, durch weiteres theilweises oder gänzliches Verschwinden der dann übrig gebliebenen S.-E.n, noch einmal nach dem Gesetz einer anderen Modalität der Hemiëdrie in zwei Hälften zerlegt werden, wodurch Formen gebildet werden können, welche nur den vierten Theil der Flächen der ursprünglichen holoëdrischen Gestalt, bei genau gleichbleibender Lage derselben aufweisen. Bei anderen holoëdrischen Formen ist jedoch, wenn das gleiche Verfahren auch auf sie angewandt wird, abermals keine morphologische Wirkung damit verknüpft oder die Formen verändern sich nur in der Weise wie dies vermöge der einen Hemiëdrie erfolgte. Man nennt diese Erscheinung die Tetartoëdrie oder Viertelflächigkeit; sie besteht also allgemein darin, dass auch jene geometrischen Krystallräume, welche in den hemiëdrischen Krystallen noch untereinander gleich erscheinen, hier blos abwechselnd gleich sind, oder dass von allen Krystallräumen des holoëdrischen Krystalls blos der vierte Theil Gleichheit darbietet.

In der Natur findet eine strenge Scheidung zwischen den vollflächigen und theilflächigen Formen statt, indem eine und dieselbe als Mineralart auftretende chemische Substanz entweder nur holoëdrisch, oder nur hemiëdrisch, oder nur tetartoëdrisch, und in den letzteren Fällen auch nur in einer bestimmten Modalität der Theilflächigkeit krystallisirt. Daher bilden die theilflächigen Krystalle selbständige Abtheilungen der Krystallsysteme. Dies spricht sich auch darin aus, dass immer nur Holoëder mit Holoëdern, Hemiëder einer bestimmten Modalität mit solchen derselben Modalität, tetartoëdrische Formen mit denjenigen desselben Charakters in Combination treten können. Das krystallographische Axensystem ist aber für sämmtliche Theilflächner dasselbe wie für die Vollflächner, aus denen sie abgeleitet werden; auch das optische Verhalten stimmt trotz der Verminderung der formellen Symmetrie im Allgemeinen überein.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Geometrisch durchaus holoëdrisch erscheinende Substanzen können nach dem Angeführten physikalisch dennoch tief im Grade der Symmetrie stehen, wie es unter den hexagonalen der Nephelin und die einfachste Combination des Quarzes, unter den regulären Chlorkalium zeigt. Von keinem holoëdrisch aussehenden Krystall kann man bestimmt behaupten, dass er es wirklich sei, bevor nicht durch weitere, zumeist physikalische Untersuchungen sein Symmetriegrad sicher gestellt ist.

§ 14. **Hemimorphie.** An die Hemiëdrie schliesst sich, gewissermassen eine analoge, wenn auch viel seltenere Erscheinung bildend, die Hemimorphie (oder der Hemimorphismus) an. Derselben sind diejenigen holoëdrischen oder hemiëdrischen Combinationen fähig, welche eine Symmetrie-Axe besitzen, die von allen übrigen daran vorkommenden verschieden oder überhaupt einzig in ihrer Art ist, und die Hemimorphie besteht nun darin, dass jene zwei entgegengesetzten Krystallräume, welche an beiden Enden solcher S.-A. gelegen sind, morphologische (und physikalische) Abweichung zeigen, indem sie gesetzmässig von den Flächen ganz verschiedener Formen begrenzt werden (Fig. 12 Turmalin, Fig. 13 Kieselzink, Fig. 14 Struvit). Steht die einzig in ihrer Art vorhandene S.-A. vertical, so wird sich die Hemimorphie (wie es in den Figuren der Fall) in einem Gegensatz zwischen oben und unten, liegt sie horizontal, so wird sie sich in einem Gegensatz zwischen vorne und hinten oder zwischen rechts und links aussprechen. Die Hemimorphie kann daher auch als eine Unsymmetrie zu beiden Seiten einer auf jener Axe senkrecht stehenden, singulären Ebene bezeichnet werden, indem die beiden Axenhälften weder deckbar gleich noch spiegelbildlich gleich sind. Jene Axe wird deshalb auch die Axe der Hemimorphie genannt. Wie die theilflächigen (hemiëdrischen und tetartoëdrischen) Krystalle, so besitzen ebenfalls die den Gesetzen der Hemimorphie unterworfenen so einen geringeren Grad der Symmetrie als er durch das betreffende Krystallsystem vorgeschrieben ist. Da sich bei einer einzelnen einfachen Krystallform die Hemimorphie darin aussprechen würde, dass überhaupt nur eine Hälfte vorhanden wäre, welche für sich den Raum nicht begrenzt, so muss jeder hemimorphe Krystall eine Combination sein. Hemimorphe Formen besitzen kein Centrum der Symmetrie.

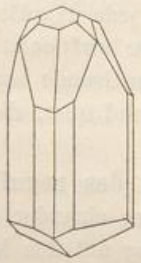


Fig. 12.

Fig. 13.

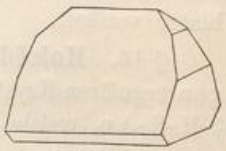


Fig. 14.

Der physikalische Gegensatz an beiden Enden der S.-A. macht sich darin geltend, dass die hemimorphen Krystalle durch Erwärmung polarelektrisch werden, d. h. an den abweichenden Enden alsdann entgegengesetzte Elektricität entwickeln; auch rücksichtlich der Wärmeleitung ist bei ihnen eine Einseitigkeit dargethan worden, welche ferner noch in der Form der Aetzfiguren ihren Ausdruck findet. Für Krystalle des regulären sowie des triklinen Systems ist die Hemimorphie ausgeschlossen, da die des ersteren keine S.-A. oder S.-E. besitzen, welche einzig in ihrer Art ist, bei denen des letzteren aber überhaupt keine S.-A. existirt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Um der Hemimorphie eine Selbständigkeit gegenüber der Hemiëdrie zu wahren, ist es erforderlich, die Singularität der gedachten Symmetrie-Axe zu betonen. Denn nur in diesem Falle werden Formen erzeugt, die von den Wirkungen der Hemiëdrie verschieden und nicht auch durch letztere deutbar sind. Sofern man sich vorstellt, dass die Hemimorphie gleichzeitig nach mehren gleichwerthigen S.-A.n stattfindet, würden Formen entstehen, welche von den vermöge der Hemiëdrie resultirenden nicht verschieden sind.

Während sich bei einer Anzahl von Mineralien die Hemimorphie als eine gesetzmässige Erscheinung zu erkennen gibt, kommen bei anderen nur dann und wann zufällige Unregelmässigkeiten der Ausbildung vor, welche zwar eine Aehnlichkeit mit der Hemimorphie besitzen, aber doch nur als individuelle Anomalieen betrachtet werden können; z. B. am Topas, am Kalkspath, am Wiluit.

1. Reguläres Krystallsystem.

§ 15. **Geometrischer Grundcharakter.** Dieses Krystallsystem, welches auch das tessularische, tesserale, isometrische, kubische genannt worden ist, zeichnet sich dadurch aus, dass alle seine Formen auf drei, unter einander rechtwinkelige, völlig gleiche und gleichwerthige krystallographische Axen bezogen werden können. Daher lässt sich jede reguläre Form nach drei verschiedenen Richtungen in völlig gleicher Weise aufrecht stellen. Das Axenkreuz, welches man den Gestalten dieses Systems zu Grunde legt, wird so gerichtet, dass die eine Axe vertical, die zweite horizontal und quer, die dritte geradeaus von vorne nach hinten verläuft.

§ 16. **Holoëdrische Formen des regulären Systems.** Die vollflächigen regulären Krystalle besitzen 3 zu einander normale H.-S.-E.n und daher auch 3 H.-S.-A.n, welche in ihrer Richtung mit den krystallographischen Hauptaxen zusammenfallen und senkrecht stehen auf den Flächen des Würfels[1]); ausserdem noch 6 sich unter 120° durchschneidende gewöhnliche S.-E.n, welche die 6 rechtwinkeligen Neigungswinkel jener H.-S.-E.n halbiren und den Flächen des Rhombendodekaëders entsprechen. Diese 9 S.-E.n theilen den Raum in 48 gleiche Theile. Die 3 Hauptaxen sind vierzählige S.-A.n. Daneben besitzen die holoëdrischen regulären Krystalle noch 4 dreizählige S.-A.n (auch trigonale Zwischenaxen genannt), welche senkrecht auf den Oktaëderflächen stehend, mitten zwischen drei Hauptaxen liegen und gegen jede derselben gleich geneigt sind. Ferner noch 6 zweizählige S.-A.n (sog. rhombische Zwischenaxen), welche mitten zwischen zwei Hauptaxen liegen und den Winkel derselben halbiren; sie stehen senkrecht auf den Rhombendodekaëderflächen. Diese 3 Arten von S.-A.n sind in der erwähnten Reihenfolge in Fig. 17, 18, 19 in den Würfel eingezeichnet. Wie überhaupt im regulären System existiren keine sechszähligen S.-A.n. Ein Centrum der Symmetrie ist vorhanden. — Die sphärische Projection Fig. 15, ausgeführt nach den auf S. 25 stehenden

1) Obgleich nach S. 13 jeder beliebige Complex von drei Flächen eines Krystalls als Axenebenen gewählt werden kann, um die anderen darauf zu beziehen (welche dann stets rationale Parameterverhältnisse ergeben), so gestaltet sich doch die Betrachtung der Formen in allen Systemen erheblich einfacher, wenn die Wahl der Axenebenen so getroffen wird, dass alle Flächen einer jeden einfachen Form auch die gleichen Parameter erhalten. Dies ist für die Gestalten des regulären Systems nur dann der Fall, wenn eben die 3 H.-S.-E.n als Axenebenen angenommen werden; die Berechnung der Formen wird alsdann hier auch wesentlich leichter, weil die Axenebenen nun senkrecht aufeinander stehen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Angaben, zeigt die Vertheilung der Flächen bei der allgemeinsten Form, dem Achtundvierzigflächner $\{hkl\}$ und gewährt auch eine Uebersicht über die allen Formen gemeinsamen Symmetrieverhältnisse.

Jede reguläre Form wird durch ein besonderes Verhältniss der Parameter, d. h. der Abschnitte, welche jede Fläche derselben auf den Halbaxen hervorbringt, charakterisirt, wobei immer der kleinste Parameter $= 1$ gesetzt werden kann. Während nun das Verhältniss der durchgängigen Gleichheit der Parameter $1 : 1 : 1$ mit Recht als das eigentliche Grundverhältniss gelten muss, sind ausser ihm nur noch zwei allgemeine Grössenverhältnisse derselben denkbar.

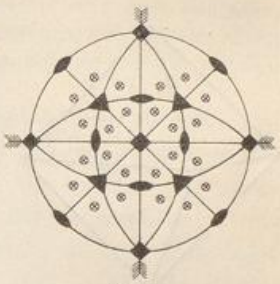


Fig. 15.

Das zweite ist nämlich das Verhältniss zweier gleicher gegen einen ungleichen Parameter; dasselbe liefert aber zwei verschiedene Gruppen von Formen, je nachdem die beiden gleichen Parameter grösser oder kleiner sind als der dritte, oder, den kleinsten Parameter $= 1$ gesetzt, je nachdem dasselbe

$$m : m : 1, \text{ oder } m : 1 : 1$$

geschrieben werden kann, wobei m irgend eine rationale Zahl bedeutet, welche grösser als 1 ist. Da nun aber diese Zahl bis auf ∞ wachsen kann, und da die solchenfalls eintretenden Grenzverhältnisse

$$\infty : \infty : 1, \text{ oder } \infty : 1 : 1$$

wiederum zwei besondere Formen bedingen, so ergibt sich, dass das zweite allgemeine Grössenverhältniss der Parameter überhaupt vier verschiedene Arten von Formen bedingt. — Das dritte allgemeine Verhältniss endlich ist das der durchgängigen Ungleichheit der Parameter, welches man

$$m : n : 1$$

schreiben kann, wenn der kleinste Parameter $= 1$, der grösste $= m$, der mittlere $= n$ gesetzt wird. Dasselbe liefert abermals eine besondere Gruppe von Formen; da jedoch m wieder bis ∞ wachsen kann, in welchem Falle das Verhältniss

$$\infty : n : 1$$

resultirt, und da dieses Grenzverhältniss gleichfalls eine besondere Art von Formen bedingt, so folgt, dass das dritte allgemeine Grössenverhältniss der Parameter überhaupt zwei verschiedene Arten von Formen hervorruft.

Nach dieser allgemeinen Erläuterung sind sieben verschiedene Parameterverhältnisse und demgemäss sieben Arten von holoëdrisch-regulären Formen möglich, welche einen völlig abgeschlossenen Inbegriff bilden und mit einander nach verschiedenen Richtungen durch Uebergänge in Verbindung stehen. Bei der weiteren Beschreibung derselben ist aus Gründen der Zweckmässigkeit eine andere Reihenfolge gewählt, als sie sich aus obiger Deduction ergeben würde.

Die vollflächigen Formen des regulären Systems sind:

das Oktaëder,
das Hexaëder,
das Rhombendodekaëder,

die Triakisoktaëder,
die Tetrakishexaëder,
die Ikositetraëder und
die Hexakisoktaëder.

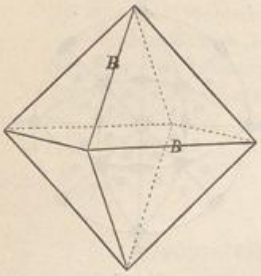


Fig. 16.

Das Oktaëder (Fig. 16) ist eine von 8 gleichseitigen Dreiecken umschlossene Form, mit 12 gleichen Kanten B, die 109° 28′ 16″ messen, und mit 6 vierflächigen (tetragonalen) Ecken. Die Hauptaxen verbinden je zwei gegenüberliegende Ecken, damit der auch für alle folgenden Formen geltenden Nothwendigkeit genügt werde, dass die 6 gleichwerthigen Enden der 3 Hauptaxen sämmtlich in krystallographisch gleichwerthigen Orten liegen. Auf den Flächen stehen die 4 dreizähligen S.-A.n senkrecht. — Spinell, Magneteisen, Gold, Fluorit, Senarmontit.

Eine jede Fläche des Oktaëders liegt so, dass sie die drei Hauptaxen in gleichen Entfernungen vom Mittelpunkt schneidet. Bezeichnet man, wie es von *Weiss* eingeführt wurde, diese 3 gleichen Parameter mit a, so ergibt sich als Flächenzeichen des Oktaëders $a : a : a$, und da nun sämmtliche Flächen dasselbe Parameterverhältniss besitzen, so kann das der einzelnen zukommende als repräsentatives Symbol der ganzen Form gelten. Dieses Zeichen liefert in jedem Oktanten eine und nur eine Fläche, indem die Vertauschung der 3 gleichen Parameter auf den 3 Axenhälften keine neue Fläche erzeugt.

Von *Naumann* wird das Oktaëder mit dem Parameterverhältniss 1 : 1 : 1 als die eigentliche Grundform des regulären Systems betrachtet, aus welcher vermöge einer einfachen Construction alle anderen Formen desselben abgeleitet werden können. Er bezeichnet daher das Oktaëder mit **O**, dem Anfangsbuchstaben seines Namens, und unter diesem Zeichen hat man sich also das vollständige Oktaëder, nicht blos eine einzelne Fläche dieser Gestalt vorzustellen. — Das *Miller*'sche Indexzeichen für das Oktaëder ist {111}; vgl. S. 22.

Das Hexaëder, oder der Würfel (Fig. 17), ist eine von 6 gleichen Quadraten umschlossene Form, mit 12 gleichen Kanten C von 90° Winkelmaass, mit 8 dreiflächigen (trigonalen) Ecken. Die Hauptaxen verbinden die Mittelpunkte je zweier

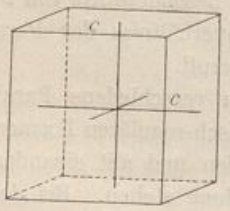


Fig. 17.

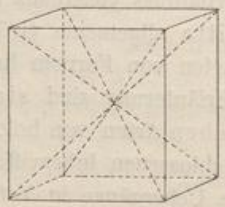


Fig. 18.

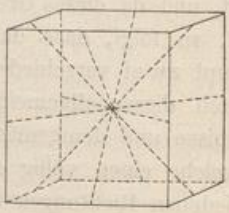


Fig. 19.

gegenüberliegender Flächen (Fig. 17); die Kanten des Würfels geben also die Lage der Hauptaxen an. Die Flächen des Würfels gehen den drei H.-S.-E.n des regulären Systems parallel, dessen sechs gewöhnliche S.-E.n je zwei gegenüberliegende Kantenwinkel des Würfels halbiren. Die 4 dreizähligen S.-A.n verbinden je zwei gegenüberliegende Würfelecken (Fig. 18), die 6 zweizähligen S.-A.n verbinden die

Halbirungspunkte zweier gegenüberliegender Würfelkanten (Fig. 19). — Flussspath, Bleiglanz.

Die Fläche des Hexaëders schneidet allemal nur eine Hauptaxe und geht den beiden anderen parallel, daher das Flächenzeichen $a : \infty a : \infty a$. Eine Fläche mit diesem Parameterverhältniss muss in jedem Oktanten dreimal vorhanden sein; jede fällt aber, da sie mit 2 Hauptaxen parallel geht, mit ihren symmetrischen Flächen in allen 3 Nachbaroktanten zusammen und die vollflächige Form kann also statt 3×8 nur den vierten Theil, d. h. 6 Flächen haben.

Das Hexaëder resultirt aus dem Oktaëder, indem man in jede Oktaëderecke eine Fläche legt, welche den beiden, nicht zu derselben Ecke gehörigen Hauptaxen parallel ist (oder solche in der Entfernung ∞ schneidet). Das krystallographische Körperzeichen *Naumann*'s für das Hexaëder, dessen jede Fläche durch das Parameterverhältnis $\infty : 1 : \infty$ bestimmt wird, ist daher $\infty O \infty$[1]). — Das *Miller*'sche Indexzeichen ist {100} mit seinen 6 verschiedenen Flächen (100), (010), (001), ($\bar{1}$00), (0$\bar{1}$0), (00$\bar{1}$).

Das Rhombendodekaëder (Fig. 20) ist eine von 12 gleichen und ähnlichen Rhomben (mit dem Verhältniss der Diagonalen $1 : \sqrt{2}$) umschlossene Form; es hat 24 gleiche Kanten A von 120° Winkelmaass, und 6 vierflächige (tetragonale) sowie 8 dreiflächige (trigonale) Ecken. Von den Kanten sind je 6 einander parallel, so dass je 6 Flächen eine Zone bilden; solcher Zonen existiren daher 4 und jede Rhombendodekaëderfläche liegt in zwei dieser Zonen. Zwei Flächen, welche ihre spitzen Ecken einander zuwenden, sind unter 90° gegenseitig geneigt. Die Hauptaxen verbinden je zwei gegenüberliegende tetragonale Ecken. Die Flächen fallen mit den 6 gewöhnlichen S.-E.n des regulären Systems zusammen, senkrecht auf ihnen stehen die 6 zweizähligen S.-A.n. — Granat, Silberamalgam, Magneteisen; das häufige Vorkommen am Granat veranlasste den Namen Granatoëder.

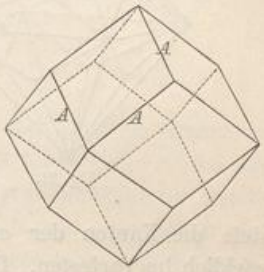


Fig. 20.

Die Fläche des Rhombendodekaëders schneidet 2 Hauptaxen in gleichen Abständen (a) und geht der dritten a parallel, daher das Flächenzeichen $a : a : \infty a$. Eine Fläche mit diesem Parameterverhältniss muss in jedem Oktanten dreimal vorhanden sein; da jede derselben aber einer Hauptaxe parallel ist, so muss ihre symmetrische Gegenfläche in dem anstossenden Oktanten mit ihr identisch sein. Statt 3×8 kann die ganze Form daher nur die Hälfte dessen, nämlich 12 Flächen aufweisen.

Aus dem Oktaëder entsteht das Rhombendodekaëder, indem in jede der 12 Oktaëderkanten eine Fläche gelegt wird, welche der nicht zu derselben Kante gehörigen Hauptaxe parallel ist (oder solche in der Entfernung ∞ schneidet). Da dann jede Fläche durch das Parameterverhältniss $\infty : 1 : 1$ bestimmt wird, so ist das *Naumann*'sche Körperzeichen des Rhombendodekaëders ∞O (anstatt $\infty O1$). — Das *Miller*'sche Symbol ist {110}, liefernd die 12 verschiedenen Flächen (110), (101), (011), ($\bar{1}$10), ($\bar{1}$01), (0$\bar{1}$1), (1$\bar{1}$0), (10$\bar{1}$), (01$\bar{1}$), ($\bar{1}\bar{1}$0), ($\bar{1}$0$\bar{1}$), (0$\bar{1}\bar{1}$).

1) Hierfür, wie auch für die folgenden Symbole gilt, dass der eine Coëfficient, welcher stets = 1 ist, nicht geschrieben wird, indem er gewissermassen in O steckt; die auf die beiden anderen Axen bezüglichen Coëfficienten werden vor und hinter O gesetzt, und zwar der grössere immer links, der kleinere rechts; ist der letztere = 1, so wird er ebenfalls weggelassen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Anm. Diese drei ersten Formen des regulären Systems sind einzig in ihrer Art, indem sie gar keine verschiedenen Varietäten zulassen. Diese Invariabilität ergibt sich einerseits aus der Natur der sie begrenzenden Flächen — gleichseitiges Dreieck, Quadrat, Rhombus —, welche keiner Modification fähig sind, anderseits aus der Beschaffenheit ihrer Symbole, in denen variabele Coëfficienten nicht vorkommen, sondern nur 1 und ∞. Die übrigen folgenden Formen aber können in sehr verschiedenen Varietäten ausgebildet sein, ohne doch den allgemeinen geometrischen Charakter ihrer Art aufzugeben.

Zufolge ihrer Lage am Axenkreuz sind unter Berücksichtigung des S. 19 Angeführten eigentlich die Oktaëderflächen als Pyramiden-, die des Würfels als Pinakoid-, die des Rhombendodekaëders als Prismenflächen charakterisirt.

Die Triakisoktaëder (oder Pyramidenoktaëder, Fig. 21, 22, 23) sind von 24 gleichschenkeligen Dreiecken umschlossene Formen, deren allgemeine Gestalt zwischen jener des Oktaëders und Rhombendodekaëders schwankt, jedoch so, dass

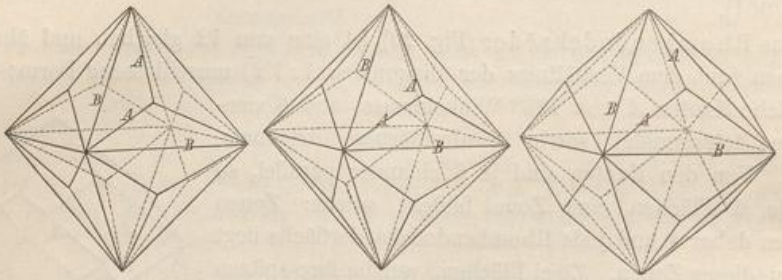


Fig. 21. Fig. 22. Fig. 23.

stets die Kanten der ersteren, niemals aber die Kanten der anderen Grenzform wirklich hervortreten. Die Kanten sind zweierlei: 12 längere B, welche den Kanten des Oktaëders entsprechen, und 24 kürzere A (Pyramidenkanten), welche zu je drei über den Flächen des eingeschriebenen Oktaëders liegen. Die Ecken sind gleichfalls zweierlei: 6 achtflächige (ditetragonale) Oktaëderecken, so liegend wie die Ecken eines Oktaëders, und 8 dreiflächige (trigonale), in den einzelnen Oktanten gelegene Pyramidenecken. Die Hauptaxen verbinden je zwei gegenüberliegende ditetragonale Ecken. — Bleiglanz.

Der Name Triakisoktaëder erinnert an die stets vorhandene Gruppirung der Flächen in 8 dreizählige Systeme, indem die Gestalt gewissermassen ein Oktaëder ist, auf dessen jeglicher Fläche sich eine stumpfe dreiseitige Pyramide erhebt. Je niedriger diese Pyramiden sind, je flacher der Winkel A ist (wie in Fig. 21), desto mehr nähert sich die Gestalt einem Oktaëder. Bei grösserer Steilheit der Pyramiden und grösserem Werth des Winkels B (wie in Fig. 23) findet immer mehr Annäherung an das Rhombendodekaëder statt. — Die Fläche des Triakisoktaëders schneidet zwei Hauptaxen in derselben Entfernung a, die dritte erst in einer m-mal verlängerten, ist daher charakterisirt durch das Zeichen $a : a : ma$ (z. B. $a : a : 2a$; $a : a : 3a$), welches in jedem Oktanten 3 Flächen ergibt. Je grösser m, desto mehr nähert sich die Gestalt dem Rhombendodekaëder, je kleiner, desto mehr dem Oktaëder; wird $m = \infty$, so geht das Rhombendodekaëder $(a : a : \infty a)$, wird $m = 1$, dann das Oktaëder $(a : a : a)$ hervor.

Die Construction aus dem Oktaëder ergibt sich folgendermassen: Man verlängere jede Halbaxe des Oktaëders durch Vervielfältigung nach einer Zahl m, welche rational und grösser als 1 ist, und lege hierauf in jede Oktaëderkante zwei

Flächen, welche die nicht zu derselben Kante gehörige Hauptaxe beiderseits in der Entfernung m schneiden; so entsteht ein Triakisoktaëder, dessen Zeichen $m\mathbf{O}$ ist, weil jede Fläche das Parameterverhältniss $m : 1 : 1$ hat. Die gewöhnlichsten Varietäten sind $\frac{3}{2}\mathbf{O}$, $2\mathbf{O}$ und $3\mathbf{O}$[1]). Bei *Miller* sind die Triakisoktaëder allgemein $\{h\,h\,l\}$; $3\mathbf{O} = \{331\}$; $\frac{3}{2}\mathbf{O} = \{332\}$. Durch Veränderung der Indexfolge und wechselnde Anbringung des Minuszeichens liefert das Symbol $\{h\,h\,l\}$ wie auch das der folgenden beiden Formen überhaupt 24 im Einzelnen abweichend bezeichnete Flächen.

Die Tetrakishexaëder (oder Pyramidenwürfel, Fig. 24, 25, 26) sind von 24 gleichschenkeligen Dreiecken umschlossene Formen, deren allgemeine Gestalt zwischen jener des Hexaëders und des Rhombendodekaëders schwankt, jedoch so,

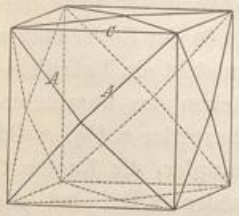


Fig. 24.

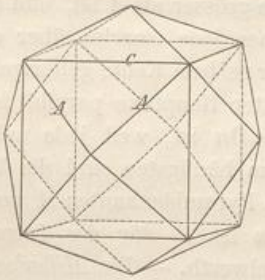


Fig. 25.

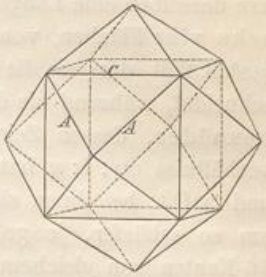


Fig. 26.

dass stets die Kanten der ersteren, nie aber die Kanten der anderen Grenzform an ihnen zu erkennen sind. Die Kanten sind zweierlei: 12 längere C, welche den Kanten des Hexaëders entsprechen, und 24 kürzere A (Pyramidenkanten), welche zu je 4 über den Flächen des eingeschriebenen Hexaëders liegen. Die Ecken sind gleichfalls zweierlei: 6 vierflächige (tetragonale) Pyramidenecken und 8 sechsflächige, so liegend wie die Ecken eines Hexaëders. Die Hauptaxen verbinden je zwei gegenüberliegende tetragonale Ecken. — Gold, Flussspath.

Der Name Tetrakishexaëder erinnert an die bestimmte Beziehung zu dem Hexaëder, während er zugleich die, in Bezug auf diese Form stets vorhandene Gruppirung der Flächen in 6 vierzählige Systeme betont. Der Name Pyramidenwürfel drückt aus, dass die Gestalt gleichsam ein Würfel ist, der auf jeder seiner Flächen eine niedrige vierseitige Pyramide trägt. Je niedriger diese Pyramiden sind, je flacher der Winkel A ist (Fig. 24), desto mehr nähert sich die Gestalt des Tetrakishexaëders einem Würfel, je höher (Fig. 26), desto mehr einem Rhombendodekaëder.

---

1) Als Beispiel für die Winkelwerthe verschiedener Varietäten dienen nachstehende Angaben, in welche auch die beiden Grenzformen mit aufgenommen sind.

	Oktaëderkanten B	Pyramidenkanten A
0	109°28′	180°
$\frac{3}{2}$O	115°42′	174°36′
$\frac{3}{2}$O	129°31′	162°39′
$\frac{1}{1}$O	136° 0′	157° 5′
2O	141° 3′	152°44′
4O	159°57′	136°39′
9O	171° 1′	127°24′
36O	177°45′	121°50′
∞O	180°	120°

Triakisoktaëder mit gleichen Kanten können in der Natur nicht vorkommen, da in diesem Fall m den irrationalen Werth $1 + \sqrt{2}$ erhalten würde.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Schneidet die Fläche des Tetrakishexaëders die eine Axe in der Entfernung a, so wird die andere Axe in einer um n (> 1) verlängerten Entfernung getroffen, während die Fläche mit der dritten Axe parallel geht. Daher das Flächenzeichen $a : na : \infty a$, z. B. $a : 2a : \infty a$; $a : 4a : \infty a$. Dasselbe würde in jedem Oktanten 6 Flächen liefern, von denen aber immer je zwei mit zweien eines benachbarten Oktanten zusammenfallen, daher die ganze Form $\frac{6 \times 8}{2} = 24$ Flächen aufweist. Je mehr n wächst, desto mehr nähert sich ein Tetrakishexaëder gestaltlich dem Hexaëder; ist $m = \infty$ geworden, so resultirt das Hexaëder $(a : \infty a : \infty a)$ selbst. Wird n immer kleiner, so nähert sich die Gestalt immer mehr dem Rhombendodekaëder $(a : a : \infty a)$, zu welchem sie wird, wenn $n = 1$.

Bei der Construction aus dem Oktaëder nehme man wiederum in jeder Halbaxe desselben eine Länge n, die grösser als 1 ist, und lege hierauf in jede Oktaëderecke vier Flächen, von welchen jede einzelne über eine Kante dieser Ecke dergestalt fällt, dass sie die zu derselben Kante gehörige Halbaxe in der Entfernung n schneidet, während sie der dritten Hauptaxe parallel ist; so entsteht ein Tetrakishexaëder, dessen Zeichen $\infty O n$ ist, weil jede seiner Flächen das Parameterverhältniss $\infty : 1 : n$ hat. — Am häufigsten sind die Tetrakishexaëder $\infty O \frac{3}{2}$, $\infty O 2$ und $\infty O 3$; bei ihnen sind die Pyramidenkanten A um so stumpfer, die Kanten C um so schärfer, je grösser n ist[1]). Für das Tetrakishexaëder $\infty O 2$ sind alle 36 Kanten von gleichem Winkelwerth. — Die *Miller*'schen Indices für die Tetrakishexaëder sind allgemein $\{h\,k\,0\}$; $\infty O \frac{3}{2} = \{320\}$; $\infty O 2 = \{210\}$; $\infty O 4 = \{410\}$.

Die Ikositetraëder (Fig. 27, 28, 29) sind Formen, welche von 24 Deltoiden umschlossen werden, d. h. von Trapezoiden, welche 2 Paare gleicher Seiten besitzen.

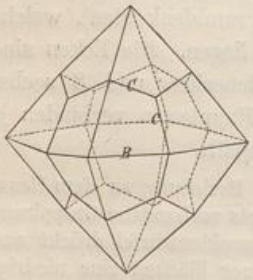


Fig. 27.

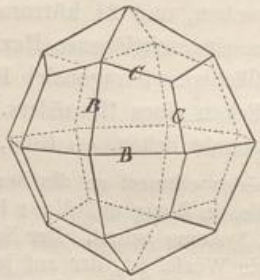


Fig. 28.

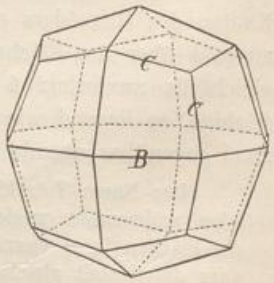


Fig. 29.

Ihre allgemeine Gestalt schwankt zwischen jener des Oktaëders und des Hexaëders, ohne dass doch die Kanten einer dieser beiden Grenzformen jemals hervortreten könnten. Die Kanten sind zweierlei: 24 längere B, paarweise über den Kanten des eingeschriebenen Oktaëders, und 24 kürzere C, zu je drei über den Flächen des

1) Es betragen bei

	Würfelkanten C	Pyramidenkanten A
∞O	180°	120°
$\infty O \frac{3}{2}$	157° 23′	133° 49′
$\infty O 2$	143° 8′	143° 8′
$\infty O \frac{5}{2}$	133° 36′	149° 33′
$\infty O 3$	126° 52′	154° 9′
$\infty O 4$	118° 4′	160° 15′
$\infty O 5$	112° 38′	164° 4′
$\infty O \infty$	90°	180°

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

letzteren. Die Ecken sind dreierlei: 6 gleichkantig-vierflächige (tetragonale), 8 dreiflächige (trigonale), und 12 ungleichkantig-vierflächige (rhombische). Durch 2 gegenüberliegende dieser 26 Ecken geht je eine der 13 S.-A.n des regulären Systems. Die Hauptaxen verbinden je zwei gegenüberliegende tetragonale Ecken. — Das häufige Vorkommen der in Fig. 28 abgebildeten Varietät am Leucit veranlasste für sie den Namen Leucitoëder, während man die in Fig. 29 abgebildete Varietät das Leucitoid nannte. Je stumpfer die Kanten C sind, desto grösser ist die Annäherung an das Oktaëder (Fig. 27), je stumpfer die Kanten B, desto grösser diejenige an das Hexaëder (Fig. 29).

Schneidet die Fläche des Ikositetraëders die eine Hauptaxe in der Entfernung a, so werden die beiden anderen Axen in der unter einander gleichen, um m-mal verlängerten Entfernung getroffen; daher das Flächenzeichen $a : ma : ma$, z. B. $a : 2a : 2a$; $a : 3a : 3a$; dasselbe liefert in jedem Oktanten 3 Flächen. Hohe Werthe für m bedingen eine Annäherung an das Hexaëder $(a : \infty a : \infty a)$, sehr kleine eine solche an das Oktaëder $(a : a : a)$; wird $m = \infty$, so geht das erstere, wird $m = 1$, dann das letztere hervor.

Um die Ikositetraëder aus dem Oktaëder zu construiren, nehme man in jeder der Halbaxen des Oktaëders abermals die Länge m, und lege hierauf in jede Oktaëderecke vier Flächen, von denen jede einzelne über eine Fläche derselben Ecke dergestalt fällt, dass sie die beiden zu derselben Fläche gehörigen Halbaxen in der Entfernung m schneidet; so entsteht ein Ikositetraëder, dessen Zeichen $m\mathbf{O}m$ ist, weil jede seiner Flächen das Parameterverhältniss $m : 1 : m$ hat. — Die gewöhnlichsten Ikositetraëder sind **2O2** und **3O3**, von denen zumal das erstere (Fig. 28) am Analcim, Leucit und Granat sehr häufig vorkommt; es hat die Eigenschaft, dass die seine Deltoide symmetrisch theilenden Flächendiagonalen mit den Kanten des eingeschriebenen Rhombendodekaëders zusammenfallen[1]). — Die Indices sind allgemein $\{hkk\}$; $\mathbf{3O3} = \{311\}$; $\mathbf{\frac{3}{2}O\frac{3}{2}} = \{322\}$.

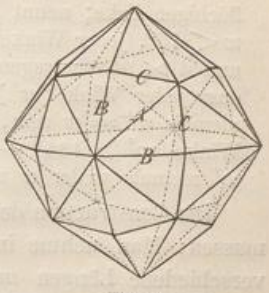


Fig. 30.

Die Hexakisoktaëder oder Sechsmalachtflächner oder Achtundvierzigflächner (Fig. 30) sind von 48 ungleichseitigen Dreiecken umschlossene Formen, deren allgemeine Gestalt zwischen denen aller übrigen holoëdrisch-regulären Formen schwanken kann; am häufigsten gruppiren sich jedoch die Flächen entweder in 6 achtzählige oder in 8 sechszählige, oder auch in 12 vierzählige Flächensysteme: der Achtundvierzigflächner erscheint bald durch das Aufsetzen sehr stumpfer achtseitiger Pyramiden über den 6 Hexaëderflächen (Oktakishexaëder), bald durch

1) Es betragen bei

	Kanten B	Kanten C
O	109° 28′	180°
$\frac{4}{3}O\frac{4}{3}$	118° 4′	169° 4′
$\frac{3}{2}O\frac{3}{2}$	121° 58′	160° 15′
2O2	131° 49′	146° 27′
$\frac{5}{3}O\frac{5}{3}$	141° 18′	132° 2′
3O3	144° 34′	129° 31′
4O4	152° 44′	120°
6O6	162° 20′	110°
12O12	170° 30′	99° 52′
$\infty O\infty$	180°	90°

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

das Aufsetzen sehr stumpfer sechsseitiger Pyramiden über den 8 Oktaëderflächen (Hexakisoktaëder), bald durch das Aufsetzen sehr stumpfer vierseitiger Pyramiden über den 12 Rhombendodekaëderflächen (Tetrakisdodekaëder) entstanden zu sein. Flächenvertheilung und Symmetrie-Elemente zeigt die sphärische Projection Fig. 15. — Die Kanten sind dreierlei: 24 längste Kanten A, welche nicht selten mit denen des Rhombendodekaëders zusammenfallen, jedenfalls aber eine ähnliche Lage und Vertheilung haben; 24 mittlere Kanten B, welche paarweise über den Kanten des eingeschriebenen Oktaëders (gebrochene Oktaëderkanten), und 24 kürzeste Kanten C, welche paarweise über den Kanten des eingeschriebenen Hexaëders liegen. Die längsten Kanten schwanken in ihrem Winkelmaass zwischen 180° und 120°, die mittleren zwischen 180° und 109° 28′ 16″, die kürzesten zwischen 180° und 90°. Die Ecken sind gleichfalls dreierlei: 6 achtflächige (ditetragonale), 8 sechsflächige, und 12 vierflächige (rhombische) Ecken. Durch je 2 gegenüberliegende Ecken geht je eine der 13 S.-A.n. Die Hauptaxen verbinden je zwei gegenüberliegende ditetragonale Ecken. — Granat, Flussspath.

Die Fläche eines Hexakisoktaëders schneidet alle 3 Halbaxen in abweichender Entfernung vom Mittelpunkt, daher das Zeichen $a : ma : na$, z. B. $a : 2a : 3a$; $a : \frac{3}{2}a : 3a$. In jedem der 8 Oktanten müssen hier 6 verschiedene Flächen auftreten, weil, wenn man in den einzelnen Oktanten die Längen 1, m und n auf jeder der 3 Hauptaxen aufträgt, die möglichen Vertauschungen bei der Verbindung dieser Schnittpunkte eben 6 Flächen liefern ($1mn$, $1nm$, $m1n$, $mn1$, $n1m$, $nm1$), von denen keine mit einer anderen im Nachbaroktanten übereinstimmt. — Es lässt sich leicht zeigen, dass jede dieser Flächen, die Gleichheit derselben vorausgesetzt, auch nur ein ungleichseitiges Dreieck darstellen kann. Ein jedes derselben trägt nämlich mit seinen 3 Winkeln bei zur Bildung einer achtflächigen, einer sechsflächigen und einer vierflächigen Ecke; nennt man diese 3 Winkel w, w', w'', so ist nothwendig jeder Winkel $w < 45°$, jeder Winkel $w' < 60°$, jeder Winkel $w'' < 90°$, denn $8 \times 45°$, $6 \times 60°$ und $4 \times 90°$ betragen schon 360°. Da nun aber $w + w' + w'' = 180°$, so folgt, dass jeder Winkel $w' > 180° - (45° + 90°)$, d. h. $> 45°$ sein muss; mithin kann niemals $w' = w$ sein, denn $w < 45°$. Ebenso ergibt sich aber auch, dass jeder Winkel $w'' > 180° - (45° + 60°)$, d. h. $> 75°$ sein muss, woraus erhellt, dass w'' niemals weder w noch w' werden kann, denn $w < 45°$ und $w' < 60°$.

Die Construction der Hexakisoktaëder aus dem Oktaëder gestaltet sich folgendermassen: Man nehme in jeder Halbaxe des Oktaëders vom Mittelpunkt aus zwei verschiedene Längen m und n, von denen m grösser als n ist, während beide grösser als 1 sind, und lege hierauf in jede Oktaëderecke acht Flächen, von welchen je zwei über eine Kante derselben Ecke dergestalt fallen, dass sie die zu derselben Kante gehörige Halbaxe gemeinschaftlich in der kleineren Entfernung n, die nicht zu solcher Kante gehörige Halbaxe aber beiderseits in der grösseren Entfernung m schneiden; so entsteht ein Hexakisoktaëder, dessen Zeichen $m\mathbf{O}n$ ist, weil jede seiner Flächen das Parameterverhältniss $m : 1 : n$ hat. Die gewöhnlichsten Varietäten sind $3\mathbf{O}\frac{3}{2}$, $4\mathbf{O}2$ und $5\mathbf{O}\frac{5}{3}$.

Jede Fläche des Hexakisoktaëders besitzt den kleinsten Parameter in derjenigen Halbaxe, mit welcher sie unmittelbar zum Durchschnitt gelangt; ihre mittlere Kante stösst auf die Halbaxe mit dem mittleren Parameter, ihre kürzeste Kante auf die Halbaxe mit dem grössten Parameter. Die Hexakisoktaëder, bei welchen $n = \frac{2m}{m+1}$, z. B. $2\mathbf{O}\frac{4}{3}$, $3\mathbf{O}\frac{3}{2}$ und $5\mathbf{O}\frac{5}{3}$, sind sog. isogonale, d. h. solche, deren längste und kürzeste

Kanten gleiches Winkelmaass haben; diejenigen, bei welchen $n = \frac{m}{m-1}$, z. B. $3O\frac{3}{2}$, $4O\frac{4}{3}$, $\frac{12}{5}O\frac{12}{7}$, heissen parallelkantige, weil ihre längsten Kanten mit den Kanten des eingeschriebenen Rhombendodekaëders zusammenfallen und folglich zu je sechs und sechs einander parallel sind. Die Varietät $3O\frac{3}{2}$ besitzt daher die merkwürdige Eigenschaft, sowohl isogonal als parallelkantig zu sein.

Die Hexakisoktaëder sind allgemein $\{h\,k\,l\}$; $3O\frac{3}{2} = \{321\}$; $3O2 = \{632\}$; $5O\frac{5}{3} = \{531\}$; $2O\frac{4}{3} = \{432\}$. — Bei der Form $\{321\}$ liegen z. B. in dem vorderen oberen rechten Oktanten, in welchem (vgl. S. 18) alle Parameter positiv sind, die Flächen (321), (312), (231), (213), (132), (123); in dem vorderen oberen linken die Flächen $(3\bar{2}1)$, $(3\bar{1}2)$, $(2\bar{3}1)$, $(2\bar{1}3)$, $(1\bar{3}2)$, $(1\bar{2}3)$ u. s. w. [1]).

Anm. Dass die Triakisoktaëder, Tetrakishexaëder, Ikositetraëder und Hexakisoktaëder — im Gegensatz zum Oktaëder, Hexaëder und Rhombendodekaëder — in ihrer äusseren Gestaltung grosser Variabilität fähig sind, ergibt sich aus der Erwägung, dass die sie begrenzenden Flächen — gleichschenkelige Dreiecke, Deltoide und ungleichseitige Dreiecke — selbst sehr abweichend in ihren Winkelverhältnissen beschaffen sein können; nicht minder auch aus der Thatsache, dass ihre Symbole variabele Coëfficienten enthalten.

Die Analogie der drei Bezeichnungsweisen zeigt folgende Vergleichung:

$$\begin{array}{rrr}
a:a:a & = 0 & = \{111\} \\
\infty a:a:a & = \infty 0 & = \{110\} \\
\infty a:a:\infty a & = \infty 0 \infty & = \{100\} \\
ma:a:a & = m0 & = \{hhl\} \\
\infty a:a:na & = \infty 0n & = \{hk0\} \\
ma:a:ma & = m0m & = \{hkk\} \\
ma:a:na & = m0n & = \{hkl\}.
\end{array}$$

Abgesehen von den S. 21 u. 22 gegebenen Regeln mögen hier noch einige allgemeine Andeutungen über die Umwandlung der *Naumann*'schen Zeichen in diejenigen von *Miller* und umgekehrt folgen. Der letzteren Signatur liegt gewissermassen die Voraussetzung zu Grunde, dass die verschiedenen regulären Formen nicht durch Umschreibung um, sondern durch Einschreibung in das Oktaëder abgeleitet werden.

Um die Zeichen *Naumann*'s in die *Miller*'s zu übersetzen, bedarf es nur folgender Erwägung. Das Hexakisoktaëder $m0n$ hat bei *Naumann* das Parameterverhältniss $m : n : 1$; schreiben wir es umgekehrt, und dividiren wir es mit mn, so wird

$$1 : n : m = \frac{1}{mn} : \frac{1}{m} : \frac{1}{n};$$

also würde ganz allgemein $h : k : l = mn : m : n$, welches Verhältniss jedoch stets auf seinen einfachsten Ausdruck zu bringen ist. Dies geschieht immer sehr leicht, wenn m und n ganze Zahlen sind; ist aber eine dieser Zahlen ein (unächter) Bruch,

---

1) Die Bezeichnungsweise der einzelnen Flächen gestaltet sich allgemein in nachstehender Weise; dabei bedeutet, wie auch in der Folge, v: vorne, h: hinten, o: oben, u: unten, r: rechts, l: links.

vor	vol	hor	hol	vur	vul	hur	hul
hkl	$h\bar{k}l$	$\bar{h}kl$	$\bar{h}\bar{k}l$	$hk\bar{l}$	$h\bar{k}\bar{l}$	$\bar{h}k\bar{l}$	$\bar{h}\bar{k}\bar{l}$
hlk	$h\bar{l}k$	$\bar{h}lk$	$\bar{h}\bar{l}k$	$hl\bar{k}$	$h\bar{l}\bar{k}$	$\bar{h}l\bar{k}$	$\bar{h}\bar{l}\bar{k}$
khl	$k\bar{h}l$	$\bar{k}hl$	$\bar{k}\bar{h}l$	$kh\bar{l}$	$k\bar{h}\bar{l}$	$\bar{k}h\bar{l}$	$\bar{k}\bar{h}\bar{l}$
klh	$k\bar{l}h$	$\bar{k}lh$	$\bar{k}\bar{l}h$	klh	$k\bar{l}\bar{h}$	$\bar{k}l\bar{h}$	$\bar{k}\bar{l}\bar{h}$
lhk	$l\bar{h}k$	$\bar{l}hk$	$\bar{l}\bar{h}k$	$lh\bar{k}$	$l\bar{h}\bar{k}$	$\bar{l}h\bar{k}$	$\bar{l}\bar{h}\bar{k}$
lkh	$l\bar{k}h$	$\bar{l}kh$	$\bar{l}\bar{k}h$	$lk\bar{h}$	$l\bar{k}\bar{h}$	$\bar{l}k\bar{h}$	$\bar{l}\bar{k}\bar{h}$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

oder sind beide dergleichen Brüche, so hat man das Verhältniss $mn : m : n$ mit den Nennern dieser Brüche zu multipliciren.

Umgekehrt übersetzen sich die *Miller*'schen Zeichen in diejenigen *Naumann*'s, wie folgt: Da $h : k : l = mn : m : n$, so wird offenbar $h : k = n : 1$, und folglich auch $n = \frac{h}{k}$; ebenso wird $k : l = m : n$, und folglich $m = \frac{h}{l}$.

Dem *Miller*'schen Zeichen $\{hkl\}$ entspricht daher das *Naumann*'sche $\frac{h}{l}O\frac{h}{k}$; also $\{432\} = 2O\frac{4}{3}$; $\{522\} = \frac{5}{2}O\frac{5}{2}$; $\{221\} = 2O$; $\{430\} = \infty O\frac{4}{3}$.

§ 17. **Verband der holoëdrisch-regulären Formen.** Die Uebergänge und Verwandtschaften sämmtlicher holoëdrisch-regulärer Formen lassen sich am besten aus beistehendem triangulären Schema erkennen (Fig. 31).

In den drei Ecken des Schemas stehen diejenigen drei Formen, welche einzig in ihrer Art sind (S. 36), während die drei Seiten des Schemas die Zeichen der drei Vierundzwanzigflächner tragen, als deren Grenzformen die drei singulären Formen zwar schon oben (§ 16) genannt worden sind, während sie jetzt erst mit Evidenz als solche anerkannt werden können. In der That wird durch Vergleichung der Stellung und des Zeichens der Formen sehr anschaulich, dass die Triakisoktaëder mO je nach dem Werth von m körperlich zwischen dem Oktaëder und dem Rhombendodekaëder, dass ebenso die Ikositetraëder mOm je nach dem Werth von m zwischen dem Oktaëder und Hexaëder, dass die Tetrakishexaëder je nach dem Werth von n zwischen dem Rhombendodekaëder und Hexaëder schwanken. Werden diese Werthe bald gleich 1 und bald gleich ∞, so gehen die Grenzformen hervor. In diesem Schema nimmt das Hexakisoktaëder den Mittelpunkt ein, weil in seinen Verhältnissen die Bedingungen für die Existenz aller übrigen Formen ebenso, wie in seinem Zeichen die Zeichen derselben enthalten sind und es sonach als der eigentliche Repräsentant aller regulären Formen betrachtet werden kann, welche nur gewisse Specialfälle desselben darstellen. Jedes mOn erscheint als ein Glied dreier verschiedener Ableitungsreihen: 1) einer Reihe, deren Endglieder ein Triakisoktaëder und ein Ikositetraëder sind; 2) einer solchen, deren Endglieder ein Triakisoktaëder und ein Tetrakishexaëder darstellen; 3) einer Reihe mit einem Tetrakishexaëder und Ikositetraëder als Endgliedern.

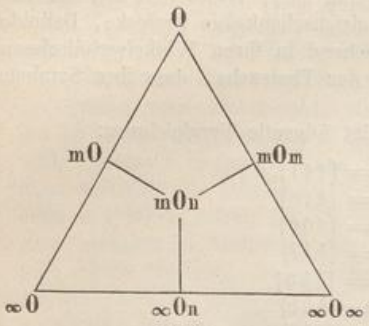


Fig. 31.

Wird in dem Zeichen des Achtundvierzigflächners $n = 1$, so geht daraus mO hervor; wird $m = \infty$, so erhält man ∞On; wenn $n = m$, so mOm; wenn sowohl m als $n = 1$, alsdann O; wenn m und n beide $= \infty$, alsdann $\infty O\infty$; wenn schliesslich $m = \infty$ und $n = 1$, alsdann ∞O. Oder das Hexakisoktaëder (Fig. 30) wird zu einem

Triakisoktaëder, wenn die kürzesten Kanten verschwinden, d. h. $C = 180°$,
Tetrakishexaëder, wenn die mittleren Kanten verschwinden, d. h. $B = 180°$,
Ikositetraëder, wenn die längsten Kanten verschwinden, d. h. $A = 180°$,
Oktaëder, wenn die längsten und kürzesten Kanten verschwinden, $C = A = 180°$,
Hexaëder, wenn die längsten und mittleren Kanten verschwinden, $B = A = 180°$,
Dodekaëder, wenn die mittleren und kürzesten Kanten verschwinden, $C = B = 180°$.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

So können also die übrigen sechs Formen als Quasi-Hexakisoktaëder aufgefasst werden, bei welchen bald diese, bald jene Kanten verschwunden sind. Und zwar sind die 3 Vierundzwanzigflächner solche Quasi-Achtundvierzigflächner, bei welchen blos eine Kantenart verschwunden ist, die 3 invariabelen Formen solche, bei welchen zwei Kantenarten zum Verschwinden gelangt sind. So wäre z. B.:

$30\frac{8}{7}$ ein sehr triakisoktaëder-
2502 ein sehr tetrakishexaëder-
$\frac{9}{4}0\frac{11}{5}$ ein sehr ikositetraëder-
$\frac{6}{5}0\frac{8}{7}$ ein sehr oktaëder-
17016 ein sehr hexaëder-
$200\frac{8}{7}$ ein sehr rhombendodekaëderähnliches Hexakisoktaëder.

Das Hexakiskotaëder 402 kann z. B. folgende und nur sechs folgende Variationen seiner Parameter bis zu den Grenzformen erfahren:

1) der kleinere Parameter verkleinert: $40\frac{7}{4}$, $40\frac{3}{2}$, $40\frac{5}{4}$ bis 40,
2) der grössere Parameter vergrössert: 502, 1202 bis $\infty 02$,
3) der grössere verkleinert, bis er den kleineren erreicht: $\frac{7}{2}02$, 302 bis 202,
4) beide Parameter verkleinert: $\frac{7}{2}0\frac{7}{4}$, $30\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}0\frac{5}{4}$ bis 0,
5) beide vergrössert: 503, 807 bis $\infty 0\infty$,
6) einer vergrössert und zugleich der andere verkleinert: $50\frac{7}{4}$, $60\frac{3}{2}$, $70\frac{5}{4}$ bis $\infty 0$.

Dass mit den angeführten sieben holoëdrischen Formen überhaupt alle, welche in dem regulären System vorkommen können, bekannt und erschöpft sind, ergibt sich, abgesehen von den auf S. 33 vorgenommenen Eintheilungen, auch noch aus folgender Erwägung. Im Allgemeinen kann die Lage einer Fläche mit Bezug auf die einen Oktanten bildenden drei Halbaxen eine dreifache sein: die drei Parameter derselben sind entweder alle von endlichem Werth, oder zwei sind endlich, der dritte ∞, oder blos einer ist endlich, die beiden anderen ∞; der vierte Fall, dass alle drei Parameter ∞ seien, ist nicht denkbar. Die weiteren Möglichkeiten zeigt das folgende Schema:

I. Alle drei Parameter endlich:
  1) alle drei gleich $(a : a : a)$, Oktaëder;
  2) zwei gleich, der dritte ungleich:
    a) der dritte grösser $(a : a : ma)$, Triakisoktaëder,
    b) der dritte kleiner $(ma : ma : a)$, Ikositetraëder;
  3) alle drei ungleich $(a : ma : na)$, Hexakisoktaëder.
II. Zwei Parameter endlich, der dritte unendlich:
  1) die endlichen gleich $(a : a : \infty a)$, Rhombendodekaëder;
  2) die endlichen ungleich $(a : na : \infty a)$, Tetrakishexaëder.
III. Ein Parameter endlich, die beiden anderen unendlich $(a : \infty a : \infty a)$, Hexaëder.

Weitere Haupt- oder Unterabtheilungen sind nicht möglich und somit ist ein fernerer holoëdrisch-regulärer Körper nicht denkbar. — Auf genau dieselben Abtheilungen gelangt man übrigens, wenn die verschiedenen Möglichkeiten der Lage einer Fläche zu den drei Haupt-Symmetrie-Ebenen ins Auge gefasst werden.

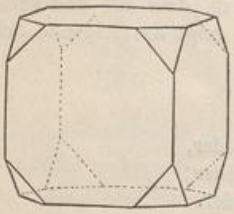
§ 18. **Combinationen der holoëdrisch-regulären Formen.** Sind die Formen des regulären Systems mit parallelen Symmetrie-Ebenen zu zwei, drei und mehren an einem und demselben Krystall zugleich ausgebildet, so liegt eine Combination derselben vor (§ 8). In solchen Combinationen, welche nach der Anzahl der zu ihnen beitragenden Formen als zweizählige, dreizählige u. s. w. unterschieden werden, kann natürlich keine der combinirten Formen ganz vollständig erscheinen, weil ihre gleichzeitige Ausbildung an demselben Krystall (oder um denselben Mittelpunkt) nur in der Weise möglich ist, dass die Flächen der einen Form symmetrisch zwischen den Flächen, und folglich an der Stelle gewisser Kanten und Ecken der anderen Formen auftreten; weshalb diese Kanten

und Ecken durch jene Flächen gleichsam wie weggeschnitten (abgestumpft, zugeschärft oder zugespitzt) erscheinen, und ganz neue Kanten (Combinationskanten) entstehen, welche weder der einen noch der anderen Form eigenthümlich zugehören. Gewöhnlich sind die Flächen der einen Form viel grösser als die der anderen, so dass sie den Totalhabitus der Combination bestimmt, während manche Formen nur sehr geringe Flächenausdehnung zeigen; dies Verhältniss bedingt den Gegensatz der vorherrschenden und untergeordneten Formen.

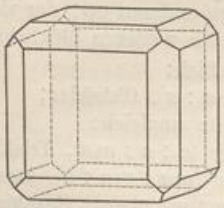
Als eine auch für alle folgenden Krystallsysteme gültige Bemerkung mag erwähnt werden, dass man unter der Entwickelung oder Auflösung einer Combination die Bestimmung aller zu ihr beitragenden Formen versteht, und dass das krystallographische Zeichen einer Combination dadurch gewonnen wird, dass man die Zeichen ihrer einzelnen Formen nach Maassgabe des Vorherrschens derselben, durch Punkte getrennt (aber ganz dicht) hinter einander schreibt.

Um ein Bild von dem Aussehen einer Combination zu erhalten, bringt man die beiden einfachen Formen in parallele Stellung, so dass die entsprechenden Symmetrie-Elemente übereinstimmend orientirt sind und beobachtet, welche Veränderungen an der einen Form erfolgen würden, wenn man an diese letztere die parallel fortgeschobenen Flächen der anderen Form überträgt. So modificiren die Flächen der einen Form immer nur gleichartige Kanten und Ecken der anderen durch Abstumpfung oder Zuschärfung.

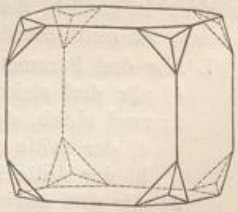
In den meisten holoëdrisch-regulären Combinationen erscheint das Hexaëder, oder das Oktaëder oder auch das Rhombendodekaëder als vorherrschende



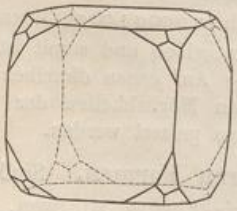
$\infty O \infty . O$.
Fig. 32.



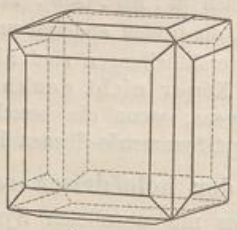
$\infty O \infty . \infty O$.
Fig. 33.



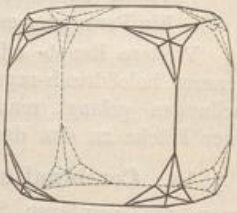
$\infty O \infty . 202$.
Fig. 34.



$\infty O \infty . 20$.
Fig. 35.



$\infty O \infty . \infty 03$.
Fig. 36.

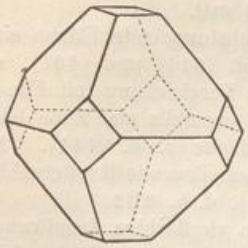


$\infty O \infty . 402$.
Fig. 37.

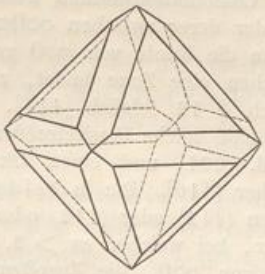
Form, wie denn überhaupt diese drei Formen am häufigsten ausgebildet und in der Mehrheit der Combinationen zu finden sind. Das Hexaëder erfährt durch die Flächen des Oktaëders eine regelmässige Abstumpfung seiner Ecken, durch die Flächen des Rhombendodekaëders eine regelmässige Abstumpfung seiner Kanten, durch jedes Ikositetraëder mOm (am häufigsten durch 202) eine dreiflächige, auf die Flächen aufgesetzte Zuspitzung seiner Ecken, durch jedes Triakisoktaëder eine

dreiflächige, auf die Kanten aufgesetzte Zuspitzung seiner Ecken, durch jedes Tetrakishexaëder eine zweiflächige Zuschärfung seiner Kanten, durch jedes Hexakisoktaëder eine sechsflächige Zuspitzung seiner Ecken.

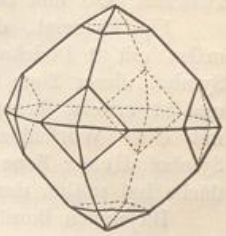
Das Oktaëder erfährt durch die Flächen des Hexaëders eine Abstumpfung seiner Ecken, durch die Flächen des Rhombendodekaëders eine regelmässige Abstumpfung seiner Kanten, durch jedes Ikositetraëder (gewöhnlich durch **202**) eine



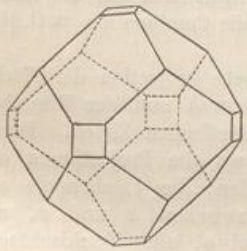
$0.\infty O\infty.$
Fig. 38.



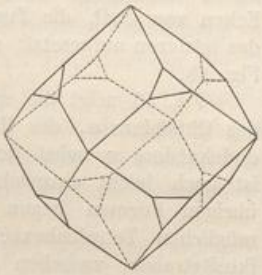
$0.\infty O.$
Fig. 39.



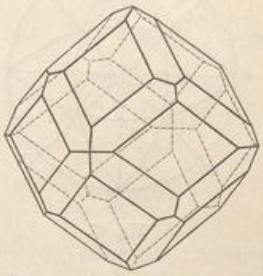
$0.2O2.$
Fig. 40.



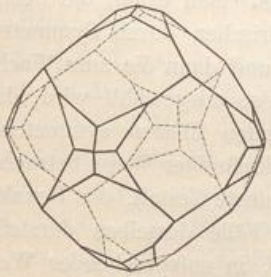
$\infty O.\infty O\infty.$
Fig. 41.



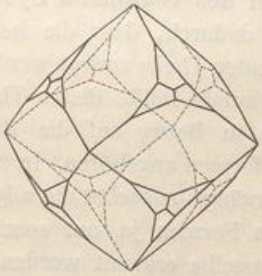
$\infty O.O.$
Fig. 42.



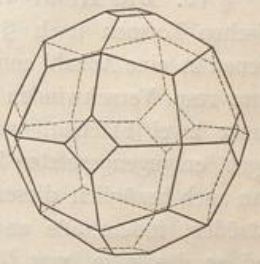
$\infty O.2O2.$
Fig. 43.



$\infty O.3O3.$
Fig. 44.



$\infty O.\frac{3}{2}O\frac{3}{2}.$
Fig. 45.



$2O2.\infty O\infty.$
Fig. 46.

vierflächige, auf die Flächen aufgesetzte Zuspitzung seiner Ecken, durch jedes Triakisoktaëder eine zweiflächige Zuschärfung seiner Kanten.

Das Rhombendodekaëder erleidet durch das Hexaëder eine Abstumpfung der tetragonalen, durch das Oktaëder eine solche der trigonalen Ecken, durch das Ikositetraëder **202** eine Abstumpfung seiner Kanten, durch das Hexakisoktaëder eine zweiflächige Zuschärfung seiner Kanten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bei der Auflösung der Combination sucht man zweckmässig zunächst die 3 einfachsten Formen 0, $\infty 0$, $\infty 0 \infty$ auf, oder stellt sich bei Abwesenheit derselben vor, welche Lage dieselben einnehmen würden. Ferner erinnere man sich, dass alle $m0$ eine Zone bilden mit 0 und $\infty 0$, sämmtliche $m0m$ eine solche mit 0 und $\infty 0 \infty$, sämmtliche $\infty 0n$ mit $\infty 0$ und $\infty 0 \infty$. Aus den gebildeten Zonen werden dann unmittelbar diese 3 Vierundzwanzigflächner erkannt. Alle Flächen, die nicht in den 3 genannten Zonen liegen, gehören Hexakisoktaëdern an; letztere treten auch mit zwei Flächen auf an Stelle der Combinationskanten zwischen 0 und $\infty 0n$, oder derer zwischen $\infty 0$ und $m0m$, oder derer zwischen $\infty 0 \infty$ und $m0$.

Fig. 43 zeigt, dass eine die Kante von $\infty 0$ gerade abstumpfende Fläche eines $m0m$ mit 2 Dodekaëderflächen eine Zone bildet, z. B. mit (011) und (101); das Symbol dieser Zone ist nach § 12 folglich $[11\bar{1}]$. Eine Vergleichung mit Fig. 41 und 42 erweist ferner, dass eine solche Ikositetraëderfläche ebenfalls eine Zone bildet mit einer Würfelfläche z. B. (001) und einer Oktaëderfläche z. B. (111). Das Symbol dieser Zone ist daher $[\bar{1}10]$. Die in beiden Zonen liegende Ikositetraëderfläche hat mithin das Zeichen $(\bar{1}\bar{1}2)$ oder (112) oder (211), d. h. 202.

Diejenigen Ikositetraëder, bei welchen $m > 2$, bilden vierflächige Zuspitzungen an den vierkantigen Ecken von $\infty 0$, die Zuspitzungsflächen auf die Dodekaëderkanten aufgesetzt; z. B. die Combination $\infty 0.303$, Fig. 44. — Diejenigen Ikositetraëder, bei denen $m < 2$, bilden dreiflächige Zuspitzungen an den dreikantigen Ecken von $\infty 0$, die Zuspitzungsflächen auf die Kanten des letzteren aufgesetzt; z. B. die Combination $\infty 0.\frac{3}{2}0\frac{3}{2}$, Fig. 45.

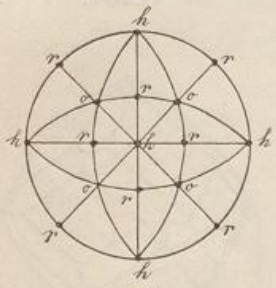


Fig. 47.

Fig. 47 zeigt die sphärische Projection der Flächen des Oktaëders o, des Hexaëders h und des Rhombendodekaëders r nebst den betreffenden Zonen. Daraus ist auch leicht einzusehen, wo die Projectionen aller übrigen Formen liegen werden: die Flächenpole aller möglichen Tetrakishexaëder zwischen h und r, aller Ikositetraëder zwischen h und o, aller Triakisoktaëder zwischen r und o, aller Hexakisoktaëder in den Räumen zwischen den benachbarten hro.

§ 19. **Die Hemiëdrieen des regulären Systems.** Man erhält die hemiëdrischen Formen nach § 13 dadurch, dass die holoëdrischen durch Symmetrie-Ebenen in eine Anzahl congruenter Theile zerlegt werden und dann die zum Wachsthum resp. Verschwinden bestimmte Hälfte dieser Theile so ausgewählt wird, dass immer zwei Flächen, welche in Bezug auf die theilenden Ebenen symmetrisch liegen, entgegengesetzten Hälftformen angehören. In zweckmässiger Weise betrachtet man auch bezüglich dieser Vorgänge zunächst die allgemeinste Gestalt, das Hexakisoktaëder, indem alle anderen Formen ja nur specielle Fälle desselben darstellen und so dasjenige, was für dasselbe erkannt worden ist, in entsprechender Weise auch auf die übrigen Gestalten, als auf Quasi-Achtundvierzigflächner Anwendung finden muss.

Da die regulären Holoëder 3 H.-S.-E.n und 6 gewöhnliche S.-E.n besitzen, so werden 3 Modalitäten der Hemiëdrie — nicht mehr und nicht weniger — zu unterscheiden sein, je nachdem aus dem Complex ausscheiden:

1) die 3 H.-S.-E.n; dann verhalten sich die 8 congruenten Räume, welche durch dieselben gebildet werden, nur abwechselnd gleich. Bei dem Hexakisoktaëder macht sich dies darin geltend, dass blos die in den abwechseln-

den Oktanten gelegenen sechszähligen Flächengruppen ausgebildet sind (tetraëdrische oder geneigtflächige Hemiëdrie);

2) die 6 gewöhnlichen S.-E.n; die durch dieselben gebildeten 24 congruenten Räume sind nur abwechselnd gleich. Alsdann bleiben am Hexakisoktaëder nur noch die abwechselnden Flächenpaare erhalten, welche an den mittleren gebrochenen Oktaëderkanten (oder an den in den H.-S.-E.n befindlichen Kanten) gelegen sind (dodekaëdrische oder pentagonale oder parallelflächige Hemiëdrie);

3) alle 9 S.-E.n zusammen; von den 48 congruenten Räumen sind nur die abwechselnden gleich. Bei dem Hexakisoktaëder hat dies die Wirkung, dass von ihm blos die abwechselnden einzelnen Flächen ausgebildet vorliegen (plagiëdrische oder gyroëdrische Hemiëdrie).

§ 20. **Die tetraëdrische Hemiëdrie.** Die Formen derselben sind nicht mehr nach den Würfelflächen, sondern nur noch nach den 6 gewöhnlichen S.-E.n oder nach den Rhombendodekaëderflächen symmetrisch. Die krystallographischen Hauptaxen (bei den Holoëdern vierzählig) sind hier zu 3 gleichwerthigen zweizähligen S.-A.n geworden; ausserdem sind vorhanden 4 gleichwerthige dreizählige S.-A.n von polarer Ausbildung, senkrecht zu den Tetraëderflächen. Ein Centrum der Symmetrie fehlt; für die Fläche ist eine parallele Gegenfläche nicht ausgebildet, daher die Bezeichnung geneigtflächige Hemiëdrie. Die sphärische Projection Fig. 48 zeigt die Flächenvertheilung bei der allgemeinsten Form und die Symmetrie (vgl. S. 25).

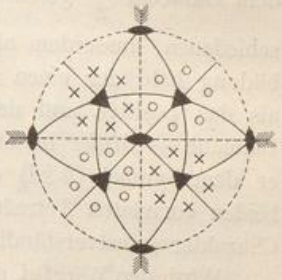


Fig. 48.

Indem die tetraëdrische Hemiëdrie sich darin ausspricht, dass die Oktanten zwischen den drei H.-S.-E.n sich blos abwechselnd gleich verhalten, werden alle diejenigen Formen dabei eine Gestaltsveränderung erfahren, bei welchen die Normalen der Flächen in diese Oktantenräume fallen, also das Oktaëder, Ikositetraëder, Triakisoktaëder, Hexakisoktaëder. Bei den übrigen Formen (Hexaëder, Rhombendodekaëder, Tetrakishexaëder) liegen aber die Normalen der Flächen in den H.-S.-E.n selbst und daher zugleich in dem einen und in dem benachbarten Oktanten; eine Verschiedenheit dieser beiden Oktanten ist demzufolge hier auf die Normalen ohne geometrischen Einfluss, und die zu solchen Normalen gehörigen Flächen werden scheinbar ebenso auftreten, wie in der holoëdrischen Abtheilung. Die Würfelfläche z. B. deckt gleichzeitig vier Oktanten, also kann eine abwechselnde Verschiedenheit der letzteren für die Ausbildung der Würfelfläche keine Veränderung im Gefolge haben.

Bei dem Oktaëder wird derjenige sechszählige Flächencomplex (§ 19, 1), um dessen abwechselndes Verschwinden es sich bei dem Achtundvierzigflächner auf dem Gebiet der tetraëdrischen Hemiëdrie handelt, vollgültig durch die einzelne Fläche repräsentirt. Das Oktaëder wird daher zufolge dieser Modalität hemiëdrisch, indem man seine vier abwechselnden Flächen vergrössert, wobei dann die übrigen zum Verschwinden gelangen (Fig. 49). Es entstehen so aus demselben zwei Tetraëder (Fig. 50 und 51).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Das Tetraëder ist eine von 4 gleichseitigen Dreiecken umschlossene Form mit 6 gleichen Kanten B', deren Winkelmaass 70° 31′ 44″, und mit 4 dreiflächigen (trigonalen) Ecken. Die krystallographischen Axen verbinden die Mittelpunkte je

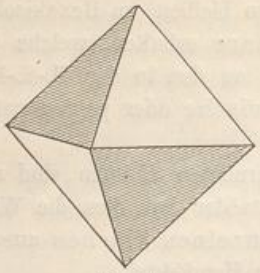


Fig. 49.

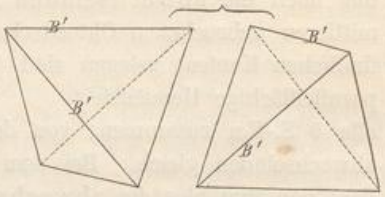


Fig. 50. Fig. 51.

zweier gegenüberliegender Kanten. Das Zeichen kann in Folge der Ableitung aus dem Oktaëder $\frac{O}{2}$ geschrieben werden und die beiden, durch ihre Stellung verschiedenen, ausserdem aber völlig gleichen Tetraëder, welche durch alleinige Ausbildung bald der einen bald der anderen Hälfte der Flächen entstehen, werden als das positive und das negative unterschieden. — Fahlerz, Boracit, Helvin, Diamant. — *Miller* bildet das Zeichen der tetraëdrisch-hemiëdrischen Form, indem er dem Symbol $\{h\,k\,l\}$ ein χ (als Abkürzung von χλῖνος, geneigt) vorsetzt. Die beiden correlaten Tetraëder sind daher $\chi\{111\}$ und $\chi\{1\bar{1}\bar{1}\}$. Ist der hemiëdrische Charakter selbstverständlich, so wird χ auch wohl weggelassen.

Wird der Würfel der in Rede stehenden Hemiëdrie unterworfen, so erleidet derselbe zufolge der oben angestellten Erwägung keine wirkliche Gestaltsveränderung, sondern erscheint gerade so, als ob er holoëdrisch geblieben wäre, obschon auch an ihm die Hälfte der Flächen als verschwunden gelten muss. Dies wird ebenfalls einleuchtend, wenn man sich den Würfel durch angemessene Feldereintheilung seiner Flächen in einen Quasi-Achtundvierzigflächner verwandelt denkt, und dann auch für ihn genau das Gesetz dieser Hemiëdrie zur Verwirklichung bringt. Ebenso liefern auch das Rhombendodekaëder und die Pyramidenwürfel keine neuen Gestalten.

In nachstehenden drei Figuren stellen die schwarzen Theile diejenigen Flächenfelder vor, welche eigentlich als verschwunden zu denken, während die weiss ge-

$\frac{\infty O \infty}{2}$

Fig. 52.

$\frac{\infty O}{2}$

Fig. 53.

$\frac{\infty O n}{2}$

Fig. 54.

lassenen Flächenfelder die wirklich rückständigen sind. Da nun aber jedes verschwindende Flächenfeld mit einem bleibenden Flächenfeld in eine Ebene fällt, so wird in

der geometrischen Erscheinungsweise dieser Formen gar nichts geändert werden, obgleich die Bedeutung ihrer Flächen eine ganz andere ist. Im Hexaëder z. B. besteht streng genommen jede Fläche nur noch aus zweien, an einer Diagonale anliegenden quadratischen Feldern, welche sich aber, weil sie in eine Ebene fallen, zur vollständigen Hexaëderfläche ausdehnen; und auf ähnliche Weise verhält es sich im Rhombendodekaëder und Tetrakishexaëder. Diese drei Formen sind also da, wo sie zugleich mit Tetraëdern vorkommen, wenn auch nicht ihrem Aussehen, so doch ihrem Wesen nach als hemiëdrische Formen zu deuten. Gegenüber den wirklich holoëdrischen Formen sind auch bei ihnen die Symmetrieverhältnisse in derselben Weise reducirt, wie es bei dem Tetraëder und den anderen hier neu entstehenden Formen der Fall. Während die Flächen des holoëdrischen Würfels tetrasymmetrisch sind (S. 17), sind diejenigen des hemiëdrischen nur disymmetrisch nach den Diagonalen des Quadrats, wie sich dies auch in der Oberflächenstreifung (vgl. § 64) ausspricht. *Naumann* hat diese nun allgemein angenommene Anschauungsweise schon seit dem Jahre 1830 geltend gemacht.

Bei den Ikositetraëdern $m\mathbf{O}m$ kommen die abwechselnden dreizähligen, über den Flächen des eingeschriebenen Oktaëders gelegenen Flächengruppen zum Verschwinden, die übrigen dazwischen liegenden dehnen sich bis zur gegenseitigen Durchschneidung aus (Fig. 55). Als Hälftflächner entstehen so die Trigondodekaëder (Pyramidentetraëder, Triakistetraëder), deren Zeichen daher $\frac{m\mathbf{O}m}{2}$ oder auch $-\frac{m\mathbf{O}m}{2}$ sein wird, entsprechend $\varkappa\{hkk\}$ und $\varkappa\{h\bar{k}k\}$. Es sind von 12 gleichschenkeligen Dreiecken umschlossene Formen, deren allgemeine Gestalt zwischen jener des Tetraëders und Hexaëders schwankt, jedoch so, dass stets die Kanten der ersteren, aber niemals die Kanten der letzteren Grenzform hervortreten. Die Gestalt ist gleichsam ein Tetraëder, welches auf jeder seiner 4 Flächen eine dreiseitige Pyramide trägt. Je flacher dieselbe ist (Fig. 56), desto mehr nähert sich die Form einem Tetraëder, je steiler (Fig. 58), desto mehr einem Hexaëder. — Von

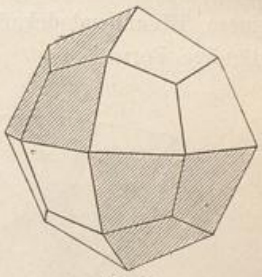


Fig. 55.

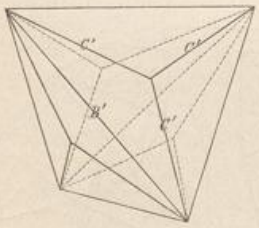


Fig. 56.

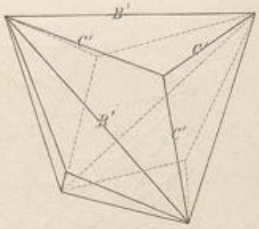


Fig. 57.

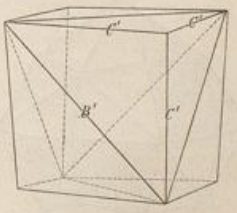


Fig. 58.

den Kanten entsprechen 6 längere (B') den Kanten des Tetraëders und liegen 12 kürzere (C') zu je drei über den Flächen des eingeschriebenen Tetraëders; die Ecken sind gleichfalls zweierlei: 4 sechsflächige, und 4 dreiflächige (trigonale) Ecken. Die krystallographischen Axen verbinden die Mittelpunkte je zweier gegenüberliegender längerer (Tetraëder-) Kanten. — Fahlerz, Kieselwismut.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Triakisoktaëder $m\mathbf{O}$ liefern, nach den in den abwechselnden Oktanten gelegenen dreizähligen Flächensystemen (Fig. 59) hemiëdrisch werdend, die Deltoiddodekaëder, welche demgemäss das Zeichen $\frac{m\mathbf{O}}{2}$ oder $-\frac{m\mathbf{O}}{2}$ erhalten, entsprechend $\varkappa\{hhl\}$ und $\varkappa\{h\bar{h}l\}$. Dieselben sind von 12 Deltoiden umschlossene Formen, deren allgemeine Gestalt zwischen jener des Tetraëders und Rhombendodekaëders schwankt, ohne dass jedoch die Kanten einer dieser Grenzformen jemals hervortreten können (Fig. 60, 61, 62). — Von den Kanten liegen 12 längere (B') paarweise über den Kanten, und 12 kürzere (A') zu drei über den Flächen des eingeschriebenen Tetraëders. Die Ecken sind dreierlei: 6 vierflächige (rhombische) Ecken, 4 spitzere, und 4 stumpfere dreiflächige (trigonale) Ecken. Die krystallographischen Axen verbinden je zwei gegenüberliegende rhombische Ecken. Je stumpfer letztere (Fig. 60) sind, desto mehr nähert sich die Form einem Tetraëder, je spitzer (Fig. 62), desto mehr einem Rhombendodekaëder. — Fahlerz, Weissgültigerz, doch nicht als selbständige Form.

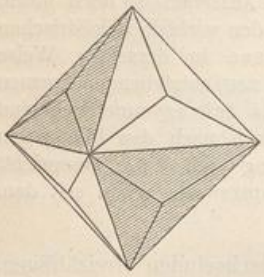


Fig. 59.

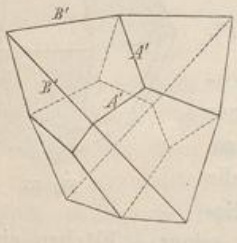


Fig. 60.

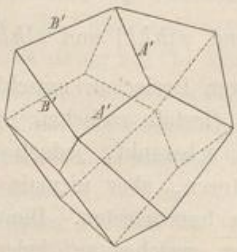


Fig. 61.

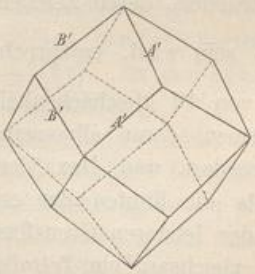


Fig. 62.

Bei den Hexakisoktaëdern $m\mathbf{O}n$ sind es die in den abwechselnden Oktanten gelegenen sechszähligen Flächensysteme (Fig. 63), nach welchen diese

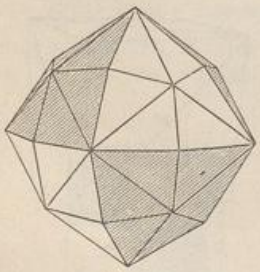


Fig. 63.

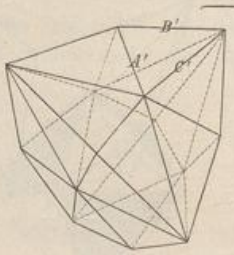


Fig. 64.

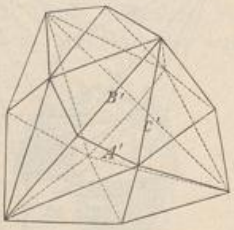


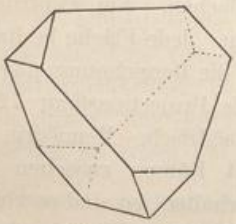
Fig. 65.

Hemiëdrie erfolgt; alsdann gehen aus ihnen die mit $\frac{m\mathbf{O}n}{2}$ oder $-\frac{m\mathbf{O}n}{2}$ zu bezeichnenden Hexakistetraëder (Fig. 64, 65) hervor, $\varkappa\{hkl\}$ und $\varkappa\{h\bar{k}l\}$. Dieselben sind von 24 ungleichseitigen Dreiecken umschlossene Formen, deren allgemeine

Gestalt bald einer der drei vorhergehenden hemiëdrischen Formen, bald auch dem Rhombendodekaëder, dem Hexaëder oder dem Tetrakishexaëder genähert sein kann; doch gruppiren sich die Flächen am häufigsten in 4 sechszählige Systeme. — Die Kanten sind dreierlei: 12 mittlere B', paarweise über den Kanten, 12 längere C', und 12 kürzere A', zu je dreien über den Flächen des eingeschriebenen Tetraëders. Die Ecken sind gleichfalls dreierlei: 6 vierflächige (rhombische), 4 spitzere, und 4 stumpfere sechsflächige Ecken. Die krystallographischen Axen verbinden je zwei gegenüberliegende rhombische Ecken. — Diamant, Boracit, Fahlerz; jedoch an letzteren beiden nicht selbständig.

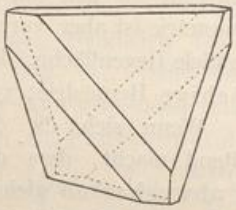
Das Hexakistetraëder (vgl. auch die Projection in Fig. 48) ist die allgemeinste Gestalt dieser Hemiëdrie, in dessen Symbol alle anderen, einschliesslich des hemiëdrischen Hexaëders, Rhombendodekaëders und Pyramidenwürfels als Specialfälle enthalten sind. Werden die Kanten $A' = 180°$, so geht ein Pyramidentetraëder hervor; bei $C' = 180°$ ein Deltoiddodekaëder; bei A' und $C' = 180°$ ein Tetraëder.

Combinationen. Tetraëdrisch-hemiëdrische Formen können nur mit solchen desselben Charakters Combinationen bilden. Wenn also in letzteren ein Würfel,



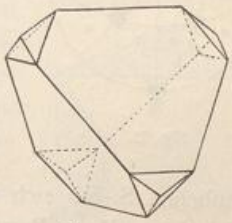
$\frac{0}{2} \cdot -\frac{0}{2}$.

Fig. 66.



$\frac{0}{2} \cdot \infty 0 \infty$.

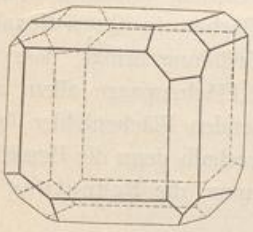
Fig. 67.



$\frac{0}{2} \cdot \infty 0$.

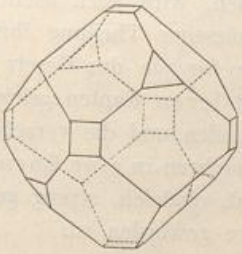
Fig. 68.

Rhombendodekaëder, Pyramidenwürfel auftritt, so sind diese Formen tetraëdrisch-hemiëdrischer Natur; kommt scheinbar ein Oktaëder vor, so muss es als Combination zweier Tetraëder (Fig. 66) gelten, welche im Gleichgewicht stehen.



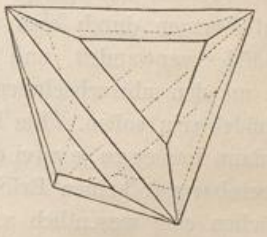
$\infty 0 \infty \cdot \frac{0}{2} \cdot \infty 0$.

Fig. 69.



$\infty 0 \cdot \frac{0}{2} \cdot \infty 0 \infty$.

Fig. 70.



$\frac{202}{2} \cdot \frac{0}{2}$.

Fig. 71.

In diesen Combinationen erscheint gewöhnlich das Tetraëder, oder das Rhombendodekaëder, oder auch das Hexaëder, selten ein Trigondodekaëder als vorherrschende Form. Das Tetraëder erleidet durch die Flächen seines Gegen-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

körpers eine Abstumpfung der Ecken, durch die Flächen des (hemiëdrischen) Hexaëders eine Abstumpfung der Kanten, durch die Flächen des (hemiëdrischen) Rhombendodekaëders eine dreiflächige, auf die Flächen aufgesetzte Zuspitzung der Ecken, wobei die zuspitzenden Flächen mit einander Winkel von 120° bilden.

Das Rhombendodekaëder erleidet durch die Flächen des Tetraëders eine Abstumpfung der abwechselnden trigonalen Ecken, das Hexaëder durch dieselbe Form eine Abstumpfung seiner abwechselnden Ecken[1]), und jedes Trigondodekaëder durch das Tetraëder von gleicher Stellung eine Abstumpfung der trigonalen Pyramidenecken (Fig. 71).

§ 21. **Die dodekaëdrische Hemiëdrie.** Bei ihr sind die Formen nicht mehr nach den 6 gewöhnlichen S.-E.n symmetrisch, sondern nur noch nach den Würfelflächen (welche aber hier keine H.-S.-E.n mehr darstellen); sonst besitzen die Formen, wie die tetraëdrisch-hemiëdrischen 3 zweizählige S.-A.n, senkrecht zu einander und zu den Würfelflächen (die krystallographischen Hauptaxen), sowie 4 dreizählige S.-A.n, senkrecht zu den Oktaëderflächen. Ein Centrum der Symmetrie ist aber vorhanden. Jede Fläche besitzt eine parallele Gegenfläche, daher die Bezeichnung parallelflächige Hemiëdrie; vgl. die Projectionsfigur 72.

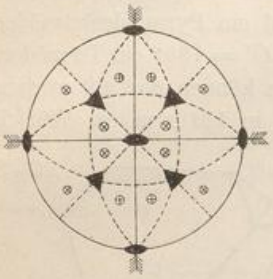


Fig. 72.

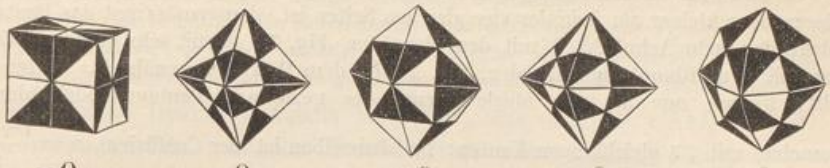
Wenn sich die dodekaëdrische Hemiëdrie darin geltend macht, dass die 24 Räume zwischen den 6 gewöhnlichen S.-E.n sich nur abwechselnd gleich verhalten, so sind es von allen holoëdrisch-regulären Formen blos die Tetrakishexaëder und die Hexakisoktaëder, bei welchen die Normalen der Flächen in diese Räume fallen und daher geschieht es, dass auch nur diese beiden in Folge solcher Hemiëdrie ihre Gestalt verändern, die fünf anderen Formen aber dabei in geometrischer Hinsicht anscheinend unverändert bleiben.

Dass das Hexaëder, das Oktaëder, das Rhombendodekaëder, die Triakisoktaëder und Ikositetraëder, wenn sie dieser Hemiëdrie unterliegen, demnach keine wesentliche Gestaltsveränderung erleiden, wird auch leicht eingesehen, indem man diese fünf Formen durch eine angemessene Theilung ihrer Flächen in Quasi-Hexakisoktaëder verwandelt, und dann für sie das Gesetz in Erfüllung bringt, dass nur die an den abwechselnden mittleren Kanten gelegenen Flächenpaare allein ausgebildet sein sollen. Die bleibenden und die verschwindenden Flächenfelder fallen alsdann immer zu je zwei oder mehren in eine Ebene, weshalb denn die Hemiëdrie scheinbar gar keinen Erfolg hat, obgleich, streng genommen, die Bedeutung der Flächen eine wesentlich andere geworden ist.

In nachstehenden Figuren entsprechen die weiss gelassenen Flächenfelder den bleibenden, die schwarzen Flächenfelder dagegen denjenigen Flächenpaaren, welche eigentlich als verschwunden zu denken sind. Es ist augenscheinlich, dass z. B. bei dem so nach der dodekaëdrischen Hemiëdrie hälftflächig gewordenen Würfel die Begren-

1) Daraus ergibt sich auch, dass dieses Hexaëder, ungeachtet seines Aussehens, nicht holoëdrisch und nicht mehr zu seinen eigenen Flächen symmetrisch ist, denn sonst müssten alle seine Ecken als gleichwerthig auch gleichmässig abgestumpft werden.

zungselemente eine ganz andere Bedeutung besitzen, als bei dem ebenfalls scheinbar holoëdrischen, welcher (vgl. Fig. 52) das Resultat der tetraëdrischen Hemiëdrie ist. Die Flächen des Würfels sind hier disymmetrisch nach den Seiten des Quadrats, wie



$\frac{\infty O \infty}{2}$ $\frac{O}{2}$ $\frac{\infty O}{2}$ $\frac{mO}{2}$ $\frac{mOm}{2}$

Fig. 73.

sich dies auch in der Oberflächenstreifung (§ 64) kund gibt. Das Oktaëder, welches in der tetraëdrischen Abtheilung als solches nicht existirt, tritt also hier als vollgültiges Mitglied auf, aber seine Flächen sind asymmetrisch.

Bei den Tetrakishexaëdern ∞On sind die einzelnen Flächen das vollgültige Aequivalent derjenigen an den mittleren Kanten gelegenen Flächenpaare, um deren abwechselndes Wachsen und Verschwinden es sich auf dem Gebiete dieser Hemiëdrie bei dem Achtundvierzigflächner handelt (Fig. 74). Sind die Tetrakishexaëder nur mit ihren abwechselnden Flächen ausgebildet, so gehen aus ihnen die Pentagondodekaëder hervor, welche daher allgemein mit $\frac{\infty On}{2}$ bezeichnet werden. Die Pentagondodekaëder sind von 12 symmetrischen Pentagonen umschlossen, d. h. von Fünfecken, welche 4 gleiche Seiten und 2 Paare gleicher Winkel haben. Die allgemeine Gestalt der Formen schwankt zwischen jener des Hexaëders und des Rhombendodekaëders, ohne dass jedoch die Kanten einer dieser beiden Grenzformen jemals hervortreten könnten.

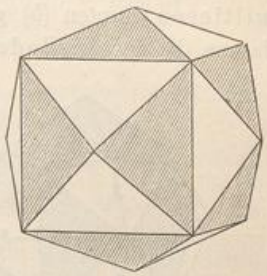


Fig. 74.

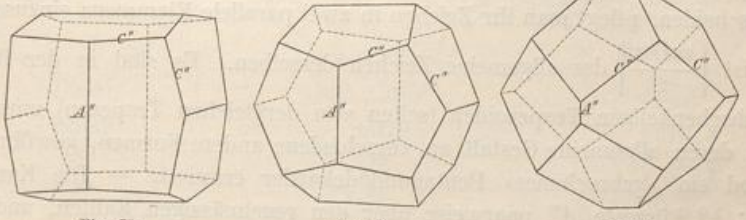


Fig. 75. Fig. 76. Fig. 77.

Die Kanten sind zweierlei: 6 regelmässige, die abweichend langen Seiten der Pentagone repräsentirende, meist längere (selten kürzere) Kanten A'', welche über den Flächen, und 24 unregelmässige, meist kürzere (selten längere) Kanten C'', welche, die gleichen Pentagonseiten darstellend, gewöhnlich paarweise über den Kanten des eingeschriebenen Hexaëders liegen. Auch die Ecken sind zweierlei: 8 gleichkantig-dreiflächige (trigonale) und 12 ungleichkantig-dreiflächige (unregel-

mässige) Ecken. Die krystallographischen Axen verbinden die Mittelpunkte je zweier gegenüberliegender regelmässiger Kanten. — Eisenkies, Kobaltglanz.

Je nachdem in den Pentagonen die einzelne, abweichend lange Seite entweder grösser oder kleiner als jede der vier gleichen Seiten ist, demgemäss hat das Pentagondodekaëder mehr Aehnlichkeit mit dem Hexaëder, Fig. 75 (n mit sehr grossem Werth), oder mit dem Rhombendodekaëder, Fig. 77 (n dem Werth 1 genähert). Mitten inne steht, freilich nur als eine ideale Form, das reguläre Pentagondodekaëder der Geometrie mit 30 gleichlangen Kanten; bei demselben ist der Coëfficient $n = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$, also eine irrationale Zahl, weshalb denn auch die Form als Krystallform unmöglich ist (§ 10, S. 20); sehr nahe würde die Varietät $\frac{\infty O \frac{8}{5}}{2}$ kommen. Die gewöhnlichste Varietät $\frac{\infty O 2}{2}$ findet sich am Eisenkies oder Pyrit gar häufig ausgebildet und wird daher auch Pyritoëder genannt (Fig. 76).

Miller setzt hier vor das Symbol $\{hkl\}$ ein π (als Abkürzung von παράλληλος); das positive Pentagondodekaëder $= \pi\{hk0\}$, das negative $= \pi\{kh0\}$.

Werden die Hexakisoktaëder mOn nach denen an den abwechselnden mittleren Kanten (b) gelegenen Flächenpaaren (Fig. 78) hemiëdrisch, so gehen daraus die Dyakisdodekaëder (oder Diploëder) hervor (Fig. 79, 80); um sie von

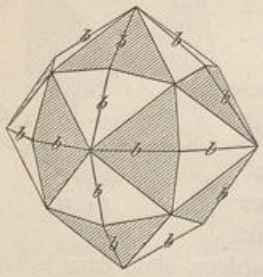


Fig. 78.

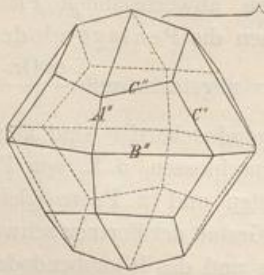


Fig. 79.

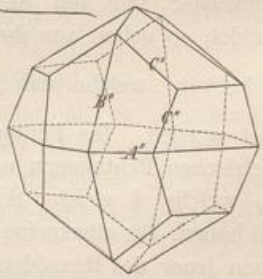


Fig. 80.

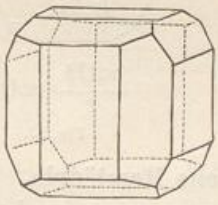
den Hexakistetraëdern, als tetraëdrisch-hemiëdrischen Formen derselben Stammform zu unterscheiden, pflegt man ihr Zeichen in zwei parallele Klammern einzuschliessen; sonach ist $\left[\frac{mOn}{2}\right]$ das allgemeine Zeichen derselben. Es sind in der Regel von 24 gleichschenkeligen Trapezoiden (selten von dergleichen Trapezen) umschlossene Formen, deren allgemeine Gestalt an verschiedene andere Formen, gewöhnlich aber an irgend ein »gebrochenes« Pentagondodekaëder erinnert. — Die Kanten sind dreierlei: 12 kürzeste A'', paarweise über den regelmässigen Kanten, und 12 längere B'', einzeln über den Flächen des eingeschriebenen Pentagondodekaëders, sowie 24 mittlere, unregelmässige Kanten C'', welche eine den unregelmässigen Kanten desselben Dodekaëders nahe kommende Lage haben. Die Ecken sind gleichfalls dreierlei: 6 gleichwinkelig-vierflächige (rhombische), 8 dreiflächige (trigonale) und 12 ungleichwinkelig-vierflächige (unregelmässige) Ecken. Die krystallographischen Axen verbinden je zwei gegenüberliegende rhombische Ecken. — Eisenkies (an ihm bisweilen selbständig), Kobaltglanz.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Am häufigsten kommen vor $\left[\frac{30\frac{3}{2}}{2}\right]$, $\left[\frac{402}{2}\right]$ und $\left[\frac{50\frac{5}{3}}{2}\right]$. Sind die Flächen Trapeze, so wird jede Kante C'' der gegenüberliegenden Kante B'' parallel, weshalb denn in jedem eine längste Kante bildenden Flächenpaare drei parallele Kanten hervortreten; diese auffallende Erscheinung rechtfertigt für solche Varietäten den Namen parallelkantige Dyakisdodekaëder, für welche die allgemeine Bedingung gilt: $m = n^2$; die zweite der oben aufgeführten Varietäten ist daher parallelkantig.

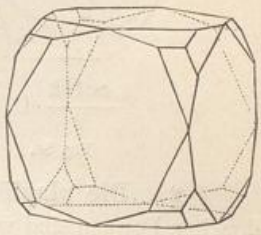
Das positive Dyakisdodekaëder ist $\pi\{hkl\}$, das negative $\pi\{khl\}$.

Combinationen. In den dodekaëdrisch-hemiëdrischen Combinationen erscheint gewöhnlich das Hexaëder, oder das Oktaëder, oder auch das Pentagondodekaëder als vorherrschende Form. Das Hexaëder erfährt durch die Flächen eines jeden Pentagondodekaëders (gewöhnlich der Varietät $\frac{\infty O2}{2}$) eine unsymmetrische Abstumpfung seiner Kanten (Gegensatz zur Combination mit dem Rhombendodekaëder, Fig. 33) und durch jedes Dyakisdodekaëder eine unsymmetrische dreiflächige Zuspitzung seiner Ecken.



$\infty O\infty \cdot \frac{\infty O2}{2}$.

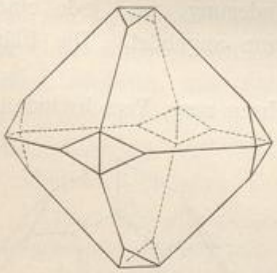
Fig. 81.



$\infty O\infty \cdot \left[\frac{402}{2}\right]$.

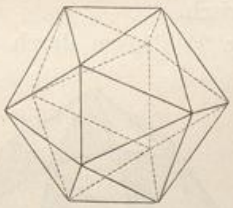
Fig. 82.

Das Oktaëder erleidet durch die Flächen eines jeden Pentagondodekaëders, meist der Varietät $\frac{\infty O2}{2}$, eine Zuschärfung, durch jedes Dyakisdodekaëder eine vierflächige Zuspitzung seiner Ecken, wobei sowohl jene Zuschärfungs- als diese



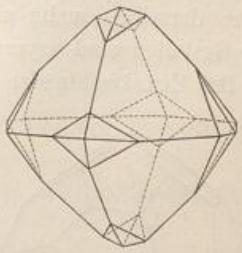
$O \cdot \frac{\infty O2}{2}$.

Fig. 83.



$O \cdot \frac{\infty O2}{2}$.

Fig. 84.



$O \cdot \left[\frac{30\frac{3}{2}}{2}\right]$.

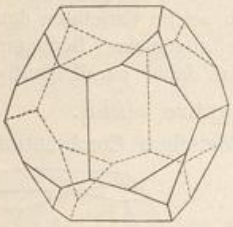
Fig. 85.

Zuspitzungsflächen (die letzteren paarweise) auf zwei gegenüberliegende Kanten aufgesetzt sind. Stehen die Flächen des Oktaëders und Pentagondodekaëders im Gleichgewicht, so erscheint die Combination ähnlich dem Ikosaëder der Geometrie; Fig. 84.

Das Pentagondodekaëder $\frac{\infty O2}{2}$ erfährt durch die Flächen des Oktaëders eine Abstumpfung seiner trigonalen Ecken, durch die Flächen des Hexaëders eine

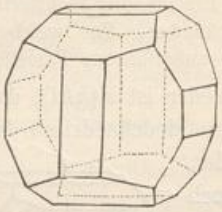
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Abstumpfung seiner regelmässigen Kanten, und durch die Flächen gewisser, in gleicher Stellung befindlicher Dyakisdodekaëder eine regelmässige dreiflächige, auf die Flächen aufgesetzte Zuspitzung seiner trigonalen Ecken.



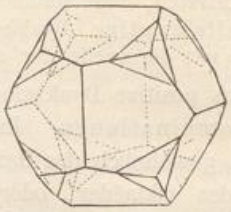
$\frac{\infty O 2}{2} \cdot O.$

Fig. 86.



$\frac{\infty O 2}{2} \cdot \infty O \infty.$

Fig. 87.



$\frac{\infty O 2}{2} \cdot \left[\frac{3O\frac{3}{2}}{2}\right].$

Fig. 88.

§ 22. **Die plagiëdrische Hemiëdrie.** Die sämmtlichen 9 S.-E.n der holoëdrischen Formen sind verloren gegangen, weshalb die dieser Hemiëdrie angehörigen Formen überhaupt keine S.-E. mehr besitzen. Es existiren von S.-A.n 3 vierzählige senkrecht zu den Würfelflächen, 4 dreizählige senkrecht zu den Oktaëderflächen und 6 zweizählige senkrecht zu den Rhombendodekaëderflächen (also dieselben wie bei den regulären Holoëdern); ein Centrum der Symmetrie fehlt; vgl. Fig. 89. — Nur bei den Hexakisoktaëdern fallen die Normalen der Flächen in die 48 Räume zwischen den 9 S.-E.n und blos bei ihnen hat daher diese Hemiëdrie eine morphologische Wirkung. Alle übrigen 6 vollflächigen Formen erleiden keine Gestaltsveränderung, weil jede einzelne Fläche derselben mehr als nur einem jener 48 Räume angehört. Die Flächen aller Gestalten sind asymmetrisch.

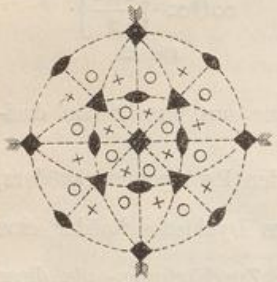


Fig. 89.

Die Hexakisoktaëder (Fig. 91) liefern durch Wachsen resp. Verschwinden der

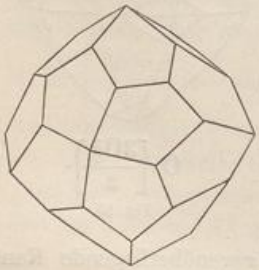


Fig. 90.

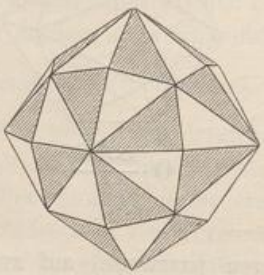


Fig. 91.

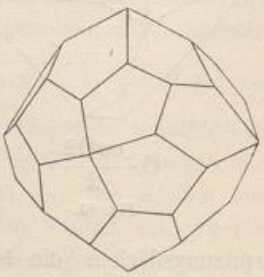


Fig. 92.

einzelnen abwechselnden Flächen als neue eigenthümliche Formen die Pentagon-Ikositetraëder[1]), begrenzt von 24 ungleichseitigen Fünfecken (Fig. 90 und 92).

1) Der Name ist dadurch gerechtfertigt, dass die übrigen Vierundzwanzigflächner theils (Tetrakishexaëder, Triakisoktaëder, Hexakistetraëder) von Dreiecken, theils (Ikositetraëder, Dyakisdodekaëder) von Vierecken begrenzt werden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die zwei correlaten Ikositetraëder dieser Art, welche aus einem und demselben Hexakisoktaëder hervorgehen, sind enantiomorph (S. 29); sie haben in Folge der Abwesenheit von S.-E.n die Eigenschaft, dass sie sich — bei übrigens völlig gleichen Begrenzungselementen — zu einander als ein rechts und als ein links gebildeter Körper verhalten, welche durch keine Aenderung der Stellung des einen zur Congruenz gebracht werden können; die eine Gestalt ist gewissermassen das Spiegelbild der anderen.

Fig. 90 ist ein linkes, Fig. 92 ein rechtes Hemiëder, das erstere $\frac{m0n}{2}l$, das letztere $\frac{m0n}{2}r$, weil von den beiden obersten Flächen im vorderen oberen rechten Oktanten des Hexakisoktaëders Fig. 91 sich die links gelegene schraffirte in Fig. 90, die rechts gelegene unschraffirte in Fig. 92 wiederfindet. — *Miller* setzt zur Bezeichnung vor das holoëdrische Symbol ein γ (von γυρός, gebogen); das linke ist $\gamma\{hkl\}$, das rechte $\gamma\{\bar{k}hl\}$.

Früher war diese Art der Hemiëdrie nur als möglich bekannt, indem eine derselben wirklich folgende krystallisirte Substanz nicht beobachtet war. 1882 wies indessen *Tschermak* nach, dass an den Krystallen des Chlorammoniums in der That plagiëdrisch-hemiëdrische Pentagon-Ikositetraëder auftreten, insbesondere $\frac{8}{5}0\frac{8}{7}$ zur Hälfte $= \gamma\{875\}$. Zufolge *Miers* kommt auch am cornischen Rothkupfererz selten und untergeordnet das Pentagon-Ikositetraëder $\frac{8}{2}0\frac{8}{8} = \gamma\{896\}$ vor. — Der in der Natur immer scheinbar holoëdrisch als die Combination $\infty0\infty.0$ ausgebildete Sylvin (Chlorkalium) ist ebenfalls plagiëdrisch, wie die von *Brauns* 1886 daran beobachteten Aetzfiguren erweisen, welche auf den Würfelflächen die Gestalt einer vertieften tetragonalen Pyramide besitzen, die aber nicht mit den Würfelkanten parallel, sondern unsymmetrisch gegen dieselben gedreht ist; die häufigsten Aetzfiguren gehören dem rechten Pentagon-Ikositetraëder $\frac{903}{2}r = \gamma\{391\}$ an.

§ 23. **Die Tetartoëdrie im regulären System.** Dabei handelt es sich nach S. 30 um die Erscheinung, dass die nach einer Modalität der Hemiëdrie hervorgebrachten Formen noch einmal nach einer anderen Hemiëdriemodalität in zwei Hälften zerfallen, das Holoëder also 4 Viertelflächner liefern würde. Aus den tetraëdrisch-hemiëdrischen Formen können noch die vorhandenen 6 gewöhnlichen S.-E.n austreten, aus den dodekaëdrisch-hemiëdrischen noch die 3 rechtwinkelig auf einander stehenden S.-E.n verloren gehen.

Wird die allgemeinste Gestalt des regulären Systems, das Hexakisoktaëder, der Tetartoëdrie unterworfen, so kann dies geschehen durch Anwendung:

der tetraëdrischen Hemiëdrie auf die dodekaëdrisch-hemiëdrische Form: das Dyakisdodekaëder ist nur mit seinen in den abwechselnden Oktanten liegenden Flächen ausgebildet; oder

der plagiëdrischen Hemiëdrie auf die tetraëdrisch-hemiëdrische Form: das Hexakistetraëder ist nur mit den abwechselnden einzelnen Flächen ausgebildet.

Ferner könnte auch das Pentagon-Ikositetraëder nur mit den in den abwechselnden Oktanten gelegenen dreizähligen Flächengruppen ausgebildet sein. — Alle drei hemiëdrischen Formen des Hexakisoktaëders liefern dabei immer ein und dieselbe tetartoëdrische Form, die tetraëdrischen Pentagondodekaëder (Fig. 93 und 94), begrenzt von 12 unsymmetrischen Pentagonen, welche zwei Paare gleicher Seiten, aber lauter verschiedene Winkel haben; es sind enantiomorphe Formen (§ 13) ohne S.-E. und ohne Centrum der Symmetrie; es existiren noch 3 gleichwerthige zu einander senkrechte zweizählige und 4 dreizählige S.-A.n von polarer Ausbildung

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

(vgl. Fig. 95); diese letzteren Symmetrie-Elemente sind daher hier andere als bei der ebenfalls einer S.-E. und eines Centrums der Symmetrie entbehrenden plagiëdrischen Hemiëdrie. Der Kanten sind 30 von dreierlei Art. Da jedes Hexakisoktaëder als holoëdrische Stammform vier solche Pentagondodekaëder liefert, so wird es

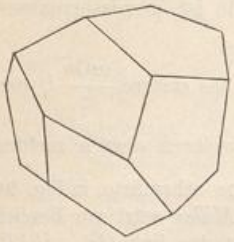


Fig. 93.

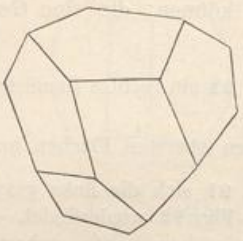


Fig. 94.

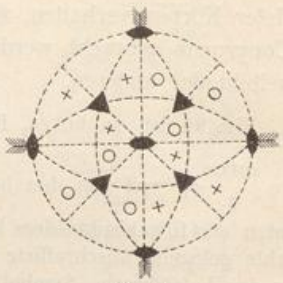


Fig. 95.

darunter zwei rechts und zwei links gebildete geben, von denen zwar je zwei gleichnamige durch blose Stellungsänderung zur Congruenz gebracht werden können, während dies für je zwei ungleichnamige ganz unmöglich ist. Fig. 93 ist ein rechtes, Fig. 94 ein linkes.

Wenn nun auch die übrigen holoëdrischen regulären Formen von diesem Bildungsgesetz ergriffen und zu tetartoëdrischen umgestaltet werden, so entfernen sich vier derselben äusserlich nicht von den hemiëdrischen, indem sich

das Oktaëder in ein Tetraëder,
die Tetrakishexaëder in Pentagondodekaëder,
die Triakisoktaëder in Deltoiddodekaëder,
die Ikositetraëder in Trigondodekaëder

verwandeln, während das Hexaëder und Rhombendodekaëder auch hier scheinbar ihre holoëdrische Gestalt unverändert beibehalten. Es stellt sich also die merkwürdige Thatsache heraus, dass das Tetraëder und das Pentagondodekaëder, welche, durch verschiedene Modalitäten der Hemiëdrie erzeugt, sich bei einer hemiëdrisch krystallisirenden Substanz durchaus gegenseitig ausschliessen und unmöglich machen (vgl. S. 30), auf dem Gebiete der Tetartoëdrie beide zugleich zum Vorschein kommen und hier nothwendig coëxistiren und zusammengehören[1]).

Deutlich tetartoëdrisch-reguläre Entwickelung zeigt unter den natürlichen Mineralien zufolge *Luedecke* der Langbeinit, welcher tetraëdrisch- und dodekaëdrisch-hemiëdrisch erscheinende Formen an sich vereinigt; ferner gehört hierher der Ullmannit, insofern seine Krystalle bei übereinstimmender chemischer Zusammensetzung theils pentagondodekaëdrisch, theils tetraëdrisch ausgebildet sind. Unter den künstlich in Krystallen erhaltenen Substanzen erweisen sich als tetartoëdrisch-regulär chlorsaures Natrium, Nitrate von Blei, Strontium, Baryum. Die in der Natur vorkommenden Krystalle des salpetersauren Baryums besitzen die Form eines Oktaëders, welches daher als Combination zweier Tetraëder von tetartoëdrischem Charakter aufgefasst werden muss.

1) Die Unmöglichkeit des Zusammenvorkommens von tetraëdrisch- und dodekaëdrisch-hemiëdrischen Formen an einem und demselben Krystall schien durch die Combinationen des chlorsauren Natriums und einiger anderer Salze widerlegt zu werden, an welchen das Tetraëder zugleich mit dem Pentagondodekaëder erscheint. *Naumann* hat jedoch 1855 gezeigt, dass diese Combinationen nicht als eine Mesalliance der beiderseitigen Hemiëdrieen, überhaupt nicht als hemiëdrische, sondern als tetartoëdrische aufzufassen sind, und dass die Coëxistenz von Tetraëdern und Pentagondodekaëdern eine nothwendige Folge der Tetartoëdrie ist. *Baumhauer* wies auch später durch die auf den Tetraëderflächen des chlorsauren Natriums erzeugten Aetzeindrücke nach, dass diese Flächen nicht hemiëdrischer, sondern tetartoëdrischer Natur sind. Vgl. auch die Untersuchungen über die tetartoëdrisch-regulären Nitrate von Blei, Baryum, Strontium von *L. Wulff* in Z. f. Kr. IV. 1880. 122.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Aus Vorstehendem ergibt sich, dass wenn eine regulär krystallisirte Substanz nur im Hexaëder oder Rhombendodekaëder bekannt ist, diese Form an sich keinen Aufschluss darüber gewährt, ob die Substanz holoëdrisch ist, oder einer der 3 Hemiëdrie-Abtheilungen angehört, oder als tetartoëdrisch gelten muss. Gestalt und Stellung der Aetzfiguren, das elektrische Verhalten, das Auftreten der Circularpolarisation können alsdann eine Unterscheidung ermöglichen.

Eine Hemimorphie ist im regulären System ausgeschlossen, weil eine S.-A. von singulärem Charakter nicht existirt.

2. Tetragonales Krystallsystem.

§ 24. **Grundcharakter.** Das tetragonale System (früher quadratisches oder viergliedriges genannt) hat mit dem regulären System die Dreizahl und Rechtwinkeligkeit der krystallographischen Axen gemein, unterscheidet sich aber durch das Grössenverhältniss derselben, indem gegen zwei gleiche Axen a eine ungleiche Axe c vorhanden ist. Diese letztere beherrscht die Symmetrie aller Formen und wird in eine senkrechte Stellung gebracht. Man nennt die Endpunkte dieser verticalen Axe Pole, und die von solchen auslaufenden Kanten Polkanten, die in sie fallenden Ecken Polecken. Von den beiden gleichwerthigen horizontalen Axen a pflegt man die eine auf den Beobachter zulaufend, die andere quer zu richten. Die zwei Linien, welche ihre rechten Durchkreuzungswinkel halbiren, heissen die Zwischenaxen. — Die Formen des tetragonalen Systems besitzen einen sogenannten wirtelförmigen Bau, indem ihre Flächen gleichmässig um die Verticalaxe gruppirt sind. — Der Name Tetragonalsystem bezieht sich auf die, meist quadratische oder tetragonale Figur der durch die Horizontalaxen gelegten Ebene.

§ 25. **Beschreibung und Ableitung der holoëdrisch-tetragonalen Formen.** Dieselben besitzen nur eine H.-S.-E., nämlich die als Basis bezeichnete Ebene durch die beiden horizontalen Axen a; demgemäss hat die auf der letzteren senkrecht stehende Verticalaxe c hier den Charakter einer (nur einzig in ihrer Art vorhandenen) H.-S.-A. oder einer Hauptaxe; ihr gegenüber führen die beiden Horizontalaxen a die Bezeichnung der Nebenaxen. Der gewöhnlichen S.-E.n sind vier vorhanden und sie entsprechen den vier verticalen Ebenen, welche jedesmal durch die Hauptaxe und entweder eine der beiden Nebenaxen a oder eine

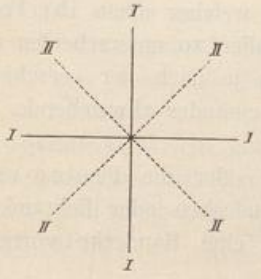


Fig. 96.

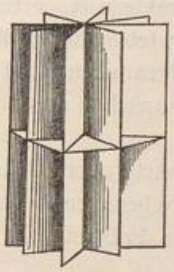


Fig. 97.

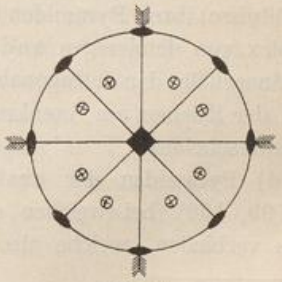


Fig. 98.

der beiden Zwischenaxen gelegt werden; erstere heissen auch die primären, letztere die secundären Hauptschnitte (I und II in Fig. 96). Diese 4 abwechselnd gleichen verticalen Ebenen schneiden sich unter 45° in der Hauptaxe c (Fig. 97).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Durch die 5 S.-E.n wird der Raum in 16 gleiche Theile getheilt. Die Hauptaxe ist eine vierzählige, die 4 Neben- und Zwischenaxen sind zweizählige S.-A.n. Wie überhaupt im tetragonalen System existiren keine dreizähligen und keine sechszähligen S.-A.n. Vgl. die sphärische Projectionsfigur 98 für die vollflächigste Form. — Nur wenn die Durchschnitte der H.-S.-E. mit 2 gleichen, senkrecht auf einander stehenden gewöhnlichen S.-E.n eben als krystallographisches Axenkreuz gewählt werden, erhalten alle Flächen jeder einfachen Krystallform isoparametrische Symbole. — Als holoëdrische Formen kommen vor:

a) Geschlossene, d. h. ihren Raum allseitig umschliessende Formen:
   1) Tetragonale Pyramiden (zwei Arten),
   2) Ditetragonale oder achtseitige Pyramiden.

b) Offene, d. h. ihren Raum nicht allseitig umschliessende Formen:
   3) Tetragonale Prismen (zwei Arten),
   4) Ditetragonale oder achtseitige Prismen, und
   5) das Pinakoid.

Aus der Ableitung ergibt sich, dass die offenen Formen nur als Grenzformen gewisser geschlossener Formen zu betrachten sind.

Die tetragonalen Pyramiden sind von 8 gleichschenkeligen Dreiecken umschlossene Formen, deren Randkanten (oder Mittelkanten) in einer Ebene liegen, und ein Quadrat bilden. Sie stellen jedenfalls einen Inbegriff zweier, in ihren Grundflächen verbundener Pyramiden der Geometrie dar, welche bei gleicher quadratischer Basis gleiche Höhe besitzen[1]). Die Kanten sind zweierlei: 8 Polkanten (X oder Y), so genannt, weil sie von den Polen der Hauptaxe ausgehen, und 4 Randkanten Z, so genannt, weil sie stets um die Mitte der Form liegen. Die Ecken sind ebenfalls zweierlei: zwei tetragonale Polecken und 4 rhombische Randecken (oder Mittelecken). Es gibt wegen des abwechslungsvollen Längenverhältnisses zwischen Hauptaxe und Nebenaxen möglicherweise eine unendliche Manchfaltigkeit von tetragonalen Pyramiden. — Im Allgemeinen unterscheidet man stumpfe und spitze Pyramiden, zwischen welchen das Oktaëder des regulären Systems seinen Dimensionsverhältnissen nach mitten inne steht, obwohl solches niemals als eine tetragonale Form existiren kann.

Jede tetragonal krystallisirende Mineralart wird durch bestimmte Dimensionsverhältnisse ihrer Pyramiden charakterisirt, vermöge welcher allein ihr Formencomplex von demjenigen anderer tetragonaler Mineralien zu unterscheiden ist.

Innerhalb der tetragonalen Pyramiden sind nun je nach der verschiedenen Lage der Flächen am Axenkreuz zunächst zwei von einander abweichende Arten zu unterscheiden:

1) Pyramiden der ersten Art oder Ordnung oder die Protopyramiden (Fig. 99, 100), bei welchen die Nebenaxen a die Randecken oder Eckpunkte der Basis verbinden, welche also eine Polkante X und eine Randecke vorne dem

[1]) Sie und die anderen so bezeichneten Formen würden daher eigentlich Dipyramiden oder Bipyramiden genannt werden müssen, wie dies auch neuerlich mehrfach geschieht; da jedoch einfache Pyramiden im Reiche der Krystallformen nur äusserst selten (in Folge der Hemimorphie) vorkommen, so kann man, ohne ein Missverständniss zu befürchten, der Kürze und der leichteren Wortzusammensetzung wegen das Wort Pyramide schlechthin beibehalten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Beschauer zukehren, und eine entsprechende Stellung besitzen, wie das reguläre Oktaëder (Fig. 16).

Aus den bei einer tetragonalen Substanz vorkommenden Protopyramiden wird nun eine herausgewählt, um die übrigen Protopyramiden und überhaupt die sämmtlichen anderen Formen auf dieselbe zu beziehen und aus derselben abzuleiten. Sie wird die Grundpyramide oder Grundform genannt und ihr wird die Einheit des Parameterverhältnisses zugeschrieben[1]). *Naumann* bezeichnet diese Grundpyramide mit dem Buchstaben **P**, unter welchem man sich also nicht eine einzelne Fläche der Grundform, sondern diese selbst in ihrer ganzen Vollständigkeit vorzustellen hat.

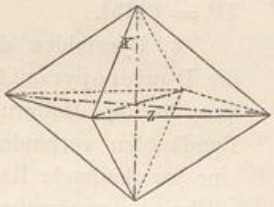


Fig. 99.

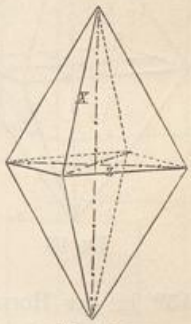


Fig. 100.

Das *Weiss*'sche Flächenzeichen der Grundpyramide ist zufolge ihrer Lage am Axenkreuz $a : a : c$, ein Symbol, welches in jedem Oktanten eben eine Fläche liefert. — Bei *Miller* ist die Grundpyramide $= \{111\}$.

Das durch Messung ermittelte Winkelmaass einer ihrer Kanten, am besten der Randkante Z, bestimmt die Grundform nach ihren Angular-Dimensionen, wogegen das (daraus durch Rechnung gefundene) Verhältniss der Nebenaxe zur Hauptaxe, welches, die halbe Nebenaxe a gleich 1 gesetzt, für die halbe Hauptaxe c irgend einen anderen Werth ergibt, uns eine Bestimmung der Grundform durch ihre Linear-Dimensionen gewährt. Dies letztere Axenverhältniss ($1 : 1 : c$, oder blos $1 : c$) ist wie bei allen Krystallsystemen, mit Ausnahme des regulären, irrational (S. 19). So hat die Grundpyramide des Zinnsteins das Axenverhältniss $1 : 0{,}6724 \ldots$, die des Anatas $1 : 1{,}7777 \ldots$. Ein kürzerer Ausdruck des Axenverhältnisses ist der Quotient $\frac{c}{a}$, worin $a = 1$.

Nimmt man in der Hauptaxe der Grundform vom Mittelpunkt aus beiderseits irgend eine Länge mc (wobei m theils grösser, theils kleiner als 1, aber stets rational vorausgesetzt wird) und legt hierauf in jede Randkante von **P** zwei Flächen, von denen die eine den oberen, die andere den unteren Endpunkt der nach m verlängerten oder verkürzten Hauptaxe schneidet, so entsteht eine neue Protopyramide, welche entweder spitzer oder stumpfer als **P**, und allgemein mit m**P** zu bezeichnen ist. Da nun m alle möglichen Werthe erhalten kann, so sind in der That alle möglichen Protopyramiden abgeleitet worden; am häufigsten finden sich $\frac{1}{2}$**P**, 2**P**, 3**P**.

---

1) Als Grundform pflegt man hier, wie in den folgenden Krystallsystemen, diejenige Pyramide zu wählen, welche entweder am häufigsten vorkommt, oder in den Combinationen am meisten vorherrscht, oder allemal durch die Spaltbarkeit erhalten wird, oder endlich die, mit Bezug auf welche die übrigen Pyramiden das einfachste Ableitungsverhältniss ergeben.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Das allgemeine Flächenzeichen der abgeleiteten Protopyramiden ist $a : a : mc$, wobei für die spitzeren $m > 1$, für die stumpferen $m < 1$; z. B. $a : a : 2c = 2\mathrm{P}$; $a : a : \frac{3}{2}c = \frac{3}{2}\mathrm{P}$; $a : a : \frac{1}{4}c = \frac{1}{4}\mathrm{P}$. — Diese tetragonalen Protopyramiden $m\mathrm{P}$ werden bei *Miller* zu $\{hhl\}$, wobei sich h auf die Nebenaxe, l auf die Hauptaxe bezieht; bei den spitzeren ist $h > l$, bei den stumpferen $l > h$; z. B. $2\mathrm{P} = \{221\}$, $7\mathrm{P} = \{771\}$, $\frac{1}{4}\mathrm{P} = \{114\}$, $\frac{5}{2}\mathrm{P} = \{552\}$, $\frac{3}{5}\mathrm{P} = \{335\}$.

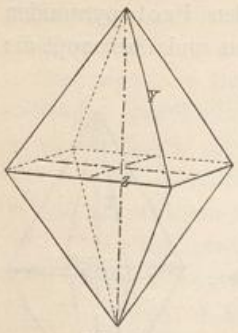


Fig. 101.

2) Pyramiden der zweiten Art oder Ordnung oder die Deuteropyramiden (Fig. 101), bei welchen die Nebenaxen a die Halbirungspunkte zweier gegenüberliegender Randkanten verbinden. Sie kehren also eine Fläche und eine querlaufende Randkante vorne dem Beschauer zu und erscheinen gewissermassen gegen die Protopyramiden um 45° in der Horizontalebene gedreht. Die Polkanten der Deuteropyramide werden wegen ihrer abweichenden Lage nicht mit X, sondern mit Y bezeichnet.

Die Flächen der Deuteropyramide liegen, abweichend von den protopyramidalen so, dass sie zwar die Hauptaxe c und eine der Nebenaxen a schneiden, aber der zweiten Nebenaxe a parallel gehen. Diejenige Deuteropyramide, welche a und c in derselben Einheit schneidet, wie dies seitens der protopyramidalen Grundform geschieht (und welche deshalb die Polkanten der letzteren gerade abstumpft), erhält daher das Flächenzeichen $a : \infty a : c$ und aus dieser lassen sich alle anderen Deuteropyramiden abermals durch eine Verlängerung der Hauptaxe um m (> 1) oder eine Verkürzung derselben auf m (< 1) ableiten. Das allgemeine Zeichen ist daher $a : \infty a : mc$; z. B. $a : \infty a : 3c$; $a : \infty a : \frac{1}{2}c$. Eine Form mit solchem Flächenzeichen muss in jedem Oktanten zweimal auftreten, da aber jede Fläche mit einer anderen in dem Nachbaroktanten zusammenfällt, so besitzt die Deuteropyramide im Ganzen nur 8 Flächen. Zufolge der Lage am Axenkreuz würden ihre Flächen nach dem auf S. 19 Erläuterten eigentlich unter den Begriff der Prismen fallen.

Bei der *Naumann*'schen Signatur wird der Coëfficient der Hauptaxe c, sofern er nicht 1 ist, wiederum links vor P gesetzt, der constante Coëfficient ∞ der einen Nebenaxe rechts hinter P. Das allgemeine Symbol ist daher $m\mathrm{P}\infty$; z. B. $a : \infty a : c = \mathrm{P}\infty$; $a : \infty a : 3c = 3\mathrm{P}\infty$; $a : \infty a : \frac{1}{3}c = \frac{1}{3}\mathrm{P}\infty$.

Die Deuteropyramiden mit dem allgemeinen Zeichen $m\mathrm{P}\infty$ werden bei *Miller* zu $\{h0l\}$; $\mathrm{P}\infty = \{101\}$; $5\mathrm{P}\infty = \{501\}$; $\frac{1}{2}\mathrm{P}\infty = \{102\}$; $\frac{3}{2}\mathrm{P}\infty = \{203\}$; $\frac{3}{5}\mathrm{P}\infty = \{302\}$.

Die tetragonalen Prismen, welche nebst den achtseitigen Prismen die säulenförmigen Krystalle des Tetragonalsystems bedingen, sind von 4, der Hauptaxe parallelen Flächen begrenzte, oben und unten offene Formen, die als Querschnitt ein Quadrat liefern. Nach denselben Kriterien wie sie bei den tetragonalen Pyramiden zur Geltung kommen, zerfallen sie in zwei, gegen einander um 45° gewendete Arten, nämlich:

1) Das Prisma der ersten Art oder Ordnung oder das Protoprisma (die vier senkrechten Flächen in Fig. 102), so gelegen, dass die Enden der Nebenaxen a in die Halbirungspunkte der verticalen Kanten fallen, von denen eine vorne dem Beschauer zugewendet ist. Seine Flächen entsprechen daher den secundären Haupt-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

schnitten II in Fig. 96. — Die Prismen werden allgemein dadurch aus den Pyramiden abgeleitet, dass der Coëfficient der verticalen Axe c den Werth ∞ erlangt, oder die Randkanten der Pyramiden gerade abgestumpft werden. Wird in mP der Werth m (>1) immer grösser und allmählich ∞, so erhält durch fortgesetztes Spitzerwerden die Protopyramide endlich senkrechte Flächen, wird demzufolge zu einem oben und unten offenen Krystallraum und geht in das Protoprisma über, dessen Zeichen daher ∞P ist.

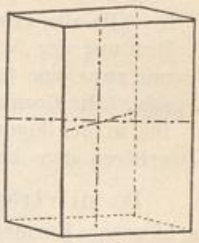


Fig. 102.

2) das Prisma der zweiten Art oder Ordnung oder das Deuteroprisma (die vier senkrechten Flächen in Fig. 103), so an dem Axenkreuz gelegen, dass die Enden der Nebenaxen a in die Mittelpunkte der verticalen Flächen fallen, von denen daher eine vorne dem Beschauer zugekehrt ist. Die Flächen gehen den primären Hauptschnitten I (Fig. 96) parallel und haben demnach zufolge S. 19 eigentlich den Charakter von Pinakoidflächen. Wird dieselbe Ableitung, welche aus mP das Protoprisma ∞P lieferte, auf die Deuteropyramide mP∞ angewendet, so ergibt sich als Zeichen des Deuteroprismas ∞P∞.

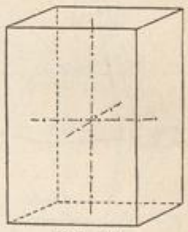


Fig. 103.

Das *Weiss*'sche Zeichen ist für das Protoprisma $a : a : \infty c$, für das Deuteroprisma $a : \infty a : \infty c$. — Das *Miller*'sche Symbol für das erstere $\{110\}$, für das letztere $\{100\}$. — Es gibt natürlich nur ein tetragonales Prisma der ersten Art und ebenso nur eins der zweiten Art, da jedes derselben keiner Gestaltsveränderung fähig ist, was auch aus der Abwesenheit variabeler Coëfficienten in den Zeichen erhellt.

Morphologisch unterscheiden sich das Protoprisma und das Deuteroprisma als solche nicht von einander, sondern nur bezüglich ihrer Lage zu den Nebenaxen a, deren Richtung durch das Auftreten der Grundpyramide gegeben ist. Treten an einer tetragonalen Substanz überhaupt beiderlei Prismen auf, und liegt dann die Combination nur eines derselben mit blos der Basis vor, so muss es unentschieden bleiben, ob es das Proto- oder Deuteroprisma ist, sofern nicht eines derselben etwa sonst, z. B. durch Oberflächenbeschaffenheit oder Spaltbarkeit als solches charakterisirt wird.

Das basische Pinakoid (von πινακοειδής, tafelförmig) oder die Geradendfläche ist das der horizontalen Nebenaxenebene (Haupt-Symmetrieebene) oder der Basis parallele Flächenpaar, welches die tafelförmigen Krystalle des Systems bedingt (Fig. 104, in welcher die an sich unbestimmte Begrenzung dieser beiden Flächen zum Ausdruck gebracht ist). Dasselbe kann als eine Protopyramide mP betrachtet werden, welche durch fortwährendes Kleinerwerden von m und immer grössere Flachheit schliesslich dazu gelangt ist, überhaupt keinen Schnittpunkt auf der Verticalaxe c zu besitzen, in welchem Falle sie sich mit der Ebene der Nebenaxen a oder der Basis deckt. Das Zeichen ist daher dann 0P. Die Form ist bei den holoëdrischen Krystallen stets als 2 äquivalente Parallelflächen oben und unten ausgebildet und natürlich keiner Veränderung fähig.

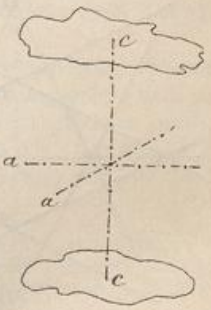


Fig. 104.

Dasselbe horizontale Flächenpaar wird aber auch erhalten, indem die Flächen der Protopyramide durch fortgesetzte Vergrösserung der Abschnitte auf den Neben-

axen a schliesslich diesen letzteren parallel gehen. Daher das *Weiss*'sche Flächenzeichen $\infty a : \infty a : c$. Man gelangt eben auf eine und dieselbe Form, mag $c = 0$ oder mag $a = \infty$ gesetzt werden. — Das *Miller*'sche Symbol ist {001}.

Da die Prismen in der Richtung der Hauptaxe und das basische Pinakoid in der Richtung der Nebenaxen als solche unbegrenzt oder offen sind, so müssen sie allemal und zwar jene terminal, dieses lateral, durch die Flächen anderer Formen begrenzt sein. Die Combination ist demnach eine nothwendige Bedingung ihrer Existenz. — Die in den Figuren 102 und 103 mitgezeichneten horizontalen Endflächen der Säulen gehören dem basischen Pinakoid an.

Die ditetragonalen Pyramiden sind von 16 ungleichseitigen Dreiecken umschlossene Formen (Fig. 105), deren Randkanten in einer Ebene liegen und ein Ditetragon (d. h. ein gleichseitiges, aber nur abwechselnd gleichwinkeliges Achteck) bilden (Fig. 106). Die Kanten sind dreierlei: 8 längere schärfere, und 8 kürzere stumpfere Polkanten, sowie 8 gleiche Randkanten Z; die Ecken sind ebenfalls dreierlei: 2 achtflächige (ditetragonale) Polecken, 4 spitzere und 4 stumpfere vierflächige (rhombische) Randecken. — Die eine Art von Polkanten fällt immer in die primären, die andere Art in die secundären Hauptschnitte, nach welcher Lage sie als primäre Polkanten X und secundäre Polkanten Y unterschieden werden können.

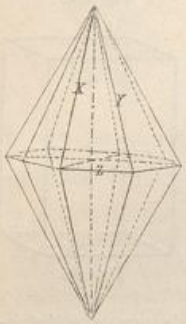


Fig. 105.

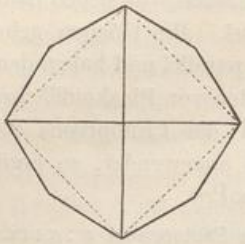


Fig. 106.

Ditetragonale Pyramiden werden nur sehr selten als selbständige Formen beobachtet, da sie meist untergeordnet in Combination mit tetragonalen Pyramiden u. a. Formen aufzutreten pflegen. — Zirkon, Vesuvian, Zinnerz.

Aus jeder beliebigen Protopyramide mP lassen sich viele ditetragonale Pyramiden ableiten. Man nehme in jeder Nebenaxe vom Mittelpunkt aus beiderseits die Länge n, welche rational und grösser als 1 ist; dann lege man in jede Polkante von mP zwei Flächen, welche die nicht zu derselben Polkante gehörige Nebenaxe beiderseits in der Entfernung n schneiden, so entsteht eine ditetragonale Pyramide, deren Zeichen mit mPn gegeben ist.

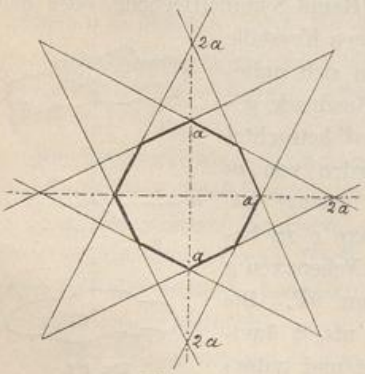


Fig. 107.

Da die Fläche der ditetragonalen Pyramide alle 3 Axen schneidet und zwar die eine Nebenaxe a in einer um n-mal grösseren Entfernung (n stets > 1), als die andere, so ist das Zeichen allgemein $a : na : mc$; z. B. $a : 2a : c =$ P2; $a : 3a : 2c = 2$P3; $a : 5a : \frac{3}{2}c = \frac{3}{2}$P5. — Da zu jeder Fläche $a : na : mc$ in demselben Oktanten noch eine zweite Fläche $na : a : mc$ gehört, welche durch Vertauschung der beiden gleichwerthigen Nebenaxen entsteht, so muss die ganze Form 16 Flächen haben. Fig. 107 ist die Linearprojection von $a : 2a : c =$ P2.

Bei *Miller* ist das allgemeine Zeichen der ditetragonalen Pyramide $\{hkl\}$, wobei abermals dieses Symbol dem *Naumann*'schen $\frac{h}{l}\mathrm{P}\frac{h}{k}$ entspricht[1]; z. B. $\mathrm{P3} = \{313\}$; $3\mathrm{P3} = \{311\}$; $4\mathrm{P2} = \{421\}$; $\mathrm{P}\frac{9}{8} = \{989\}$; $3\mathrm{P}\frac{3}{2} = \{321\}$; $\frac{1}{4}\mathrm{P3} = \{3.1.12\}$; $\frac{3}{2}\mathrm{P3} = \{312\}$.

Regelmässig achtseitige oder oktogonale Pyramiden mit acht gleichen Winkeln der Basis und 16 gleichen Polkanten sind in der Krystallwelt nicht möglich, weil ihre Ableitung einen irrationalen Ableitungscoëfficienten erfordern würde. In diesem Falle wäre nämlich $n = 1 + \sqrt{2} = \tan 67\frac{1}{2}^\circ = 2{,}4142\ldots$. Ist n kleiner als $2{,}414\ldots$, so sind diejenigen Polkanten die stumpferen, welche nach den Zwischenaxen zu laufen, und die ditetragonale Pyramide ähnelt mehr einer Protopyramide, zu welcher sie wird, wenn $n = 1$, indem dann der Winkel jener Polkanten $y = 180^\circ$ ist. Ist n grösser als $2{,}414\ldots$, so sind die nach den Nebenaxen laufenden Polkanten die stumpferen: die ditetragonale Pyramide ähnelt sodann mehr einer Deuteropyramide, in welche sie übergeht, sofern $n = \infty$, indem dann der Winkel dieser stumpferen Polkanten $x = 180^\circ$. Fig. 108 zeigt in der Linearprojection die Lage von $m\mathrm{P}n$ zwischen $m\mathrm{P}$ und $m\mathrm{P}\infty$.

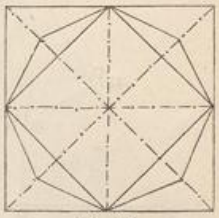


Fig. 108.

Die ditetragonalen Prismen sind von 8, der Hauptaxe parallelen Flächen umschlossene Formen, deren Querschnitt ein Ditetragon ist (Fig. 109, oben und unten durch 0P begrenzt). Sie haben zweierlei Seitenkanten, welche nach ihrer Lage in den betreffenden Hauptschnitten als primäre und secundäre unterschieden werden. Wie überhaupt die Prismen aus den Pyramiden, so leiten sich auch diese Prismen aus den ditetragonalen Pyramiden $m\mathrm{P}n$ dadurch ab, dass $m = \infty$ wird. Das allgemeine Zeichen ist daher $\infty\mathrm{P}n$.

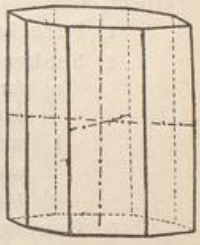


Fig. 109.

Für den Fall, dass $n = 1$, verwandelt sich das ditetragonale Prisma in das Protoprisma $\infty\mathrm{P}$, für den Fall, dass $n = \infty$, in das Deuteroprisma $\infty\mathrm{P}\infty$. — Oktogonale Prismen mit 8 gleichen Seitenkanten sind als einfache Formen aus demselben Grund in der Krystallwelt unmöglich, wie oktogonale Pyramiden; wenn dennoch solche Gestalten vorkommen, so werden sie durch Combination des Protoprismas und Deuteroprismas hervorgerufen. — Für die ditetragonalen Prismen ist das *Weiss*'sche Flächenzeichen entsprechend $a : na : \infty c$; das *Miller*'sche Symbol allgemein $\{hk0\}$; z. B. $\infty\mathrm{P2} = \{210\}$; $\infty\mathrm{P}\frac{3}{2} = \{320\}$.

Ist für eine tetragonale Substanz blos die Combination eines verticalen Prismas mit der Basis bekannt, so kann natürlich ein Axenverhältniss nicht angegeben werden.

Dieselbe Rolle, welche im regulären System der Achtundvierzigflächner spielt, übernimmt hier die ditetragonale Pyramide $m\mathrm{P}n$; sie ist in der That der allgemeinste Fall einer tetragonalen Krystallgestalt, von welcher alle anderen Formen nur Special-

---

1) Da h und k als auf die beiden gleichwerthigen Nebenaxen bezüglich in ihrer Stellung vertauschbar und ausserdem einzeln oder zusammen positiv oder negativ werden können, l, auf die Hauptaxe bezogen aber nicht an der Vertauschung theilnimmt, so liefert das Zeichen $\{hkl\}$ hier nicht, wie bei dem regulären Hexakisoktaëder 48, sondern nur 16 Flächen:

hkl	$\bar{h}\bar{k}l$	khl	$\bar{k}\bar{h}l$
$\bar{h}kl$	$h\bar{k}\bar{l}$	$\bar{k}hl$	$k\bar{h}\bar{l}$
$hk\bar{l}$	$\bar{h}\bar{k}\bar{l}$	$k\bar{h}l$	$\bar{k}hl$
hkl	$\bar{h}\bar{k}\bar{l}$	$kh\bar{l}$	$\bar{k}\bar{h}\bar{l}$

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

fälle sind, dadurch entstehend, dass die Coëfficienten m und n die besonderen Werthe 1 oder ∞ oder 0 annehmen. Wird $n = 1$, so resultiren die Protopyramiden; $n = \infty$, die Deuteropyramiden; sofern $n = 1$ und $m = \infty$, das Protoprisma; sofern $n = \infty$ und $m = \infty$, das Deuteroprisma; wenn $m = \infty$, die ditetragonalen Prismen; $m = 0$ (wobei der Werth von n gleichgültig) das Pinakoid. Vgl. die Projection Fig. 98.

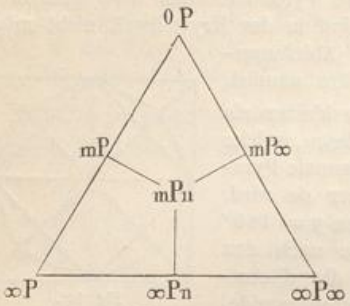


Fig. 110.

Sehr übersichtlich ist nebenstehendes triangulares Schema, in dessen Mitte die ditetragonale Pyramide, als der allgemeine Repräsentant aller holoëdrischen Formen figurirt, während die linke Seite des Dreiecks die Protopyramiden, die rechte Seite die Deuteropyramiden, die Basis des Dreiecks aber die sämmtlichen Prismen begreift. Das Schema steht also auf lauter Säulen und erhebt sich mit den verschiedenen Pyramiden, bis es zuletzt von dem Pinakoid begrenzt wird.

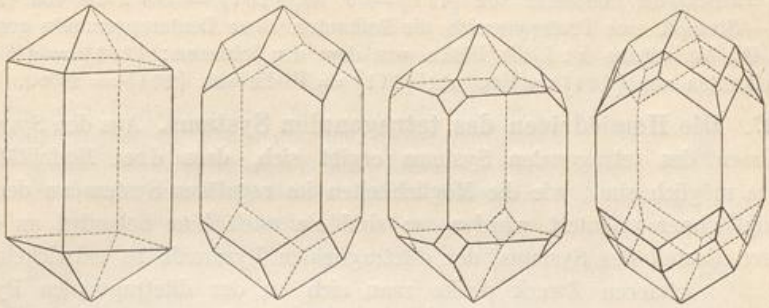
Unter Berücksichtigung der Symmetrie-Verhältnisse des tetragonalen Systems ergibt sich folgende Uebersicht der nothwendig existirenden holoëdrischen Formen, aus welcher sich auch leicht die Anzahl der bei den einzelnen vorhandenen Flächen ableiten lässt, wobei zugleich erhellt, dass fernere tetragonale Formen nicht möglich sind.

1) Parallel der Haupt-Symmetrie-Ebene: das einzige Flächenpaar 0P.
2) Senkrecht zur Haupt-Symmetrie-Ebene:
   a) parallel den primären, gleich geneigt gegen die secundären Hauptschnitte = ∞P∞;
   b) parallel den secundären, gleich geneigt gegen die primären Hauptschnitte = ∞P;
   c) ungleich geneigt gegen beide Hauptschnitte = ∞Pn.
3) Geneigt gegen die Haupt-Symmetrie-Ebene:
   a) gleich geneigt gegen die primären, senkrecht zu den secundären Hauptschnitten = mP;
   b) senkrecht zu den primären, gleich geneigt gegen die secundären Hauptschnitte = mP∞;
   c) ungleich geneigt gegen die primären (und secundären) Hauptschnitte = mPn.

§ 26. **Holoëdrische Combinationen des Tetragonalsystems.** Diejenigen der Prismen mit dem Pinakoid sind bereits S. 63 und 65 abgebildet. Das Protoprisma ∞P erfährt durch die Grundform P (und überhaupt durch jede Protopyramide mP) beiderseits eine vierflächige, auf seine Flächen gesetzte Zuspitzung, Fig. 111; das Deuteroprisma ∞P∞ dagegen durch dieselben Pyramiden eine vierflächige, auf seine Kanten gesetzte Zuspitzung, Fig. 112. Im ersteren Falle werden oft die Combinationsecken durch rhombische Flächen ersetzt (Fig. 113), im anderen Falle die Combinationskanten abgestumpft, Fig. 114, was dort durch die spitzere Deuteropyramide 2P∞, hier durch irgend eine ditetragonale Pyramide mPn mit gleichen Werthen beider Ableitungszahlen (gewöhnlich durch 3P3), geschieht.

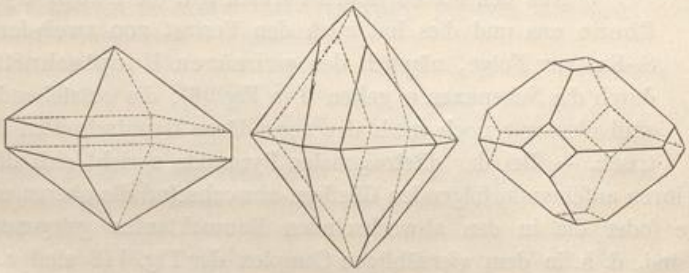
Die Grundpyramide P (oder jede andere Pyramide mP in ihrer Weise) erfährt durch das Protoprisma ∞P eine Abstumpfung ihrer Randkanten (Fig. 115), durch die Deuteropyramide P∞ (oder mP∞) eine Abstumpfung ihrer Polkanten (Fig. 116), durch das Deuteroprisma ∞P∞ eine Abstumpfung ihrer Randecken, und durch das Pinakoid 0P eine Abstumpfung ihrer Polecken (Fig. 117). Das Deuteroprisma

stumpft stets die Kanten des Protoprismas gerade ab, und umgekehrt. Die ditetragonalen Pyramiden treten auf zweierlei Weise auf, indem sie nämlich entweder



∞P.P Fig. 111. ∞P∞.P Fig. 112. ∞P.P.2P∞ Fig. 113. ∞P∞.P.3P3 Fig. 114.

die im Zickzack auf- und absteigenden Combinationskanten zwischen Protopyramide und Deuteroprisma abstumpfen (Fig. 114), oder indem sie die Polkanten der Protopyramide zweiflächig zuschärfen.



P.∞P Fig. 115. P.P∞ Fig. 116. P.∞P∞.0P Fig. 117.

Die Flächen der ditetragonalen Pyramide liegen mit parallelen Combinationskanten zwischen je einer Fläche derjenigen Protopyramide und derjenigen Deuteropyramide, mit welchen beiden sie gemeinsame Ableitungszahl m haben.

Diejenigen ditetragonalen Pyramiden mPn, welche mit P und ∞P∞ eine Zone bilden, haben das allgemeine Zeichen mPm (d. h. bei ihnen ist $m = n$); dazu gehört z. B. die ditetragonale Pyramide 3P3 (Fig. 114); auch die beiden Grenzgestalten P und ∞P∞ sind gewissermassen ditetragonale Pyramiden von dem Zeichen mPm.

Diejenigen mPn, welche tautozonal sind mit P∞ und ∞P, besitzen den allgemeinen Ausdruck $m\text{P}\frac{m}{m-1}$ $\left(\text{d. h. } n = \frac{m}{m-1}\right)$; dazu gehören z. B $3\text{P}\frac{3}{2}$, $4\text{P}\frac{4}{3}$, $\frac{3}{2}$P3, sowie die beiden Grenzgestalten; auch ein mPm, nämlich 2P2, nimmt, wie man sieht, an dieser Zone Theil. — Die ditetragonalen Pyramiden, gelegen zwischen P und 2P∞, haben das allgemeine Zeichen $m\text{P}\frac{m}{2-m}$; dazu gehören z. B. $\frac{3}{2}$P3, $\frac{4}{3}$P2 und die beiden Grenzgestalten selbst ($2\text{P}\frac{2}{0} = 2\text{P}\infty$).

Die mPn, welche liegen zwischen 2P∞ und ∞P, sind allgemein $m\text{P}\frac{m}{m-2}$; dazu ausser den Grenzgestalten z. B. 4P2; $5\text{P}\frac{5}{3}$; auch ein mPm, nämlich 3P3 ist damit tautozonal. — Diejenigen mPn, welche zwischen $\frac{1}{2}$P und P∞ liegen, sind allgemein $m\text{P}\frac{m}{1-m}$; dazu gehören z. B. $\frac{2}{3}$P2 und $\frac{3}{4}$P3, sodann die Grenzgestalten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Eine Deuteropyramide $\{h0l\}$, welche die Polkanten einer Protopyramide $\{hhl\}$ gerade abstumpft, hat dasselbe Verhältniss für $h : l$, wie diese letztere; so stumpft $\{101\} = P\infty$ die Polkanten von $\{111\} = P$ ab, $\{201\} = \infty P2$ die von $\{221\} = 2P$. — Stumpft eine Protopyramide die Polkanten einer Deuteropyramide gerade ab, so ist ihr Verhältniss $h : l$ die Hälfte von dem der letzteren: $\{112\} = \frac{1}{2}P$ stumpft die Polkanten von $\{101\} = P\infty$ ab; $\{111\} = P$ die von $\{201\} = 2P\infty$.

§ 27. **Die Hemiëdrieen des tetragonalen Systems.** Aus den Symmetrieverhältnissen des tetragonalen Systems ergibt sich, dass drei Modalitäten der Hemiëdrie möglich sind; wie die Möglichkeiten im regulären System an dem Achtundvierzigflächner erläutert wurden, so sind sie auch hier nebenbei an der allgemeinsten Gestalt des Systems, der ditetragonalen Pyramide zu entwickeln. Für letzteren Zweck denke man sich an der ditetragonalen Pyramide die 4 über und unter den einzelnen Quadranten der Basis gelegenen Flächen zu einem Complex oder Glied vereinigt (Fig. 118); alsdann müssen während der Hemiëdrie in jedem dieser Complexe zwei Flächen bleiben, kein Complex darf als solcher ganz ausfallen. Die drei Arten der Hemiëdrie entstehen auf folgende Weise:

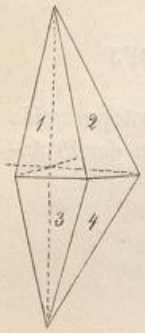


Fig. 118.

1) Aus den holoëdrischen Formen tritt die Haupt-Symmetrie-Ebene aus und dies hat auch den Verlust von zwei der verticalen S.-E.n zur Folge, nämlich der primären Hauptschnitte, welche durch die Nebenaxen a gehen (I in Fig 96); die entstehenden Formen sind also nur noch nach den secundären Hauptschnitten (II) symmetrisch. — Bei der ditetragonalen Pyramide spricht sich dies dadurch aus, dass in ihren aufeinanderfolgenden Gliedern abwechselnd die oberen und unteren Flächenpaare (oder die in den abwechselnden Raumoktanten gelegenen Flächen) ausgebildet sind, d. h. in dem vierzähligen Complex der Fig. 118 sind z. B. nur die Flächen 1 und 2 ausgebildet, während 3 und 4 verschwinden; in dem folgenden Complex sind dann umgekehrt 3 und 4 vorhanden, wogegen 1 und 2 ausfallen u. s. w. — Sphenoidische Hemiëdrie.

2) Aus den Holoëdern gehen die 4 gewöhnlichen verticalen S.-E.n verloren und nur die Symmetrie nach der horizontalen Basis bleibt erhalten. — Bei der ditetragonalen Pyramide handelt es sich dann um Wachsen oder Verschwinden der an den abwechselnden Randkanten oben und unten gelegenen Flächen, d. h. in jenem Complex verbleiben die Flächen 1 und 3, wogegen 2 und 4 nicht ausgebildet sind, oder umgekehrt u. s. w. — Pyramidale Hemiëdrie.

3) Alle 5 S.-E.n verschwinden aus den Holoëdern, welche daher keine solche mehr besitzen. — Die ditetragonale Pyramide wird nach den abwechselnden einzelnen Flächen hemiëdrisch, d. h. es dehnen sich aus die Flächen 1 und 4, während 2 und 3 verschwinden, oder umgekehrt u. s. w. — Trapezoëdrische Hemiëdrie. — Eine fernere vierte Modalität ist nicht denkbar, sofern der Charakter des Systems aufrecht erhalten werden soll.

Sphenoidische Hemiëdrie.

Die Formen besitzen, wie angeführt, noch 2 zu einander senkrechte verticale S.-E.n, entsprechend ∞P; die beiden Axen a sowie c sind zweizählige Axen der einfachen S. (c ist zugleich eine vierzählige der zusammengesetzten; die Basis ist blos eine Ebene der zusammengesetzten S.); Centrum der S. fehlt. Vgl. Fig. 119.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Flächen des Protoprismas, des Deuteroprismas, der ditetragonalen Prismen, des basischen Pinakoids und der Deuteropyramiden stehen allesammt senkrecht auf hier verschwundenen S.-E.n., sei es auf der einen horizontalen (parallel 0P) oder auf den 2 verticalen (parallel $\infty P\infty$); indem so diese Flächen den wachsenden und den verschwindenden Oktanten in übereinstimmender Weise zukommen, werden die genannten 5 Formen bei dieser Hemiëdrie keine äussere Gestaltsveränderung erleiden. Nur bei den Protopyramiden und den ditetragonalen Pyramiden stehen die Flächen unter schiefem Winkel geneigt gegen jene ausgetretenen S.-E.n; daher wird für sie die Wirkung der Verschiedenheit der abwechselnden Oktanten zur Geltung kommen, und müssen diese beiden Formen allein besonders neue hemiëdrische Gestalten liefern.

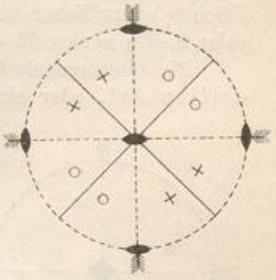


Fig. 119.

Die Protopyramiden mP werden dadurch hälftflächig, dass an ihnen nur die abwechselnden Flächen ausgebildet sind, indem diese hier einzeln in den einzelnen Oktanten liegen. Sie verwandeln sich dabei in tetragonale Sphenoide (von σφήν oder σφηνός, der Keil), von vier gleichschenkeligen Dreiecken umschlossene Formen, deren Randkanten im Zickzack auf- und absteigen, während ihre End- oder Polkanten horizontal sind (Fig. 120). Polecken sind nicht vorhanden. Die Enden der Horizontalaxen a verbinden die Halbirungspunkte der gegenüberliegenden Randkanten. Es gibt solche Sphenoide, bei welchen die Polkanten schärfer, und solche, bei welchen diese stumpfer sind, als die Randkanten. Zwischen beiden steht, als nicht zu diesem System gehörige Form, das auf ganz analoge Weise aus dem Oktaëder hervorgegangene reguläre Tetraëder, dessen Pol- und Randkanten gleich (70° 32′) sind. Das Zeichen der Sphenoide ist $\frac{m\mathrm{P}}{2}$ oder $\varkappa\{hhl\}$ und $-\frac{m\mathrm{P}}{2}$ oder $\varkappa\{h\bar{h}l\}$; letzteres ist um 90° gegen das erstere gedreht.

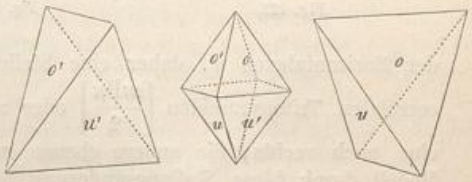


Fig. 120.

Die ditetragonalen Pyramiden mPn liefern bei der sphenoidischen Hemiëdrie die tetragonalen Skalenoëder (von σκαληνός, ungleichseitig) oder Disphenoide, d. h. von 8 ungleichseitigen Dreiecken umschlossene Formen, deren Randkanten im Zickzack auf- und ablaufen, und deren Polkanten zweierlei, nämlich 4 längere stumpfere und 4 kürzere schärfere sind (Fig. 121). Je zwei correlate Skalenoëder lassen sich durch blose Stellungsänderung zur Congruenz bringen. Das Zeichen derselben ist $\frac{m\mathrm{P}n}{2}$ oder $\varkappa\{hkl\}$ und $-\frac{m\mathrm{P}n}{2}$ oder $\varkappa\{h\bar{k}l\}$.

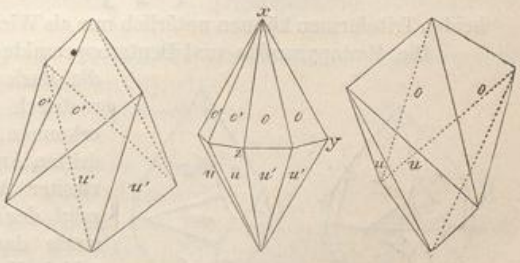


Fig. 121.

Wenn auch die Deuteropyramiden, die 3 Arten von Prismen, sowie das basische Pinakoid bei dieser sphenoidischen Hemiëdrie scheinbar unverändert bleiben, so ist doch eigentlich z. B. von jeder Deuteropyramidenfläche nur die rechte oder linke Hälfte vorhanden, von jeder Protoprismenfläche abwechselnd nur die obere oder

untere Hälfte ausgebildet — was allerdings auf die geometrische Erscheinungsweise der ganzen Form keinen Einfluss übt.

Pyramidale Hemiëdrie.

Nur die horizontale Basis 0P ist noch S.-E. Die Verticalaxe c ist eine vierzählige S.-A.; ein Centrum der Symmetrie vorhanden. Vgl. Fig. 122.

Mit Ausnahme der ditetragonalen Pyramide und des ditetragonalen Prismas stehen die Flächen sämmtlicher anderer Formen auf hier zum Verschwinden gelangten 4 verticalen S.-E.n senkrecht und nur die ersteren ergeben daher neue hemiëdrische Gestalten.

Die ditetragonale Pyramide mPn liefert dabei eine tetragonale Pyramide der dritten Art, oder eine Tritopyramide, d. h. eine solche Pyramide, welche sich durch ihre Flächenstellung sowohl von den Protopyramiden als von den Deuteropyramiden unterscheidet, insofern die Horizontalaxen a weder in den Randecken noch in den Halbirungspunkten der Randkanten (vgl. Fig. 91 und 93) endigen, sondern in irgend beliebigen Punkten der Randkanten austreten, welche durch die Parameter von mPn bestimmt werden; ihre Basis hat, bezogen auf das Kreuz der Horizontalaxen a, daher eine Stellung wie z. B. Fig. 123. Von den beiden correlaten Tritopyramiden $\left[\frac{m\mathrm{P}n}{2}\right]$ oder $\pi\{khl\}$ und $-\left[\frac{m\mathrm{P}n}{2}\right]$ oder $\pi\{hkl\}$ ist die eine nach rechts, die andere ebenso nach links gedreht. Wie ein und dasselbe Modell durch blose Stellungsänderung bald eine Protopyramide bald eine Deuteropyramide darbietet, so kann es auch durch fernerweite Drehungen um die Hauptaxe die beiden Tritopyramiden repräsentiren.

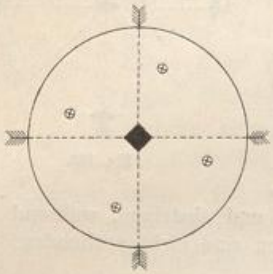


Fig. 122.

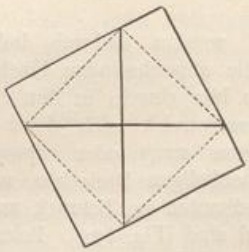


Fig. 123.

Das ditetragonale Prisma ∞Pn zerlegt sich dabei in zwei tetragonale Prismen der dritten Art oder Tritoprismen; dieselben sind Tritopyramiden mit unendlich langer Verticalaxe und für sie macht sich ebenfalls der Unterschied des rechts und links Gewendetseins geltend; $\left[\frac{\infty\mathrm{P}n}{2}\right]$ oder $\pi\{kh0\}$ und $-\left[\frac{\infty\mathrm{P}n}{2}\right]$ oder $\pi\{hk0\}$. — Die beiden Tritoformen können natürlich nur als Wirkungen der Hemiëdrie aufgefasst werden.

Die Protopyramide und Deuteropyramide, die beiden vierseitigen Prismen sowie die Basis verbleiben scheinbar holoëdrisch. Geometrisch lässt sich diese Hemiëdrie nur dann erkennen, wenn die Pyramiden und Prismen der dritten Art in Combination mit Formen erster oder zweiter Art auftreten. — Unter den Mineralien zeigt der Meionit, der wolframsaure Kalk (Scheelit) sowie das wolframsaure Blei (Stolzit) diese pyramidale Hemiëdrie. In Fig. 124 (Scheelit) ist x eine Tritopyramide $\left[\frac{3\mathrm{P}3}{2}\right]$, welche blos an einer Seite der Flächen s auftritt; letztere werden als Protopyramide (P) aufgefasst, wobei dann p die Deuteropyramide (P∞) ist. Fig. 125 zeigt beim Stolzit s als Protopyramide P, v als Tritoprisma $\left[\frac{\infty\mathrm{P}\frac{4}{3}}{2}\right]$.

Fig. 124.

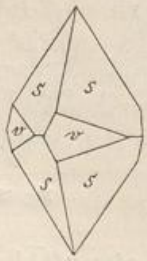


Fig. 125.

Trapezoëdrische Hemiëdrie.

Sämmtliche 5 S.-E.n sind verloren gegangen. Die Verticalaxe c ist eine vierzählige S.-A., die 2 Nebenaxen und die 2 Zwischenaxen sind 4 zweizählige S.-A.n. Ohne Centrum der Symmetrie. Vgl. Fig. 126.

Lediglich die ditetragonale Pyramide verändert äusserlich ihre Form, da die einzelnen Flächen aller übrigen Holoëder mehr als einem jener 16 Raumtheile angehören, welche durch die 5 S.-E.n gebildet werden. Sie liefert durch Wachsthum und Verschwinden ihrer abwechselnden Flächen zwei tetragonale Trapezoëder, d. h. von 8 gleichschenkeligen Trapezoiden umschlossene Formen mit 8 gleichen Polkanten,

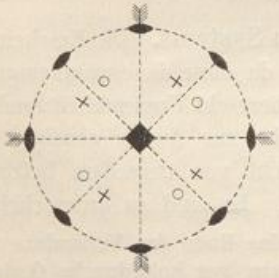


Fig. 126.

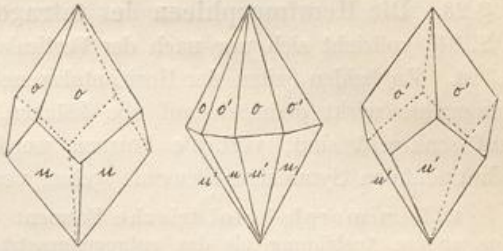


Fig. 127.

sowie 4 längeren stumpferen, und 4 kürzeren schärferen, im Zickzack auf- und ablaufenden Randkanten (Fig. 127). Dieselben sind wegen des Mangels einer S.-E. enantiomorph. Sofern $n > 2{,}4142\ldots$ (vgl. S. 65), laufen die längeren stumpferen Randkanten bei den rechten Trapezoëdern von links unten nach rechts oben (das zuerst stehende), bei den linken von rechts unten nach links oben (das zuletzt stehende). Die Symbole sind $\frac{m\mathrm{P}n}{2}r$ oder $\tau\{khl\}$ und $\frac{m\mathrm{P}n}{2}l$ oder $\tau\{hkl\}$.

Geometrisch sind daher dieser dritten Hemiëdrie angehörige Krystallformen nur durch die trapezoëdrische Ausbildung von $m\mathrm{P}n$ erkennbar. — Diese Hemiëdrie wurde bis jetzt an Mineralien noch nicht beobachtet (wenn nicht, wie *Goldschmidt* vermuthet, der Phosgenit hierher gehört); blos für einige künstliche Salze ist die Zugehörigkeit zu derselben festgestellt, allerdings nicht auf Grund des Auftretens von Trapezoëdern, sondern vermöge der Aetzfiguren und Circularpolarisation; z. B. Nickelsulfat, schwefelsaures Aethylendiamyn, kohlensaures Guanidin, Diacetylphenolphtalein, schwefelsaures Strychnin.

Im tetragonalen System ist auch eine **Tetartoëdrie** möglich, hervorgehend durch gleichzeitige Anwendung der sphenoidischen und pyramidalen Hemiëdrie und die sphenoidische Tetartoëdrie genannt.

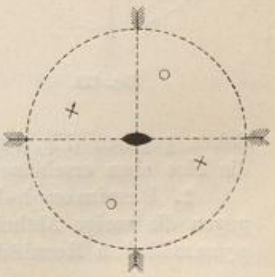


Fig. 128.

Wird die ditetragonale Pyramide $m\mathrm{P}n$ dieser Viertelflächigkeit unterworfen, so liefert sie zwei »Sphenoide der dritten Art« oder Tritosphenoide, welche sich von dem hemiëdrischen Sphenoid (Fig. 120) gestaltlich nicht, sondern nur durch ihre Stellung an dem Axenkreuz unterscheiden; bei ihnen fallen die Randkanten nicht in die Enden der Horizontalaxen a sondern der Zwischenaxen. Bei dieser Form ist c eine zweizählige Axe der einfachen S. (eine vierzählige der zusammengesetzten). Eine Ebene der einfachen S. existirt nicht (die Basis ist aber eine solche der zusammengesetzten); Centrum der S. fehlt. Vgl. Fig. 128. — Aus jedem $m\mathrm{P}n$ gehen 4 Tritosphenoide hervor: ein $+r$, $-r$, $+l$ und $-l$.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Protopyramiden mP verwandeln sich dabei in »Sphenoide der ersten Art« oder Protosphenoide, die sich von den hemiëdrischen weder durch ihre Form noch durch ihre Stellung, wohl aber durch die Bedeutung ihrer Flächen unterscheiden. — Die Deuteropyramiden mP∞ liefern abermals Sphenoide, die »der zweiten Art« oder Deuterosphenoide, welche sich durch ihre Flächenstellung von den beiden anderen auf ganz ähnliche Weise unterscheiden, wie die Deuteropyramiden von den Tritopyramiden und Protopyramiden: die Horizontalaxen a verbinden die Mittelpunkte zweier gegenüberliegender Flächen. — Die ditetragonalen Prismen ∞Pn ergeben zwei Tritoprismen; die beiden Prismen ∞P und ∞P∞ sowie die Basis 0P bleiben scheinbar unverändert.

Ein Beispiel dieser Hemiëdrie ist auch unter den künstlichen Salzen mit Sicherheit nicht bekannt; vielleicht gehört hierher der Harnstoff.

§ 28. **Die Hemimorphieen des tetragonalen Systems.** Die Erscheinung (vgl. S. 31) vollzieht sich nur nach der Verticalaxe c, da diese die einzige singuläre S.-A. ist. Zu beiden Seiten der Horizontalaxenebene herrscht Ungleichheit und die Hemimorphie wirkt demnach auf alle Flächen, welche zur Axe c geneigt, oder darauf senkrecht sind; verticale Formen werden nicht von derselben betroffen. Alle horizontalen Symmetrie-Elemente gehen verloren. Es sind zu unterscheiden:

1. Hemimorph-holoëdrische Formen: Das eine Ende der Verticalaxe zeigt eine andere Ausbildung als das entgegengesetzte, indem hier holoëdrische Gestalten auftreten, welche dort fehlen. Differenzirt werden in oben und unten: die Basis, die Protopyramiden, Deuteropyramiden und ditetragonalen Pyramiden. So z. B. kann am einen Ende blos ein mP entwickelt sein, am entgegengesetzten Ende die Basis 0P und ein anderes, spitzeres oder stumpferes mP oder ein mP∞. Auch die an beiden Enden scheinbar gleichmässig auftretenden Basisflächen sind gegeneinander differenzirt und gehören nicht mehr zusammen[1]). Unverändert dagegen müssen wie bei den Holoëdern erscheinen: die Protoprismen, Deuteroprismen und ditetragonalen Prismen.

In derartigen Formen ist natürlich die Basis keine S.-E. mehr; sie besitzen aber noch vier verticale, sich unter 45° schneidende S.-E.n. Die Verticale c ist noch eine vierzählige S.-A. von polarer Ausbildung, dagegen existiren die 4 zweizähligen horizontalen S.-A.n der Holoëder nicht mehr. Ohne Centrum der Symmetrie. Vgl. Fig. 129. — Unter den Mineralien ist kein Beispiel bekannt, die Ausbildung wird aber unter den künstlichen Salzen durch Silberfluorid, Succinjodimid, Penta-Erythrit dargeboten; diese Krystalle sind polar-pyroëlektrisch nach c. Als Beispiel ist hier ein Krystall des letzteren Salzes gegeben (Fig. 130), in welchem o die obere, o' die untere Pyramide P, c die blos oben erscheinende Basis 0P, a das Deuteroprisma P∞ ist.

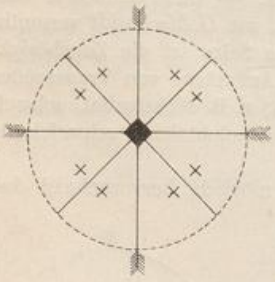


Fig. 129.

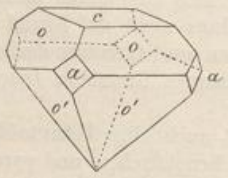


Fig. 130.

2. Hemimorph-hemiëdrische Formen (»tetartomorphe«). Der Unterschied gegen die vorige Abtheilung besteht darin, dass die Hemimorphie an Gestalten der pyramidalen Hemiëdrie auftritt, also an solchen, zu denen auch Tritopyramiden

1) Eine besondere Fläche, welche lediglich einzeln und ohne parallele Gegenfläche auftritt, oder, wenn die letztere dennoch vorkommt, mit dieser streng genommen nicht aequivalent ist, welche daher als solche eigentlich schon eine »Form« darstellt, hat man neuerdings »Pedion« genannt. Unter diesen Begriff fällt daher die Basis der hemimorph-tetragonalen Krystalle.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

und Tritoprismen gehören. Jede der beiden Tritopyramiden, welche aus der ditetragonalen Pyramide hervorgehen, zerfällt in eine obere und untere Hälfte. Die obere und untere Basis sind wieder vollständig von einander unabhängig; sind sie beide vorhanden, so zeigt wohl auch die Oberfläche abweichende Beschaffenheit. Keine S.-E. und kein Centrum der Symmetrie ist mehr vorhanden; c ist aber noch eine vierzählige polare S.-A., vgl. Fig. 131. — Im Mineralreich gehört nach mehrfachen Angaben zu dieser Hemimorphie einer Hemiëdrie der Wulfenit (molybdänsaures Blei); von den künstlichen Krystallen das rechtsweinsaure Antimonyl-Baryum. Fig. 132 zeigt eine Combination des Wulfenits mit analogen Flächen wie Fig. 125, aber hemimorph nach der Basis, weshalb die Pyramide auch in eine obere (s) und eine untere (s') Hälfte zerfällt.

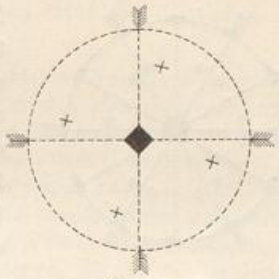


Fig. 131.

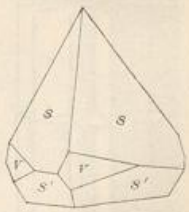


Fig. 132.

Anm. Dieselben Formen werden auch vermöge einer Hemimorphie der trapezoëdrischen Hemiëdrie erhalten.

3. Hexagonales Krystallsystem.

§ 29. **Grundcharakter.** Das hexagonale System (sechsgliederige, oder drei- und einaxige System nach *Weiss*) wird dadurch charakterisirt, dass alle seine Formen auf vier krystallographische Axen bezogen werden müssen, von welchen sich drei gleiche in einer Ebene unter 60° schneiden, während die vierte ungleiche auf ihnen rechtwinkelig ist. Die letztere Verticalaxe heisst auch hier c, jede der 3 Horizontalaxen a; zwischen den letzteren kann man sich noch 3 Zwischenaxen vorstellen. Die horizontalen Axen pflegt man so zu richten, dass eine derselben quer mit dem Beschauer verläuft (I in Fig. 133). Wie im tetragonalen System nennt man die Endpunkte der Verticalaxe c die Pole, die in sie fallenden Ecken Polecken, die von ihnen auslaufenden Kanten Polkanten. — Die Formen dieses Systems sind von einem ähnlichen wirtelförmigen Bau, wie er im tetragonalen System hervortritt. Der von *Breithaupt* herrührende Name des Systems bezieht sich auf die gewöhnlich hexagonale Figur des Mittelquerschnitts oder der Basis.

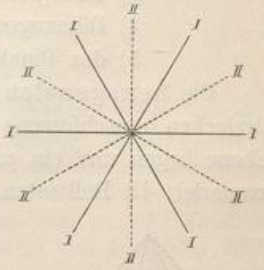


Fig. 133.

§ 30. **Beschreibung und Ableitung der holoëdrisch-hexagonalen Formen.** Wie im tetragonalen System existirt nur eine H.-S.-E., nämlich die wiederum als Basis bezeichnete Ebene durch die 3 horizontalen Axen a. Der auf letzterer senkrecht stehenden Verticalaxe c ist daher auch hier der Charakter einer (einzig vorhandenen) H.-S.-A., oder einer Hauptaxe eigen; ihr gegenüber heissen die 3 Horizontalaxen a die Nebenaxen. Die in der Zahl von 6 vorhandenen gewöhnlichen S.-E.n entsprechen den 6 verticalen Ebenen, welche jedesmal durch die Hauptaxe und eine der 3 Nebenaxen oder eine der 3 Zwischenaxen gelegt werden;

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

erstere heissen hier abermals die primären, letztere die secundären Hauptschnitte (I und II in Fig. 133). Diese 6 abwechselnd gleichen senkrechten Ebenen schneiden sich unter 30° in der Hauptaxe (Fig. 134). Durch sie und die horizontale H.-S.-E. wird der Raum um den Mittelpunkt in 24 gleiche Theile getheilt. Die Hauptaxe ist eine sechszählige, die 6 Neben- und Zwischenaxen sind zweizählige S.-A.n; vgl. die sphärische Projectionsfigur 135 für die vollflächigste Form. Wie überhaupt im hexagonalen System existiren keine vierzähligen S.-A.n.

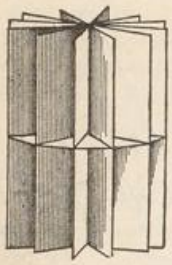


Fig. 134.

Fig. 135.

Die gegenseitigen Beziehungen der einzelnen Formen weisen eine sehr grosse Analogie mit den entsprechenden Verhältnissen des Tetragonalsystems auf und die Begrenzungselemente des letzteren kehren hier vielfach in der anderthalbfachen Anzahl wieder. Die wesentlichen Unterschiede sind nur Consequenzen davon, dass an der Stelle von zwei hier drei Nebenaxen vorhanden sind. Von holoëdrischen Formen gibt es:

A. Geschlossene Formen, von definiter Ausdehnung.
   1) Hexagonale Pyramiden, zwei Arten,
   2) Dihexagonale oder zwölfseitige Pyramiden.

B. Offene Formen, von indefiniter Ausdehnung, auch hier nur als die Grenzformen gewisser geschlossener zu betrachten.
   3) Hexagonale Prismen, zwei Arten,
   4) Dihexagonale oder zwölfseitige Prismen und
   5) das Pinakoid.

Die hexagonalen Pyramiden (Dihexaëder) sind von 12 gleichschenkeligen Dreiecken umschlossene Formen, deren Randkanten (oder Mittelkanten) in einer Ebene liegen und ein reguläres Hexagon bilden; Fig. 136, 139. Die Kanten sind zweierlei: 12 Polkanten und 6 Randkanten; die Ecken sind gleichfalls zweierlei: 2 hexagonale Polecken und 6 rhombische Randecken (oder Mittelecken). Mit Bezug auf die verschiedene Lage der Flächen am Axenkreuz sind nun innerhalb der hexagonalen Pyramiden zunächst (ähnlich wie im Tetragonalsystem) zwei wesentlich abweichende Arten auseinanderzuhalten:

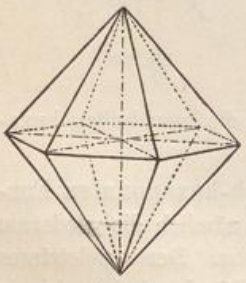


Fig. 136.

1) Pyramiden der ersten Art oder Ordnung oder Protopyramiden; bei ihnen verbinden (gerade wie bei der tetragonalen Protopyramide) die Nebenaxen a die Randecken oder die Eckpunkte der Basis, die Pyramiden weisen also vorne eine Fläche und eine quergerichtete Randkante auf (Fig. 136).

Für jeden hexagonalen Formencomplex wird nun irgend eine hexagonale Pyramide (nach den S. 61 Anm. erläuterten Rücksichten) als Grundform heraus-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

gewählt, in die Stellung einer Protopyramide gebracht, mit P bezeichnet und der Ableitung aller übrigen Formen zu Grunde gelegt, indem ihre Parameterverhältnisse als Einheit gelten. Man bestimmt sie entweder durch das (irrationale) Verhältniss ihrer Lineardimensionen $a\ (=1) : c$ (Verhältniss der halben Nebenaxe zur halben Hauptaxe), oder durch einen ihrer Kantenwinkel, wozu sich besonders die Randkante empfiehlt.

Jede Fläche der protopyramidalen Grundform schneidet die Hauptaxe c, sodann noch zwei der Nebenaxen a in unter sich gleichen Entfernungen, geht aber der dritten Nebenaxe a parallel; das Flächenzeichen ist daher $a : a : \infty a : c$. Eine solche Fläche muss in jedem der 12 Dodekanten einmal vorkommen.

Für die Ableitung der (*Miller*'schen) Indices auf dem Gebiete des hexagonalen Systems sind folgende allgemeine Bemerkungen erforderlich:

Die Bezeichnung der horizontalen Nebenaxen geschieht so, dass diejenigen Hälften, welche um 120° von einander abstehen, als positiv, die anderen als negativ genommen werden; a_2 verläuft quer, a_1 und a_3 erstrecken sich beide schräg nach vorne; es folgen also von links nach rechts auf einander: a_1, $-a_3$, a_2, $-a_1$, a_3, $-a_2$ (Fig. 137).

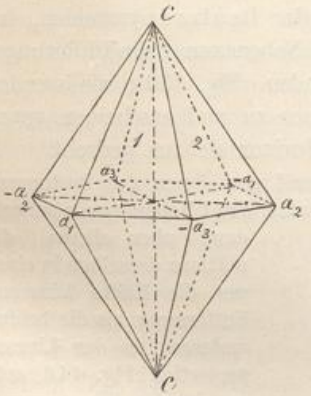


Fig. 137.

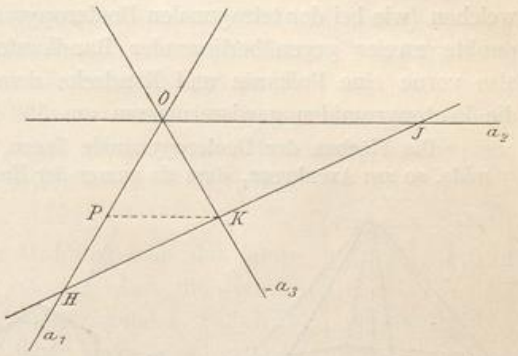


Fig. 138.

Um nun für die gleichwerthigen Flächen Indices-Symbole zu erhalten, welche aus denselben Ziffern bestehen, werden nach dem Vorschlag von *Bravais* alle drei Nebenaxen zu Hülfe genommen, so dass hier, einschliesslich dem auf die Hauptaxe c sich beziehenden Index, das Symbol einer Fläche sich zu einem vierzifferigen gestaltet. Von den drei sich auf die Nebenaxen beziehenden Indices ist aber nur die Kenntniss von zweien erforderlich, da der dritte (eigentlich überflüssige und auch von *Miller* selbst nicht aufgeführte, aber aus der oben erwähnten Rücksicht zufolge *Bravais* mitangegebene) durch die Kenntniss der beiden anderen bestimmt wird. Dies zeigt folgende Erwägung:

In Fig. 138 sei HKJ der Durchschnitt einer beliebigen Fläche mit der Nebenaxenebene. Die Abschnitte auf den 3 Axen a_1, a_2, a_3 seien der Reihe nach OH, OJ, OK; alsdann ist $OH : OJ : OK = \frac{1}{h} : \frac{1}{i} : \frac{1}{k}$; wird die Linie KP parallel mit OJ gezogen, so verhält sich $OH : PH = OJ : PK$. Da nun das Dreieck OPK gleichseitig, so ist $PK = OK = OP$, daher $PH = OH - OK$; also auch $OH : OH - OK = OJ : OK$; das ist $\frac{1}{h} : \frac{1}{h} - \frac{1}{k} = \frac{1}{i} : \frac{1}{k}$ oder $k = h + i$. Da nun die Axe a_3 negatives Vorzeichen erhält, so ist $h + i + k = 0$, oder $h + i = -k$. Demnach muss von den 3 Indices hik mindestens einer negativ sein. Sind 2 Indices gegeben, so folgt als dritter diejenige Zahl, welche mit jenen beiden die Summe 0 liefert.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bei der Grundpyramide erhält demzufolge, wenn der erste Index (h) für a_1, der zweite (i) für a_2, der dritte (k) für a_3, der vierte (l) für c gilt, die in Fig. 137 mit 1 bezeichnete Fläche das Symbol $(10\bar{1}1)$, entsprechend dem *Weiss*'schen Zeichen $a_1 : \infty a_2 : -a_3 : c$; die Fläche 2 das Symbol $(01\bar{1}1)$, entsprechend $\infty a_1 : a_2 : -a_3 : c$ u. s. w. Durch die möglichen Vertauschungen werden so 12 Flächen erhalten, von welchen liegen:

oben: $(10\bar{1}1)$, $(01\bar{1}1)$, $(\bar{1}101)$, $(\bar{1}011)$, $(0\bar{1}11)$, $(1\bar{1}01)$,
unten: $(10\bar{1}\bar{1})$, $(01\bar{1}\bar{1})$, $(\bar{1}10\bar{1})$, $(\bar{1}01\bar{1})$, $(0\bar{1}1\bar{1})$, $(1\bar{1}0\bar{1})$.

Aus der Grundpyramide **P** werden sämmtliche andere spitzere oder stumpfere Protopyramiden genau ebenso abgeleitet, wie es oben (S. 61) für die tetragonalen Protopyramiden angeführt ist. Das allgemeine Zeichen derselben wird wiederum m**P** sein, wobei m bei den spitzeren > 1, bei den stumpferen < 1.

Das allgemeine Flächenzeichen der so abgeleiteten Protopyramiden ist $a : a : \infty a : mc$; z. B. $a : a : \infty a : 4c = 4\text{P}$; $a : a : \infty a : \frac{2}{3}c = \frac{2}{3}\text{P}$. — Das Indexsymbol der hexagonalen Protopyramiden m**P** ist allgemein $\{h0\bar{h}l\}$, worin $\frac{h}{l} = m$; z. B. $\frac{1}{2}\text{P} = \{10\bar{1}2\}$; $\frac{2}{3}\text{P} = \{20\bar{2}3\}$; $4\text{P} = \{40\bar{4}1\}$; $\frac{3}{2}\text{P} = \{30\bar{3}2\}$.

2) Pyramiden der zweiten Art oder Ordnung oder Deuteropyramiden, bei welchen (wie bei der tetragonalen Deuteropyramide) die Nebenaxen a die Halbirungspunkte zweier gegenüberliegender Randkanten verbinden (Fig. 139); sie wenden also vorne eine Polkante und Randecke dem Beschauer zu und erscheinen gegen die Protopyramiden gewissermassen um 30° in der Horizontalebene gedreht.

Die Flächen der Deuteropyramide liegen, abweichend von denen der Protopyramide, so am Axenkreuz, dass sie ausser der Hauptaxe c alle drei Nebenaxen a schneiden, aber allemal die mittlere derselben in einer um die Hälfte kürzeren Entfernung als die beiden anderen; in der Linearprojection Fig. 140 entspricht das feiner ausgezogene Sechseck einer Proto-, das dicker ausgezogene einer Deuteropyramide. Diejenige Deuteropyramide, welche c und ein a in derselben Einheit schneidet wie die Grund-Protopyramide (und deshalb die Polkanten der letzteren gerade abstumpft) erhält so das Flächenzeichen $2a : a : 2a : c$ oder $a : \frac{a}{2} : a : c$, und aus dieser lassen sich alle ferneren Deuteropyramiden durch Verlängerung ihrer Hauptaxe um m oder Verkürzung derselben auf m ableiten. Das allgemeine Zeichen ist somit $2a : a : 2a : mc$. Eine Form mit solchem Flächenzeichen muss in jedem Dodekanten zweimal auftreten; da indessen jede Fläche mit einer anderen in dem Nachbardodekanten zusammenfällt, so besitzt die Deuteropyramide im Ganzen nur 12 Flächen.

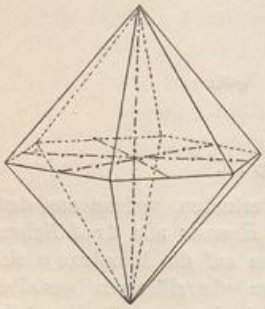


Fig. 139.

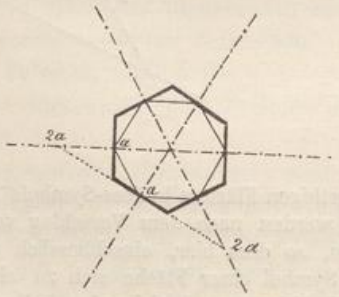


Fig. 140.

Bei der *Naumann*'schen Signatur wird abermals der Coëfficient der Hauptaxe c, sofern er nicht 1 ist, links vor **P** gesetzt, der sich auf zwei der Nebenaxen beziehende constante Coëfficient 2 rechts hinter **P** (vgl. übrigens bezüglich dieses Werthes 2 die Ableitung aus der dihexagonalen Pyramide). Das allgemeine Symbol ist demnach m**P2**, z. B. $2a : a : 2a : c = \text{P2}$; $2a : a : 2a : 3c = 3\text{P2}$.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Indices für die Deuteropyramiden $m\mathrm{P}2$ sind allgemein $\{hh\overline{2h}l\}$, worin $\frac{2h}{l} = m$. Die Reihenfolge der Nebenaxen ist, entsprechend wie bei der Protopyramide, $a_1 : a_2 : -\frac{1}{2}a_3$ oder $2 : 2 : -1$. Also ergibt $3\mathrm{P}2$ das directe Verhältniss $2 : 2 : -1 : 3$; daraus als reciproke Werthe $\frac{1}{2} : \frac{1}{2} : -\frac{1}{1} : \frac{1}{3}$ oder $\frac{6}{2} : \frac{6}{2} : -\frac{6}{1} : \frac{6}{3} = \{33\bar{6}2\}$; ferner: $\mathrm{P}2 = \{11\bar{2}2\}$; $2\mathrm{P}2 = \{11\bar{2}1\}$; $\frac{4}{3}\mathrm{P}2 = \{22\bar{4}3\}$; $\frac{2}{3}\mathrm{P}2 = \{11\bar{2}3\}$.

Die hexagonalen Prismen (Säulen) sind von 6 der Hauptaxe parallelen Flächen umschlossene Formen, deren Querschnitt ein reguläres Hexagon mit 6 Winkeln von 120° darstellt. Nach denselben Gesichtspunkten, wie sie für die tetragonalen Prismen gelten, zerfallen sie in zwei, gegen einander um 30° gewendete Arten, nämlich:

1) das hexagonale Prisma der ersten Art oder Ordnung oder das Protoprisma, so gelegen, dass die Enden der Nebenaxen a in die Halbirungspunkte der verticalen Kanten fallen (Fig. 141); dasselbe wendet daher vorne dem Beschauer eine seiner Flächen zu und seine Flächen entsprechen den primären Hauptschnitten I in Fig. 133. Dieses Protoprisma kann genau wie im tetragonalen System als die Grenzform einer Protopyramide betrachtet werden, bei welcher der Werth m für die Hauptaxe c zu ∞ geworden ist, oder als ein oben und unten offener Complex von 6 verticalen Flächen, welche die Randkanten der Protopyramide gerade abstumpfen. Das Symbol ist demnach $\infty\mathrm{P}$ oder $a : a : \infty a : \infty c$ oder $\{10\bar{1}0\}$. Die 6 Flächen erhalten der Reihe nach die Indices $(10\bar{1}0)$, $(01\bar{1}0)$, $(\bar{1}100)$, $(\bar{1}010)$, $(0\bar{1}10)$, $(1\bar{1}00)$.

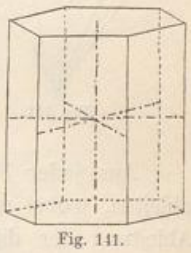


Fig. 141.

2) das Prisma zweiter Art oder Ordnung oder das Deuteroprisma, so an dem Axenkreuz gelegen, dass die Nebenaxen a in den Mittelpunkten der gegenüberliegenden Flächen endigen (Fig. 142). Dasselbe wendet daher vorne eine verticale Kante gegen den Beschauer und seine Flächen gehen den secundären Hauptschnitten II in Fig. 133 parallel. In analoger Weise ist das Deuteroprisma die Grenzform einer Deuteropyramide $m\mathrm{P}2$, in welcher $m = \infty$, daher sein Zeichen $\infty\mathrm{P}2$; die anderen Symbole sind $2a : a : 2a : \infty c$ und $\{11\bar{2}0\}$. Die Indices der 6 Flächen sind der Reihe nach $(11\bar{2}0)$, $(\bar{1}2\bar{1}0)$, $(\bar{2}110)$, $(\bar{1}\bar{1}20)$, $(1\bar{2}10)$, $(2\bar{1}\bar{1}0)$. — Die beiden Prismen sind natürlich auch hier einzig in ihrer Art und keiner Gestaltsveränderung fähig.

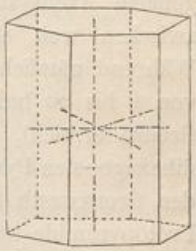


Fig. 142.

Das basische Pinakoid oder die Geradendfläche (Fig. 143) ist das der horizontalen Basis oder der Nebenaxenebene parallele Flächenpaar. Wie im Tetragonalsystem (S. 63) ist es die Grenzform einer Protopyramide $m\mathrm{P}$, in welcher $m = 0$ geworden, daher sein Symbol $0\mathrm{P}$, oder $\infty a : \infty a : \infty a : c$, oder $\{0001\}$. — Als offene Formen sind weder die Prismen noch das Pinakoid einer selbständigen Ausbildung fähig; sie können nur in Combinationen mit einander (wie in Fig. 141 und 142 der Fall) oder mit anderen Formen auftreten.

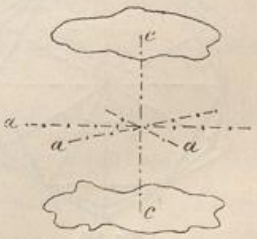


Fig. 143.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die dihexagonalen Pyramiden sind von 24 ungleichseitigen Dreiecken umschlossene Formen, Fig. 144, deren Randkanten in einer Ebene liegen und ein Dihexagon, d. h. ein gleichseitiges, aber nur abwechselnd gleichwinkeliges Zwölfeck bilden. Die Kanten sind dreierlei: 12 längere schärfere, und 12 kürzere stumpfere Polkanten, sowie 12 gleiche Randkanten; die Ecken sind gleichfalls dreierlei: 2 dihexagonale gleiche Polecken, und 6 spitzere, sowie 6 stumpfere rhombische Randecken. Die beiden Arten von Polkanten lassen sich am zweckmässigsten nach ihrer Lage in den beiderlei Hauptschnitten als primäre und secundäre Polkanten unterscheiden, welcher Unterscheidung ihre Bezeichnung durch die beiden Buchstaben X und Y entspricht. Dihexagonale Pyramiden sind bisher nie selbständig, sondern immer nur in Combinationen beobachtet worden.

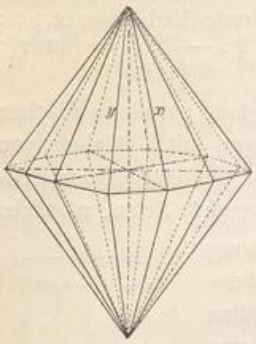


Fig. 144.

Aus jeder Protopyramide $m\mathrm{P}$ lassen sich viele dihexagonale Pyramiden ableiten, wobei man genau dasselbe Verfahren beobachtet, wie es in § 25 für die Ableitung der ditetragonalen Pyramiden angegeben worden ist. Das allgemeine Zeichen solcher Pyramiden, welche in jedem der 24 Raumtheile zwischen den 7 S.-E.n mit einer Fläche auftreten müssen, wird daher wiederum $= m\mathrm{P}n$. Nur tritt hier, vermöge des eigenthümlichen geometrischen Grundcharakters des hexagonalen Axensystems der Umstand ein, dass die Werthe der Ableitungszahl n zwischen weit engeren Grenzen eingeschlossen sind, als im Tetragonalsystem. Während nämlich in diesem letzteren System n alle möglichen rationalen Werthe von 1 bis ∞ haben konnte, so wird im hexagonalen schon mit dem Werth 2 die Grenze erreicht, über welche hinaus n gar nicht wachsen kann. In einer jeden dihexagonalen Pyramide liegen daher die Werthe von n stets zwischen 1 und 2; für den Grenzwerth 1 verwandelt sich dieselbe, wie aus dem Symbol erhellt, in eine Protopyramide $m\mathrm{P}$, für den Grenzwerth $n = 2$ in eine Deuteropyramide $m\mathrm{P2}$.

Dihexagonale Pyramiden mit gleichen Polkanten sind nicht möglich, weil in deren Zeichen $m\mathrm{P}n$ der Coëfficient n den irrationalen Werth $\frac{1}{2}\left(1 + \sqrt{3}\right) = \sqrt{2} \cdot \sin 75^\circ = 1{,}36603\ldots$ besitzen würde. Diejenigen dihexagonalen Pyramiden, bei welchen n (> 1) kleiner ist als dieser Werth (z. B. $\frac{5}{4}$), weisen die schärferen Polkanten an den Nebenaxen, die stumpferen Polkanten an den Zwischenaxen auf; bei denjenigen, bei welchen n zwischen jener Zahl und 2 liegt (z. B. $\frac{3}{2}$), stossen die schärferen Polkanten auf die Zwischenaxen, die stumpferen auf die Nebenaxen. Wird $n = 1$, so werden die nach den Zwischenaxen herablaufenden Polkanten $y = 180^\circ$ und es resultirt die Protopyramide. Bei dem Grenzfall $n = 2$ bilden die Basiskanten der Pyramide mit den Nebenaxen rechte Winkel, es werden die nach den Nebenaxen herablaufenden Polkanten $x = 180^\circ$ und es entsteht die Deuteropyramide. — Fig. 145 zeigt in der Linearprojection die Lage der dihexagonalen Pyramide zwischen der Proto- und der Deuteropyramide an den Neben- und Zwischenaxen.

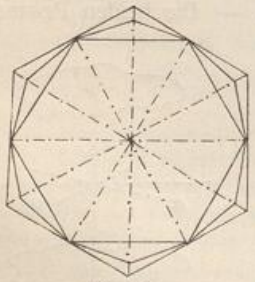


Fig. 145.

Die Flächen der dihexagonalen Pyramide schneiden ebenfalls ausser der Hauptaxe c die drei Nebenaxen a, aber letztere sämmtlich in verschiedenen Abständen vom

Axen-Kreuzpunkt, wobei alsdann der Parameter der mittleren Axe jederzeit den kleinsten Werth hat. Setzt man diesen kleinsten Parameter $= a$, den grössten $= sa$, so waltet das eigenthümliche Verhältniss ob, dass alsdann der dritte den Werth $\frac{s}{s-1}a$ haben muss. Ist z. B. der grösste Parameter $3a$, so besitzt dieser dritte den Werth $\frac{3}{2}a$ (vgl. die Projection Fig. 146); ist der erstere $4a$, dann der letztere $\frac{4}{3}a$. Dies ergibt sich

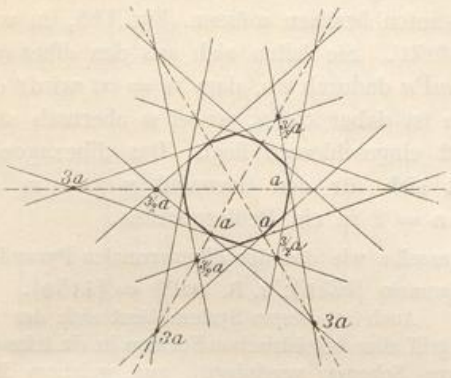


Fig. 146.

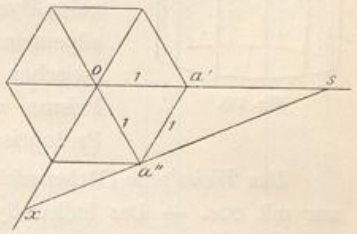


Fig. 147.

aus folgender Betrachtung: In Fig. 147 ist $\triangle oxs \sim \triangle a'a''s$, daher $ox : os = a'a'' : a's$. Nun seien oa' und oa'' (als kleinster Parameter) $= 1$, dann ist $a'a''$ ebenfalls $= 1$; ferner sei os (der grösste Parameter) $=$ der Länge s, und ox (der gesuchte mittlere Parameter) $=$ der Länge x. Alsdann ist die Länge $a's = os - oa' = s - 1$. Also hat man $x : s = 1 : s - 1$, demnach $x = \frac{s}{s-1}$.

Das allgemeine Zeichen dihexagonaler Pyramiden ist demnach $sa : a : \frac{s}{s-1}a : c$ (z. B. $6a : a : \frac{6}{5}a$). In ihm muss s einen grösseren Werth haben als 2, während der Werth von $\frac{s}{s-1}$ jederzeit zwischen 1 und 2 liegt. Wenn in dem Zeichen der dihexagonalen Pyramide $s = 2$ wird, so wird auch der Parameter der dritten Nebenaxe $= 2$ und es resultirt $2a : a : 2a : c$ oder $a : \frac{a}{2} : a : c$, d. h. die Formel der Deuteropyramide. Sofern $s = 1$ ist, wird der Werth des dritten $a = \infty$ und die dihexagonale Pyramide zur Protopyramide. In dem *Naumann*'schen Zeichen mPn entspricht der Coëfficient n dem Werth $\frac{s}{s-1}a$ in der *Weiss*'schen Formel, z. B. $P\frac{6}{5} = 6a : a : \frac{6}{5}a : c$. Bei dem Werth 2 für n (wie er in der Deuteropyramide vorliegt) deckt sich dies letztere mit dem *Weiss*'schen sa.

Die dihexagonalen Pyramiden haben das allgemeine Indices-Symbol $\{hi\bar{k}l\}$, worin $\frac{k}{l} = m$ und $\frac{k}{h} = n$; z. B. $P\frac{3}{2} = \{21\bar{3}3\}$; $3P\frac{3}{2} = \{21\bar{3}1\}$; $8P\frac{4}{3} = \{62\bar{8}1\}$. Für die Gewinnung desselben aus den *Weiss*'schen Zeichen bemerke man, dass die Reihenfolge in dem letzteren lautet: $\frac{s}{s-1}a : sa : -a : mc$. So würde z. B. $6P\frac{3}{2}$ ergeben: $\frac{3}{2} : 3 : -1 : 6$, oder $3 : 6 : -2 : 12$; dies liefert als reciproke Werthe $\frac{1}{3} : \frac{1}{6} : -\frac{1}{2} : \frac{1}{12}$ oder alles mit 12 multiplicirt $\{42\bar{6}1\}$. Als Beispiel der Umänderung der *Miller*'schen Symbole in die *Naumann*'schen diene: Gegeben sei $\{71\bar{8}4\}$; die directen

Parameterzeichen anstatt dieser reciproken Werthe sind $\frac{1}{7} : \frac{1}{1} : -\frac{1}{8} : \frac{1}{4}$ oder $\frac{8}{7} : 8 : \bar{1} : 2$, worin $\frac{8}{7} = \frac{s}{s-1}$ oder n, $(8 = s)$, $2 = m$, mithin ist $\{7\bar{1}84\} = 2P\frac{8}{7}$.

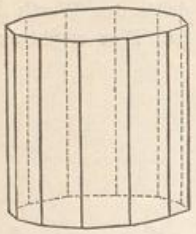


Fig. 148.

Die dihexagonalen Prismen sind von 12 der Hauptaxe parallelen Flächen umschlossene Formen, deren Querschnitt ein Dihexagon ist und welche zweierlei abwechselnde Randkanten besitzen müssen (Fig. 148, in welcher auch 0P auftritt). Sie leiten sich aus den dihexagonalen Pyramiden mPn dadurch ab, dass $m = \infty$ wird; das allgemeine Zeichen ist daher ∞Pn, wobei n abermals stets zwischen 1 und 2 eingeschlossen liegt. Das dihexagonale Prisma verändert sich für den Grenzfall $n = 1$ in ein Protoprisma, für $n = 2$ in ein Deuteroprisma.

Das *Weiss*'sche Flächenzeichen ist dasselbe wie das der dihexagonalen Pyramide, nur mit ∞c. — Das Indices-Symbol allgemein $\{hik0\}$; z. B. $\infty P\frac{5}{4} = \{41\bar{5}0\}$.

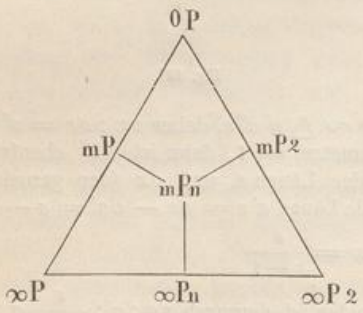


Fig. 149.

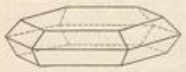
Auch in diesem System lässt sich der Inbegriff aller holoëdrischen Formen in ein triangulläres Schema vereinigen, aus welchem ihre gegenseitigen Uebergänge und Verwandtschaften mit einem Blick zu ersehen sind. In der Mitte des Schemas stehen die dihexagonalen Pyramiden; die linke Seite begreift sämmtliche Protopyramiden, die rechte Seite sämmtliche Deuteropyramiden, während an der Basis des Dreiecks wieder sämmtliche Prismen neben einander stehen. — Wie im tetragonalen System die ditetragonale, so stellt hier die dihexagonale Pyramide den allgemeinsten Repräsentanten aller holoëdrischen Formen vor, welche gewissermassen nur Specialfälle derselben sind, indem sie als quasi-dihexagonale Pyramiden gelten können, bei denen n bald 1, bald 2, und m bald 1, bald ∞, bald 0 ist.

Die Entwickelung der auf Grund der Symmetrieverhältnisse nothwendig existirenden holoëdrischen Formen ergibt sich genau analog, wie es für das tetragonale System S. 66 ausgeführt wurde.

§ 31. **Einige holoëdrische Combinationen des Hexagonalsystems.** Es gibt verhältnissmässig nur äusserst wenige hexagonale Mineralien, welche vollkommen holoëdrisch krystallisiren; denn selbst der Quarz und der Apatit sind eigentlich, jener als eine tetartoëdrische, dieser als eine hemiëdrische Substanz zu betrachten, obgleich ihre gewöhnlichen Combinationen von holoëdrischen nicht unterschieden werden können. In den holoëdrischen Combinationen pflegen die beiden hexagonalen Prismen ∞P und ∞P2, und das Pinakoid 0P als vorherrschende, sowie die beiden hexagonalen Pyramiden P und 2P2 als untergeordnete Formen am häufigsten ausgebildet zu sein. Sehr gewöhnlich ist die, in Fig. 141 abgebildete Combination des Protoprismas ∞P mit dem Pinakoid 0P; dabei sind nicht selten die Seitenkanten des Prismas abgestumpft, was durch die Flächen des Deuteroprismas ∞P2 geschieht, und ein gleichwinkelig zwölfseitiges Prisma liefert, welches jedoch immer dieser Combination ∞P.∞P2 entspricht, weil es als einfache Form ganz unmöglich ist. Auch die Combination 0P.∞P, oder die sechsseitige Tafel

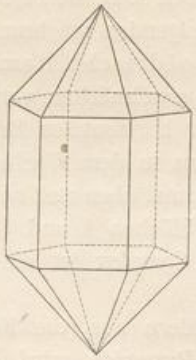
mit gerad angesetzten Randflächen, ist ziemlich häufig, sowie die tafelartige Combination 0P.P gleichfalls bisweilen vorkommt.

Das Protoprisma ∞P wird zuweilen an beiden Enden durch die Flächen der Grundpyramide P begrenzt, welche auch in der Combination ∞P.0P nicht selten erscheinen und eine Abstumpfung der Combinationskanten bilden; Fig. 152 und 151. Dann kommt es wohl zuweilen vor, dass auch die Combinationsecken von

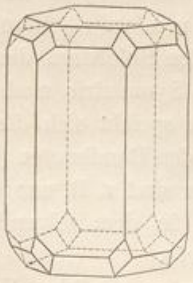


0P.P
Fig. 150.

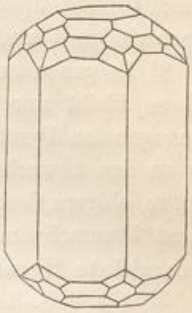
∞P.0P.P
Fig. 151.



∞P.P
Fig. 152.



∞P.0P.P.2P2
Fig. 153.



∞P.0P.P.2P.2P2.3P$\frac{3}{2}$
Fig. 154.

P und ∞P durch kleine rhombische Flächen abgestumpft werden, welche der Pyramide 2P2 angehören; Fig. 153. Ueberhaupt hat man auch hier, wie im tetragonalen System, des Umstandes zu gedenken, dass bei Combinationen von Prismen und Pyramiden derselben Art oder Ordnung die Flächen der einen Form unter denen der anderen liegen, dagegen bei Combinationen von Prismen und Pyramiden verschiedener Art die Flächen der einen unter den Kanten der anderen und umgekehrt auftreten. Fig. 154 zeigt eine dihexagonale Pyramide beim Beryll.

Alle dihexagonalen Pyramiden mit dem Zeichen $m\text{P}\frac{m}{m-1}$ liegen mit parallelen Kanten zwischen ∞P und 2P2.

§ 32. **Die Hemiëdrieen des hexagonalen Systems.** Sucht man auch hier, ganz analog wie im tetragonalen System (§ 27) die verschiedenen Möglichkeiten der Hemiëdrie sowohl auf Grund der Symmetrieverhältnisse, wie an der Hand der allgemeinsten Gestalt, der dihexagonalen Pyramide auf, so ergeben sich zunächst ebenfalls dreierlei, ganz entsprechende Arten der Hälftflächigkeit.

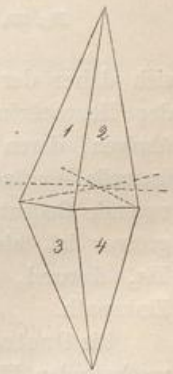


Fig. 155.

Bei der dihexagonalen Pyramide denke man sich die 4, über und unter den einzelnen Sextanten der Basis gelegenen Flächen wiederum zu einem Complex oder Glied vereinigt (Fig. 155); wenn zuvörderst während der Hemiëdrie kein Glied als solches ganz ausfallen soll, so hat ein jedes entweder zwei einzelne Flächen oder ein Flächenpaar zu der hemiëdrischen Form zu liefern. Die drei Möglichkeiten der Hemiëdrie gestalten sich alsdann wie folgt (vgl. die Anm. S. 90):

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

1) Aus den holoëdrischen Formen tritt die H.-S.-E. aus und damit ist auch als weitere Folge der Verlust von 3 der verticalen S.-E.n verknüpft, nämlich der primären Hauptschnitte, welche durch die Nebenaxen a gehen (I in Fig. 96). — Bei der dihexagonalen Pyramide handelt es sich alsdann darum, dass in ihren aufeinanderfolgenden Gliedern abwechselnd die oberen und die unteren Flächenpaare (oder die in den abwechselnden Dodekanten gelegenen Flächen) ausgebildet sind; d. h. in dem Complex Fig. 155 verbleiben z. B. die Flächen 1 und 2, wogegen 3 und 4 nicht ausgebildet sind, in dem folgenden wachsen umgekehrt 3 und 4, verschwinden 1 und 2 u. s. w. — Rhomboëdrische Hemiëdrie.

2) Es gehen aus den Holoëdern die 6 gewöhnlichen verticalen S.-E.n verloren und so bleibt nur die Symmetrie nach der horizontalen Basis erhalten. Bei der dihexagonalen Pyramide spricht sich dies aus in dem Wachsen oder Verschwinden der an den abwechselnden Randkanten jedesmal oben und unten gelegenen Flächen, d. h. in obigem Complex sind z. B. nur die Flächen 1 und 3 ausgebildet, während 2 und 4 verschwinden, in dem folgenden Complex ist die Auswahl ebenso. — Pyramidale Hemiëdrie.

3) Alle 7 S.-E.n treten aus den Holoëdern aus, die Formen besitzen daher keine derselben mehr. Die dihexagonale Pyramide wird hälftflächig nach den abwechselnden einzelnen Flächen, d. h. die Flächen 1 und 4 wachsen, wogegen 2 und 3 verschwinden, oder umgekehrt. — Trapezoëdrische Hemiëdrie.

Rhomboëdrische Hemiëdrie. Die Formen besitzen nach dem Vorstehenden nur noch 3, einander unter 60° schneidende verticale S.-E.n, nämlich die durch die Zwischenaxen gehenden secundären Hauptschnitte (II in Fig. 96). Die Horizontalaxen a sind zweizählige Axen der einfachen Symmetrie; die Verticalaxe c ist eine dreizählige Axe der einfachen Symmetrie (zugleich auch eine sechszählige der zusammengesetzten, vgl. S. 16). Centrum der Symmetrie vorhanden. Fig. 156.

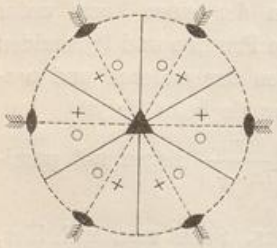


Fig. 156.

Mit Ausnahme der Protopyramide und der dihexagonalen Pyramiden stehen die Flächen sämmtlicher anderer Formen auf den verschwundenen S.-E.n senkrecht, sei es auf der horizontalen, oder auf den 3 verticalen. Nur für die beiden erstgenannten Formen wird sich daher der Umstand, dass die Dodekanten blos abwechselnd gleich sind, in der Hervorbringung einer besonderen neuen Gestalt geltend machen; alle übrigen, deren Flächennormalen in verschwundene S.-E.n fallen, erleiden keine formelle Veränderung. — Die rhomboëdrische Hemiëdrie besitzt eine hervorragende Bedeutung, da die Zahl der ihr folgenden hexagonalen Mineralien viel grösser ist, als die der holoëdrisch ausgebildeten. — Arsen, Antimon, Wismut, Eis, Korund, Eisenglanz, Kalkspath, Magnesitspath, Eisenspath, Manganspath, Zinkspath.

Die Protopyramiden werden dadurch hälftflächig, dass an ihnen nur die abwechselnden Flächen ausgebildet sind (Fig. 157), indem diese hier einzeln in den einzelnen Dodekanten liegen. Sie verwandeln sich dabei in Rhomboëder, von sechs gleichen Rhomben umschlossene Formen, deren Randkanten nicht in einer

Ebene liegen, sondern im Zickzack auf- und absteigen (Fig. 158 bis 160). Die Kanten sind zweierlei: 6 Polkanten X, und 6 Randkanten Z, welche beide gleich lang, aber ihrem Winkelmaass nach verschieden sind, indem sie sich gegenseitig zu 180° ergänzen; die Ecken sind gleichfalls zweierlei: 2 trigonale gleichkantige Polecken, und 6 unregelmässig dreikantige Randecken. Die Horizontalaxen verbinden die Mittelpunkte je zweier gegenüberliegender Randkanten; man nennt diese, so an dem Axenkreuz gelegenen Rhomboëder diejenigen der ersten Art, zum Unterschied von den (sehr seltenen) Rhomboëdern der zweiten und dritten Art, welche beide überhaupt keine hemiëdrischen Formen sind, sondern als

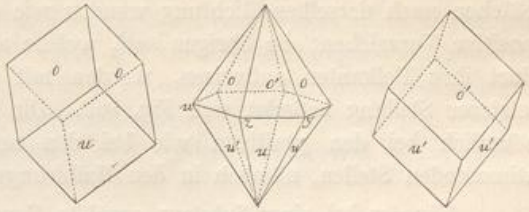


Fig. 157.

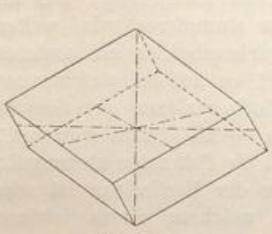


Fig. 158.

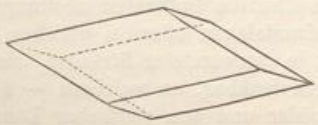


Fig. 159.

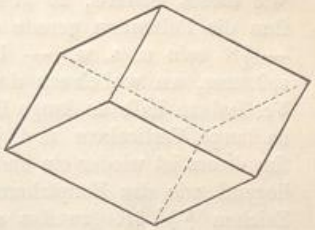


Fig. 160.

tetartoëdrische betrachtet werden müssen. — Uebrigens unterscheidet man alle Rhomboëder als stumpfe oder spitze Rhomboëder, je nachdem ihre Polkanten grösser oder kleiner als 90° sind[1]).

Der Mittelquerschnitt des Rhomboëders durch die Horizontalaxen ist ein regelmässiges Hexagon; die zwei Querschnitte, von welchen der eine durch die drei oberen Randecken, der andere durch die drei unteren Randecken gelegt wird, zertheilen die Verticalaxe in drei gleiche Theile.

Da nun mP das allgemeine Zeichen der Protopyramiden ist, so würde eigentlich $\frac{m\mathrm{P}}{2}$ das Zeichen der Rhomboëder sein müssen. Indessen ist es aus mehreren Gründen weit zweckmässiger, den Rhomboëdern ein besonderes Zeichen zu geben, und das aus P abgeleitete Rhomboëder mit R, das aus mP abgeleitete Rhomboëder mit mR zu bezeichnen, wobei natürlich immer zwei (geometrisch identische) complementäre Gegenkörper, ein (+)mR und ein −mR zu unterscheiden sind, welche sich in einer gegenseitig um 60° verwendeten Stellung befinden. Dabei geht man von einem ausgewählten Rhomboëder (vielfach dem durch die Spalt-

1) Da der Würfel, auf eine Ecke gestellt, stereometrisch als ein Rhomboëder von 90° Polkantenwinkel betrachtet werden kann und da bei diesem das Verhältniss der Entfernung zweier gegenüberliegender Ecken zu einer Quadratdiagonale $= \sqrt{3} : \sqrt{2}$, so muss die Verticalaxe, gemessen mit der Horizontalaxe, bei allen stumpfen Rhomboëdern kleiner als $\sqrt{\frac{3}{2}}$, bei allen spitzen grösser als $\sqrt{\frac{3}{2}}$ sein.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

barkeit gegebenen) aus, welches dann das Grund- oder Hauptrhomboëder R heisst und die Aufstellung zu erhalten pflegt, dass oben eine Fläche dem Beschauer zugewendet ist (wie in Fig. 158, 159). Alle anderen Rhomboëder mR, welche ihre Flächen nach derselben Richtung wenden wie dieses, erhalten auch dasselbe, also positive Vorzeichen; die übrigen mR, welche als sog. Gegenrhomboëder aber eben dort ihre Polkanten aufweisen, werden mit negativem Vorzeichen versehen; in letzterer Stellung befindet sich Fig. 160. Die Horizontalaxen a endigen selbstverständlich bei den positiven wie bei den negativen Rhomboëdern an übereinstimmenden Stellen, nämlich in den Halbirungspunkten der Randkanten.

Für das bei einer Substanz erwählte Hauptrhomboëder R gibt es ein anderes, welches dessen Polkanten gerade abstumpft; es besitzt bei gleicher Länge der Verticalaxe die zwiefache Horizontalaxenlänge, oder bei gleich langen Horizontalaxen nur eine halb so lange Verticalaxe; da es sich auch in verwendeter Stellung befindet, so erhält es das Zeichen $-\frac{1}{2}$R (erstes stumpferes). Für dieses gibt es ein ferneres Rhomboëder, welches an ihm die Polkanten abstumpft; seine Hauptaxe besitzt nur den vierten Theil der Länge derjenigen von R, und da es seine Flächen wieder liegen hat, wie dieses letztere, so gewinnt es das Zeichen $(+)\frac{1}{4}$R (zweites stumpferes). Das an ihm die Polkanten gerade abstumpfende Rhomboëder (drittes stumpferes) wird weiter $-\frac{1}{8}$R sein u. s. w. — Umgekehrt existirt für das Hauptrhomboëder ein anderes spitzeres, an welchem dasselbe die Polkanten abstumpft; es hat bei gleichlanger Verticalaxe halb so lange Horizontalaxen oder bei gleichen Horizontalaxen eine doppelt so lange Verticalaxe und ist in verwendeter Stellung, also -2R (erstes spitzeres); für dieses ist wieder ein anderes denkbar, an welchem -2R die Polkanten abstumpft; liegend wie das Hauptrhomboëder und von vierfacher Länge der Verticalaxe ist sein Zeichen $(+)$ 4R (zweites spitzeres); das Rhomboëder, an welchem dieses letztere die gleiche Abstumpfung vollzieht (drittes spitzeres), wird $-$ 8R sein u. s. w.

Ist die Neigung eines Rhomboëders zur Basis $= \gamma$ bekannt, so ergibt sich die Länge seiner Verticalaxe nach der Formel c (resp. mc) $= \tan\gamma \,.\, \cos 30^{\circ}$.

Das *Weiss*'sche Flächenzeichen für das Rhomboëder ist dasselbe wie für die Protopyramide, dividirt durch 2; ist keine Verwechslung zu besorgen, so wird diese Division auch wohl weggelassen.

Das *Miller-Bravais*'sche Symbol für $m\mathrm{R} = \rho\{h0\bar{h}l\}$, für $-m\mathrm{R} = \rho\{0h\bar{h}l\}$; z. B. $\mathrm{R} = \rho\{10\bar{1}1\}$, oben mit den Flächen $(10\bar{1}1)$, $(\bar{1}101)$, $(0\bar{1}11)$, unten mit $(01\bar{1}\bar{1})$, $(\bar{1}01\bar{1})$, $(1\bar{1}0\bar{1})$; $-\mathrm{R} = \rho\{01\bar{1}1\}$; $\frac{1}{2}\mathrm{R} = \rho\{10\bar{1}2\}$; $-\frac{1}{2}\mathrm{R} = \rho\{01\bar{1}2\}$; $2\mathrm{R} = \{20\bar{2}1\}$; $-2\mathrm{R} = \rho\{02\bar{2}1\}$; $-\frac{5}{2}\mathrm{R} = \rho\{05\bar{5}2\}$. Auch wird wohl anstatt des ρ ein $\varkappa$ geschrieben oder, sofern eine Verwechslung mit Protopyramiden ausgeschlossen ist, dieses Zeichen der Hemiëdrie überhaupt weggelassen. — An jedem beliebigen Rhomboëder $\rho\{h0\bar{h}l\}$ stumpft das Rhomboëder $\rho\{0h\bar{h}2l\}$ die Polkanten gerade ab, wie z. B. $\rho\{01\bar{1}2\}$ oder $-\frac{1}{2}$R an $\rho\{10\bar{1}1\}$ oder R; $\rho\{10\bar{1}4\}$ oder $\frac{1}{4}$R an $\rho\{01\bar{1}2\}$ oder $-\frac{1}{2}$R.

Wendet man diese rhomboëdrische Hemiëdrie auf die hexagonalen Deuteropyramiden an, so erleiden dieselben dadurch gar keine Gestaltsveränderung, indem ihre Fläche gleichzeitig zwei Dodekanten deckt; daher bleiben auch ihre Zeichen unverändert. Sie sind in manchen Formencomplexen (z. B. des Kalkspaths) eine seltene, in anderen aber (z. B. des Korunds und Eisenglanzes) eine sehr gewöhnliche Erscheinung, und können daher aus dem Bereich der rhomboëdrischen Formen eben so wenig ausgeschlossen werden, als z. B. das Rhombendodekaëder oder der Würfel aus dem Bereich der tetraëdrisch-hemiëdrischen regulären Formen (§ 20). Auch das Protoprisma und das Pinakoid bleiben bei dieser Hemiëdrie

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

gestaltlich unverändert; der Uebereinstimmung wegen werden dieselben aber, weil sie verticale und horizontale Grenzformen der Rhomboëder (und nicht der Protopyramiden) sind, (nicht als ∞P und 0P sondern) als ∞R und 0R bezeichnet. Auch ergibt sich, dass die 6 verticalen Flächen des Prismas ∞R nicht sämmtlich gleichmässig dem oberen und unteren Ende der Verticalaxe *c* angehören, sondern vielmehr abwechselnd als obere und als untere Flächen zu unterscheiden sind. — Ferner stimmt auch das rhomboëdrisch-hemiëdrische Deuteroprisma sowie das dihexagonale Prisma formell mit dem holoëdrischen überein.

Die dihexagonalen Pyramiden verwandeln sich bei dieser Hemiëdrie in die hexagonalen Skalenoëder (Fig. 161). Dies sind von 12 ungleichseitigen Dreiecken umschlossene Formen, deren Randkanten, gerade so wie jene der Rhomboëder, nicht in einer Ebene liegen, sondern im Zickzack auf- und absteigen; ihre Flächen gruppiren sich in 6 Flächenpaare (Fig. 162 und 163). Die Kanten sind dreierlei: 6 kürzere schärfere Polkanten, 6 längere stumpfere Polkanten, und 6 Randkanten; stets liegt eine obere schärfere Polkante über einer unteren stumpferen und umgekehrt. Die Ecken sind zweierlei: 2 sechsflächige (ditrigonale) Polecken, und 6 unregelmässig vierflächige Randecken. Die Horizontalaxen verbinden die Halbirungspunkte je zweier gegenüberliegender Randkanten. Der zickzackförmige Verlauf der Randkanten, sowie der abwechselnde Werth der Polkanten unterscheidet das Skalenoëder sofort von der hexagonalen Pyramide. Man spricht im Allgemeinen, jedoch ohne scharfe Grenze, von stumpfen und spitzen Skalenoëdern. Eine jede dihexagonale Pyramide liefert natürlich zwei, in verschiedener Stellung befindliche Skalenoëder (Fig. 161); das Skalenoëder erhält ein positives Vorzeichen, wenn seine stumpferen Polkanten über den Flächen eines als positiv angenommenen Rhomboëders liegen, ein negatives, wenn seine schärferen Polkanten diese Lage besitzen[1]).

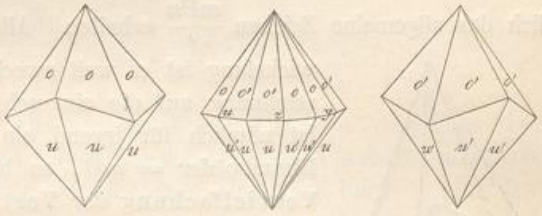


Fig. 161.

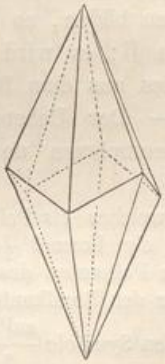


Fig. 162.

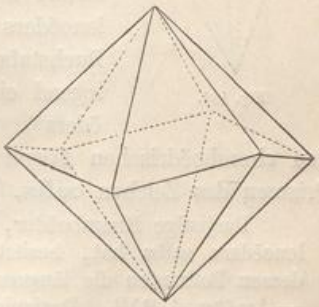


Fig. 163.

1) Wenn man zur Repräsentanz der Flächen einer dihexagonalen Pyramide die Ziffern 1 bis inclus. 12 in 2 horizontale Reihen übereinander schreibt, so würden dann für ein positives Skalenoëder von den 24 nur übrig bleiben die 12 Flächen:

oben 1 2 . . 5 6 . . 9 10 . .
unten . . 3 4 . . 7 8 . . 11 12 .

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Eine ebenso auffällige als bedeutsame Eigenschaft eines jeden Skalenoëders ist es, dass seine Randkanten allemal genau dieselbe Lage haben, wie die Randkanten irgend eines Rhomboëders, welches man daher das eingeschriebene Rhomboëder, oder auch das Rhomboëder der Randkanten nennt (Fig. 164).

Auch die stumpferen und schärferen Polkanten eines Skalenoëders haben dieselbe Lage, wie die stumpferen und schärferen Polkanten zweier verschiedener Rhomboëder; das Rhomboëder der stumpferen und das der schärferen Polkanten sind stets in verwendeter Stellung, das letztere ist aber immer in derselben Stellung, wie das der Randkanten.

Als Hälftflächner der dihexagonalen Pyramiden würden die Skalenoëder eigentlich das allgemeine Zeichen $\frac{m\mathrm{P}n}{2}$ erhalten. Allein für die krystallographische Entwickelung ist es weit zweckmässiger, ihre Ableitung und Bezeichnung auf die eingeschriebenen Rhomboëder zu gründen. Ist nämlich für irgend ein Skalenoëder das eingeschriebene Rhomboëder $= m\mathrm{R}$, so bedarf es nur einer angemessenen Vervielfachung der Verticalaxe dieses Rhomboëders nach einer bestimmten Zahl $n\,(>1)$, um die Pole des Skalenoëders zu erhalten (Fig. 164). Legt man dann in jede Randkante des Rhomboëders zwei Flächen, von welchen die eine den oberen, die andere den unteren Endpunkt seiner vergrösserten Verticalaxe schneidet, so ist offenbar das gegebene Skalenoëder construirt worden. Um nun demgemäss das Zeichen des Skalenoëders zu bilden, so schreibt man die Zahl n hinter den Buchstaben R; es wird daher $m\mathrm{R}n$ das allgemeine Zeichen irgend eines aus dem Rhomboëder $m\mathrm{R}$ abgeleiteten Skalenoëders[1]). — Der Uebereinstimmung wegen erhalten die, in den rhomboëdrischen Formencomplexen unverändert auftretenden dihexagonalen Prismen das Zeichen $\infty\mathrm{R}n$.

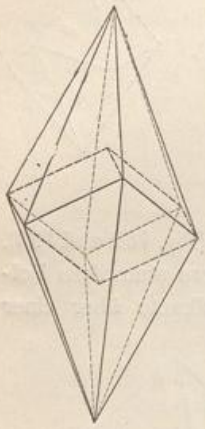


Fig. 164.

Dasjenige Rhomboëder, welches als Polkanten die kürzeren Polkanten des Skalenoëders $m\mathrm{R}n$ hat, besitzt die Formel $\frac{1}{2}m(3n-1)\mathrm{R}$. Dasjenige Rhomboëder, dessen Polkanten die längeren Polkanten des Skalenoëders $m\mathrm{R}n$ sind, hat die Formel $-\frac{1}{2}m(3n+1)\mathrm{R}$. Dasjenige der Randkanten ist natürlich $m\mathrm{R}$.

Die beiden skalenoëdrischen Symbole $\frac{m\mathrm{P}n}{2}$ und $m\mathrm{R}n$ stehen in dem gegenseitigen Verhältniss, dass das letztere, auf die Ableitungszahlen des ersteren bezogen, den Ausdruck $\frac{m(2-n)}{n}\,\mathrm{R}\,\frac{n}{2-n}$ erhalten würde. Die dihexagonale Pyramide $4\mathrm{P}\frac{4}{3}$ liefert so z. B. das Skalenoëder $2\mathrm{R}2$. — Umgekehrt würde das erstere Symbol $\frac{m\mathrm{P}n}{2}$, bezogen auf die Werthe m und n in $m\mathrm{R}n$, die Form $\frac{mn\mathrm{P}\frac{2n}{n+1}}{2}$ gewinnen; $2\mathrm{R}2 = \frac{4\mathrm{P}\frac{4}{3}}{2}$.

---

1) Das *Naumann*'sche Zeichen $m\mathrm{R}n$, in welchem m und n natürlich ganz andere Bedeutung besitzen als in der holoëdrischen dihexagonalen Pyramide $m\mathrm{P}n$, ist eben so einfach als repräsentativ, und enthält alle zur Berechnung des Skalenoëders erforderlichen Elemente, sobald auch der Werth der Verticalaxe gegeben ist; nur muss man eingedenk sein, dass sich die Ableitungszahl n, obschon sie hinter dem Zeichen der Grundform steht, hier nicht auf die Horizontalaxen, sondern auf die Verticalaxe des eingeschriebenen Rhomboëders $m\mathrm{R}$ bezieht; dies ist um so eher erlaubt, als bei dieser Ableitung die Horizontalaxen gänzlich ausser dem Spiele bleiben.

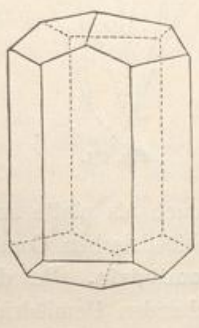
UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

In der *Miller-Bravais*'schen Bezeichnung ist das Symbol für das Skalenoëder $+ m\mathrm{R}n = p\{hi\bar{k}l\}$, das für $- m\mathrm{R}n = p\{ih\bar{k}l\}$, worin $h > i$; z. B. $\mathrm{R}5 = p\{32\bar{5}1\}$; $\mathrm{R}17 = p\{9.8.\bar{1}\bar{7}.1\}$; $\mathrm{R}2 = p\{31\bar{4}2\}$; $\frac{1}{2}\mathrm{R}\frac{1}{3} = p\{7.4.\bar{1}\bar{1}.6\}$; $\frac{1}{4}\mathrm{R}3 = p\{21\bar{3}4\}$; $-2\mathrm{R}3 = p\{24\bar{6}1\}$; $-2\mathrm{R}\frac{4}{3} = p\{17\bar{8}3\}$; $-\frac{1}{2}\mathrm{R}3 = p\{12\bar{3}2\}$.

Bei der Umwandlung der Skalenoëderformel $m\mathrm{R}n$ in $p\{hi\bar{k}l\}$ ist: $h = n + 1$; $i = n - 1$; $\bar{k} = -2n$; $l = \frac{2}{m}$; also $m\mathrm{R}n = p\left\{n + 1,\ n - 1,\ -2n,\ \frac{2}{m}\right\}$; z. B. $\mathrm{R}3 = p\{42\bar{6}2\} = p\{21\bar{3}1\}$, daher $-\mathrm{R}3 = p\{12\bar{3}1\}$; $\frac{1}{2}\mathrm{R}\bar{5} = p\{6.4.\bar{1}\bar{0}.4\} = p\{32\bar{5}2\}$.

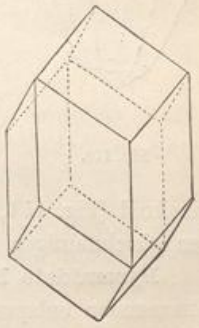
Bei der Umwandlung der Skalenoëderformel $p\{hi\bar{k}l\}$ in $m\mathrm{R}n$ ist $m = \frac{h-i}{l}$ und $n = \frac{h+i}{h-i}$; also $p\{31\bar{4}2\} = \frac{3-1}{2}\,\mathrm{R}\,\frac{3+1}{3-1} = \mathrm{R}2$; $p\{71\bar{8}3\} = \frac{7-1}{3}\,\mathrm{R}\,\frac{7+1}{7-1} = 2\mathrm{R}\frac{4}{3}$.

Einige Combinationen der rhomboëdrischen Formen. Dieselben finden sich in grösster Manchfaltigkeit, und namentlich der Kalkspath übertrifft alle anderen Mineralien durch die Menge seiner verschiedenen einfachen Formen und Combinationen. Hier können freilich nur einige der gewöhnlichsten Fälle erwähnt werden. Sehr häufig findet man das Protoprisma $\infty\mathrm{R}$ in Combination mit einem Rhomboëder $m\mathrm{R}$ (z. B. am Kalkspath mit $-\frac{1}{2}\mathrm{R}$, oder auch mit $-2\mathrm{R}$), dessen Flächen das Prisma an beiden Enden mit einer dreiflächigen Zuspitzung so begrenzen, dass die Zuspitzungsflächen auf die abwechselnden Seitenflächen aufgesetzt und pentagonal begrenzt erscheinen; Fig. 165; die Randecken des Rhomboëders werden durch $\infty\mathrm{R}$ abgestumpft. — Ganz anders verhält sich jedes Rhomboëder $m\mathrm{R}$ zu dem Deuteroprisma $\infty\mathrm{P}2$, welches seine Flächen zwar wiederum mit einer dreiflächigen Zuspitzung begrenzen, jedoch so, dass sie auf die abwechselnden Randkanten aufgesetzt und als Rhomben ausgebildet sind; Fig. 166.



$\infty\mathrm{R}.-\frac{1}{2}\mathrm{R}$

Fig. 165.



$\infty\mathrm{P}2.\mathrm{R}$

Fig. 166.

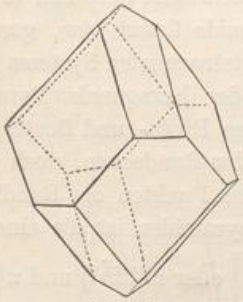


Fig. 167.

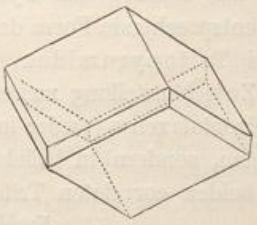


Fig. 168.

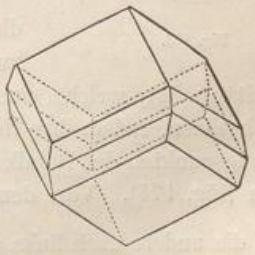


Fig. 169.

An jedem Rhomboëder $m\mathrm{R}$ werden die Polkanten durch das in verwendeter Stellung befindliche Rhomboëder von halber Axenlänge, also durch $-\frac{1}{2}m\mathrm{R}$, die

Randkanten aber durch das Prisma $\infty P2$ abgestumpft, sowie durch irgend ein aus ihm selbst abgeleitetes Skalenoëder mRn zugeschärft; Fig. 167, 168, 169. — An jedem Skalenoëder mRn werden die längeren Polkanten durch das Rhomboëder $\frac{1}{4}m(3n+1)R$ und ebenso die kürzeren Polkanten durch das Rhomboëder $-\frac{1}{4}m(3n-1)R$ abgestumpft; Fig. 171. An R3 stumpft z. B. $\frac{5}{2}R$ die längeren, $-2R$ die kürzeren Polkanten ab. Eine sechsflächige Zuspitzung der Polecken findet gewöhnlich entweder mit horizontalen, oder auch mit solchen Combinationskanten statt, welche den Randkanten parallel sind; in beiden Fällen ist es ein flacheres Skalenoëder $m'Rn'$, welches die Zuspitzung bildet, und zwar wird im ersteren Falle $n' = n$, im zweiten Falle $m' = m$ (Fig. 170 und 172).

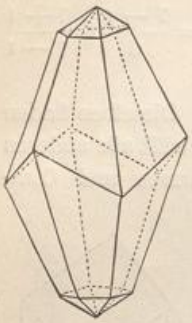


Fig. 170.

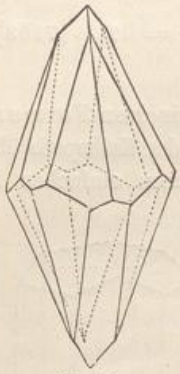


Fig. 171.

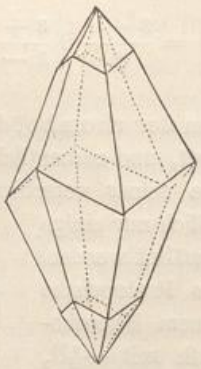


Fig. 172.

Zu den allergewöhnlichsten gehören endlich noch in vielen rhomboëdrischen Complexen die Combinationen $\infty R.0R$ oder auch $0R.\infty R$, d. h. das Protoprisma mit dem Pinakoid (Fig. 141, auch als platte sechsseitige Tafel ausgebildet), welche sich von den gleichnamigen holoëdrischen Combinationen durch nichts unterscheiden.

Pyramidale Hemiëdrie. Bei dieser, ganz der im tetragonalen System vorkommenden entsprechenden Hemiëdrie ist blos die horizontale Basis $0P$ noch S.-E. Die Verticalaxe c ist eine sechszählige S.-A., ein Centrum der Symmetrie vorhanden. Fig. 173. Alle holoëdrischen hexagonalen Formen haben ihre Flächen auf den verschwundenen 6 verticalen S.-E.n senkrecht stehen, mit Ausnahme der dihexagonalen Pyramide und des dihexagonalen Prismas, und so werden auch nur diese beiden letzteren neue hemiëdrische Gestalten ergeben.

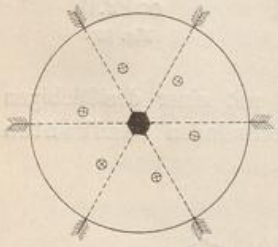


Fig. 173.

Die dihexagonale Pyramide liefert hier, ganz wie die entsprechende Form des tetragonalen Systems (S. 70), zwei Tritopyramiden, oder hexagonale Pyramiden der dritten Art, welche eine Zwischenstellung zwischen Proto- und Deuteropyramiden besitzen, indem ihre Horizontalaxen a (weder in den Randecken, noch in den Halbirungspunkten der Randkanten, sondern) in beliebigen Punkten der Randkanten endigen (Fig. 174). Von den beiden correlaten Tritopyramiden ist die eine nach rechts, die andere nach links gedreht; $+$ und $-\left[\frac{mPn}{2}\right]$ oder $\pi\{ki\bar{i}l\}$ und $\pi\{h\bar{i}\bar{k}l\}$. — Auch die zwölfseitigen Prismen erscheinen nur mit den abwechselnden Flächen, als hexagonale Prismen dritter Art oder Tritoprismen. Dagegen erleiden die hexagonalen Pyramiden erster und zweiter Art, wenn sie dieser Hemiëdrie unter-

worfen werden, gar keine Gestaltsveränderung, so dass sie holoëdrisch ausgebildet erscheinen, und an ihnen allein diese Hemiëdrie gar nicht erkannt werden kann[1]).

Nur durch ihre Orientirung am Axenkreuz sind die Tritoformen von den entsprechenden erster und zweiter Art unterschieden; so können sie auch nur als solche formell erkannt werden, wenn sie mit den letzteren in Combination treten. — Die Formenreihe des Apatits und der ihm verwandten isomorphen Mineralien Pyromorphit, Mimetesit, Vanadinit ist dieser Hemiëdrie unterworfen. Fig. 175 stellt einen Krystall von Apatit dar, welcher ausser dem Protoprisma a (∞P), der Basis c $(0P)$, der Protopyramide o (P) und der Deuteropyramide x $(2P2)$ noch die Tritopyramide v $(3P\frac{3}{2})$ zeigt.

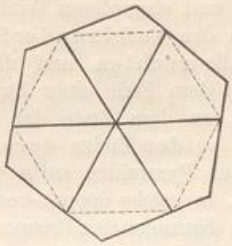


Fig. 174.

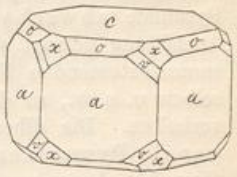


Fig. 175.

Trapezoëdrische Hemiëdrie. In ihr sind sämmtliche 7 S.-E.n verloren gegangen. Die Verticalaxe c ist eine sechszählige S.-A., die 3 Horizontalaxen a sowie die 3 Zwischenaxen sind 6 zweizählige S.-A.n. Kein Centrum der Symmetrie. Fig. 176.

Nur die dihexagonale Pyramide liefert hier und zwar durch Wachsthum und Verschwinden ihrer abwechselnden Flächen neue Gestalten, zwei hexagonale Trapezoëder, d. h. von 12 gleichschenkeligen Trapezoiden umschlossene Formen, mit 12 gleichen Polkanten und 6 längeren stumpferen, sowie 6 kürzeren schärferen, im Zickzack auf- und ablaufenden Randkanten (Fig. 177). Wegen des Mangels einer S.-E. sind sie enantiomorph. Für den Fall, dass $n > 1{,}366\ldots$ (vgl. S. 78), laufen die längeren stumpferen Randkanten bei den rechten Trapezoëdern von links unten nach

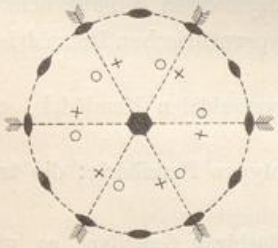


Fig. 176.

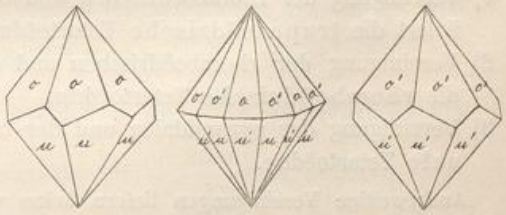


Fig. 177.

rechts oben (erste Fig.), bei den linken von rechts unten nach links oben (letzte Fig.). Die Symbole sind $\frac{mPn}{2}r$ oder $\tau\{ki\bar{h}l\}$ und $\frac{mPn}{2}l$ oder $\tau\{h\bar{i}kl\}$. Die dieser dritten Hemiëdrie angehörigen Krystallformen sind daher geometrisch blos erkennbar, wenn ein Trapezoëder ausgebildet ist. Ein ihr folgendes Mineral ist nicht bekannt; unter den künstlichen Krystallen gehören auf Grund der Aetzfiguren hierher die des rechtsweinsauren Antimonyl-Baryums + salpetersauren Kaliums, welche allerdings scheinbar holoëdrisch ausgebildet sind.

1) *Baumhauer* beobachtete, dass die auf den scheinbar holoëdrischen Formen des Apatits durch Corrodirung vermittels Salzsäure hervorgebrachten Aetzeindrücke wegen ihrer Unsymmetrie deutlich für den pyramidal-hemiëdrischen Charakter sprechen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Anmerkung. Im hexagonalen System wäre noch eine vierte Modalität der Hemiëdrie denkbar, welche von *Naumann* die trigonotype Hemiëdrie genannt wurde (von Anderen die ditrigonale Hemiëdrie), weil sie die Ausbildung von trigonalen Pyramiden, trigonalen Prismen und überhaupt von solchen Formen bedingt, deren Querschnitte gleichseitige Dreiecke (Trigone) und Ditrigone (gleichseitige Sechsecke mit abwechselnd schärferen und stumpferen Winkeln) sind. Ihr Gesetz würde wesentlich darin bestehen, dass in den aufeinanderfolgenden Gliedern der dihexagonalen Pyramide abwechselnd die rechten und die linken Flächenpaare allein zur Ausbildung gelangt sind: an dem Ende einer Zwischenaxe wachsen die vier dort zusammenstossenden Flächen, an dem Ende der darauf folgenden verschwinden dieselben u. s. w., so dass die beiden Enden derselben Horizontalaxe sich verschieden verhalten. Die dihexagonalen Pyramiden mPn verwandeln sich dadurch in ditrigonale Pyramiden, d. h. in solche doppelt-sechsseitige, deren Basis eine ditrigonale Figur ist; ebenso werden die dihexagonalen Prismen ∞Pn zu ditrigonalen Prismen.

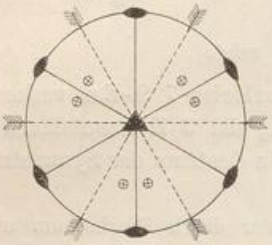


Fig. 178.

Die Protopyramiden erscheinen nur mit ihren an den abwechselnden Randkanten gelegenen Flächenpaaren, folglich als trigonale Pyramiden (vgl. Fig. 181) mit einem gleichseitigen Dreieck als Querschnitt; übereinstimmend tritt das Protoprisma nur mit seinen abwechselnden Flächen als trigonales Prisma auf. Deuteropyramiden $mP2$ und Deuteroprisma $\infty P2$ bleiben scheinbar unverändert. — Bei dieser Hemiëdrie verschwinden aus den holoëdrischen Formen die 3 durch die Nebenaxen a gehenden senkrechten S.-E.n, es bleiben also noch erhalten die Basis als H.-S.-E., sowie die 3 senkrechten S.-E.n durch die Zwischenaxen; die Formen besitzen ferner 1 verticale dreizählige und 3 horizontale zweizählige (polar ausgebildete) S.-A.n; ein Centrum der Symmetrie. Fig. 178. — Bis jetzt ist von dieser Hemiëdrie kein Beispiel bekannt[1]).

§ 33. **Die Tetartoëdrieen im hexagonalen System.** Das gleichzeitige Auftreten zweier Hemiëdrie-Modalitäten würde im Allgemeinen 3 Fälle liefern:

1) Vereinigung der rhomboëdrischen und der trapezoëdrischen Hemiëdrie; sie liefert die trapezoëdrische Tetartoëdrie;
2) Vereinigung der rhomboëdrischen und der pyramidalen Hemiëdrie; ergibt die rhomboëdrische Tetartoëdrie;
3) Vereinigung der pyramidalen und der trigonotypen Hemiëdrie: die trigonale Tetartoëdrie.

Anderweitige Vereinigungen liefern keine viertelflächigen Gestalten; so würden z. B. bei derjenigen der trapezoëdrischen mit der pyramidalen Hemiëdrie aus der allgemeinsten Gestalt, der dihexagonalen Pyramide, Formen hervorgehen, welche die übrigbleibenden 6 Flächen nur oberhalb oder unterhalb der Basis aufweisen, und deshalb ist diese Tetartoëdrie als solche nicht möglich; sie würde eine Hemimorphie in der Richtung der Verticalaxe bedingen.

Trapezoëdrische Tetartoëdrie. Bei ihr gehen die 3, in der rhomboëdrischen Hemiëdrie noch bestehenden S.-E.n verloren, es ist also überhaupt keine dergleichen mehr vorhanden. Die Formen besitzen aber noch c als eine dreizählige S.-A., ausserdem 3 horizontale zweizählige S.-A.n von polarer Ausbildung (worin

1) Für das tetragonale System ist eine Analogie dieser Modalität der Hemiëdrie ausgeschlossen, weil dadurch ein dem rhombischen System entsprechender Charakter entstände.

ein Unterschied z. B. gegen die ebenfalls einer S.-E. entbehrende trapezoëdrische Hemiëdrie gelegen ist). Ohne Centrum der Symmetrie. Fig. 179.

Diese Tetartoëdrie spricht sich an der dihexagonalen Pyramide darin aus, dass das Skalenoëder, der Hälftflächner derselben gemäss der rhomboëdrischen Hemiëdrie, seinerseits selbst nur mit den an den abwechselnden Randkanten oben und unten gelegenen Flächen ausgebildet ist. Dadurch entsteht ein trigonales Trapezoëder (Fig. 180), welches demzufolge eine nur mit dem vierten Theil ihrer Flächen ausgebildete dihexagonale Pyramide ist[1]). Die 6 Flächen dieser Form sind gleichschenkelige Trapezoide, ihre im Zickzack auf- und absteigenden Randkanten zerfallen

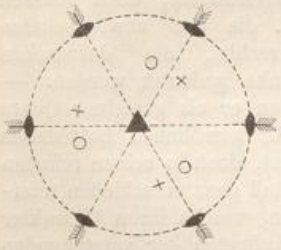
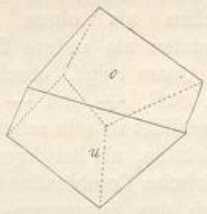


Fig. 179.



a

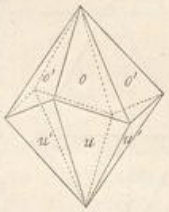
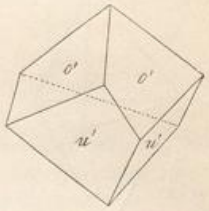


Fig. 180.



b

in 3 längere stumpfe und 3 kürzere scharfe, die 3 oberen und 3 unteren Polkanten sind gleich; der Mittelquerschnitt ist ein Ditrigon. Aus demselben Skalenoëder leiten sich nun zwei solcher Trapezoëder ab, welche enantiomorph sind, d. h. sie können durch keinerlei Drehung zur Congruenz gebracht werden, verhalten sich gegenseitig wie ein paar rechts und links gebildete Körper und zeigen Circularpolarisation. Fig. 180a ist ein linkes, Fig. 180b ein rechtes Trapezoëder.

Da die dihexagonale Pyramide ein positives und ein negatives Skalenoëder, jedes derselben ein rechtes und ein linkes Trapezoëder liefert, so entstehen aus der ersteren folgende 4 Viertelgestalten, von denen die erste und zweite, sowie die dritte und vierte enantiomorph, dagegen die erste und dritte, sowie die zweite und vierte congruent sind; die Vereinigung einer rechten und linken Form würde ein Skalenoëder, diejenige zweier rechter oder zweier linker Formen ein hexagonales Trapezoëder erzeugen.

$$\text{Rechtes positives Trapezoëder} = + \frac{m\mathrm{P}n}{4} r = \rho\tau\{k\bar{i}hl\}$$

$$\text{Linkes positives Trapezoëder} = + \frac{m\mathrm{P}n}{4} l = \rho\tau\{h\bar{i}kl\}$$

$$\text{Rechtes negatives Trapezoëder} = - \frac{m\mathrm{P}n}{4} r = \rho\tau\{h\bar{k}il\}$$

$$\text{Linkes negatives Trapezoëder} = - \frac{m\mathrm{P}n}{4} l = \rho\tau\{k\bar{h}il\}.$$

Wenn diese trapezoëdrische Tetartoëdrie auf die anderen holoëdrisch-hexagonalen Formen Anwendung findet, so liefert:

die Protopyramide wiederum ein positives und ein negatives Rhomboëder erster Ordnung, welches in seiner Gestalt und Stellung vollkommen mit dem hemiëdrischen mR übereinstimmt; das Rhomboëder kann nämlich seinerseits gestaltlich nicht weiter hemiëdrisch verändert werden, weil seine Flächen auf den verschwindenden S.-E.n senkrecht stehen;

---

1) Für ein solches Trapezoëder würden aus der dihexagonalen Pyramide nach dem Schema unten auf S. 85 z. B. übrig bleiben die Flächen:

oben . 2 . . . 6 . . . 10 . .
unten . . 3 . . . 7 . . . 11 .

die Deuteropyramide (dadurch, dass sie nur mit den an den abwechselnden Randkanten gelegenen Flächen auftritt) eine (rechte und linke) trigonale Pyramide, deren sechs Flächen gleichschenkelige Dreiecke sind und deren drei gleiche Randkanten in einer Ebene liegen; oben und unten erscheinen 3 gleiche Polkanten; Fig. 181;

das dihexagonale Prisma, indem es nur mit seinen abwechselnden Flächenpaaren ausgebildet ist, ein ditrigonales Prisma (mit drei schärferen und drei stumpferen verticalen Kanten);

das Deuteroprisma durch alleinige Ausbildung seiner abwechselnden drei Flächen ein trigonales Prisma.

Das Protoprisma und die Basis bleiben scheinbar unverändert, doch müssen an dem ersteren z. B. die drei abwechselnden Flächen als obere rechte, die dazwischen liegenden als untere linke gedeutet werden. — Der Quarz zeigt, obschon er als gemeiner Quarz (mit ∞P, $+$ und $-R$) gewöhnlich holoëdrisch ausgebildet zu sein scheint, doch in seinen reinsten Varietäten, als Bergkrystall ganz entschieden tetartoëdrische Combinationen, welche ihren Charakter durch das Zusammen-Auftreten der vorstehenden Formen kund geben, wie dies *C. F. Naumann* schon im Jahre 1830 gezeigt hat. Ein anderes hierher gehöriges Mineral ist der Zinnober.

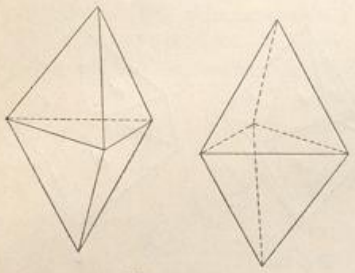


Fig. 181.

Rhomboëdrische Tetartoëdrie. Hier geht die in der pyramidalen Hemiëdrie allein noch vorhandene horizontale S.-E. verloren und daher müssen die 3 pyramidalen Gestalten zu Rhomboëdern werden. Die Formen haben so keine S.-E. mehr, auch nur noch die Verticalaxe c als einzige dreizählige Axe der einfachen Symmetrie, welche ebenfalls als sechszählige der zusammengesetzten aufgefasst werden kann. Ein Centrum der Symmetrie ist noch vorhanden. Fig. 182.

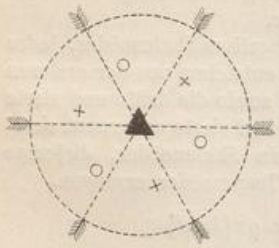


Fig. 182.

Wird zunächst die Protopyramide betrachtet, so verwandelt sie sich bei dieser Tetartoëdrie in scheinbar dasselbe Rhomboëder erster Art, welches auch durch die Hemiëdrie erzeugt wird; die Flächen sind allerdings nur als die rechten oder linken Flächenhälften eines Rhomboëders zu deuten. — Erstreckt sich diese Art der Tetartoëdrie auf die Deuteropyramide $mP2$, so liefert sie ein Rhomboëder zweiter Art, welches eine um 30° gewendete Stellung gegen das Rhomboëder der ersten Art (sowie ebenfalls gegen dessen Gegenrhomboëder) besitzt und nicht als die Wirkung einer Hemiëdrie aufgefasst werden kann. Bei ihm endigen die Horizontalaxen a symmetrisch in den Flächen, an denjenigen Orten, an denen in den Rhomboëdern der ersten Art die Zwischenaxen austreten. — Bei der dihexagonalen Pyramide mPn erfolgt diese Viertelflächigkeit dadurch, dass entweder das Skalenoëder oder die Tritopyramide nur mit ihren einzelnen abwechselnden Flächen ausgebildet ist. Auf beiden Wegen entstehen (nicht enantiomorphe) Rhomboëder der dritten Art (Tritorhomboëder), welche in ihrer Stellung zwischen den gewöhnlichen der ersten und denen der zweiten Art liegen[1]); bei ihnen endigen die Horizontalaxen a seitlich und unsymmetrisch in

1) Für ein solches Rhomboëder dritter Art würden aus der dihexagonalen Pyramide nach dem Schema unten auf S. 85 z. B. übrig bleiben die 6 Flächen:

oben . 2 . . . 6 . . . 10 . .
unten . . . 4 . . . 8 . . . 12

beliebigen Punkten der Flächen. Diese Tritorhomboëder können ebenso nur Wirkungen einer Tetartoëdrie sein, wie die Tritopyramiden solche einer Hemiëdrie. Die gegenseitige Stellung der 3 verschiedenen Rhomboëder ergibt sich aus der Projection Fig. 183, in der das stark ausgezogene Dreieck ein Rhomboëder erster Art, das schwach ausgezogene ein solches zweiter Art, das punktirte eines dritter Art darstellt. — Protoprisma und Deuteroprisma bleiben scheinbar unverändert. Die dihexagonalen Prismen liefern ein Tritoprisma, welches aber hier nicht als eine Tritopyramide mit $m = \infty$, sondern als ein unendlich spitzes Rhomboëder der dritten Art zu betrachten ist. — Beispiele aus dem Mineralreich: Dioptas, Phenakit, Dolomit, Titaneisen. Das Vorkommen zweier Rhomboëder verschiedener Ordnung genügt zur Erkennung dieses tetartoëdrischen Charakters der Krystallform. — In dem Krystall von Dioptas (Fig. 184) ist r ein Rhomboëder erster Art (und zwar $-2R$, weil seine Polkanten durch das hier nicht auftretende Spaltungsrhomboëder R gerade abgestumpft werden), m das Deuteroprisma $\infty P2$; die abwechselnden Kanten zwischen r und m werden durch ein Rhomboëder s der dritten Art von Zwischenstellung, den Hälftflächner des Skalenoëders $-2R\frac{9}{8}$, abgestumpft.

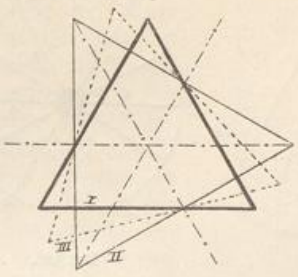


Fig. 183.

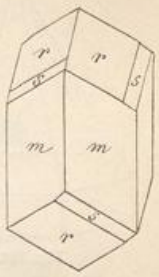


Fig. 184.

Anmerkung. Verlieren die Formen der trigonotypen Hemiëdrie die noch durch die Zwischenaxen gehenden 3 senkrechten S.-E.n und damit auch die 3 horizontalen S.-A.n, so bleibt nur noch eine horizontale S.-E. (welche keine H.-S.-E. ist) und eine dreizählige verticale S.-A.; Fig. 185. Es entstehen bei dieser trigonalen Tetartoëdrie sowohl aus der Protopyramide 2, als aus der Deuteropyramide 2, als aus der dihexagonalen Pyramide 4 trigonale Pyramiden und diese dreierlei Formen unterscheiden sich durch eine dreifach abweichende Stellung am Axenkreuz[1]). Aehnlich liefern das Protoprisma und das Deuteroprisma je 2, das dihexagonale Prisma 4 trigonale Prismen; auch diese dreierlei trigonalen Prismen sind von verschiedener Stellung. Die Basis bleibt unverändert. — In der Krystallwelt ist bis jetzt kein Beispiel bekannt.

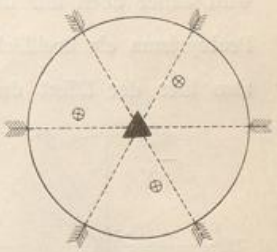


Fig. 185.

§ 34. **Die Hemimorphieen im hexagonalen System.** Wie im tetragonalen System herrscht zu beiden Seiten der Horizontalaxenebene oben und unten Ungleichheit und diese muss zunächst an allen Flächen zur Geltung kommen, die zur Verticalaxe c geneigt oder senkrecht sind. Alle horizontalen Symmetrie-Elemente gehen dabei verloren.

Tritt die Hemimorphie an den holoëdrischen Formen auf, so bewirkt die Differenzirung in einen oberen und einen unteren Pol der Verticalaxe c, dass die drei Pyramiden, die Proto-, Deutero- und dihexagonale Pyramide eigentlich nur mit ihrer oberen oder unteren Hälfte ausgebildet sind, weshalb denn auch an den beiden Enden von c ganz abweichende pyramidale Gestalten vorkommen können. Die holoëdrische

1) Eine aus der dihexagonalen so hervorgehende trigonale Pyramide würde z. B. nur noch folgende 6 Flächen der ersteren zeigen:

oben 1 . . . 5 . . . 9 . . .
unten 1 . . . 5 . . . 9 . . .

Basis zerfällt dabei in 2 horizontale Flächen (Pedien nach S. 72), welche unabhängig von einander sind und auch einzeln aufzutreten vermögen. Die drei verticalen Prismen werden natürlich in ihrer Erscheinungsweise durch diese Differenzirung nicht betroffen (Fig. 186). — Die Gestalten besitzen nur noch die 6 verticalen S.-E.n der Holoëder durch die Neben- und Zwischenaxen, sowie c als sechszählige S.-A. von polarer Ausbildung (nicht mehr als Hauptaxe). Ohne Centrum der Symmetrie. Fig. 187. — Als einziges Beispiel dient das Jodsilber, an dessen natürlichen Krystallen z. B. ausser ∞P oben P, 2P, 4P, 0P, unten blos 2P und 0P beobachtet wurden, während die künstlichen Krystalle z. B. ausser ∞P2 am einen Ende 4P und 0P, am anderen $\frac{4}{5}$P und $\frac{9}{10}$P2 zeigten.

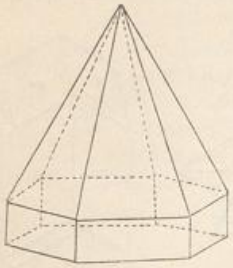


Fig. 186.

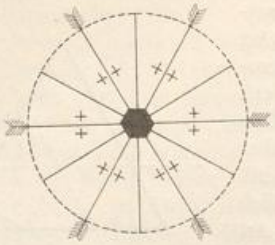


Fig. 187.

Werden die Formen der rhomboëdrischen Hemiëdrie von dieser Hemimorphie erfasst, so treten an den beiden Enden von c Rhomboëder, Skalenoëder oder hexagonale Deuteropyramiden in verschiedener Anzahl oder von verschiedener Bedeutung oder einseitig auf, auch die beiden Basisflächen sind unabhängig von einander. Da das Protoprisma in der rhomboëdrischen Hemiëdrie als ∞R und nicht als ∞P aufzufassen ist, so gehören auch seine Flächen, trotz ihrer verticalen Stellung, eigentlich abwechselnd dem oberen und dem unteren Pol von c an und sind als 3 obere und 3 untere Flächen zu unterscheiden. Unter dem Walten der Hemimorphie wird daher auch nur die eine oder die andere Hälfte der Flächen auftreten und das Protoprisma als dreiflächiges trigonales Prisma $\frac{\infty R}{2}$ ausgebildet sein; letzteres ist also hier der Effect der Hemimorphie, nicht einer Hemiëdrie. Analog zerfallen die dihexagonalen Prismen in 2 ditrigonale Prismen. Das Deuteroprisma ∞P2 dagegen kann hinsichtlich seiner Flächenzahl durch diese Hemimorphie keine Veränderung erleiden, da dasselbe als Grenzform der Deuteropyramiden mP2 sechs aequivalente Flächen besitzt, die den Gegensatz von oberen und unteren nicht aufweisen. — Die Formen besitzen nur noch verticale Symmetrie-Elemente; c ist eine dreizählige S.-A. von polarer Ausbildung, durch sie und die Zwischenaxen gehen drei gewöhnliche S.-E.n. Kein Centrum der Symmetrie. Fig. 188. — Beispiele aus dem Mineralreich bieten: Turmalin (vgl. Fig. 12), Rothgültigerz, wahrscheinlich auch Wurtzit, Greenockit, Rothzinkerz.

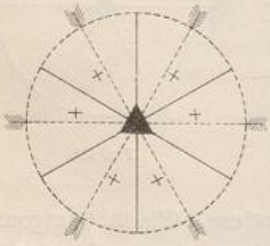


Fig. 188.

Anm. Es ist auch gestattet, vorstehende Hemimorphie als diejenige der trigonotypen Hemiëdrie zu betrachten, in welcher die horizontalen Symmetrie-Elemente verloren gegangen sind. Die dann entstehenden Gestalten decken sich generell mit den soeben erwähnten: es erscheinen hier wie dort das trigonale und hexagonale Prisma, ditrigonale Prismen, hexagonale Pyramiden, während in ihrer blos hemimorphen Ausbildung die trigonalen Pyramiden eben nicht von Rhomboëdern, und die ditrigonalen Pyramiden eben nicht von Skalenoëdern zu unterscheiden sind[1]).

1) Wenn die in der Natur verbreiteten Vorkommnisse hier als Hemimorphieen der rhomboëdrischen und nicht der trigonotypen Hemiëdrie betrachtet werden, so geschieht dies, weil die erstere ebenfalls weithin verkörpert, die letztere überhaupt nur theoretisch bekannt ist.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ferner kann sich die Hemimorphie an den Formen der pyramidalen Hemiëdrie geltend machen. Alsdann verliert die Horizontalaxenebene ihren Charakter als einzige S.-E. und es bleibt deshalb als alleiniges Symmetrie-Element nur c als sechszählige polar ausgebildete S.-A. Kein Centrum der Symmetrie vorhanden. Die Formen sind enantiomorph. Fig. 189. Zufolge der Differenzirung in oben und unten zerfallen die Tritopyramiden, sowie die Proto- und Deuteropyramiden, ferner die Basis in obere und untere Formen; die Tritoprismen, das Proto- und Deuteroprisma treten dagegen mit ihren je 6 zusammengehörigen Flächen auf. — Hierher gehört der Nephelin, dessen Krystalle zwar gewöhnlich anscheinend holoëdrisch (∞P.0P) ausgebildet zu sein pflegen; es werden aber zufolge *Baumhauer* durch Aetzung mit Flusssäure an den Kanten von ∞P matte schiefe Abstumpfungsflächen erzeugt, welche einem Tritoprisma entsprechen, und ausserdem erscheinen auf den Prismenflächen die unsymmetrischen Aetzfiguren in der oberen Hälfte anders gestaltet und gewendet als in der unteren; beides zusammengenommen verweist den Nephelin in diese Abtheilung.

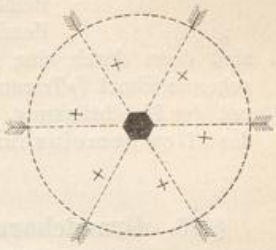


Fig. 189.

Anm. Eine Hemimorphie der trapezoëdrischen Hemiëdrie nach der Verticalaxe würde die Ausbildung übereinstimmender Formen im Gefolge haben.

Schliesslich kann auch an den Formen der trigonalen Tetartoëdrie die Hemimorphie wirksam werden, womit der Verlust der einzig bestehenden horizontalen S.-E. verbunden ist und wobei blos die eine dreizählige polare S.-A. übrig bleibt. Kein Centrum der Symmetrie. Fig. 190. Der Effect besteht darin, dass die auf dem Gebiet jener Tetartoëdrie auftretenden dreierlei trigonalen Pyramiden (S. 93) nach oben und unten differenzirt werden; die holoëdrische dihexagonale Pyramide würde also 4 obere und 4 untere trigonale Pyramiden dritter Art liefern, die Deuteropyramide 2 obere und 2 untere zweiter, die Protopyramide 2 obere und 2 untere erster Art. Die Basis zerfällt in eine obere und untere einzelne Fläche, die dreierlei verticalen trigonalen Prismen bleiben unverändert. — Im Mineralreich ist kein Beispiel bekannt, von den künstlichen Krystallen gehört in diese Gruppe das Natriumperjodat $NaJO^4 + 3H^2O$.

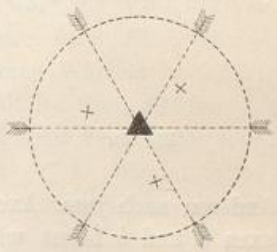


Fig. 190.

Die anderen Abtheilungen des hexagonalen Systems, ausser den genannten, besitzen keine singuläre S.-E., können also auch nicht hemimorph werden. — Es scheint nicht räthlich, die Hemimorphie einer Hemiëdrie als Tetartomorphie, diejenige einer Tetartoëdrie als Ogdomorphie zu bezeichnen, weil Hemimorphie und Theilflächigkeit doch im Grunde genommen nicht allerwegen analoge Erscheinungen sind und z. B. die sog. Tetartomorphie nicht eigentlich eine doppelt erfolgte Hemimorphie ist.

Anm. Wird der Symmetriecharakter der Verticalaxe c in den Vordergrund gestellt, so würden die Formen der

Holoëdrie,
pyramidalen Hemiëdrie,
trapezoëdrischen Hemiëdrie,
Hemimorphie der Holoëdrie und
Hemimorphie der pyramidalen Hemiëdrie

insofern eine besondere Gruppe bilden, als diese, im Gegensatz zu den übrigen Abtheilungen, durch eine sechszählige Axe der einfachen (unmittelbaren) Symmetrie charakterisirt ist (»Hexagonales System im engeren Sinne«). — Die Formen der

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

rhomboëdrischen Hemiëdrie,
trigonotypen Hemiëdrie,
trapezoëdrischen Tetartoëdrie,
rhomboëdrischen Tetartoëdrie,
trigonalen Tetartoëdrie,
Hemimorphie der rhomboëdrischen Hemiëdrie,
Hemimorphie der trigonalen Tetartoëdrie

sind dann durch eine dreizählige Axe der einfachen (unmittelbaren) Symmetrie gekennzeichnet (»Trigonales System«). Sämmtliche Abtheilungen (die hemimorphen mit der Einschränkung, dass die beiden Enden von c different sind), können aber auf das allen gemeinsame hexagonale krystallographische Axenkreuz bezogen werden.

4. Rhombisches Krystallsystem.

§ 35. **Grundcharakter.** Die Verhältnisse dieses Systems (früher das zweigliederige genannt) sind äusserst einfach, weil es nur sehr wenige verschiedene Arten von Formen begreift. Dieselben werden durch drei, aufeinander rechtwinkelige, aber durchgängig ungleiche, daher auch völlig ungleichwerthige krystallographische Axen charakterisirt, von welchen eine zur senkrecht gestellten Verticalaxe (c) gewählt werden muss, wodurch die beiden anderen zu Horizontalaxen werden; von diesen letzteren pflegt man die kürzere (a) geradeaus von vorne nach hinten, die längere (b) quer von rechts nach links zu richten (Fig. 191). Keine dieser Axen hat hier etwas vor der anderen voraus, keine besitzt die Bedeutung einer H.-S.-A. oder Hauptaxe (wie c in der holoëdrischen Abtheilung der beiden vorhergehenden Systeme) und es ist daher an sich ganz gleichgültig, welche derselben vertical gerichtet wird. Deshalb fehlt es auch in dieser Hinsicht an Uebereinstimmung, indem ein und derselbe Formencomplex von Einigen nach dieser, von Anderen nach jener Axe aufrecht gestellt wird. Die Ebene durch die Horizontalaxen a und b heisst wiederum die Basis. Der von *Breithaupt* vorgeschlagene Name rhombisches System bezieht sich auf die Figur der Basis und der Querschnitte.

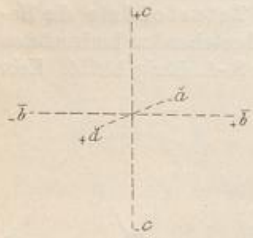


Fig. 191.

§ 36. **Beschreibung und Ableitung der holoëdrisch-rhombischen Formen.** Dieses Krystallsystem ist fast immer nur holoëdrisch ausgebildet. Die holoëdrischen Formen besitzen 3 aufeinander senkrechte gewöhnliche S.-E.n (Hauptschnitte, Fig. 192), nämlich die horizontale Basis (Axenebene ab) und die beiden senkrechten Ebenen durch die Verticalaxe und je eine Horizontalaxe (Axenebenen ca und cb). Sie entbehren daher einer H.-S.-E. (wie eine solche in der holoëdrischen Abtheilung des tetragonalen und hexagonalen Systems vorhanden ist), demzufolge auch einer Hauptaxe.

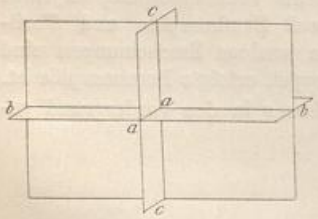


Fig. 192.

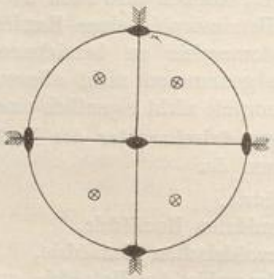


Fig. 193.

Durch die 3 S.-E.n wird der Raum in 8 gleiche Theile (Oktanten) getheilt, welche nur durch ihre Lage verschieden sind. Die 3 krystallographischen Axen a, b, c, die Normalen auf die 3 S.-E.n, sind zweizählige S.-A.n; anderszählige kommen in diesem System nicht vor. Fig. 193. — Es gibt folgende Arten von holoëdrischen Formen:

A. Geschlossene Formen:

Rhombische Pyramiden verschiedener Art.

B. Offene Formen:

1) rhombische Prismen (und Domen) verschiedener Art,

2) drei Pinakoide.

Die rhombischen Pyramiden sind von acht ungleichseitigen Dreiecken umschlossene Formen, deren Randkanten in einer Ebene liegen und einen Rhombus bilden; Fig. 194. Ihre Kanten sind dreierlei: 4 längere schärfere, und 4 kürzere stumpfere Polkanten, sowie 4 gleiche Randkanten; die Ecken sind ebenfalls dreierlei, aber durchgängig rhombisch, nämlich 2 Polecken, 2 spitzere Randecken an den Endpunkten der längeren, und 2 stumpfere Randecken an den Endpunkten der kürzeren Horizontalaxe.

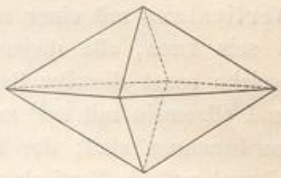


Fig. 194.

In jedem rhombischen Formencomplex wählt man eine der vorhandenen (oder doch wenigstens angezeigten) Pyramiden zur Grundform, bezeichnet sie mit **P**, entscheidet sich über ihre aufrechte Stellung, somit über die Wahl der Verticalaxe, und bestimmt sie entweder durch Angabe zweier ihrer Kantenwinkel, oder auch durch das aus diesen oder aus ein paar anderen Winkeln berechnete Verhältniss ihrer Lineardimensionen oder das Axenverhältniss (der Hälften der kurzen Horizontalaxe $= a$, der langen Horizontalaxe $= b$, der Verticalaxe $= c$), wobei man gewöhnlich $b = 1$ setzt; c ist dann $\gtrless 1$, a stets < 1. Bei der Grundpyramide liegen allemal die stumpfen Polkanten vorne und hinten, die scharfen Polkanten rechts und links.

Ein jeder besonderer Formencomplex des rhombischen Systems erfordert nämlich zu seiner vollständigen Bestimmung die Kenntniss zweier, von einander unabhängiger Kantenwinkel; aus diesen durch Messung gefundenen Winkeln kann erst das Verhältniss der Lineardimensionen oder der Parameter $a : b : c$ für die Grundform berechnet werden. Die Grundpyramide des rhombischen Schwefels hat z. B. das (irrationale) Axenverhältniss $a : b : c = 0{,}813\ldots : 1 : 1{,}9037\ldots$. Würde man dieselbe z. B. so aufstellen, dass die lange Horizontalaxe b zur Verticalaxe c, und c umgekehrt zu b würde, während die kurze Horizontalaxe a ihre Stellung beibehält, so ergäbe sich das Axenverhältniss $= 0{,}427\ldots : 1 : 0{,}5258\ldots$ (d. h. $0{,}813\ldots : 1{,}9037\ldots : 1$).

In dieser Grundpyramide werden nun aber die lange und kurze Horizontalaxe, weil sie die Diagonalen ihrer Basis sind, mit dem Namen Makrodiagonale und Brachydiagonale[1]) belegt, und demgemäss auch die beiden verticalen

1) Die beiden Horizontalaxen werden auch als Makroaxe und Brachyaxe unterschieden, doch sind die oben stehenden Bezeichnungen insofern zweckmässiger, als sie die Bildung von Adjectiven besser gestatten.

Mit Rücksicht auf gewisse Analogieen wird neuerdings die Gepflogenheit, die lange Horizontalaxe b quer, die kurze a längs zu legen, nicht mehr als immer bindend erachtet; alsdann treten anstatt der »Makro«- und »Brachy«-Formen die Ausdrücke »Quer«- und »Längs«-Formen ein.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Hauptschnitte cb und ca, sowie die beiderlei in ihnen liegenden Polkanten und Randecken durch die Prädicate makrodiagonal und brachydiagonal unterschieden. Diese Benennung ist eine durchgreifende; sie wird auf alle abgeleiteten Formen übertragen, deren lange und kurze Horizontalaxe daher nicht mit der Makrodiagonale und Brachydiagonale der Grundform zu verwechseln sind. Für die Begrenzungs-Elemente (Kanten, Ecken) und Horizontalaxen der abgeleiteten Formen haben demnach die Prädicate makrodiagonal und brachydiagonal nur eine topische, keine dimensionale Bedeutung, sofern sie die Lage derselben entweder in dem einen oder in dem anderen (durch die Horizontalaxen der Grundform bestimmten) Hauptschnitt ausdrücken.

Aus der Grundform **P** leiten sich nun zuvörderst durch Multiplication ihrer Verticalaxe mit einer rationalen Zahl m, welche theils grösser, theils kleiner als 1 sein kann, alle diejenigen theils spitzeren, theils stumpferen Pyramiden ab, welche sonst dieselbe Basis und denselben Verlauf der Randkanten wie **P** haben, und allgemein mit m**P** zu bezeichnen, sowie als Pyramiden der Verticalreihe zu benennen sind; der links von **P** stehende Coëfficient bezieht sich auch hier allemal auf die Verticalaxe c.

Ferner lassen sich aus jeder so gewonnenen Pyramide m**P** nach zwei verschiedenen Richtungen, je nachdem die eine oder die andere Horizontalaxe von m**P** vergrössert wird, viele neue Formen ableiten.

Man multiplicire zunächst die Makrodiagonale mit einer rationalen Zahl n (die stets grösser als 1), und lege darauf in jede brachydiagonale Polkante von m**P** zwei Flächen, welche die Makrodiagonale in der Entfernung n schneiden, so resultirt eine neue Pyramide, welche mit dem Namen Makropyramide und mit dem Zeichen $m\bar{\mathbf{P}}n$ versehen wird, um es mittels des über **P** gesetzten prosodischen Zeichens der Länge auszudrücken, durch welcher Diagonale Vergrösserung sie abgeleitet wurde. — Verfährt man auf ähnliche Weise, indem man die Brachydiagonale von m**P** mit n (> 1) multiplicirt, und die Constructionsflächen in ihre makrodiagonalen Polkanten legt, so erhält man Brachypyramiden von dem Zeichen $m\breve{\mathbf{P}}n$, in welchem das über **P** geschriebene prosodische Zeichen der Kürze auf diejenige Diagonale verweist, nach welcher die Ableitung erfolgte.

Sofern die n-mal verlängerte Brachydiagonale länger ist, als die Makrodiagonale, hat eine solche abgeleitete Brachypyramide natürlich — im Gegensatz zur Grundpyramide — ihre scharfen Polkanten am Ende der Brachydiagonale, ihre stumpfen am Ende der Makrodiagonale liegen; ebenso verhält es sich mit den verticalen Kanten der Brachyprismen.

Dadurch, dass in den vorstehenden Ableitungen der auf eine Horizontalaxe bezügliche Coëfficient n grösser als 1 angenommen wird, sind alle möglichen Fälle erschöpft; denn eine anscheinende Makropyramide von dem Ausdruck $\bar{\mathbf{P}}\frac{1}{n}$ (bei *Weiss* $= a : \frac{1}{n} b : c$ oder $na : b : nc$) fällt zusammen mit der Brachypyramide $m\breve{\mathbf{P}}n$, worin $m = n$; z. B. $\bar{\mathbf{P}}\frac{1}{2} = 2\breve{\mathbf{P}}2$. Ebenso ist die scheinbare Brachypyramide $\breve{\mathbf{P}}\frac{1}{2} = 2\bar{\mathbf{P}}2$.

Bei der *Weiss*'schen Bezeichnungsweise erhält die Grundpyramide P das Flächenzeichen $a : b : c$, welches in jedem der 8 gleichen Oktanten eine übereinstimmende Fläche erfordert. Daraus leiten sich zunächst allgemein die bei gleicher Basis spitzeren oder stumpferen Pyramiden der Verticalreihe $a : b : mc$ ab, z. B. $3\mathrm{P} = a : b : 3c$; $\frac{1}{4}\mathrm{P} = a : b : \frac{1}{4}c$. Aus ihnen resultiren ferner die bei gleichbleibender Brachydiagonale

a nach der Makrodiagonale b (um n) gestreckten Makropyramiden von dem allgemeinen Zeichen $a : nb : mc$, wobei $n > 1$; z. B. $2\overline{P}3 = a : 3b : 2c$. Anderseits gewinnen die bei gleichbleibender Makrodiagonale b nach der Brachydiagonale (um n) gestreckten Brachypyramiden das Zeichen $na : b : mc$; z. B. $4\breve{P}3 = 3a : b : 4c$.

Bei der Formulirung der *Miller*'schen Zeichen werden die Indices in der Reihenfolge geschrieben, die man auch bei der Angabe des Axenverhältnisses den Axen ertheilt, nämlich sich beziehend auf: Brachydiagonale, Makrodiagonale, Verticalaxe.

Die Grundpyramide $P = \{111\}$. — Die Pyramiden der Verticalreihe mP sind $\{hhl\}$, da die beiden ersten Indices in demselben Verhältniss stehen müssen wie bei $\{111\}$; z. B. $2P = \{221\}$; $\frac{1}{3}P = \{119\}$; $\frac{3}{5}P = \{225\}$. Für die, welche spitzer sind als die Grundpyramide, ist $h > l$, für die stumpferen $h < l$.

Die Makropyramiden $m\overline{P}n$ sind $\{hkl\}$, worin $h > k$ und $n = \frac{h}{k}$; $\overline{P}n = \{hkh\}$; z. B. $\overline{P}2 = \{212\}$; $\overline{P}\frac{3}{2} = \{323\}$; ferner $\frac{1}{3}\overline{P}2 = \{216\}$; $3\overline{P}\frac{3}{2} = \{321\}$, $\frac{3}{4}\overline{P}3 = \{314\}$; $2\overline{P}3 = \{623\}$.

Die Brachypyramiden $m\breve{P}n$ sind $\{hkl\}$, worin $h < k$ und $n = \frac{k}{h}$; $\breve{P}n = \{hkk\}$; z. B. $\breve{P}5 = \{155\}$; $\breve{P}\frac{3}{2} = \{233\}$; $\frac{2}{3}\breve{P}2 = \{123\}$; $\frac{4}{3}\breve{P}2 = \{243\}$; $4\breve{P}4 = \{141\}$; $\frac{1}{2}\breve{P}3 = \{136\}$.

Die rhombischen Prismen im Allgemeinen sind von vier, einer der Axen parallelen Flächen umschlossene Formen, deren Querschnitte Rhomben sind. Sie entstehen durch Abstumpfung entweder der Randkanten oder der längeren oder der kürzeren Polkanten der rhombischen Pyramiden. Je nachdem nun der Parallelismus der Flächen entweder in Bezug auf die Verticalaxe (Fig. 195) oder in Bezug auf eine der Horizontalaxen (Fig. 196 und 198) stattfindet, werden diese Prismen entweder als verticale oder als horizontale Prismen erscheinen. Es ist jedoch sehr zweckmässig, mit *Breithaupt* den Namen Prisma (Säule) lediglich für die verticalen Prismen zu gebrauchen, alle horizontalen Prismen dagegen mit dem Namen Doma zu belegen.

Die verticalen Prismen (Fig. 195) werden auch hier aus den Pyramiden abgeleitet durch senkrechte Abstumpfung der Randkanten oder sie erscheinen als Grenzformen derselben mit unendlichem Werth der Verticalaxe. Aus der Grundpyramide P resultirt so als Grenzform der Pyramiden der Verticalreihe das Grundprisma ∞P mit demselben Verhältniss der Horizontalaxen a und b wie die erstere; dasselbe weist daher seine stumpfen verticalen Kanten vorne und hinten, seine scharfen rechts und links auf. — Auch dieses Grundprisma ist ebenso einer doppelten Ableitung zu unterwerfen, wie die Pyramiden der Verticalreihe: einerseits werden daraus bei gleichbleibender Brachydiagonale verschiedene, nach der Makrodiagonale (um $n > 1$) gestreckte Makroprismen $\infty\overline{P}n$ erhalten, anderseits die bei gleichbleibender Makrodiagonale nach der Brachydiagonale (um $n > 1$) gestreckten Brachyprismen $\infty\breve{P}n$. Die Makroprismen modificiren die stumpfen, die Brachyprismen die scharfen Kanten von ∞P.

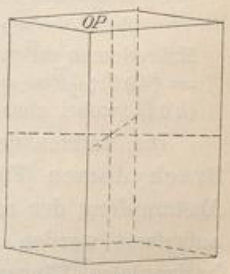


Fig. 195.

Bei *Weiss* ist das Grundprisma $\infty P = a : b : \infty c$; das allgemeine Zeichen der Makroprismen $= a : nb : \infty c$, das der Brachyprismen $na : b : \infty c$; $a : 2b : \infty c = \infty\overline{P}2$; $\frac{3}{2}a : b : \infty c = \infty\breve{P}\frac{3}{2}$. Wenn die Länge na grösser ist als b, so hat ein solches abge-

leitetes Brachyprisma natürlich im Gegensatz zum Grundprisma die schärferen verticalen Kanten am Ende der Brachydiagonale, die stumpferen am Ende der Makrodiagonale liegen.

In der *Miller*'schen Signatur ist das Grundprisma $\infty P = \{110\}$.

Die Makroprismen $\infty \bar{P} n$ sind $\{hk0\}$, wobei $h > k$ und $n = \frac{h}{k}$; z. B. $\infty \bar{P} 2 = \{210\}$; $\infty \bar{P} \frac{3}{2} = \{320\}$.

Die Brachyprismen $\infty \breve{P} n$ sind $\{hk0\}$, wobei $h < k$ und $n = \frac{k}{h}$; z. B. $\infty \breve{P} 3 = \{130\}$; $\infty \breve{P} \frac{5}{3} = \{350\}$.

Die horizontalen, nach der längeren Axe b gestreckten Querdomen, die Makrodomen (Fig. 196) werden ebenso aus den Pyramiden abgeleitet durch

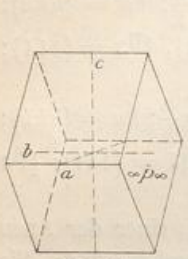


Fig. 196.

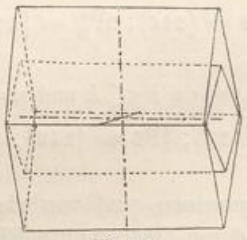


Fig. 197.

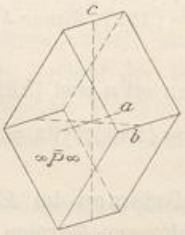


Fig. 198.

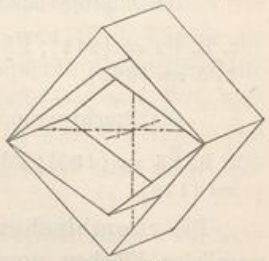


Fig. 199.

gerade Abstumpfung der vorderen und hinteren brachydiagonalen Polkanten, oder sie erscheinen als Grenzformen der Pyramiden mit unendlichem Werth der horizontalen Queraxe. Zu der Grundpyramide P gehört so das Grundmakrodoma $\bar{P}\infty$, aus welchem die anderen Makrodomen $m\bar{P}\infty$ durch Veränderung von c in mc abgeleitet werden (Fig. 197); zu jeder Pyramide mP der Verticalreihe gehört ein Makrodoma $m\bar{P}\infty$, welches auch als Grenzform jeder Makropyramide $m\bar{P}n$ erscheint, in der $n = \infty$. Fig. 197 zeigt ein flacheres und ein steileres Makrodoma in einander geschachtelt.

Das Grundmakrodoma ist bei *Weiss* $= a : \infty b : c$; das allgemeine Zeichen der übrigen $a : \infty b : mc$; z. B. $2\bar{P}\infty = a : \infty b : 2c$; $\frac{3}{4}\bar{P}\infty = a : \infty b : \frac{3}{4}c$.

Die *Miller*'schen Indices für das Grundmakrodoma $\bar{P}\infty$ sind $\{101\}$; die schärferen Makrodomen $m\bar{P}\infty$, in denen $m > 1$, sind allgemein $\{h0l\}$, wobei $h > l$; z. B. $4\bar{P}\infty = \{401\}$; $\frac{7}{2}\bar{P}\infty = \{702\}$. — Die stumpferen $m\bar{P}\infty$, in denen $m < 1$, sind allgemein $\{h0l\}$, wobei aber $h < l$; z. B. $\frac{1}{3}\bar{P}\infty = \{103\}$; $\frac{3}{4}\bar{P}\infty = \{304\}$.

Die horizontalen, nach der kürzeren Axe a gestreckten Längsdomen, die Brachydomen (Fig. 198), leiten sich ebenso aus den Pyramiden ab durch gerade Abstumpfung der rechten und linken makrodiagonalen Polkanten oder sie können aufgefasst werden als Grenzformen der Pyramiden mit unendlichem Werth der horizontalen Längsaxe. Die Grundpyramide P liefert so das Grundbrachydoma $\breve{P}\infty$, aus welchem die anderen Brachydomen $m\breve{P}\infty$ durch Veränderung von c in mc entstehen (Fig. 199); zu jeder Pyramide mP der Verticalreihe gehört ein Brachydoma $m\breve{P}\infty$, welches auch als eine Grenzform für jede Brachypyramide $m\breve{P}n$ erscheint, in welcher $n = \infty$. Fig. 199 zeigt ein flacheres und ein steileres Brachydoma in einander geschachtelt.

Das Grundbrachydoma ist bei *Weiss* $= \infty a : b : c$; die übrigen Brachydomen haben das allgemeine Zeichen $\infty a : b : mc$; z. B. $3\breve{P}\infty = \infty a : b : 3c$; $\frac{2}{3}\breve{P}\infty = \infty a : b : \frac{2}{3}c$.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Das Grundbrachydoma $\breve{P}\infty$ ist bei *Miller* $= \{011\}$; die schärferen $m\breve{P}\infty$, in denen $m > 1$, sind allgemein $\{0kl\}$, worin $k > l$; z. B. $2\breve{P}\infty = \{021\}$; $\frac{5}{4}\breve{P}\infty = \{054\}$. — Die stumpferen, in denen $m < 1$, sind allgemein $\{0kl\}$, wobei $k < l$; z. B. $\frac{1}{3}\breve{P}\infty$ $\{013\}$; $\frac{2}{5}\breve{P}\infty = \{025\}$.

Die 3 tafelförmigen Pinakoide, je aus einem Paar von parallelen Flächen bestehend, entsprechen den 3 S.-E.n der holoëdrischen Formen; sie können entstanden gedacht werden durch gerade Abstumpfung entweder der beiden Polecken oder der beiden stumpferen oder der beiden spitzeren Randecken der Grundpyramide und besitzen combinirt eine Lage wie die 6 Flächen des Würfels (Fig. 200). Es sind:

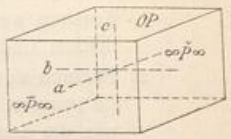


Fig. 200.

1) die Basis, oder das basische Pinakoid, die horizontale obere und untere Tafelfläche, parallel der Axenebene ab; das Symbol ist 0P, als Grenzform abgeleitet aus mP, worin $m = 0$, wie im tetragonalen und hexagonalen System; $\infty a : \infty b : c$; $\{001\}$.

2) Das Makropinakoid, oder die Querfläche, die vordere und hintere verticale Tafelfläche, parallel der Axenebene cb; das Symbol ist $\infty\bar{P}\infty$ (worin sich das erste ∞ auf c, das zweite auf b bezieht); die Grenzform der Makroprismen $\infty\bar{P}n$, worin $n = \infty$, oder der Makrodomen $m\bar{P}\infty$, worin $m = \infty$; $a : \infty b : \infty c$; $\{100\}$.

3) Das Brachypinakoid, oder die Längsfläche, die rechte und linke verticale Tafelfläche, parallel der Axenebene ca; das Symbol ist analog $\infty\breve{P}\infty$, die Grenzform der Brachyprismen $\infty\breve{P}n$ oder der Brachydomen $m\breve{P}\infty$; $\infty a : b : \infty c$; $\{010\}$.

Selbstverständlich können Prismen, Domen und Pinakoide als an sich offene Formen nur in Combinationen erscheinen. — Treten bei einer im rhombischen System krystallisirenden Substanz nur die 3 Pinakoide auf, so lässt sich das Axenverhältniss nicht bestimmen. Das Vorhandensein einer vertical-prismatischen Form gestattet, wenn dieselbe als Grundprisma gilt, wenigstens die Bestimmung des A.-V. $a : b$; das Auftreten des Grundmakrodomas lässt $a : c$, das des Grundbrachydomas $b : c$ finden.

Die Combination der 3 Pinakoide (Fig. 200) kann geometrisch nicht von einem Würfel unterschieden werden; dass aber bei ihr nur 2 gegenüberliegende Flächen zusammengehören, zeigt sich z. B. an der Verschiedenheit des Glanzes oder der Streifung auf, der Spaltbarkeit nach den einzelnen Pinakoiden; durch das optische Verhalten tritt sofort der Unterschied gegen den Würfel hervor.

Alle Resultate vorstehender Ableitungen lassen sich wieder in einem triangulären Schema (Fig. 201) vereinigen, zu welchem jedoch hier ein rechtwinkeliges gleichschenkeliges Dreieck gewählt werden muss, welches durch seine Höhenlinie in zwei kleinere Dreiecke getheilt ist. An die drei Eckpunkte des grossen Dreiecks schreibt man die Zeichen der drei Pinakoide, an die Mitte seiner Grundlinie das Zeichen des Prismas ∞P, und in die Mitte der beiden kleinen Dreiecke einerseits das Zeichen der Brachypyramiden, anderseits das Zeichen der Makropyramiden. Dann füllt sich das Schema von selbst derart aus, dass die Höhenlinie desselben die

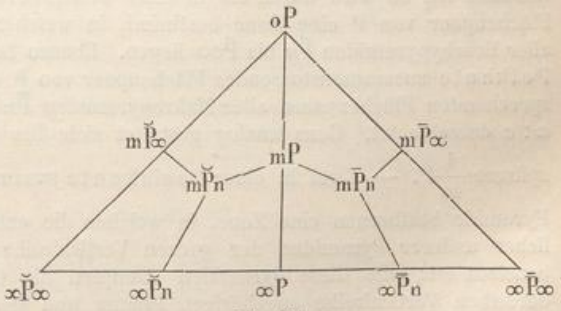


Fig. 201.

Pyramiden der Verticalreihe nebst den beiden Grenzformen enthält, während die Grundlinie sämmtliche Prismen, die linke Seite sämmtliche Brachydomen, und die rechte Seite sämmtliche Makrodomen begreift. Das Schema gewährt jedenfalls die einfachste und natürlichste Uebersicht aller möglichen holoëdrisch-rhombischen Formen.

Mit Rücksicht auf die Symmetrieverhältnisse lässt sich leicht einsehen, dass im rhombischen System überhaupt nur folgende holoëdrische Formenarten möglich sind:

1) Formen senkrecht gegen zwei S.-E.n; sie gehen dann natürlich parallel der dritten und können nur ein Flächenpaar darstellen: die 3 Pinakoide.
2) Formen senkrecht gegen eine S.-E. und geneigt gegen die beiden anderen; sie müssen je einen vierflächigen Complex liefern: die verticalen Prismen, sowie die horizontalen Domen (Längsdoma und Querdoma).
3) Formen geneigt gegen alle drei S.-E.n; sie liefern, da sie in jedem Oktanten auftreten müssen, einen achtflächigen Complex, eine Pyramide.

§ 37. **Einige holoëdrisch-rhombische Combinationen.** Pyramiden sind selten als selbständige oder auch nur als vorherrschende Formen ausgebildet, wie z. B. am Schwefel; gewöhnlich bestimmen entweder Prismen und Domen, oder auch Pinakoide die allgemeine Physiognomie der Combinationen, welche daher meistentheils entweder säulenförmig oder tafelförmig, zuweilen wohl auch rectangulär-pyramidal ausgebildet erscheinen; welches letztere durch zwei ungleichnamige, aber correlate (d. h. zu derselben Pyramide mP gehörige) und ungefähr im Gleichgewicht ausgebildete prismatische Formen verursacht wird. Hat man sich nun vorher über die Wahl und Stellung der Grundform entschieden, so weiss man auch, ob jene säulen- oder tafelförmigen Krystalle vertical oder horizontal zu stellen sind, indem dadurch die Lage der Basis, des Makropinakoids und Brachypinakoids ein für alle Mal bestimmt worden ist.

In der Zone, deren Zonenaxe die Verticalaxe c ist, liegen $\infty\bar{P}\infty$, sämmtliche verticale Prismen $\infty\bar{P}n$, ∞P, $\infty\breve{P}n$, sowie $\infty\breve{P}\infty$.

In der Zone, deren Zonenaxe die Makrodiagonale b ist, liegen $\infty\bar{P}\infty$, sämmtliche Makrodomen $m\bar{P}\infty$, $\bar{P}\infty$, $\frac{1}{m}\bar{P}\infty$, sowie 0P.

In der Zone, deren Zonenaxe die Brachydiagonale a ist, liegen $\infty\breve{P}\infty$, sämmtliche Brachydomen $m\breve{P}\infty$, $\breve{P}\infty$, $\frac{1}{m}\breve{P}\infty$, sowie 0P.

Da für alle Brachypyramiden $\breve{P}n$ bis zum Brachydoma $\breve{P}\infty$ das Verhältniss $b : c$ constant ist, so wird durch ein in einer schärferen Polkante zusammenstossendes Flächenpaar von P eine Zone bestimmt, in welcher die entsprechenden Flächenpaare aller Brachypyramiden $\breve{P}n$ bis $\breve{P}\infty$ liegen. Ebenso bestimmt ein in einer stumpferen Polkante zusammenstossendes Flächenpaar von P eine weitere Zone, in der die entsprechenden Flächenpaare aller Makropyramiden $\bar{P}n$ bis $\bar{P}\infty$ liegen, deren Verhältniss $a : c$ dasselbe ist. Ganz analog gestaltet sich dies für stumpfere Pyramiden mP und spitzere $\frac{1}{m}$P. — Zwei in einer Basiskante zusammenstossende Flächen irgend einer Pyramide bestimmen eine Zone, in welcher die entsprechenden Flächenpaare sämmtlicher anderer Pyramiden der ganzen Verticalreihe liegen, für welche alle ja $a : b$ constant ist; alle diese Pyramiden stumpfen die Combinationskanten zwischen dem derselben Verticalreihe angehörigen Prisma und der Basis ab; z. B. es werden abgestumpft die Kanten ∞P : 0P durch P, 2P, $\frac{1}{2}$P u. s. w.; die Kanten $\infty\breve{P}2$: 0P durch $\breve{P}2$, $2\breve{P}2$, $\frac{1}{2}\breve{P}2$ u. s. w.

Als Beispiele für vertical-säulenförmige und tafelförmige Combinationen mag

eine Form des Topases (Fig. 202) und Liëvrits (Fig. 203), sowie Fig. 204 dienen. In den beiden ersteren sind es das Brachyprisma $\infty\breve{P}2$ (l und s) sowie die Grundpyramide P (o), welche den allgemeinen Habitus der Combination bestimmen; dazu gesellt sich im Topaskrystall das Prisma ∞P (M), im Liëvritkrystall das Makrodoma $\bar{P}\infty$ (d). In Fig. 204 ist das vorwaltende Brachypinakoid $\infty\breve{P}\infty$ (c) mit der Pyramide P (o) und mit dem Makropinakoid $\infty\bar{P}\infty$ (b) verbunden.

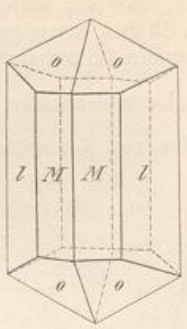


Fig. 202.

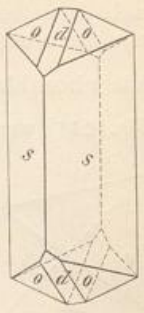


Fig. 203.

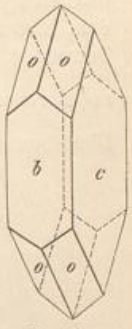


Fig. 204.

Als Beispiele für horizontal-säulenförmige und -tafelförmige Combination seien drei häufige Formen des Baryts gewählt. Die beiden ersten (Fig. 205 u. 206) werden von denselben Formen, nämlich von dem basischen Pinakoid $0P$ (a), dem Brachydoma $\breve{P}\infty$ (f) und dem Makrodoma $\frac{1}{2}\bar{P}\infty$ (d) gebildet; nur ist das Verhältniss des Vorwaltens verschieden, daher denn der eine Krystall mehr horizontal-säulenförmig, der andere mehr rectangulär-tafelförmig erscheint. Der dritte Krystall (Fig. 207) ist säulenförmig durch das Makrodoma $\frac{1}{2}\bar{P}\infty$ (d), wird seitlich durch das Prisma ∞P (g) begrenzt und zeigt ausserdem $0P$ (a). — Eine von 6 auf einander rechtwinkeligen Flächen begrenzte rhombische Form ist die Combination der drei Pinakoide (Fig. 200).

Fig. 206.

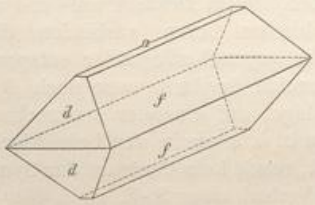


Fig. 205.

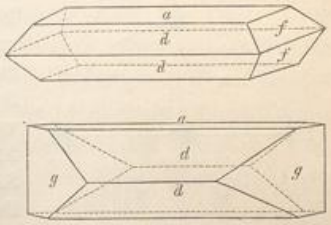


Fig. 207.

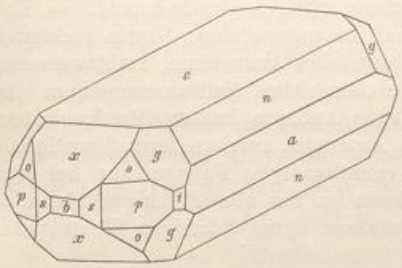


Fig. 208.

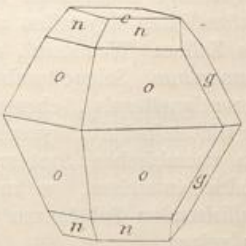


Fig. 209.

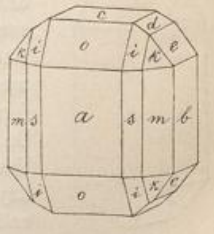


Fig. 210.

In der Comb. Fig. 208 ist $c = 0P$, $b = \infty\bar{P}\infty$, $a = \infty\breve{P}\infty$; ferner $o = P$, $p = \infty P$, $n = \breve{P}\infty$, $s = \infty\bar{P}\frac{3}{2}$ ($a : \frac{3}{2}b : \infty c$), $t = \infty\breve{P}2$ ($2a : b : \infty c$), $x = \frac{1}{2}\bar{P}\infty$ ($2a : \infty b : c$), $g = \breve{P}2$ ($2a : b : c$). — Fig. 209 (Schwefel) zeigt: $c = 0P$, $o = P$, $n = \frac{1}{3}P$, $g = \breve{P}\infty$. — In Fig. 210 (Olivin) ist ausgebildet: $c = 0P$, $a = \infty\bar{P}\infty$, $b = \infty\breve{P}\infty$, $s = \infty P$, $m = \infty\breve{P}2$, $i = P$, $k = 2\breve{P}2$, $d = \breve{P}\infty$, $e = 2\breve{P}\infty$, $o = \bar{P}\infty$.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

§ 38. Hemiëdrie und Hemimorphie im rhombischen System.

Hemiëdrie. Die Hemiëdrie, die sog. sphenoidische, erfolgt hier bei der rhombischen Pyramide dergestalt, dass die abwechselnden Flächen wachsen und verschwinden, also nach demselben Modus, vermöge dessen aus dem regulären Oktaëder das Tetraëder, aus der tetragonalen Protopyramide das Sphenoid hervorgeht. Es entstehen so 2 correlate rhombische Sphenoide, $\frac{m\mathrm{P}}{2}$ oder $\varkappa\{hkl\}$ und $-\frac{m\mathrm{P}}{2}$ oder $\varkappa\{h\bar{k}l\}$. Dieselben (Fig. 211) werden von 4 ungleichseitigen Dreiecken begrenzt und besitzen

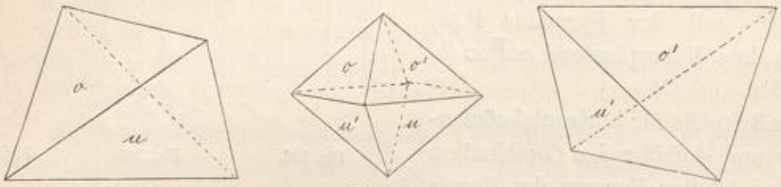


Fig. 211.

dreierlei Kanten, nämlich 2 horizontale Polkanten (welche sich im Gegensatz zum Oktaëder und tetragonalen Sphenoid nicht rechtwinkelig, sondern unter schiefem Winkel kreuzen), 2 schärfere und 2 stumpfere Rand- oder Mittelkanten, die im Zickzack auf- und absteigen. Die krystallographischen Axen verbinden die Halbirungspunkte je zweier gegenüberliegender entsprechender Kanten. Solche Sphenoide besitzen zwar noch 3 (1 + 1 + 1) ungleichwerthige, auf einander senkrechte zweizählige S.-A.n (die Axen a, b, c wie in den holoëdrischen Formen), aber keine S.-E., sowie kein Centrum der Symmetrie mehr. Fig. 212. Der Verlust einer S.-E. zieht hier das Verschwinden auch der beiden anderen nach sich. Die beiden entgegengesetzten Hälften einer Pyramide sind demnach enantiomorph. Sämmtliche übrige Formen des Systems, die prismatischen, domatischen und pinakoidalen, treten bei dieser Hemiëdrie scheinbar unverändert auf.

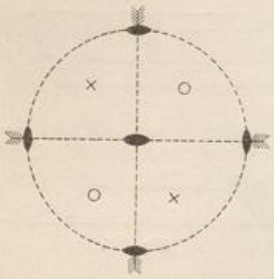


Fig. 212.

Diese Hemiëdrie findet sich im Mineralreich nur selten, am Bittersalz (Magnesiumsulfat), Zinkvitriol, Edingtonit u. a. An dem Bittersalzkrystall Fig. 213 ist p das fast rechtwinkelige rhombische Prisma ∞P, o das Sphenoid. — Unter den künstlichen Krystallen sind ihr unterworfen: Saures rechtsweinsaures Kalium (Weinstein), ebensolches Ammonium, rechtsweinsaures Natriumkalium (Seignettesalz), ebensolches Natriumammonium (Ammoniumseignettesalz), ebensolches Antimonylkalium (Brechweinstein); ferner Glutaminsäure, Glycerin, Asparagin, ameisensaures Strontium. — Da im rhombischen System enantiomorphe Formen nur bei dieser Hemiëdrie entstehen, so müssen zu ihr alle diejenigen rhombisch krystallisirenden Substanzen gehören, deren Lösungen Circularpolarisation zeigen.

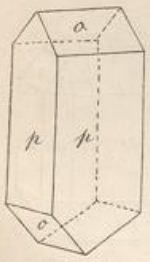


Fig. 213.

Anm. Eine Hemiëdrie der rhombischen Pyramide nach abwechselnden Flächenpaaren würde Formen hervorgehen lassen, welche, indem sie nicht mehr auf 3 rechtwinkelige Axen zu beziehen sind, aus dem Rahmen des rhombischen Systems herausfallen und ihrer Symmetrie nach dem monoklinen System angehören.

Hemimorphie. Da jede der 3 S.-A.n des rhombischen Systems eine singuläre ist, so kann die Hemimorphie an jeder derselben zur Geltung kommen. Bei den im Mineralreich auftretenden, hierher gehörigen Substanzen findet die hemimorphe

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ausbildung nur an den entgegengesetzten Enden einer S.-A. statt, die alsdann als Verticalaxe genommen zu werden pflegt. Differenzirt werden in diesem Falle in obere und untere, von einander unabhängige Formen: die Basis (welche 2 einflächige Pedien liefert, vgl. S. 72), die Makrodomen, Brachydomen, Pyramiden, während die verticalen Formen: Makropinakoid, Brachypinakoid, die Prismen eine Zerfällung nicht erleiden. — Diese hemimorphen Formen besitzen 2 (1 + 1) ungleichwerthige, auf einander senkrechte S.-E.n, nämlich noch diejenigen der Holoëdrie, welche der hemimorphen Axe parallel gehen; ferner 1 mit der letzteren zusammenfallende zweizählige, polar ausgebildete S.-A. (alle 3 in den gedachten Fällen vertical); kein horizontales Symmetrie-Element; kein Centrum der Symmetrie; Fig. 214. — Vgl. die Abbildungen von Kieselzink und Struvit, Fig. 13 und 14 auf S. 31.

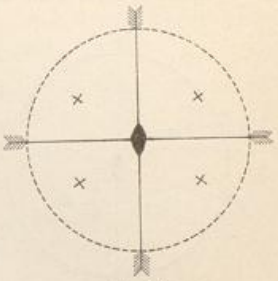


Fig. 214.

5. Monoklines Krystallsystem.

§ 39. **Grundcharakter.** Das monokline Krystallsystem (zwei- und eingliederiges, klinorhombisches, monosymmetrisches S.) ist dadurch charakterisirt, dass alle seine Formen auf drei ungleiche krystallographische Axen bezogen werden müssen, von denen sich zwei unter einem schiefen Winkel schneiden, während die dritte Axe auf ihnen beiden rechtwinkelig ist. Die Symmetrie des Systems fordert, dass eine der beiden schiefwinkeligen Axen zur Verticalaxe (*c*) gewählt wird, dann können die beiden anderen Axen, als Diagonalen der schiefen Basis, durch die bezeichnenden Namen Orthodiagonale (*b*) und Klinodiagonale (*a*) unterschieden werden[1]), von welchen man die erstere, normal zur Verticalaxe stehend, quer von rechts nach links horizontal laufen lässt, während die andere, die Verticalaxe schief schneidend, von vorne nach hinten aufsteigt. Ebenso werden die durch die Axen *b* und *a* bestimmten verticalen Schnitte als orthodiagonaler und klinodiagonaler Schnitt unterschieden. Der Name monoklines S. bezieht sich darauf, dass die drei, durch je 2 Axen gehenden Ebenen unter einander, neben zwei rechten (α zwischen *b* und *c*, γ zwischen *a* und *b*) einen schiefen Winkel β bilden, welcher dem der Verticalaxe und Klinodiagonale gleich und in jedem besonderen Formencomplex constant ist.

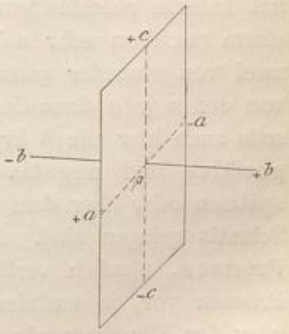


Fig. 215.

§ 40. **Beschreibung und Ableitung der holoëdrisch-monoklinen Formen.** Diese Formen besitzen nur eine einzige (und zwar gewöhnliche) S.-E., nämlich die auf den Beschauer zu gerichtete Axenebene *ac*, auf welcher die Orthodiagonale *b* als einzige zweizählige S.-A. senkrecht steht (Fig. 215). Zu jener Ebene sind daher die Flächen auf der einen Seite ebenso gelagert, wie auf der anderen Seite und es besteht bei den Formen zwischen rechts und links noch Symmetrie, aber nicht

1) *b* wird auch Orthoaxe, *a* Klinoaxe genannt; vgl. die Anm. auf S. 97.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mehr zwischen vorne und hinten. Centrum der Symmetrie vorhanden. Fig. 216 zeigt die Projection auf die S.-Ebene.

Die Existenz blos einer einzigen S.-E. begründet das Dasein auch nur einer darauf senkrechten S.-A., welche eine krystallographische Axe und also die einzige, von vorne herein gegebene Richtung darstellt. Die beiden anderen krystallographischen Axen müssen innerhalb der S.-E. liegen, aber ihre Wahl ist an sich willkürlich und nur von der Zweckmässigkeit geboten. Beide müssen daher zwar senkrecht auf der einzigen S.-A. (*b*) stehen, aber unter einander einen schiefen Winkel (β) bilden, weil ein rechter das Dasein jener weiterer 2 S.-E.n bedingen würde, wie sie im rhombischen System vorliegen. Wird die S.-A. horizontal von rechts nach links laufend genommen, so kann dann eine der zuletzt genannten beiden krystallographischen Axen vertical gestellt werden (*c*), wobei die andere die Richtung der Klinodiagonale (*a*) erhält.

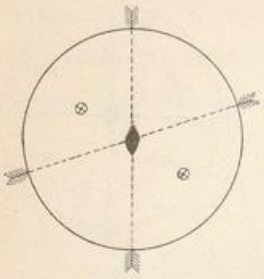


Fig. 216.

Da es in diesem System nur eine einzige S.-E. gibt, so erfordert das Dasein einer Fläche weiter nichts, als dass daneben noch die mit Bezug auf jene Ebene symmetrisch gelegene Fläche vorhanden ist, welche auf der anderen Seite der S.-E. mit dieser denselben Winkel bildet. Steht die Fläche schief zur S.-E., so wird daher die vollständige Form mit Einschluss der parallelen Gegenflächen im allgemeinsten Falle nur einen Complex von vier tautozonalen Flächen liefern können. In den speciellen Fällen aber, dass eine Fläche senkrecht zur S.-E. steht, oder mit ihr parallel geht, reducirt sich die vollständige Form auf ein einziges Paar von zwei parallelen Flächen.

Alle Formen, welche gleichzeitig zu dem spitzen und zu dem stumpfen Winkel *ac* gehören, sind genau so wie im rhombischen System ausgebildet; alle dagegen, welche ausschliesslich den spitzen oder den stumpfen Oktanten angehören, müssen als + oder — Halbgestalten unterschieden werden.

Obwohl das monokline System in vieler Hinsicht dem rhombischen System sehr ähnlich ist, so wird doch durch den schiefen Neigungswinkel (β) zweier Axen (*a* und *c*) eine eigenthümliche und auffallende Ausbildungsweise seiner Formen verursacht, welche es jedenfalls auf den ersten Blick erkennen lässt, dass man es mit keinem rhombischen Formencomplex zu thun hat, wenn auch jener Winkel einem rechten sehr nahe kommen sollte. Jede Pyramide zerfällt nämlich in zwei von einander ganz unabhängige Partialformen oder Hemipyramiden[1]), von denen jede einen Complex von 4 tautozonalen Flächen darstellt, welche ihrerseits auch hier alle 3 krystallographischen Axen schneiden. Man unterscheidet die positive und negative Hemipyramide, je nachdem ihre Flächen über dem spitzen oder über dem stumpfen Winkel (β) des orthodiagonalen und basischen Schnitts gelegen sind. Ausser diesen Pyramiden kommen noch drei Arten von Prismen, nämlich verticale, horizontale (Quer-) Prismen und geneigte (Längs-) Prismen vor, je nachdem ihre Flächen der Verticalaxe oder der Orthodiagonale oder der Klinodiagonale parallel gehen. Auch hier ist das Wort Prisma, wie im rhombischen System, lediglich für die verticalen Prismen gebräuchlich. Die horizontalen Prismen werden Orthodomen genannt und theilen die Eigenschaft

1) Dieser Ausdruck *Naumann*'s gibt — auch formell — gar keine Veranlassung zu der irrthümlichen Vorstellung, als ob es sich hier um die Hemiëdrie einer Pyramide handle.

der Pyramiden, in zwei, von einander unabhängige Partialformen, in zwei Hemidomen zu zerfallen. Die geneigten Prismen werden als Klinodomen bezeichnet. — Endlich gibt es noch drei Pinakoide, das basische, orthodiagonale und klinodiagonale Pinakoid, welche je der schiefen Basis oder den beiden verticalen Axenebenen parallel gehen (Schiefendfläche, Querfläche, Längsfläche).

Die monoklinen Pyramiden sind von 8, zweierlei ungleichseitigen Dreiecken umschlossene Formen, deren Randkanten in einer Ebene, nämlich in der Ebene der schiefen Basis liegen; Fig. 217 und 218[1]). Die gleichartigen Dreiecke liegen paarweise an den klinodiagonalen Polkanten, die einen (vorne unten und hinten oben) in den beiden spitzen, die anderen (vorne oben und hinten unten) in den beiden stumpfen Winkelräumen des orthodiagonalen und basischen Schnitts;

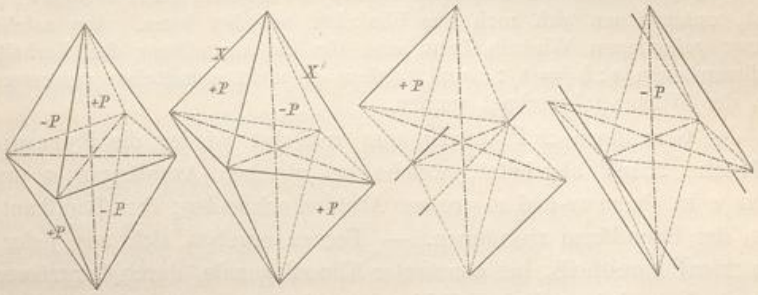


Fig. 217. Fig. 218. Fig. 219. Fig. 220.

jene bilden die positive, diese die negative Hemipyramide, welche beide durch Vorsetzung der Zeichen + und — unterschieden werden können, wobei jedoch das Zeichen + in der Regel wegzulassen ist. — Die vier Randkanten sind alle gleich, die vier orthodiagonalen Polkanten rechts und links ebenfalls gleich, die vier klinodiagonalen Polkanten aber nur zu zwei und zwei gleich, indem die vordere obere zur hinteren unteren, die vordere untere zur hinteren oberen gehört. Die beiden Randecken an den Enden der Orthodiagonale sind gleich-, diejenigen an den Enden der Klinodiagonale abweichend-werthig.

Da jedoch diese Hemipyramiden in der Erscheinung durchaus nicht an einander gebunden, sondern völlig unabhängig sind, so kommt es weit häufiger vor, dass man sie einzeln, als dass man sie beide zugleich in ihrer Vereinigung zu einer vollständigen Pyramide beobachtet. Jede einzelne Hemipyramide besteht aber aus zwei Flächenpaaren, welche entweder der kürzeren Polkante (X), oder der längeren Polkante (X') der vollständigen Pyramide parallel sind, sie stellt daher für sich eine schief prismaähnliche, den Raum nicht allseitig umschliessende Form dar (Fig. 219 und 220), welche für sich allein eben so wenig ausgebildet sein kann, als irgend ein Prisma, weshalb ihre Erscheinung nothwendig die Combination mit anderen Formen erfordert.

Man denkt sich nun hier immer irgend eine vollständige monokline Pyramide als Grundform, und bezeichnet sie mit $\pm$P, indem +P die positive, —P

1) Fig. 217 ist so gezeichnet, dass der klinodiagonale Hauptschnitt, Fig. 218 dagegen so, dass der orthodiagonale Schnitt auf den Beobachter zuläuft, während die schiefe Basis in der ersteren Figur ihm zufällt, in der anderen von links nach rechts geneigt ist.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

die negative Hemipyramide bedeutet. Aus solcher Grundform, welche gewöhnlich durch Angabe des Verhältnisses $a : b : c$ ihrer Lineardimensionen (der halben Klinodiagonale, halben Orthodiagonale, die üblicherweise als $= 1$ gilt, und halben Verticalaxe), sowie des schiefen Winkels β bestimmt wird, erfolgt nun die Ableitung in diesem System völlig so, wie im rhombischen System. Man hat dabei nur sorgfältig zu beachten, dass jede Pyramide in zwei Hemipyramiden, und jedes Orthodoma in zwei Hemidomen zerfällt, während die verticalen Prismen und die Klinodomen immer vollständig mit allen ihren vier Flächen ausgebildet sind. Die correlaten, d. h. die zu derselben vollständigen Form gehörigen Partialformen werden durch Vorsetzung der Stellungszeichen $+$ und $-$ unterschieden.

Ein jeder besonderer Formencomplex des monoklinen Systems erfordert zu seiner vollständigen Bestimmung die Kenntniss dreier von einander unabhängiger Kantenwinkel, unter denen sich auch der Winkel β befinden kann. Aus solchen durch Messung gefundenen Winkeln kann erst für die Grundform das Verhältniss der Lineardimensionen $a : b\,(= 1) : c$ und, dafern er nicht unmittelbar gemessen werden konnte, der Winkel β berechnet werden.

Aus der Grundform $\pm$P werden nun zunächst wieder die Pyramiden der Verticalreihe $\pm m$P abgeleitet, welche bei gleichen Axenlängen a und b die Verticalaxe c in einem m-mal so grossen Abstand schneiden; ihre Randkanten fallen mit denen der Grundform zusammen. — Ferner ergeben sich aus jeder solchen Pyramide $\pm m$P einestheils, bei constanter Klinodiagonale, durch Vergrösserung der Orthodiagonale nach irgend einer Zahl n, verschiedene, nach dieser Orthodiagonale gestreckte Pyramiden, welche man kurz Orthopyramiden nennen kann, und deren Zeichen sich mit $\pm m\breve{\mathrm{P}}n$ geben lässt, indem der horizontale Strich durch den Stamm des Buchstabens P daran erinnern soll, dass sich die Ableitungszahl n auf die horizontale Diagonale der Basis der Grundform bezieht. Die Orthopyramide $\pm\breve{\mathrm{P}}n$ hat dasselbe c wie die Grundpyramide. Anderentheils aber folgen auch aus jeder Pyramide $\pm m$P, bei constanter Orthodiagonale, durch Vergrösserung der Klinodiagonale, verschiedene, nach dieser Klinodiagonale gestreckte Pyramiden, welche ebenso Klinopyramiden heissen, und deren Zeichen sich als $\pm m\bar{\mathrm{P}}n$ ergibt. $\pm\bar{\mathrm{P}}n$ ist die, welche dasselbe c wie die Grundform besitzt.

Die *Weiss*'schen Flächenzeichen sind für die Grundpyramide $a : b : c$, für die Pyramiden der Verticalreihe $a : b : mc$, für die Orthopyramiden $a : nb : mc$, für die Klinopyramiden $na : b : mc$.

Die *Miller*'sche Bezeichnung sämmtlicher monokliner Formen ist die völlige Analogie der für das rhombische System geltenden, indem hier die Orthodiagonale und Klinodiagonale der rhombischen Makrodiagonale und Brachydiagonale entsprechen. Die als negativ charakterisirten Formen erhalten in ihrem allgemeinen Ausdruck 3 positive Indices, die positiven den ersten Index negativ.

Die Hemipyramiden sind allgemein $\{hkl\}$. Für die Grundpyramide ist $+\mathrm{P} = \{\bar{1}11\}$, $-\mathrm{P} = \{111\}$.

Die Hemipyramiden der Verticalreihe sind $\{\bar{h}hl\}$ für $+m$P und $\{hhl\}$ für $-m$P; für die, welche spitzer sind als die Grundpyramide, ist $h > l$, für die stumpferen $h < l$; z. B. $+3\mathrm{P} = \{\bar{3}31\}$; $-2\mathrm{P} = \{221\}$; $+\frac{5}{2}\mathrm{P} = \{\bar{5}52\}$; $+\frac{1}{4}\mathrm{P} = \{\bar{1}14\}$; $-\frac{1}{6}\mathrm{P} = \{116\}$; $-\frac{3}{8}\mathrm{P} = \{338\}$.

Bei den Orthopyramiden ist $\pm\breve{\mathrm{P}}n = \{\bar{h}kh\}$ und $\{hkh\}$; weiterhin $\pm m\breve{\mathrm{P}}n = \{\bar{h}kl\}$ und $\{hkl\}$; darin $h > k$; z. B. $+\breve{\mathrm{P}}3 = \{\bar{3}13\}$; $+2\breve{\mathrm{P}}3 = \{\bar{6}23\}$; $-\frac{4}{3}\breve{\mathrm{P}}4 = \{413\}$; $-7\breve{\mathrm{P}}7 = \{711\}$; $+\frac{5}{2}\breve{\mathrm{P}}\frac{5}{3} = \{\bar{5}32\}$.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bei den Klinopyramiden ist $\pm \mathbf{P}n = \{\bar{h}kk\}$ und $\{hkk\}$, ferner $\pm m\mathbf{P}n = \{\bar{h}kl\}$ und $\{hkl\}$, wobei $h<k$; z. B. $+\mathbf{P}2 = \{\bar{1}22\}$; $-\mathbf{P}\frac{4}{3} = \{344\}$; $+\frac{2}{3}\mathbf{P}2 = \{\bar{1}23\}$; $-2\mathbf{P}2 = \{121\}$; $-3\mathbf{P}\frac{3}{2} = \{231\}$.

Die verticalen Prismen des monoklinen Systems (Fig. 221) sind Complexe von vier zusammengehörigen Flächen, welche sich geometrisch in nichts von den rhombischen Prismen unterscheiden, ebenfalls einen rhombischen Horizontalschnitt liefern und gewissermassen Pyramiden mit unendlich langer Verticalaxe darstellen; so liefert die Grundform $\pm$P durch senkrechte (nicht gerade) Abstumpfung ihrer Randkanten das Grundprisma ∞P. Aus ihm leiten sich analog wie bei den Pyramiden einestheils verschiedene, bei gleichbleibender Klinodiagonale nach der Orthodiagonale um n gestreckte Orthoprismen $\infty\mathbf{P}n$ ab, anderseits bei gleichbleibender Orthodiagonale nach der Klinodiagonale um n gestreckte Klinoprismen $\infty\mathbf{P}n$. Die ersteren zeigen vorne einen stumpferen, die letzteren einen schärferen Prismenwinkel als ∞P. Die ersteren modificiren die vordere und hintere, die letzteren die seitlich gelegenen Kanten von ∞P.

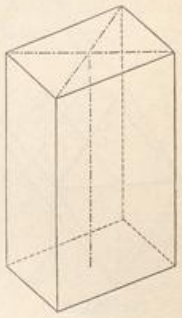


Fig. 221.

Die *Weiss*'schen Flächenzeichen sind: für das Grundprisma $a : b : \infty c$; für die Orthoprismen $a : nb : \infty c$; für die Klinoprismen $na : b : \infty c$.

Das Grundprisma $\infty\mathrm{P} = \{110\}$; ferner die Orthoprismen $\infty\mathbf{P}n = \{hk0\}$, wobei $h>k$ und $n = \frac{h}{k}$. Die Klinoprismen $\infty\mathbf{P}n = \{hk0\}$, wobei $h<k$ und $n = \frac{k}{h}$; z. B. $\infty\mathbf{P}2 = \{210\}$; $\infty\mathbf{P}\frac{3}{2} = \{320\}$; $\infty\mathbf{P}5 = \{150\}$; $\infty\mathbf{P}\frac{4}{3} = \{340\}$.

Die horizontalen Querprismen oder die Orthodomen (Fig. 222) sind Flächencomplexe, welche der Orthodiagonale parallel gehen und allgemein die klinodiagonalen Polkanten der Pyramiden abstumpfen. Da die letzteren nicht alle vier, sondern nur zu je zwei und zwei zusammengehören, so können auch die 4 Orthodomenflächen nur zu zwei und zwei gleichwerthig sein und müssen, wie angeführt, in zwei Hemi-Orthodomen zerfallen, von denen jedes blos ein Paar paralleler Flächen darstellt und ohne das andere auftreten kann; analog der Zerfällung der Pyramiden in Hemipyramiden wird das in den spitzen Winkelräumen β gelegene als das positive, das in den stumpfen Winkelräumen als das negative bezeichnet. Der Complex der beiden liefert im Verticalschnitt nach c keinen Rhombus, sondern ein Rhomboid. Die Hemiorthodomen, welche die klinodiagonalen Polkanten der Grundpyramide $\pm$P abstumpfen, sind $\pm\mathbf{P}\infty$; daraus leiten sich, durch Veränderung der Verticalaxe um m, die anderen $\pm m\mathbf{P}\infty$ ab. Diese Orthodomen sind die Grenzformen der Orthopyramiden $\pm m\mathbf{P}n$, in denen $n = \infty$.

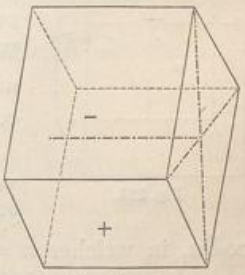


Fig. 222.

Die Orthodomen der Grundpyramide sind $a : \infty b : c$ und $a' : \infty b : c$; $\pm m\mathbf{P}\infty = a : \infty b : mc$ und $a' : \infty b : mc$.

Die *Miller*'schen Indices für die Grundorthodomen sind $+\mathbf{P}\infty = \{\bar{1}01\}$; $-\mathbf{P}\infty = \{101\}$.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die schärferen Orthodomen $\pm m\breve{P}\infty$, in denen $m > 1$, sind allgemein $\{h0l\}$, worin $h > l$; $+ 5\breve{P}\infty = \{\bar{5}01\}$; $- \frac{7}{4}\breve{P}\infty = \{704\}$; $+ \frac{3}{2}\breve{P}\infty = \{\bar{3}02\}$.

Die stumpferen Orthodomen $\pm m\breve{P}\infty$, in denen $m < 1$, sind ebenso allgemein $\{h0l\}$, worin aber $h < l$; z. B. $+ \frac{1}{8}\breve{P}\infty = \{\bar{1}08\}$; $- \frac{5}{9}\breve{P}\infty = \{509\}$.

Die nach vorne geneigten Längsprismen oder die Klinodomen (Fig. 223) gehen der Klinodiagonale a parallel und stumpfen die orthodiagonalen Polkanten der Pyramiden gerade ab; sie bilden daher, wie die Brachydomen des rhombischen Systems, einen Complex von vier gleichwerthigen, zusammengehörigen Flächen, für welche die Zeichen + und — wegfallen, weil der Gegensatz zwischen denselben hier nicht existirt. Sie können als Grenzformen der Klinopyramiden betrachtet werden, in denen $n = \infty$. Das die Polkanten der Grundpyramide gerade abstumpfende Klinodoma ist $\breve{P}\infty$, woraus sich durch Veränderung der Verticalaxe c um m die anderen Klinodomen $m\breve{P}\infty$ ableiten.

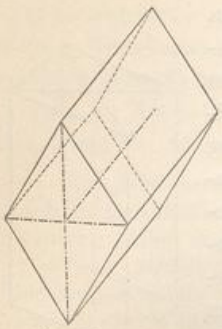


Fig. 223.

Das Grundklinodoma ist bei *Weiss* $\infty a : b : c$; $m\breve{P}\infty = \infty a : b : mc$. In der *Miller*'schen Bezeichnung ist $\breve{P}\infty = \{011\}$; die schärferen Klinodomen $m\breve{P}\infty$, in denen $m > 1$, sind allgemein $\{0kl\}$, worin $k > l$; z. B. $2\breve{P}\infty = \{021\}$; $\frac{5}{3}\breve{P}\infty = \{053\}$. — Die stumpferen Klinodomen $m\breve{P}\infty$, in denen $m < 1$, sind allgemein $\{0kl\}$, worin $k < l$; z. B. $\frac{1}{7}\breve{P}\infty = \{017\}$; $\frac{2}{3}\breve{P}\infty = \{023\}$.

Wie im rhombischen System sind auch hier die drei tafelförmigen Pinakoide (Fig. 224) je das Paar von parallelen Flächen, welches je einer Ebene durch 2 krystallographische Axen entspricht; nämlich:

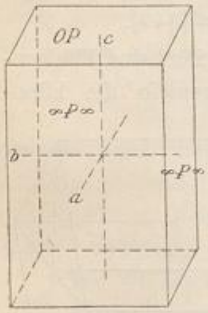


Fig. 224.

1) die Basis oder das basische Pinakoid, oben und unten gelegen, parallel der Axenebene ac, daher nicht horizontal, sondern nach vorne gleichmässig schief geneigt, und zwar gegen die Horizontalebene unter dem Werth des spitzen Winkels β. Das Zeichen ist 0P, gewissermassen eine Pyramide, in welcher der Werth der Verticalaxe $= 0$. Bei *Weiss* $\infty a : \infty b : c$; bei *Miller* $\{001\}$.

2) Das verticale Orthopinakoid oder die Querfläche, vorne und hinten auftretend, parallel der Axenebene bc. Das Symbol ist $\infty\breve{P}\infty$, nämlich die Grenzform der Orthoprismen $\infty\breve{P}n$, in welcher $n = \infty$, oder der Orthodomen $m\breve{P}\infty$, in welcher $m = \infty$. — $a : \infty b : \infty c$. — $\{100\}$.

3) Das ebenfalls verticale Klinopinakoid oder die Längsfläche, rechts und links auftretend, parallel der Axenebene ac, daher die einzige Symmetrieebene; das Klinopinakoid ist das einzige, welches auf den beiden anderen Pinakoiden senkrecht steht, indem 0P und $\infty\breve{P}\infty$ keinen rechten Winkel bilden. Das Symbol ist $\infty\breve{P}\infty$, als Grenzform der Klinoprismen $\infty\breve{P}n$, in welcher $n = \infty$, oder der Klinodomen $m\breve{P}\infty$, in welcher $m = \infty$. — $\infty a : b : \infty c$. — $\{010\}$.

Zu der ausgezeichneten Querzone, für welche die Orthodiagonale und einzige Symmetrieaxe b die Zonenaxe ist, gehören daher das Orthopinakoid, sämmtliche Orthodomen, die Basis. Diese 3 Formen sind generell nicht von einander verschieden, ihr specieller Charakter hängt von der Wahl der Axen a und c ab. Betrachtet man z. B.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

die als Verticalaxe c angenommene Richtung als die der Klinodiagonale a, so würde das Orthopinakoid zur Basis; jedes Orthodoma kann in die Stellung eines Orthopinakoids oder einer Basis gebracht werden. Ebenso existirt kein absoluter Unterschied zwischen Hemipyramiden, verticalen Prismen und Klinodomen, insofern auch ihre Auffassung sich nach der Wahl von a und c richtet; vertauscht man c mit a, so wird z. B. das bisherige verticale Prisma zum Klinodoma. Der monokline Formencomplex ist also gewissermassen um die Orthodiagonale b drehbar. Welche von jenen theoretischen Möglichkeiten sich für die praktische Wahl am meisten empfiehlt, hängt insbesondere davon ab, bei welcher Stellung sich für die verschiedenen Formen die einfachsten Symbole ergeben. — Nur das Klinopinakoid (nebst der darauf normalen Axe b) ist allemal von vorne herein durch die Symmetrie als solches gegeben, seine Stellung bleibt dieselbe bei jeder Wahl der Axen a und c; es ist immer selbst eine Axenebene. In der Fig. 225 ist a diese S.-E.; für die gewählte Aufstellung ist c die Basis, p Grundprisma, o Hemipyramide, s Orthodoma, t Klinodoma. Der Krystall kann aber auch so gedreht werden, dass c Orthopinakoid wird, t Prima, p Klinodoma; oder es kann s' als Basis gelten und s als Orthopinakoid, wobei dann o als Prisma, c als Orthodoma, p und t als Pyramiden erscheinen. — Zu der verticalen Zone gehören das Orthopinakoid, sämmtliche verticale Prismen (Grundprisma, Orthoprismen, Klinoprismen), das Klinopinakoid; zu der klinodiagonalen Zone die Basis, sämmtliche Klinodomen, das Klinopinakoid.

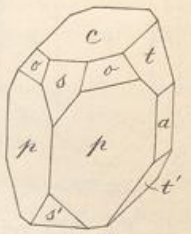


Fig. 225.

Mit Bezug auf die S.-E. ordnen sich also die im monoklinen System möglichen holoëdrischen Formen, welche einerseits Flächenpaare, anderseits vierzählige Flächencomplexe sind, in drei Arten:

I. Parallel der S.-E. kann nur eine einzige Form, und zwar als Flächenpaar auftreten, das Klinopinakoid.

II. Senkrecht zur S.-E. können, weil derselben nur eine existirt, auch nur Flächenpaare liegen und zwar:
1) parallel a, schief zu c: das basische Pinakoid;
2) parallel c, schief zu a: das Orthopinakoid;
3) schief zu c und zu a: die Orthodomen;
} orthodiagonale Zone.

III. Schief geneigt zur S.-E. muss jede Form mit vier Flächen auftreten:
1) parallel a, schief zu c: die Klinodomen;
2) parallel c, schief zu a: die verticalen Prismen;
3) schief zu c und zu a: die Pyramiden.

Weitere Formen sind daher, wie man leicht ersieht, nicht möglich.

§ 41. Einige holoëdrisch-monokline Combinationen. Das Auftreten der Partialformen ist das einzige Verhältniss, welches dem mit den Combinationen des rhombischen Systems Vertrauten bei dem monoklinen einige Schwierigkeit bereiten könnte. Hier mögen nur einige Beispiele erwähnt werden. Fig. 226 stellt eine Form des Gypses dar, dadurch ausgezeichnet, dass die Grundpyramide vollständig, mit beiden Hemipyramiden (l und n) ausgebildet ist, welche die säulenförmige Combination des Prismas ∞P und des Klinopinakoids $\infty \breve{P} \infty$ beiderseits begrenzen. Fig. 227 zeigt eine am Gyps noch häufigere Combination, welche sich von der vorigen dadurch unterscheidet, dass die positive Hemipyramide fehlt und nur die negative

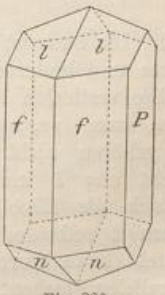


Fig. 226.

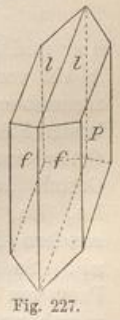


Fig. 227.

vorhanden ist. Fig. 228 ist die gewöhnlichste Krystallform des Augits, deren Zeichen zu schreiben ist: $\infty P.\infty \breve{P}\infty.\infty \breve{R}\infty.P$ (entsprechend p, a, b, o): die verticalen Formen werden hier lediglich durch die positive Hemipyramide der Grundform begrenzt.

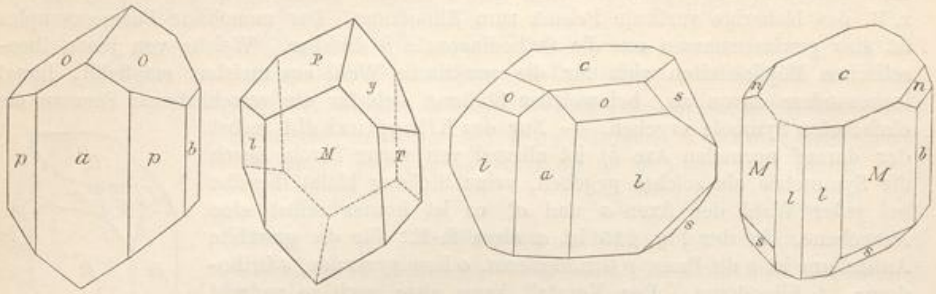


Fig. 228. Fig. 229. Fig. 230. Fig. 231.

Fig. 229 zeigt eine gewöhnliche Combination des Orthoklases oder gemeinen Feldspaths, die von den Flächen des Klinopinakoids $\infty \breve{R}\infty$ (M) und Prismas ∞P (hier, wie üblich mit verschiedenen Buchstaben T und l bezeichnet), des basischen Pinakoids $0P$ (P) und des Hemidomas $2\breve{P}\infty$ (y) gebildet wird; die S.-E. M ist dem Beschauer zugewendet. — Fig. 230 (künstlich erzeugter monokliner Schwefel) weist auf: $c = 0P$, $a = \infty \breve{P}\infty$; $l = \infty P$, $o = P$, $s = \breve{R}\infty$. — Fig. 231 (Realgar) zeigt: $c = 0P$, $M = \infty P$, $l = \infty \breve{P}2$, $b = \infty \breve{R}\infty$, $n = \breve{R}\infty$, $s = P$.

§ 42. **Hemiëdrie und Hemimorphie im monoklinen System.** Die Hemiëdrie entsteht, indem bei der monoklinen Hemipyramide die parallelen Gegenflächen verschwinden, oder bei ihr nur 2 von denjenigen Flächen verbleiben, welche sich in der S.-E. schneiden. Die Formen haben zwar noch eine (Neben-) S.-E. ($\infty \breve{R}\infty$), aber keine S.-A. mehr, auch kein Centrum der Symmetrie. Fig. 232.

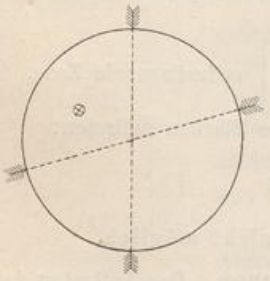


Fig. 232.

Die Pyramiden zerfallen dabei eigentlich in 4 Viertelpyramiden, jede aus 2 Flächen bestehend, welche aber nicht wie im triklinen System einander diametral in den entgegengesetzten Oktanten gegenüberliegen, sondern es gehören zusammen diejenigen beiden Flächen, welche vorne oben rechts und links liegen, ferner die beiden vur und vul, die beiden hor und hol und die beiden hur und hul. Die Basis ist differenzirt in ein oberes und unteres, das Orthopinakoid in ein vorderes und hinteres Pedion, beim Klinopinakoid gehören aber beide Flächen zusammen. Die verticalen Prismen liefern 2 unabhängige Halbprismen, nämlich die beiden Flächen vorne (vr, vl) und anderseits die beiden hinten (hr, hl). — Bei den Orthodomen gehören nicht mehr je zwei Flächen zusammen, sondern die ganze Gestalt besteht aus 4 independenten Flächen, nämlich die einzelnen vo, vu, ho, hu. Auch die Klinodomen bilden nicht mehr einen vierflächigen Complex, sondern liefern 2 selbständige Flächen oben (or, ol), 2 selbständige unten (ur, ul). So besteht keine Form aus mehr als 2 Flächen, und $\infty \breve{R}\infty$ ist das einzige Paar von parallelen Flächen; sehen daher auch wohl so die Formen gleichsam hemimorph nach der Verticalaxe aus, so liegt doch hier keine eigentliche Hemimorphie vor, weil die Verticale keine S.-A. ist. — Sofern aber die theoretisch ungleichwerthigen Flächen, welche hier aus den holoëdrischen Formen hervorgehen, gleichwohl

in übereinstimmender Weise ausgebildet sind, so scheint äusserlich der Krystall zu der holoëdrischen Abtheilung zu gehören. Aetzfiguren können jedoch einen Aufschluss darüber geben, dass derselbe in diese hemiëdrische Gruppe zu versetzen ist: diese Aetzfiguren müssten z. B. auf den beiden vorderen Prismenflächen unter einander gleich, aber abweichend beschaffen sein von den auf den beiden hinteren Prismenflächen erhaltenen. Auch müsste die vordere und hintere Prismenkante verschiedenes pyroëlektrisches Verhalten zeigen. — Im Mineralreich gehört zu dieser Hemiëdrie zufolge *Penfield* und *Foote* der Klinohedrit; ferner ist sie auf Grund der Aetzfiguren durch *Rinne* an dem Skolezit nachgewiesen worden, wenn auch dessen Krystalle meist nach $\infty P\infty$ verzwillingt sind, wodurch die S.-A. und das S.-Centrum wieder erworben werden. Von künstlichen Krystallen zeigen sie tetrathionsaures Kalium und Paratoluidoisobuttersäureester.

Anm. Würde eine Hemiëdrie der monoklinen Pyramide dergestalt erfolgen, dass 2 parallele, zu diagonal entgegengesetzten Oktanten gehörige Flächen abwechselnd verblieben, so würden Gestalten entstehen, die dem triklinen System zufallen.

Hemimorphie im monoklinen System. Da die Orthodiagonale b die einzige S.-A. ist, so kann Hemimorphie nur an ihren beiden Enden (nicht an denen von c oder a) eintreten. Die entstehenden Formen besitzen keine S.-E. mehr, aber b ist noch eine zweizählige S.-A. von polarer Ausbildung. Kein Centrum der Symmetrie mehr vorhanden. Fig. 233.

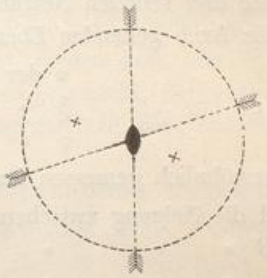


Fig. 233.

Die Formen der orthodiagonalen Zone ($\infty P\infty$, $\pm mP\infty$, $0P$) erleiden dadurch auch in der Bedeutung der zu ihnen gehörigen Flächen keine Veränderung. Das Klinopinakoid aber wird in 2, nicht mehr zusammengehörige Flächen, die eine rechts, die andere links gelegen, differenzirt. Ebenso zerfallen die verticalen Prismen in 2 von einander unabhängige Hemiprismen, das eine die beiden rechts, das andere die beiden links gelegenen Flächen begreifend. Desgleichen zerlösen sich die Klinodomen in 2 Formen, eine rechts mit 2 Flächen, die andere links mit 2 Flächen auftretend. Die monokline Pyramide liefert hier 4 separate Viertelpyramiden, von denen jede nur 2 Flächen umfasst, die ohne die anderen auftreten können; es gehören zusammen die Flächen vor und hur, vol und hul, vur und hor, vul und hol. — Die beiden Enden von b werden polar-pyroëlektrisch. Auf den Flächen, welche den entgegengesetzten Enden von b angehören, können abweichende Aetzfiguren auftreten; auch können auf den Flächen der orthodiagonalen Zone die Aetzfiguren unsymmetrisch nach der Axe b gestaltet sein. — Aus dem Mineralreich ist bisher kein Beispiel bekannt; unter den künstlichen Krystallen zeigen diese Hemimorphie Lithiumsulfat; Rechtsweinsäure, Linksweinsäure, rechtsweinsaures Kalium, Ammonium und Strontium; Rohrzucker; Milchzucker; Quercit.

6. Triklines Krystallsystem.

§ 43. **Grundcharakter.** Das trikline[1]) System ist unter allen Krystallsystemen das am wenigsten regelmässige; dasjenige, in welchem mit dem Maximum von Ungleichwerthigkeit der Grundelemente das Minimum von Symmetrie der Gestaltung erreicht worden ist. Sämmtliche Formen desselben sind nämlich auf drei

1) Früher auch das ein- und eingliederige, das anorthotype, das klinorhomboidische, das asymmetrische genannt. Der Name triklines S. bezieht sich eigentlich darauf, dass die drei Coordinat-Ebenen oder Axenebenen des Systems unter einander lauter schiefe Winkel bilden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

unter einander schiefwinkelige und durchaus ungleiche krystallographische Axen a, b und c zu beziehen, wodurch 8 Oktanten bestimmt werden, von welchen jeder nur dem diametral gegenüberliegenden gleich ist. Zu Axen können, da keine derselben durch Symmetrie vorgeschrieben ist, jede 3 beliebigen Krystallkanten gewählt werden, welche unter einander nicht parallel sind; deshalb herrscht bezüglich der Axenwahl innerhalb dieses Systems sehr grosse Verschiedenheit unter den Krystallographen. Nachdem eine der Axen zur Verticalaxe c bestimmt worden ist, wird die längere der beiden anderen, welche deshalb wie im rhombischen System die Makrodiagonale b heisst, quer gestellt, wobei dann die kürzere derselben, die Brachydiagonale a, in einer Längsrichtung schief auf den Beschauer zuläuft. Gibt man der Makrodiagonale eine Neigung von links oben nach rechts unten, der Brachydiagonale eine solche von rechts hinten nach links vorne, so wird der vordere obere rechte Oktant nur von stumpfen Axenwinkeln begrenzt. — Jede hierher gehörige Krystallreihe erfordert so zu ihrer Bestimmung die Kenntniss des Grössenverhältnisses der drei Parameter der Grundform sowie der drei schiefen Neigungswinkel entweder der Axen (α, β, γ) oder auch der durch die Axen gehenden Ebenen A, B, C, wobei

α der Winkel ist zwischen den Axen b und c
β » » » » » » a und c
γ » » » » » » a und b,

gewöhnlich gemessen im vorderen oberen rechten Oktanten; ferner

A die Neigung zwischen der Ebene der a- u. c-Axe u. der Ebene der a- u. b-Axe
B « » » » » der b- u. a-Axe » » » » b- u. c-Axe
C » » » » » der c- u. a-Axe » » » » c- u. b-Axe.

Die drei Axenebenen erhalten die Namen der basischen (ab), der makrodiagonalen (cb) und der brachydiagonalen (ca). — Die Formen dieses letzten Krystallsystems besitzen überhaupt keine Ebene und auch keine Axe der gewöhnlichen einfachen Symmetrie mehr. Rechte Kantenwinkel, wie sie noch im monoklinen System vorhanden waren, können nicht vorkommen, somit auch keine rechtwinkelig auf einander stehenden Zonen, denn diese setzen immer eine S.-E. voraus.

Die triklinen Krystalle zerfallen in 2 Abtheilungen: die erste besitzt immerhin noch ein Centrum der Symmetrie (den Durchschnittspunkt der 3 Axen), auch noch eine zweizählige Axe und dazu senkrechte Ebene wenigstens der zusammengesetzten S. (centrosymmetrische, pinakoidale oder sog. holoëdrische Gruppe). In der zweiten Abtheilung ist dagegen kein Centrum der Symmetrie und damit überhaupt gar kein Symmetrie-Element (auch keines selbst der zusammengesetzten S.) mehr vorhanden (asymmetrische, pediale oder sog. hemiëdrische Gruppe).

§ 44. **Beschreibung und Ableitung der Formen der centrosymmetrischen Abtheilung.** Da keine S.-E. mehr, wohl aber noch ein Centrum der Symmetrie vorhanden ist, so wird durch das Dasein einer Fläche zwar noch eine parallele Gegenfläche, aber keine weitere gefordert, und so besteht daher hier die einfache Krystallform aus nichts anderem als einem Paar von parallelen Flächen, von denen wenigstens 3 Paare erforderlich sind, um den Raum äusserlich abzuschliessen. Fig. 234. Sämmtliche anscheinend zusammenhängende Gestalten dieser

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Abtheilung des triklinen Systems zerfallen deshalb in lauter einzelne Flächenpaare, wie es in anderen holoëdrisch ausgebildeten Krystallsystemen für die Pinakoide, im monoklinen auch für die Orthodomen der Fall ist[1]). Diese Zerstückelung der Gestalten ist es besonders, was manchen Formencomplexen einen so unsymmetrischen Charakter verleiht.

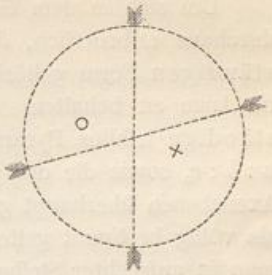


Fig. 234.

Immerhin redet man aber auch hier, abgesehen von den eigentlichen Pinakoiden, von Pyramiden sowie von Prismen und Domen, je nachdem die Flächen alle 3 krystallographischen Axen oder nur 2 derselben schneiden. Dabei müssen dieselben allerdings jene durchgreifende Zerfällung in Partialformen erfahren, welche in Bezug auf ihr Vorkommen völlig unabhängig von einander sind. Jede sog. Pyramide besteht aus vier verschiedenen Viertelpyramiden oder Tetartopyramiden, und jedes Prisma aus zwei verschiedenen Hemiprismen. Die Prismen sind auch hier dreierlei, je nachdem ihre Flächen der Verticalaxe, oder einer der beiden anderen geneigten Axen parallel sind. Die Pinakoide endlich sind wieder die Parallelflächen der drei Axenebenen. Uebrigens werden auch hier die Worte Prisma und Hemiprisma lediglich für verticale Prismen gebraucht, die beiden Arten von geneigten Prismen und deren Partialformen dagegen mit dem Namen Doma und Hemidoma belegt.

Die triklinen Pyramiden sind von 8, viererlei verschiedenen Dreiecken umschlossene Formen, deren Randkanten in einer Ebene liegen (Fig. 235). Je zwei gleichartige Dreiecke sind einander parallel, und liegen in zwei entgegengesetzten Raumoktanten, wie solche durch die 3 Axenebenen bestimmt werden. Sie bilden eine Viertelpyramide oder Tetartopyramide, welche an und für sich ein bloses Flächenpaar, also eine unbegrenzte Form darstellt, und daher nur in Combination mit irgend anderen Partialformen existiren kann. Um sie jedoch in irgend einer bestimmten Begrenzung vorstellen zu können, ist es am zweckmässigsten, ihre beiden Flächen in derjenigen Ausdehnung zu denken, wie solche durch die Intersection mit den drei Axenebenen, oder, was dasselbe ist, durch die gleichzeitig ausgebildeten drei correlaten Viertelpyramiden bestimmt wird. Die Durchschnitte der Flächen einer jeden Viertelpyramide mit den Axenebenen liefern drei Kanten, welche als die eigentlichen Polkanten und Randkanten der Viertelpyramide zu betrachten, und, wegen des unabhängigen Auftretens dieser Partialformen, weit wichtiger sind, als

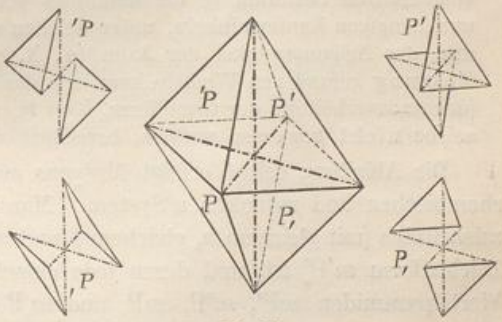


Fig. 235.

1) Die früheren Systeme haben auch schon Partialformen dargeboten, welche einer S.-E. entbehren; denselben ging aber die Vertheilung der Flächen als parallele Paare ab, welche hier in dieser Abtheilung des triklinen Systems vorhanden sind.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

diejenigen Kanten, welche in der vollständigen triklinen Pyramide durch das Zusammentreffen ihrer sämmtlichen Flächen gebildet werden.

Um sich in dem Gewirre der Flächenpaare die Uebersicht zu erhalten, ist es durchaus erforderlich, die correlaten, d. h. die zu einer und derselben vollständigen Form gehörigen Partialformen nach ihrer Correlation aufzufassen und im Auge zu behalten. Zu diesem Ende legt man bei der Ableitung eine vollständige trikline Pyramide zu Grunde, für welche das Verhältniss der drei Axen $a : b : c$, sowie die drei an solchen Axen anliegenden schiefen Neigungswinkel der Axenebenen überhaupt gegeben sein müssen, wenn der betreffende Krystallcomplex als völlig bestimmt gelten soll. Diese vollständig vorausgesetzte Grundform denkt man in aufrechter Stellung so vor dem Beschauer, dass ihr brachydiagonaler Schnitt (die Axenebene ac) auf ihn zuläuft. Dann erscheinen die vorderen, ihm zugewendeten Flächen ihrer vier Partialformen dergestalt vertheilt, dass sie nach ihrer Lage als obere und untere, als rechte und linke unterschieden werden können; ein topisches Verhältniss, von welchem man für die Viertelpyramiden selbst die Zeichen P', $'P$, $P_,$ und $_,P$ entlehnt, durch deren Zusammenfassung für die vollständige Pyramide das Zeichen $'P'_,$ gewonnen wird; Fig. 235. Es gehören alsdann als ein paralleles Flächenpaar zusammen die Dreiecksflächen

$$vor \text{ und } hul = P' = (111) \text{ und } (\bar{1}\bar{1}\bar{1})$$
$$vol \text{ und } hur = {}'P = (1\bar{1}1) \text{ und } (\bar{1}1\bar{1})$$
$$vur \text{ und } hol = P_, = (11\bar{1}) \text{ und } (\bar{1}\bar{1}1)$$
$$vul \text{ und } hor = {}_,P = (1\bar{1}\bar{1}) \text{ und } (\bar{1}11).$$

Ein jeder besonderer Formencomplex des triklinen Systems erfordert zu seiner vollständigen Bestimmung die Kenntniss von fünf verschiedenen und von einander unabhängigen Kantenwinkeln, unter welchen sich auch einer oder zwei, oder auch alle drei der Neigungswinkel der Axen (α, β, γ) befinden können. Aus diesen durch Messung gefundenen Winkeln kann erst das Verhältniss der Lineardimensionen $a : b : c$ (das Axenverhältniss der Grundform, $b = 1$), und die Grösse der Winkel α, β, γ, soweit solche nicht gemessen wurden, berechnet werden.

Die Ableitung selbst erfolgt übrigens aus dieser Grundform genau so, wie im rhombischen und monoklinen System. Man leitet erst solche Pyramiden der verticalen Reihe (mit gleichem a, gleichem b und mc als Parametern) ab, deren allgemeine Zeichenform $m'_,P'_,$ ist, und deren jede einzelne, wie die Grundform selbst, in vier Viertelpyramiden mP', $m'P$, $mP_,$ und $m_,P$ zerfällt. — Aus jedem Gliede dieser Reihe werden nun ferner theils (durch Verlängerung von b um n) Makropyramiden $m'_,\bar{P}'_,n$, theils (durch Verlängerung von a um n) Brachypyramiden $m'_,\breve{P}'_,n$ abgeleitet, wobei zu beachten ist, dass jede wiederum in vier Tetartopyramiden zerfällt.

Die Gestaltung der *Miller*'schen Indices ergibt sich auf Grund der vorhergehenden Systeme sehr einfach: z. B. $\frac{1}{2}P'2 = \{112\}$; $2'P = \{2\bar{2}1\}$; $\frac{1}{2}'\bar{P}2 = \{12\bar{4}\}$; $\bar{P}_,3 = \{13\bar{3}\}$; $3_,\bar{P}3 = \{\bar{1}31\}$; $\breve{P}_,3 = \{31\bar{3}\}$; $4\breve{P}'4 = \{411\}$.

Die verticalen Prismen besitzen einen rhomboidischen Querschnitt, und zerfallen in zwei ungleichwerthige, eines unabhängigen Auftretens fähige Flächenpaare (Hemiprismen), von denen das eine vorne rechts und hinten links, das andere vorne links und hinten rechts gelegen ist, und deren Symbole dem entsprechend auch signirt werden. Aus der Grundpyramide werden so als verticale Abstumpfung ihrer Randkanten das rechte Grundhemiprisma $\infty P' = \{110\}$

sowie das linke $\infty'\mathrm{P} = \{1\bar{1}0\}$ abgeleitet. — Ferner ergeben sich als Grenzformen der Makropyramiden die entsprechenden Makroprismen $\infty\bar{\mathrm{P}}'n$ und $\infty'\bar{\mathrm{P}}n$, als diejenigen der Brachypyramiden die Brachyprismen $\infty\breve{\mathrm{P}}'n$ und $\infty'\breve{\mathrm{P}}n$. — Bei *Miller* ist z. B. $\infty\bar{\mathrm{P}}'3 = \{130\}$; $\infty'\breve{\mathrm{P}}2 = \{2\bar{1}0\}$.

Die Domen sind zweierlei Klinodomen, von denen jedes in 2 Hemidomen zerfällt. Je nachdem ihre Flächen der Makrodiagonale b oder der Brachydiagonale a parallel gehen, werden sie als quer verlaufende Makrodomen oder als längs gerichtete Brachydomen unterschieden. Die allgemeinen Symbole der Makrodomen (auch hier wieder die Grenzformen der Makropyramiden) sind: $m'\bar{\mathrm{P}}'\infty$ für das hemidomatische Flächenpaar vorne oben und hinten unten, sowie $m,\bar{\mathrm{P}},\infty$ für dasjenige vorne unten und hinten oben. — Bei den Brachydomen, den Grenzformen der Brachypyramiden, macht sich eine andere Zusammengehörigkeit der Flächen geltend: das allgemeine Symbol desjenigen hemidomatischen Flächenpaares, welches oben rechts und unten links liegt, ist $m,\breve{\mathrm{P}}'\infty$; das für das andere Flächenpaar oben links und unten rechts ist $m'\breve{\mathrm{P}},\infty$.

$'\bar{\mathrm{P}}'\infty = \{101\}$; $,\bar{\mathrm{P}},\infty = \{\bar{1}01\}$; $\frac{3}{3},\bar{\mathrm{P}},\infty = \{\bar{2}03\}$; $,\breve{\mathrm{P}}'\infty = \{011\}$; $'\breve{\mathrm{P}},\infty = \{0\bar{1}1\}$; $2'\breve{\mathrm{P}},\infty = \{0\bar{2}1\}$.

Die Pinakoide sind auch hier die Flächenpaare, welche, wie im monoklinen und rhombischen System den 3 Axenebenen parallel gehen, und daher hier sämmtlich schiefwinkelig aufeinander stehen, nämlich:

das basische Pinakoid, parallel ab, die Grenzform 0P der Pyramiden; $\{001\}$.

das verticale Makropinakoid oder die Querfläche, parallel bc, die Grenzform $\infty\bar{\mathrm{P}}\infty$ der Makroprismen und Makrodomen; $\{100\}$.

das verticale Brachypinakoid oder die Längsfläche, parallel ac, die Grenzform $\infty\breve{\mathrm{P}}\infty$ der Brachyprismen und Brachydomen; $\{010\}$.

§ 45. **Combinationen dieser Abtheilung.** Manche Formencomplexe (wie z. B. die der meisten Feldspathe) zeigen in ihren Combinationen noch eine Annäherung an die Symmetrieverhältnisse des monoklinen Systems, während andere (wie z. B. jene des Kupfervitriols und Axinits) die Unsymmetrie und Unvollständigkeit der Formenausbildung im höchsten Grade erkennen lassen. In diesem letzteren Falle erfordert es allerdings einige Aufmerksamkeit, um die gegenseitige Beziehung und krystallographische Bedeutung der verschiedenen Flächenpaare oder Partialformen nicht aus dem Auge zu verlieren. Wenn es die Beschaffenheit der Combination gestattet, so hat man zuvörderst drei, entweder wirklich vorhandene, oder doch ihrer Lage nach bestimmte Flächenpaare als Axenebenen zu wählen, und dann eine angemessene Wahl der Grundform (wenn auch nur in einer ihrer Viertelpyramiden, oder in zweien von ihr unmittelbar abhängigen hemiprismatischen Formen) vorzunehmen. Doch kann man auch von der Wahl irgend anderer Partialformen ausgehen und aus ihren Verhältnissen die Lage der drei Axenebenen und der Grundform erschliessen. Die weitere Entwickelung der Combinationen erfolgt wesentlich nach denselben oder nach ähnlichen Regeln, wie im rhombischen und monoklinen System. — Als ganz einfache Beispiele mögen nachstehende dienen.

In dem Albitkrystall (Fig. 236) betrachte man die mit P und M bezeichneten Flächen als basisches und brachydiagonales Pinakoid, die Flächen s als die obere rechte Viertelpyramide P′, so wird $l = \infty\mathrm{P}'$, $T = \infty'\mathrm{P}$, und $x = '\bar{\mathrm{P}}'\infty$.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bei dem in Fig. 237 dargestellten Axinitkrystall pflegt man zu betrachten:
P als das linke Hemiprisma $\infty'\mathrm{P}$,
u als das rechte Hemiprisma $\infty\mathrm{P}'$,
r als die linke obere Viertelpyramide $'\mathrm{P}$,
x als die rechte obere Viertelpyramide P',
s als das Makrohemidoma $2'\breve{\mathrm{P}}'\infty$.

Bei dem in Fig. 238 abgebildeten Kupfervitriolkrystall gilt:
M und T als linkes und rechtes Hemiprisma $\infty'\mathrm{P}$ und $\infty\mathrm{P}'$,
l als das linke Makroprisma $\infty'\breve{\mathrm{P}}2$,
n als das Makropinakoid $\infty\breve{\mathrm{P}}\infty$,
r als das Brachypinakoid $\infty\breve{\mathrm{P}}\infty$,
P als die rechte obere Viertelpyramide $'\mathrm{P}$,
s als die rechte obere Partialform der Brachypyramide $2\breve{\mathrm{P}}'2$.

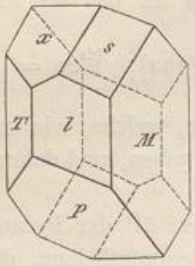


Fig. 236.

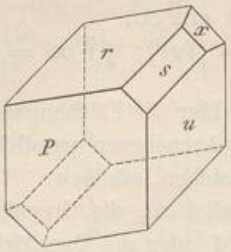


Fig. 237.

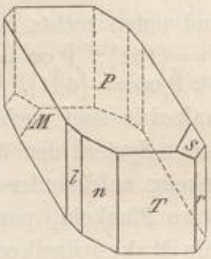


Fig. 238.

Wählt man andere Kanten zu krystallographischen Axen, so werden die Tetartopyramiden zu Hemiprismen, Hemidomen oder Pinakoiden. — Da im triklinen System eine gewöhnliche S.-E. nicht mehr existirt, so kann auch die Erscheinung der eigentlichen, auf den Verlust einer solchen begründeten Hemiëdrie hier nicht vorkommen. Ebenso ist wegen des Mangels einer gewöhnlichen S.-A. die Hemimorphie ausgeschlossen.

§ 46. **Asymmetrische Abtheilung des triklinen Systems.** Dagegen ist der Fall denkbar, dass trikline Krystalle das in der vorigen Abtheilung noch vorhandene Centrum der Symmetrie verlieren, also jedwedes Symmetrie-Element (Ebene, Linie, Punkt) entbehren, womit dann die Grenze der möglichen Unsymmetrie erreicht ist. Fig. 239. Die Folge wird sein, dass überhaupt nicht einmal mehr ein Paar von parallelen Flächen zusammengehört, sondern die einzelne Fläche als solche (Pedion) die vollständige »einfache Form« darstellt. Wenn auch hier ein Parallelismus zweier Flächen auftritt, so sind dieselben dennoch theoretisch differenzirt und nicht mehr gesetzmässig mit einander verbunden, wie dies noch in der vorigen Abtheilung bei allen Partialformen der Fall war.

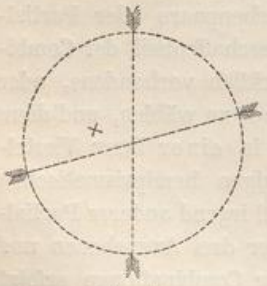


Fig. 239.

Jede einzelne pyramidale Fläche, welche in einem der 8 Oktanten die 3 Axen schneidet, bildet eine Form für sich; die »Pyramide« würde also in acht thatsächlich unabhängige Flächen zerfallen. — Die Prismen und Domen zerlösen sich je in vier

selbständige Flächen, welche liegen: bei den verticalen Prismen *vr*, *vl*, *hr* und *hl*; bei den Makrodomen: *vo*, *vu*, *ho* und *hu*; bei den Brachydomen *or*, *ol*, *ur* und *ul*. — Die 3 Pinakoide sind ebenfalls in je zwei einzelne independente Flächen differenzirt; das basische Pinakoid in *o* und *u*; das Makropinakoid in *v* und *h*; das Brachypinakoid in *r* und *l*. — Im Mineralreich sind Glieder dieser Abtheilung bisher als solche nicht sicher bekannt. Unter den künstlichen Salzen gehören hierher: unterschwefligsaures Calcium, essigsalpetersaures Strontium, saures rechtsweinsaures Strontium; Orthotoluidoisobuttersäureester (*Doss*, Z. f. Kryst. XXI. 1892. 96).

Da es in dieser Abtheilung häufig vorkommt, dass die eigentlich differenzirten und von einander unabhängigen parallelen Flächen dennoch beide in ungefähr übereinstimmender Ausbildung gleichzeitig entwickelt sind, so wird alsdann eine Aehnlichkeit mit den Formen der vorhergehenden centrosymmetrischen Gruppe des triklinen Systems hervorgerufen. In diesem Falle können indessen Differenzen in der Oberflächenbeschaffenheit, in der Gestaltung der Aetzfiguren auf den parallelen Flächen die thatsächliche gegenseitige Unabhängigkeit der letzteren erweisen, und so die Zurechnung der betreffenden Substanzen zu dieser asymmetrischen Gruppe rechtfertigen. Fehlen aber jene Erkennungsmittel, so ist die Stellung ungewiss und von diesem Gesichtspunkte aus ist es denkbar, dass Substanzen, welche der vorhergehenden Abtheilung zugewiesen sind, eigentlich zu dieser letzten völlig asymmetrischen gehören.

---

§ 47. **Uebersicht**[1]). Aus den vorstehenden Darlegungen über die Symmetrie-Verhältnisse bei den einzelnen Abtheilungen innerhalb der Krystallsysteme ergibt sich folgende tabellarische Zusammenstellung. Wo bei den Symmetrieaxen und -Ebenen die Beifügung zgs. (zusammengesetzt) fehlt, handelt es sich um die einfache Symmetrie; p. bedeutet die polare Ausbildung der Symmetrieaxen.

	Symmetrie-Centrum	Symmetrie-Ebenen	Symmetrie-Axen zweizähl.	dreizähl.	vierzähl.	sechszähl.
Reguläres System.						
Holoëdrie	1	3+6	6	4	3	—
Tetraëdrische Hemiëdrie	—	6	3	4p.	—	—
Dodekaëdrische Hemiëdrie	1	3	3	4	—	—
Plagiëdrische Hemiëdrie	—	—	6	4	3	—
Tetartoëdrie	—	—	3	4p.	—	—
Tetragonales System.						
Holoëdrie	1	1+4	4	—	1	—
Sphenoidische Hemiëdrie	—	2(+1zgs.)	1 + 2	—	(1zgs.)	—
Pyramidale Hemiëdrie	1	1	—	—	1	—
Trapezoëdrische Hemiëdrie	—	—	4	—	1	—
Sphenoidische Tetartoëdrie	—	(1zgs.)	1	—	(1zgs.)	—
Hemimorphie der Holoëdrie	—	4	—	—	1p.	—
Hemimorphie der Hemiëdrie	—	—	—	—	1p.	—

1) Die im Vorstehenden vorgenommene systematische Behandlung der Krystallographie ging innerhalb jedes, durch die krystallographischen Axen charakterisirten Systems von den holoëdrischen Formen mit dem höchsten Grad der Symmetrie aus und gelangte durch Ver-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

	Symmetrie-Centrum	Symmetrie-Ebenen	Symmetrie-Axen zweizähl.	dreizähl.	vierzähl.	sechszähl.
Hexagonales System.						
Holoëdrie	1	1+6	6	—	—	1
Rhomboëdrische Hemiëdrie	1	3	3	1	—	(1 zgs.)
Pyramidale Hemiëdrie	1	1	—	—	—	1
Trapezoëdrische Hemiëdrie	—	—	6	—	—	1
Trigonotype Hemiëdrie	1	1+3	3p.	1	—	—
Trapezoëdrische Tetartoëdrie	—	—	3p.	1	—	—
Rhomboëdrische Tetartoëdrie	1	—	—	1	—	(1 zgs.)
Trigonale Tetartoëdrie	—	1	—	1	—	—
Hemimorphie der Holoëdrie	—	6	—	—	—	1 p.
Hemimorphie d. rhomboëdr. Hemiëdrie	—	3	—	1 p.	—	—
Hemimorphie d. pyramid. Hemiëdrie	—	—	—	—	—	1 p.
Hemimorphie d. trigonal. Tetartoëdrie	—	—	—	1 p.	—	—
Rhombisches System.						
Holoëdrie	1	1+1+1	1+1+1	—	—	—
Hemiëdrie	—	—	1+1+1	—	—	—
Hemimorphie	—	1+1	1 p.	—	—	—
Monoklines System.						
Holoëdrie	1	1	1	—	—	—
Hemiëdrie	—	1	—	—	—	—
Hemimorphie	—	—	1 p.	—	—	—
Triklines System.						
Centrosymmetrische Gruppe	1	(1 zgs.)	(1 zgs.)	—	—	—
Asymmetrische Gruppe	—	—	—	—	—	—

Den Nachweis, dass es nur die im Vorstehenden zusammengestellten und im Einzelnen als coordinirt zu betrachtenden 32 Abtheilungen von Krystallen geben kann, diese aber auch alle als möglich anzuerkennen sind, hat schon im Jahr 1830 *J. F. Chr. Hessel* in Marburg geliefert, indem er zunächst vom ganz allgemeinen Standpunkt und ohne Beschränkung auf die Krystalle alle möglichen Arten der Symmetrie, welche irgend ein Polyëder darbieten kann, aufsuchte und alsdann durch Einschränkung auf diejenigen Formen, welche dem Gesetz der Rationalität der Parameterverhältnisse gehorchen, die an den Krystallen möglichen Symmetriearten ohne irgend welche Annahme über die Molecularstructur feststellte. Diese,

schwindenlassen von Symmetrie-Elementen nach und nach zu den mindest symmetrischen Abtheilungen, deren das betreffende Krystallsystem fähig ist. Man mag dies die abbauende Methode nennen. Umgekehrt könnte man natürlich auch — vermittels einer aufbauenden Methode — von den niedrigst symmetrischen durch Hinzufügung neuer Symmetrie-Elemente zu den höchst symmetrischen Abtheilungen des betreffenden Krystallsystems vorschreiten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

das wahre Eintheilungsprincip der Krystalle zuerst richtig erkennende und ihrer Zeit weit vorauseilende Untersuchung[1]) ist — vielleicht wegen ihrer Umfänglichkeit, theilweisen Schwerfälligkeit und des Ortes ihrer Veröffentlichung — 60 Jahre lang unbeachtet geblieben und wurde erst im Jahr 1891 durch *Sohncke* wieder an das Licht gezogen (Z. f. Kryst. XVIII. 486). Inzwischen hatte auch *Bravais* 1849 und 1851 selbständig das Problem bearbeitet, aber dabei eine mögliche Klasse (die sphenoidische Tetartoëdrie des tetragonalen Systems) übersehen. Ohne Kenntniss dieser vorhandenen Arbeiten wurde alsdann durch *Axel Gadolin* 1867 der Beweis von der nothwendigen Existenz der 32 Symmetrie-Abtheilungen der Krystalle und von dem Ausgeschlossensein weiterer selbständig auf einfachem und sehr ansprechendem Wege erbracht[2]), wobei er von dem Princip ausging, dass alle diejenigen Gestalten in dieselbe Abtheilung gehören, bei denen die Anzahl und Ordnung der gleichen Richtungen dieselbe ist, und alle Möglichkeiten verschiedener Anordnung von gleichen Richtungen ermittelte. Daran reihen sich die Ausführungen von *P. Curie* (1884), *Minnigerode* (1887), *v. Fedorow* (1889), *Schoenflies* (1891), *V. v. Lang* (1896), *Viola* (1897), *Baumhauer* (1899), welche von verschiedenen Gesichtspunkten aus und auf weniger oder mehr elementare Weise dasselbe Resultat gewannen.

Zum Vergleich mit den üblichen folgen hier die anderen Bezeichnungsweisen, deren sich *Groth* in seiner »Physikalischen Krystallographie« (1895) bedient.

Reguläres System.

Holoëdrie	Hexakisoktaëdrische Klasse
Tetraëdrische Hemiëdrie	Hexakistetraëdrische Klasse
Dodekaëdrische Hemiëdrie	Dyakisdodekaëdrische Klasse
Plagiëdrische Hemiëdrie	Pentagonikositetraëdrische Klasse
Tetartoëdrie	Tetraëdrisch-pentagondodekaëdrische Klasse.

Tetragonales System.

Holoëdrie	Ditetragonal-bipyramidale Klasse
Sphenoidische Hemiëdrie	Skalenoëdrische Klasse
Pyramidale Hemiëdrie	Bipyramidale Klasse
Trapezoëdrische Hemiëdrie	Trapezoëdrische Klasse
Sphenoidische Tetartoëdrie	Bisphenoidische Klasse
Hemimorphie der Holoëdrie	Ditetragonal-pyramidale Klasse
Hemimorphie der Hemiëdrie	Pyramidale Klasse.

Hexagonales System.

Holoëdrie	Dihexagonal-bipyramidale Klasse
Rhomboëdrische Hemiëdrie	Ditrigonal-skalenoëdrische Klasse
Pyramidale Hemiëdrie	Hexagonal-bipyramidale Klasse
Trapezoëdrische Hemiëdrie	Hexagonal-trapezoëdrische Klasse
Trigonotype Hemiëdrie	Ditrigonal-bipyramidale Klasse
Trapezoëdrische Tetartoëdrie	Trigonal-trapezoëdrische Klasse
Rhomboëdrische Tetartoëdrie	Rhomboëdrische Klasse
Trigonale Tetartoëdrie	Trigonal-bipyramidale Klasse

1) Sie erschien als der Artikel »Krystall« in *Gehler*'s Physikalischem Wörterbuch 1830. V. S. 1023—1340.

2) Abgedruckt erst 1871 in den Acta societatis scientiarum fennicae, Helsingfors IX. 1. Deutsch von *Groth* in *Ostwald*'s Klassiker der exacten Wissenschaften Nr. 75. Leipzig, 1896.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Hemimorphie der Holoëdrie	Dihexagonal-pyramidale Klasse
Hemimorphie d. rhomboëdr. Hemiëdrie .	Ditrigonal-pyramidale Klasse
Hemimorphie d. pyramidalen Hemiëdrie .	Hexagonal-pyramidale Klasse
Hemimorphie d. trigonalen Tetartoëdrie .	Trigonal-pyramidale Klasse.

Rhombisches System.

Holoëdrie	Bipyramidale Klasse
Hemiëdrie	Bisphenoidische Klasse
Hemimorphie	Pyramidale Klasse.

Monoklines System.

Holoëdrie	Prismatische Klasse
Hemiëdrie	Domatische Klasse
Hemimorphie	Sphenoidische Klasse.

Triklines System.

Centrosymmetrische Abtheilung	Pinakoidale Klasse
Asymmetrische Abtheilung	Asymmetrische Klasse.

Anm. An dieser Stelle ist noch einmal hervorzuheben, dass die übliche, auf die Axen gegründete Eintheilung in Krystallsysteme (S. 17) strenggenommen die Erscheinungen der Hemimorphie nicht mit umfasst, und die an die Symmetrieverhältnisse anknüpfende Definition der Systeme sich nur auf die holoëdrischen Formen bezieht. In physikalischer z. B. optischer Hinsicht gehören aber alle formell abweichenden Entwickelungen eines Krystallsystems als völlig gleich beschaffen eng zueinander.

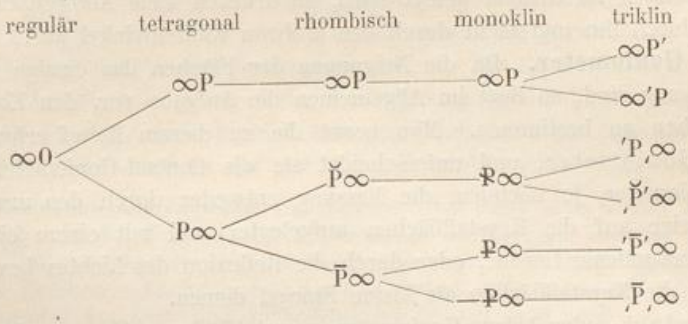
§ 48. **Pseudosymmetrie.** So wird die Erscheinung bezeichnet, dass eine Krystallsubstanz zwar vermöge ihres Axenverhältnisses und ihrer übrigen krystallographischen und physikalischen Constanten zu einem bestimmten Krystallsystem gehört, aber innerhalb desselben sich in ersterer Beziehung sowie in der Ausbildung ihrer Combinationen ausserordentlich einem anderen und zwar höher symmetrischen System nähert. Es liegt also hier gewissermassen »ein Voraneilen der Symmetrie« vor, indem einfache Krystalle dieselben Grenzformen mit Winkeln darbieten, welche die charakteristischen eines höheren Symmetriegrades bisweilen bis auf wenige Minuten erreichen. Ja es kann dies so weit gehen, dass die Zugehörigkeit zu einem System von minderer Symmetrie als es den Anschein hat, nur durch die optischen Eigenschaften oder auf anderem physikalischem Wege dargethan werden kann, welcher genauere Einordnung gestattet als die Winkelmessung.

Bei der Grundpyramide des in Wirklichkeit tetragonalen Kupferkieses messen z. B. die Polkanten 109° 53′, die Randkanten 108° 40′, das Axenverhältniss ist $a : a : c = 1 : 1 : 0{,}9856\ldots$. Dies bedingt eine sehr bedeutende Annäherung an die Dimensionen des regulären Oktaëders, bei welchem alle Kantenwinkel gleichmässig 109° 28′ messen und das Axenverhältniss $1 : 1 : 1$ ist. — Rhombische Mineralien, deren Prismenwinkel beinahe 90° beträgt, wie beim Autunit, bieten Combinationen von tetragonalem Ansehen dar. — So gibt es ferner rhombische Substanzen, welche, indem ihr Prismenwinkel nahezu 120° beträgt, hierdurch eine ausserordentliche Annäherung an das hexagonale System bekunden. Die Combination $\infty P.\infty\breve{P}\infty$ erscheint alsdann beinahe wie ein hexagonales Prisma (Fig. 142); in der Endigung tritt zu der rhombischen Pyramide P das Brachydoma $2\breve{P}\infty$, um eine scheinbar hexagonale Pyramide zu gestalten (ähnlich wie Fig. 152); weitere solche anscheinende Pyramiden werden durch das gleichzeitige Vorhandensein von mP und $2m\breve{P}\infty$ hervorgebracht, während in der Säulenzone wieder $\infty\bar{P}\infty$ und $\infty\breve{P}3$ zusammen wie ein hexagonales Protoprisma aussehen. Beispiele sind u. a. Kupferglanz, Cordierit, Glaserit, Witherit,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Weissbleierz. — Bei dem thatsächlich monoklinen Glimmer ist der Polkantenwinkel der Pyramide = 120° 47′, so dass wenn ∞P̆∞ vorwaltend hinzutritt, ein dem regelmässigen Sechseck sehr genäherter Querschnitt erscheint; nebenbei ist der Winkel β nahe 90° und deshalb die Basis fast horizontal.

Das Vorstehende lässt sich auch umgekehrt verdeutlichen, indem in Betracht gezogen wird, wie eine höher symmetrische Form sich als combinatorische Grenzgestalt von Formen geringerer Symmetrie ergeben würde. Das reguläre Rhombendodekaëder ∞O wird z. B. von 12 Flächen begrenzt, welche in folgender Weise 2 tetragonalen, 3 rhombischen, 4 monoklinen und 6 triklinen Formen entsprechen:



7. Messung der Krystalle.

§ 49. **Beständigkeit der Kantenwinkel.** Wenngleich bei den Krystallen sowohl die allgemeine Form, als auch die Figur und Beschaffenheit ihrer Flächen den manchfaltigsten Abweichungen von der bisher vorausgesetzten Regelmässigkeit unterworfen sind, und dadurch die Linear-Dimensionen im hohen Grade schwankend werden müssen, so sind doch ihre Angular-Dimensionen und namentlich ihre Kantenwinkel in der Regel als constante Elemente zu erkennen (vgl. § 8), weil die relative Lage und gegenseitige Neigung ihrer ebenen Flächen durch jene Unvollkommenheiten in der Regel nicht gestört wird. Aus diesem sehr wichtigen Grundgesetz der Krystallographie folgt, dass die Kantenwinkel die einzigen sicheren Beobachtungselemente abgeben, welche der Berechnung aller übrigen Elemente einer Krystallform zu Grunde gelegt werden müssen.

Bei den nicht regulären Mineralien können allerdings die Kantenwinkel einer und derselben Form etwas verschieden gefunden werden, wenn sie bei bedeutend verschiedenen Temperaturen gemessen werden (§ 132). Diese Aenderungen sind jedoch so unerheblich, dass sie bei den gewöhnlichen Messungen vernachlässigt werden können. Wichtiger sind die permanenten Verschiedenheiten der Angulardimensionen, welche in verschiedenen Varietäten einer und derselben Mineralart durch ein Schwanken der chemischen Zusammensetzung, insbesondere durch das Eintreten isomorpher Bestandtheile herbeigeführt werden. Das Gesetz von der Beständigkeit der Kantenwinkel ist zuerst von dem Dänen *Nicolaus Steno* im Jahre 1669 erkannt und 1783 von *Romé de l'Isle* bestimmter formulirt worden[1]).

Unter dem Winkel einer Kante verstehen wir übrigens denjenigen Winkel, welchen ihre beiden Flächen einwärts im Krystall, oder nach innen zu bilden. Je stumpfer dieser Winkel ist, desto stumpfer, je spitzer er ist, desto schärfer

1) »Les faces d'un cristal peuvent varier dans leur figure et dans leurs dimensions relatives; mais l'inclination de ces mêmes faces est constante et invariable dans chaque espèce« (Cristallographie T. I, p. 93).

wird die Kante sein. Diese Bestimmung entspricht der gewöhnlichen und allgemein hergebrachten Bedeutung sowie der grösseren Anschaulichkeit. *Miller* definirt den Winkel einer Kante als das Supplement dessen, was man gewöhnlich darunter versteht, oder als denjenigen Winkel, welchen die Normalen beider Flächen gegen die Kante hin bilden. Hiernach wird das Winkelmaass einer Kante desto stumpfer, je schärfer sie ist, und umgekehrt (vgl. S. 24). Da dieser Normalenwinkel bei der Messung mit dem Reflexions-Goniometer direct erhalten und auch bei Berechnungen zu Grunde gelegt wird, so drücken viele Autoren die Flächenneigungen durch ihn und nicht durch den wahren Kantenwinkel aus.

§ 50. **Goniometer.** Da die Neigungen der Flächen das einzige Object der Krystallmessung sind, so liegt im Allgemeinen die Aufgabe vor, den Kantenwinkel zweier Flächen zu bestimmen. Man nennt die zu diesem Behuf erfundenen Instrumente Goniometer, und unterscheidet sie als Contact-Goniometer und Reflexions-Goniometer, je nachdem die Messung entweder durch den unmittelbaren Contact zweier auf die Krystallflächen aufgelegter und mit einem eingetheilten Halbkreis verbundener Lineale, oder durch die Reflexion des Lichtes bewerkstelligt wird, wobei die Krystallflächen als kleine Spiegel dienen.

Die Contact- oder Anlege-Goniometer (zuerst 1783 von *Carangeot* angegeben), welche nur bei etwas grösseren Krystallen und für solche Winkel anwendbar sind, deren Kantenlinie wirklich ausgebildet ist, erweisen sich in ihren Resultaten so wenig genau, dass sie nur bei den ersten vorläufigen Messungen, oder auch subsidiarisch in solchen Fällen benutzt werden, wo die Reflexions-Goniometer nicht gebraucht werden können. Bei ihrer Anwendung muss die Ebene der beiden scheerenartig verbundenen Lineale oder Schienen allemal senkrecht auf der zu messenden Kante des zwischen denselben eingefügten Krystalls stehen. Der auf dem Theilkreis abgelesene Winkel entspricht natürlich dem wahren Kantenwinkel.

Die Reflexions-Goniometer, zuerst von *Wollaston* 1809 angegeben, setzen zwar ebene und glatte, nach den Gesetzen der Planspiegel reflectirende Krystallflächen voraus, sind aber vorzugsweise bei kleineren Krystallen und auch für solche Winkel brauchbar, deren Flächen nicht unmittelbar zum Durchschnitt kommen; sie gewähren bei zweckmässigem Gebrauch Resultate, welche bis auf 1′ genau sind, und verdienen daher in den allermeisten Fällen den Vorzug vor den Contact-Goniometern. — Sie bestehen wesentlich aus einem Vollkreis (Limbus), dessen Theilung sich durch einen Nonius bis auf einzelne Minuten fortsetzt, und an dessen Axe der Krystall mit etwas Wachs so befestigt wird, dass beide Flächen der zu messenden Kante parallel sind der Drehungsaxe. Beobachtet man nun z. B. das Spiegelbild eines etwas entfernten Gegenstandes (oder einer Lichtflamme im Dunkeln) erst auf der einen Krystallfläche, und dreht dann den Kreis um seine Axe so lange, bis dasselbe Bild auch von der zweiten Krystallfläche reflectirt wird, während zugleich die Bedingung erfüllt ist, dass der reflectirte Lichtstrahl bei beiden Beobachtungen genau dieselbe Lage behauptet, so wird der Drehungswinkel des Kreises (nicht den gewöhnlich so genannten Kantenwinkel, sondern) unmittelbar das Supplement des gemessenen Winkels, den Normalenwinkel der betreffenden Kante, geben. Damit der gespiegelte Gegenstand sowie das beobachtende Auge beide während der Messung dieselbe Stellung beibehalten, gehen sowohl das

einfallende als das reflectirte Licht bei den besseren neueren Instrumenten durch je ein Fernrohr (Einlass- oder Collimator- und Ocular- oder Beobachtungsfernrohr), welche den Gang des Lichtes vorschreiben; beide bilden einen stumpfen Winkel und kehren ihr Objectiv dem Krystall zu. — Während bei den meisten älteren Instrumenten der Theilkreis vertical steht, also die zu messende Kante horizontal zu liegen kommt (System von *Wollaston*), gibt man neuerdings den Goniometern mit horizontalem Theilkreis und senkrechter Drehungsaxe (System von *Malus* oder *Babinet*) meist den Vorzug. Die letztere, mehr stabile Construction gestattet auch die Messung grösserer und schwererer Krystalle sowie die Verwendung des Instruments zur Bestimmung von Brechungsquotienten. — Die zu messende Krystallkante muss centrirt sein, d. h. genau in der Verlängerung der Limbusaxe liegen, anderseits muss sie justirt, d. h. parallel sein der Umdrehungsaxe des Limbus, senkrecht zu seiner Ebene und zu der durch die Fernrohre gelegten Ebene.

Die Centrirung und Justirung wird bewerkstelligt durch eine, sowohl die Parallelverschiebung als die Neigung der Krystallkante in zwei zu einander senkrechten Ebenen gestattende doppelte Schlittenvorrichtung, welche auf einer durch den Mittelpunkt des Theilkreises hindurchgehenden beweglichen, aber jederzeit durch Schrauben zu befestigenden Axe sitzt, und auf welcher der Krystall fixirt wird. — In dem genau auf die Drehaxe gerichteten Einlassfernrohr befindet sich ein durch eine Lampe beleuchtetes sog. Signal im Brennpunkt einer Linse, wodurch die austretenden Lichtstrahlen parallel gemacht werden. Als Signale, deren von der Krystallfläche reflectirte Bilder eine genaue Einstellung auf das Fadenkreuz des Beobachtungsfernrohrs gestatten, dienen an Stelle des früheren, im hellen Felde befindlichen Fadenkreuzes ein in seiner Weite durch eine Schraube verstellbarer geradliniger Spalt mit parallelen Wänden, oder der in seiner Mitte sich verengernde sog. *Websky*'sche Spalt (erzeugt durch zwei, vor einer kreisrunden Öffnung angebrachte, kreisförmige geschwärzte Metallscheiben, welche ebenfalls durch eine Schraube verschiebbar sind), oder das sog. *Schrauf*'sche Signal, ein unter 45° gerichteter Kreuzspalt, in dessen Mitte sich ein senkrechtes kleines Fadenkreuz befindet. — Das Beobachtungsfernrohr mit Fadenkreuz kann durch eine vorzuschlagende Loupe in ein schwach vergrösserndes Mikroskop umgeändert werden. — Fällt die Axe einer Zone am centrirten Krystall mit der Drehungsaxe des Reflexionsgoniometers zusammen, so müssen, wenn der Krystall um 360° gedreht wird, die Reflexe eines Lichtpunkts auf allen Flächen der Zone sich der Reihe nach auf dem gleichen Wege durch das Sehfeld bewegen, und zwar in einer auf der Axe senkrechten Ebene. Ist das Goniometer mit einem Fernrohr versehen, so wandern die Reflexe der Reihe nach durch dessen Fadenkreuz und daran lässt sich erkennen, ob eine Anzahl von Flächen, welche sich vielleicht überhaupt nicht in Kanten schneiden, in der That unter einander eine Zone bildet, oder nicht.

Verfahren bei der Messung. Nachdem der Krystall auf das obere Ende der die Schlittenvorrichtung tragenden verticalen Axe mit Wachs aufgeklebt und in das Niveau des mit Loupe versehenen Beobachtungsfernrohrs gebracht ist, wird die zu messende Kante vermittels der Schlitten centrirt und justirt. Nur wenn bei einer theilweisen Umdrehung der den Krystall tragenden Axe diese Kante stets mit dem verticalen Faden des Fadenkreuzes zusammenfällt, können diese Operationen als genügend richtig ausgeführt gelten. Alsdann wird mittels einer Schraube die bisher drehbare Axe festgestellt, so dass der Krystall sich nur mit dem Theilkreis zugleich zu drehen vermag. Im dunkeln Raum wird darauf der Spalt durch eine Lampe beleuchtet und die Messung der Winkel durch Umdrehung des Theilkreises und Ablesung der Einstellung am Nonius vollzogen. Sind die Flächen nicht völlig eben, etwas matt oder zu klein, so reflectirt der Spalt nicht einfach und scharf, sondern mehrfach und verschwommen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

In Fig. 240 [1]) ist C der Träger des Collimators; die mit Griffen versehene Scheibe f dient zur Drehung des Theilkreises, das Mikrometerwerk aF zur Klemmung bezw. Feinbewegung derselben. Mittels der Schraube e wird die Krystallträgeraxe auf- und abwärts bewegt, mittels der Schraube b dieselbe in erforderlicher Höhe mit dem Theilkreis fest verbunden. Das Fadenkreuz des Beobachtungsfernrohrs kann durch die Schraube j nachjustirt werden. J ist eine Irisblende, welche durch j eingestellt wird.

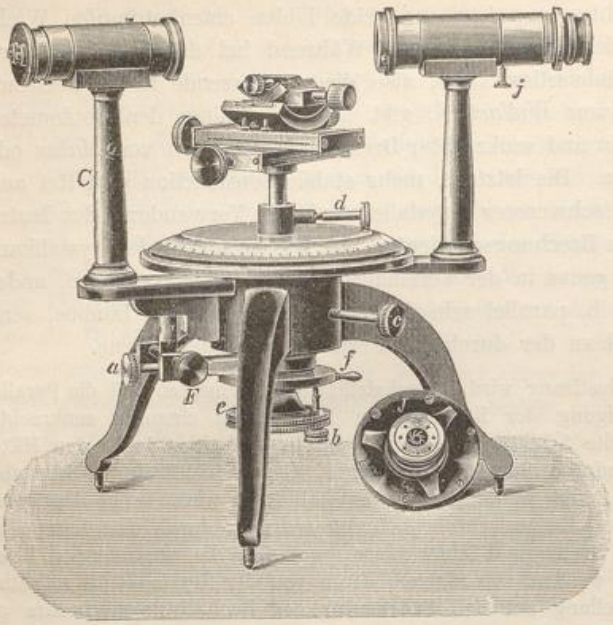


Fig. 240.

Die neuerdings mitunter benutzten zweikreisigen oder Theodolitgoniometer sind nach dem Princip der Ortsbestimmung von Flächenpolen durch zwei Winkelcoordinaten construirt.

8. Gesetzmässige Verwachsung der Krystalle.

a) Parallelverwachsung gleichartiger Krystalle.

§ 51. **Erscheinungsweise.** Oefters findet man gleichgestaltete Krystalle einer und derselben Substanz in völlig paralleler Stellung, d. h. so mit einander verwachsen, dass die krystallographischen Axen und Begrenzungselemente des einen Individuums den entsprechenden Axen und Begrenzungselementen des anderen parallel sind. Eine solche Verwachsung muss daher auch symmetrisch sein mit Bezug auf irgend eine Fläche, welche eine S.-E. für jedes Individuum ist. Die Vereinigung kann dabei nach dieser oder nach einer anderen Fläche stattfinden. Fig. 241 und 242 zeigen 2 Oktaëder in vollkommen paralleler Stellung und symmetrisch in Bezug auf die Würfelfläche; aber die beiden Individuen sind im ersteren Falle auch mit dieser, im letzteren mit einer Oktaëderfläche zusammengewachsen. — Häufig sind zahlreiche Individuen so mit

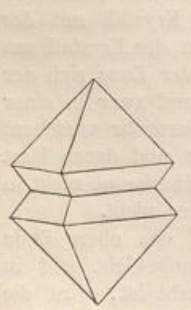


Fig. 241.

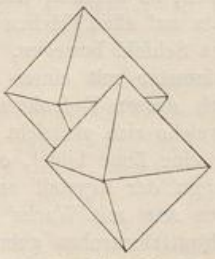


Fig. 242.

Fig. 243.

1) Abbildung des Modells IVa der Firma *R. Fuess* in Steglitz.

einander parallel verbunden, dass jedes derselben nur eine dünne Lamelle darstellt (Fig. 243); dies spricht sich in der abwechselnden Wiederholung zweier Flächen aus, welche Winkel mit einander bilden, die sich zu 180° ergänzen. Ist die Dicke der einzelnen Lamelle sehr gering, so erscheint die Parallelverwachsung wie ein einziger Krystall, dessen Flächen fein gerieft sind (vgl. § 64).

Bei der Parallelverwachsung gleichartiger Krystalle braucht den einzelnen nicht übereinstimmende Krystallform eigen zu sein; Fig. 244 zeigt ein grösseres Skalenoëder (R3) von Kalkspath, auf dessen Ende ein Krystall desselben Minerals von der Combination $-\frac{1}{2}R.\infty R$ in völlig paralleler Stellung aufsitzt.

Fig. 244.

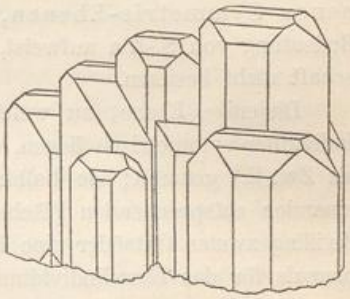


Fig. 245.

Wenn eine Anzahl von Krystallen in paralleler Stellung verbunden ist, ohne dass durch deren gleiche Grösse oder innige Verwachsung der Eindruck einer charakteristischen Gesammtform hervorgerufen wird, so kann man eine derartige Vereinigung mit *Tschermak* einen Krystallstock nennen; Fig. 245 stellt einen solchen von Baryt dar. Säulenförmige Krystalle (z. B. von Diopsid, Epidot) sind manchmal nur an dem einen Ende einheitlich und compact, an dem anderen nach Art eines Krystallstocks beschaffen, indem sie hier pinselähnlich in zahlreiche dünne Säulchen oder Stengel von paralleler Stellung aufgelöst oder zerfasert erscheinen.

Nicht selten haben sich auf den Krystallen eines Minerals beim Weiterwachsen viele neue kleine Individuen derselben Substanz in paralleler Stellung über die ganze Ausdehnung hin abgesetzt. Wenn es dann auch äusserlich so aussieht, als ob ein grösseres Individuum durch und durch aus lauter kleineren Kryställchen aufgebaut sei, so wird dies durch die Untersuchung des Inneren nicht bestätigt, denn hier ist das Individuum von ganz compacter und geschlossener Zusammensetzung, nur in der äusseren Partie tritt die Eigenschaft des Krystallstocks, die Trennung in viele kleine Einzelindividuen hervor. Diese letzteren sind bald von derselben Form, wie sie auch das ganze grössere Gebilde zeigt, z. B. Kalkspathrhomboëder $-\frac{1}{2}R$, welche äusserlich als aus vielen kleinen Rhomboëderchen derselben Form aufgebaut erscheinen. In zahlreichen ferneren Fällen aber besitzen die kleinen oberflächlichen Kryställchen eine andere, bisweilen complicirtere Gestalt, als das ganze Gebilde selbst: z. B. Oktaëderformen von Flussspath, anscheinend zusammengesetzt aus lauter kleinen Würfelchen, deren Ecken alle im Niveau der Oktaëderflächen liegen (Fig. 246), Würfelformen von Flussspath, äusserlich endend in winzige Tetrakishexaëder, Skalenoëder R3 von Kalkspath, welche äusserlich aus zahlreichen kleinen Individuen der Combination $-\frac{1}{2}R.\infty R$ aufgebaut aussehen.

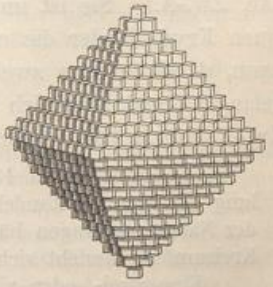


Fig. 246.

b) Zwillingsbildung.

§ 52. **Begriff und Eintheilung.** Gleichgestaltete Krystallindividuen einer und derselben Substanz verwachsen aber mit einander nicht nur in paralleler, son-

dern auch in unparalleler Stellung, jedoch in ganz bestimmter, krystallonomisch gesetzmässiger und symmetrischer Weise. Solche Verwachsungen heissen Zwillingskrystalle. Die Gesetzlichkeit der Verwachsung besteht darin, dass die beiden Individuen immer eine gleichartige Krystallfläche gemeinschaftlich haben, und dass ausserdem: 1) eine in dieser Fläche liegende gleichartige Kante an beiden Krystallen dieselbe Lage besitzt, oder aber dass 2) zwei in dieser Fläche liegende Kanten wechselsweise parallel sind. Die genannte Fläche und jene Kanten sind entweder an den einzelnen Individuen schon ausgebildet oder daran möglich. — Die Wirkung dieser Verwachsung besteht im Allgemeinen in der Erwerbung neuer Symmetrie-Ebenen, indem der Zwilling als solcher Ebenen mit der Bedeutung von S.-E.n aufweist, welche an dem einzelnen Individuum diese Eigenschaft nicht besitzen.

Diejenige Ebene, zu welcher in den meisten Zwillingskrystallen die beiden Individuen symmetrisch liegen, wird die Zwillingsebene (im Folgenden abgekürzt als Zw.-E.) genannt; sie halbirt die Winkel zwischen den bei beiden Individuen einander entsprechenden Flächen. So ist z. B. bei dem in Fig. 251 dargestellten Zwilling zweier Oktaëder eine Fläche des Oktaëders die Zw.-E. Die Zw.-E. kann niemals für das Einzelindividuum eine S.-E. darstellen, weil, wenn zwei Individuen symmetrisch zu einer ihrer S.-E.n verwachsen sind, dann überhaupt kein Zwilling, sondern eine parallele Verwachsung vorliegt. So sind z. B. in der holoëdrischen Abtheilung des regulären Systems die Flächen von $\infty O\infty$ und ∞O, in der des tetragonalen $0P$, ∞P, $\infty P\infty$, des rhombischen $0P$, $\infty\breve{P}\infty$, $\infty\bar{P}\infty$ von der Function als Zw.-E. ausgeschlossen, während im triklinen eine jede Fläche als solche dienen kann. — Im Allgemeinen ist die Zw.-E. nur zu solchen Krystallflächen parallel (oder senkrecht), welche sich durch Einfachheit ihrer Parameterverhältnisse auszeichnen. Die Zw.-E. braucht nicht immer parallel einer möglichen Krystallfläche zu gehen, sie kann auch senkrecht zu einer solchen liegen.

Die Normale auf diese Zwillingsebene heisst die Zwillingsaxe (oder Drehungsaxe, Zw.-A.). Sie ist im Allgemeinen diejenige Richtung, um welche man sich den einen Krystall oder die eine Hälfte des Zwillings durch 180° verdreht vorstellen kann, damit er zum zweiten oder zu der anderen Hälfte in die Zwillingsstellung gelangt: denkt man sich anderseits das eine Individuum eines Zwillings um die Zw.-A. durch 180° herumgedreht, so wird es dem anderen Individuum parallel.

Die Drehung um 180° ist selbstverständlich nur ein Hülfsmittel für die Vorstellung von dem Zustandekommen eines Zwillings, nicht etwa ein Vorgang, der sich in der Natur zugetragen hätte. Auf diese Vorstellung von der Drehung um einen halben Kreisumfang bezieht sich auch der von *Haüy* eingeführte Ausdruck »Hémitropie«.

Eine zwei- oder vierzählige S.-A. des Einzelindividuums kann keine Drehungs-(oder Zwillings-)Axe sein, da durch eine 180°-Drehung um eine solche der Krystall wieder mit sich selbst zur Deckung kommt, also eine parallele Verwachsung vorliegen würde.

Wenn so im Allgemeinen Zw.-E. und Zw.-A. sich gegenseitig bedingen, so gibt es doch auch seltene Ausnahmen: Zwillingsverwachsungen von zwei rechten oder von zwei linken (nicht spiegelbildlich gleichen) enantiomorphen Formen besitzen keine Zw.-E., die in erforderlicher Weise symmetrisch gelegen wäre, wohl aber noch eine Zw.-A., um welche nach einer Drehung um 180° Deckung der Individuen erfolgt. Umgekehrt haben Zwillingsverwachsungen von je einem rechten und einem linken

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

(nur spiegelbildlich gleichen) enantiomorphen Individuum zwar noch eine Zw.E., aber keine Zw.-A. mehr.

Durch Angabe des Symbols der Zw.-E., resp. der Richtung der darauf senkrecht stehenden Zw.-A. wird das der Verwachsung zu Grunde liegende sog. Zwillingsgesetz ausgedrückt. Ein und dasselbe Mineral kann verschiedene Zwillingsgesetze aufweisen: so sind 2 Individuen von Orthoklas bald nach 0P, bald nach $\infty P\infty$, bald nach $2R\infty$ verzwillingt; Individuen des rhombischen Arsenkieses bald nach ∞P, bald nach $\breve{P}\infty$.

Bei der Betrachtung der Zwillinge hat man besonders zweierlei Verhältnisse, nämlich die gegenseitige Stellung beider Individuen, und die Art und Weise ihrer Verwachsung zu berücksichtigen.

Nach der Stellung der Individuen sind zuvörderst Zwillinge mit parallelen Axensystemen, und Zwillinge mit geneigten (oder nicht parallelen) Axensystemen zu unterscheiden. Die Zwillinge der ersten Art (z. B. Fig. 248, 249, 257) können nur bei hemiëdrischen (sowie tetartoëdrischen und hemimorphen) Formen und Combinationen vorkommen, und stehen unter dem allgemeinen Gesetz, dass beide Individuen mit einander in derjenigen Stellung verwachsen sind, in welcher ihre beiderseitigen correlaten Theilformen aus den betreffenden holoëdrischen Stammformen als Gegenkörper abzuleiten sein, oder in welcher sie diese Stammformen reproduciren würden.

Denkt man sich an dem hierher gehörigen Zwilling der beiden Tetraëder (Fig. 248) die 8 zackenartigen Hervorragungen hinweg, so erhält man als Kernform das Oktaëder. — Diese Zwillinge der ersten Art hat *Haidinger* sehr richtig Ergänzungszwillinge genannt, weil sich die wirklich hemiëdrischen Formen beider Individuen in ihrer Vereinigung zu den betreffenden holoëdrischen Stammformen ergänzen. Bei ihnen liegen daher ungleichartige Krystallräume parallel. In Folge des geringeren Grades von Symmetrie, welchen die hemiëdrischen (und tetartoëdrischen) Krystalle gegenüber den holoëdrischen besitzen, können zwei der ersteren einen Zwilling bilden, indem sie symmetrisch zu einander in Bezug auf diejenige Ebene verwachsen, welche eben durch die Theilflächigkeit ihren Charakter als S.-E. des Krystalls verloren hat. Bei dem einzelnen Tetraëder ist die Würfelfläche keine S.-E.; aber der Ergänzungszwilling zweier Tetraëder (Fig. 248) hat Symmetrie nach den Würfelflächen erlangt. So werden die S.-E.n, welche in Folge der Hemiëdrie bei den einzelnen Individuen verschwunden sind, durch derartige Zwillingsbildung für den Zwilling als solchen wiederhergestellt.

Zwillinge mit parallelen Axensystemen werden nicht nur von theilflächigen, sondern auch von hemimorphen Krystallen gebildet, indem 2 Individuen mit ihren übereinstimmend geformten Enden aneinanderwachsen, so dass die abweichend beschaffenen Enden dann zugleich die beiderseitige conform ausgebildete Endigung des Zwillings abgeben; so sind z. B. am Kieselzink (Fig. 13 auf S. 31) 2 hemimorphe Individuen mit denjenigen unteren Enden aneinandergewachsen, welche blos die rhombischen Pyramidenflächen zeigen, so dass der Zwilling an seinen beiden Enden die Basis 0P aufweist, welche bei dem Einzelindividuum keine S.-E. darstellt.

Die Zwillinge mit geneigten (oder nicht parallelen) Axensystemen finden sich sowohl bei holoëdrischen als auch bei hemiëdrischen und tetartoëdrischen Formen und Combinationen, und namentlich für sie gilt das oben allgemein Angeführte. Die Stellung beider Individuen in diesen Zwillingen der zweiten Art ist dieselbe, welche irgend ein Gegenstand zu seinem Spiegelbild hat, wobei die Zw.-E. den Spiegel darstellt; vgl. z. B. die Fig. 251, 253, 254, 265, 267, 273, 276.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Im Allgemeinen können die verschiedenen Zwillingsverwachsungen unter folgende Fälle untergebracht werden[1]:

1) Zwillingsebene parallel einer (vorhandenen oder) möglichen Krystallfläche; der weitaus häufigste Fall; dabei ist:
   a) auch die Zwillingsaxe parallel einer möglichen Krystallkante; z. B. der Zwilling von Zinkblende Fig. 250, bei welchem die Zw.-E. einer Oktaëderfläche, die Zw.-A. einer Kante des Rhombendodekaëders entspricht.
   b) die Zwillingsaxe nicht parallel einer möglichen Krystallkante; z. B. die Zwillinge von Gyps (Fig. 273) oder von Augit (Fig. 274), bei denen das Orthopinakoid Zwillingsebene ist, die Normale dazu (Zwillingsaxe) aber keiner im monoklinen System möglichen Kante entspricht.
2) Zwillingsebene senkrecht zu einer möglichen Krystallfläche und zwar:
   a) parallel einer in dieser liegenden Kante, also auch in einer möglichen Zone gelegen; Zwillingsaxe senkrecht zu einer Kante und in einer möglichen Fläche. Seltenes Beispiel: Glimmer.
   b) gleichgeneigt gegen zwei, in der gedachten Krystallfläche liegende Kanten. Seltenes Beispiel: Hydrargillit.
3) Zwillingsebene nur senkrecht zu einer möglichen Krystallkante; die Zwillingsaxe ist alsdann parallel dieser möglichen Kante, also parallel einer möglichen Zone; z. B. Periklin.

Die unter 2) und 3) auftretenden Fälle, dass eine Zw.-E. nicht einer möglichen Krystallfläche parallel geht, sind auf das trikline und monokline System beschränkt, wo die Zw.-A. bisweilen eine der schiefen krystallographischen Axen ist und die darauf normale Zw.-E. nicht nothwendig eine krystallographische Ebene zu sein braucht.

Bisweilen lässt sich übrigens die Zwillingsverwachsung auf mehrfache Weise beliebig deuten und zum Ausdruck bringen. Bei dem Zwilling von Augit (Fig. 274) kann das Orthopinakoid r als Zw.-E. (und Verwachsungsebene), die Normale zum Orthopinakoid als Zw.-A. gelten, der Zwilling dann dadurch entstanden gedacht werden, dass das eine von zwei parallel gestellten Individuen um diese Axe um 180° herumgedreht wird. Die Zw.-E. ist daher so eine vorhandene oder mögliche Krystallfläche, die Zw.-A. eine krystallonomisch unmögliche Richtung. Genau derselbe Zwilling entsteht aber auch, wenn das eine Individuum aus der Parallelstellung heraus um die verticale Prismenkante M/r durch 180° gedreht wird; in diesem Falle ist letztere Linie die Zw.-A., welche auf derjenigen bei der ersten Auffassung senkrecht steht. Die Zw.-E. steht zu ihr senkrecht und würde durch eine horizontale, normal auf dem Orthopinakoid stehende Fläche dargestellt. Bei dieser letzteren Deutung ist also umgekehrt die Zw.-A. die Richtung einer vorhandenen Kante, die Zw.-E. eine krystallonomisch unmögliche Fläche. — In ähnlicher Weise lässt sich der Karlsbader Zwilling von Orthoklas (Fig. 275) erklären durch: Zw.-E. das Orthopinakoid, Zw.-A. die Normale dazu; oder: Zw.-E. die Horizontale, Zw.-A. die Verticalaxe. Vgl. auch die Anm. S. 135 unten.

Theoretisch lässt sich die Zwillingsbildung als die Erscheinung ansprechen, dass die bei der Krystallisation aus dem beweglichen in den starren Zustand übergehenden und anfänglich alle möglichen Stellungen besitzenden Molecüle in Folge einer bei der Aneinanderlagerung nur unvollständig ausgeführten Drehung auch nur theilweise parallele Orientirung erlangt haben.

O. Lehmann hat nachgewiesen, dass die Entstehung der Zwillingsbildungen von der Zähigkeit der Lösung, in welcher die Krystallisation stattfindet, abhängig sein kann. Fügt man einer Auflösung von Chlorbaryum, welches Salz nur geringe Neigung

1) Vgl. namentlich: *Tschermak*, Miner. u. petrogr. Mittheil. II. 1880. 499; Lehrbuch d. Mineralogie. Wien 1894. 78. — *Schuster*, Zeitschr. f. Krystallogr. XII. 1887. 134. — *Brögger*, ebendas. XVI. 1890. 38. — *Baumhauer*, ebendas. XXXI. 1899. 252.

zur Zwillingsbildung zeigt, ein Verdickungsmittel zu, so entstehen nur Zwillingskrystalle. Die nunmehr zähere Flüssigkeit setzt nämlich derjenigen Drehung der Krystallmolecüle, welche zur parallelen Aneinanderlagerung erforderlich ist, einen grösseren Widerstand entgegen; in Folge dessen nehmen diejenigen Molecüle, deren Orientirung in dem Augenblick, in welchem sie in die Wirkungssphäre eines wachsenden Krystalls gelangen, der Zwillingsstellung näher liegt, als die parallele, die erstere, d. h. die gegen den geringsten Widerstand zu erreichende Gleichgewichtslage an und geben dadurch Veranlassung zu weiterer Anlagerung von Theilchen in derselben Stellung, also zur Bildung eines Zwillingskrystalls.

§ 53. **Verwachsungsart der Individuen und Verkürzung derselben; Zwillingskanten.** Was das zweite Verhältniss, nämlich die Art und Weise der Verwachsung der Individuen betrifft, so unterscheidet man Contact-Zwillinge und Durchwachsungs-Zwillinge, je nachdem die Individuen blos an einander, oder förmlich in und durch einander gewachsen, je nachdem sie also durch Juxtaposition, oder durch Penetration verbunden sind. Im ersteren Falle nennt man die Fläche, in welcher die Verwachsung stattfindet, die Zusammensetzungsfläche oder Verwachsungsfläche; dieselbe ist in den meisten Fällen zugleich auch die Zwillingsebene (vgl. z. B. Fig. 251, 267, 273, 274); bisweilen aber berühren sich beide Individuen in einer auf der Zwillingsebene senkrecht stehenden Fläche (z. B. Fig. 275) oder auf noch andere Weise. — Im zweiten Falle findet oft nur eine theilweise Penetration, nicht selten eine vollkommene Durchkreuzung, zuweilen auch eine so völlige gegenseitige Incorporirung beider Individuen statt, dass sie nach aussen einen scheinbar einfachen Krystall darstellen (z. B. Quarz, Fig. 259).

In den durch Juxtaposition gebildeten Zwillingskrystallen erscheinen die Individuen sehr gewöhnlich in der Richtung der Zwillingsaxe mehr oder weniger verkürzt, weil das Fortwachsen des einzelnen über die Zwillingsebene als Grenzebene hinaus nicht stattgefunden hat (vgl. z. B. Fig. 251, 254, 267); ja diese Verkürzung ist gar häufig in der Weise ausgebildet, dass von jedem Individuum nur die Hälfte, und zwar die von dem anderen Individuum abgewendete Hälfte vorhanden ist. Man kann daher dergleichen Zwillingskrystalle am leichtesten construiren, wenn man sich ein Individuum durch eine der Zwillingsebene parallele Fläche in zwei Hälften geschnitten denkt, und hierauf die eine Hälfte gegen die andere um die Normale der Schnittfläche durch 180° herumdreht. Bei den Durchwachsungszwillingen findet die Fortsetzung der Individuen gegenseitig über die Zwillingsgrenze hinaus statt (vgl. Fig. 248, 269, 270).

Die Kanten und Ecken, in welchen die Flächen der beiden Individuen zusammentreffen, werden Zwillingskanten und Zwillingsecken genannt; sie sind häufig einspringend, doch haben die Individuen manchmal bei dem Wachsthum eine gewisse Neigung, die einspringenden Winkel zu verdecken oder ganz auszufüllen; dagegen ist die Demarcationslinie beider Individuen da oft gar nicht sichtbar, wo ihre Flächen oder Flächentheile in eine Ebene fallen und völlig glatt sind.

Wenn es in solchen Fällen manchmal recht schwierig ist, zu erkennen, ob ein Zwilling oder ein einfacher Krystall vorliegt, so wird wohl die Spaltbarkeit von aufklärendem Belang, da sie durch einen Zwilling nicht mehr in übereinstimmendem Verlauf fortsetzt; bei nicht regulären Krystallen tritt die Natur als Zwilling auch oft leicht durch die optische Untersuchung im durchfallenden polarisirten Licht hervor.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Sind aber die in eine Ebene fallenden Flächentheile mit einer Combinationsstreifung versehen, so gibt sich die Demarcationslinie oft durch das Zusammenstossen der beiderseitigen Streifensysteme in einer Streifungsnaht oder Zwillingsnaht zu erkennen. Bisweilen haben auch die beiderseitigen Flächentheile eine verschiedene physikalische Beschaffenheit, wodurch die Grenzen gleichfalls hervortreten.

§ 54. **Wiederholung der Zwillingsbildung; Zwillingsstreifung.** Die Zwillingsbildung wiederholt sich nicht selten, indem ein drittes Individuum mit dem zweiten (oder auch ersten) Individuum nach demselben Gesetz verbunden ist, wie das erste und zweite; so entstehen Drillingskrystalle, oder, wenn sich die Wiederholung fortsetzt, Vierlingskrystalle, Fünflingskrystalle, und endlich zwillingsartig gebildete polysynthetische Krystalle, sog. Zwillingsstöcke.

Bei dieser Wiederholung ist der Unterschied sehr wichtig, ob die successiven Zusammensetzungsflächen einander parallel sind, oder nicht. Im ersteren Falle tritt dieselbe Fläche mit den gleichen Vorzeichen ihrer Indices immer wieder von Neuem als Zw.-E. auf, die Zwillingsbildung kann sich somit unzähligemal wiederholen und liefert reihenförmige Zusammensetzungen, bei welchen alle Zwillingsebenen parallel sind und in denen einerseits die Stellung des ersten, dritten, fünften u. s. w., anderseits die des zweiten, vierten, sechsten u. s. w. Individuums dieselbe ist. — Im zweiten Falle bleibt nicht eigentlich dieselbe specielle Krystallfläche Zw.-E., sondern tritt eine andere, zwar mit ihr krystallographisch gleichwerthige, aber durch die Vorzeichen der Indices unterschiedene als solche auf; wenn z. B. ein Individuum mit einem zweiten an der Fläche $(1\bar{1}0)$, mit einem dritten aber an der Fläche (110) verbunden ist. Es entstehen so cyklische Zwillinge oder Wendezwillinge, kreisförmig in sich zurücklaufende, radförmige, bouquetförmige u. a. Gruppen. Den Gegensatz zwischen einem reihenförmigen Drilling (*a*) und einem cyklischen Vierling (*b*) zeigt schematisch die Fig. 247.

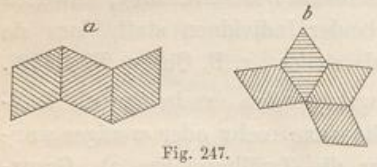


Fig. 247.

Bilden die bei den cyklischen Viellingen nach einander als Zwillingsebenen fungirenden Krystallflächen eine Zone (z. B. ∞P im rhombischen System), so gruppiren sich die Individuen bei sonst regelmässiger Ausbildung um eine Axe, nämlich die Zonenaxe jener Zwillingsflächen; sind sie nicht tautozonal (z. B. $P\infty$ im tetragonalen System), so gruppiren sie sich um einen Punkt, nämlich denjenigen, in welchem die verschiedenen Zonenaxen der Zwillingsflächen zusammenstossen.

Bei der cyklischen Verzwillingung nicht paralleler Individuen kommt die Tendenz zur Gestaltung kreisförmiger Gruppen zur Geltung, wenn der Winkel zwischen je zwei Axensystemen angenähert ein aliquoter Theil von 360° ist. So entstehen die sechsseitigen Drillinge des Chrysoberylls (s. diesen), weil der Winkel des als Zw.-E. fungirenden Prismas $\infty P = 119° 46'$, also fast $\frac{1}{3}$ von 360° ist; Fünflinge nach O von Goldoktaëdern können hervorgehen, indem $5 \times 70° 32' =$ ca. 360°; Achtlinge von Rutil, weil der Winkel der Axen in der Zwillingsstellung annähernd achtmal in 360° aufgeht.

Wie fast bei allen mit Juxtaposition gebildeten Zwillingskrystallen die Verkürzung der Individuen in der Richtung der Zwillingsaxe eine sehr gewöhnliche Erscheinung ist, so pflegen ganz besonders in den mit parallelen Zusammensetzungsflächen gebildeten polysynthetischen Krystallen die mittleren oder inneren

Individuen oft ausserordentlich stark verkürzt zu sein, so dass sie nur als mehr oder weniger dicke, als papierdünne oder nur durch das Mikroskop als solche wahrnehmbare Lamellen erscheinen, deren Querschnitte auf den Krystall- oder Spaltungsflächen des ganzen Aggregats eine sehr charakteristische Streifung bilden, welche man die Zwillingsstreifung nennt (Fig. 264, 268).

Diese Zwillingsstreifung (oder besser Zwillingsriefung) ist wesentlich verschieden von der in dem späteren § 64 erläuterten Combinationsstreifung. Ueberhaupt erscheinen im Gefolge der Zwillingsbildung einseitige Verkürzungen, Verlängerungen und andere Unregelmässigkeiten der Form sehr häufig und bisweilen in so complicirter Weise, dass die richtige Deutung mancher (zumal hemiëdrischer) Zwillingskrystalle mit bedeutenden Schwierigkeiten verknüpft sein kann.

§ 55. **Einige Zwillinge des regulären Systems.** Zwillinge mit parallelen Axensystemen sind nur bei Theilflächigkeit möglich, und erscheinen gewöhnlich als Durchkreuzungszwillinge, wie z. B. die Tetraëder des Diamants, Fig. 248, und die Pentagondodekaëder des Eisenkieses, Fig. 249 (sog. Zwilling des eisernen Kreuzes). Die beiden Individuen stehen in der ersten Figur symmetrisch zu einander in Bezug auf die Würfelfläche, in der zweiten in Bezug auf die Rhombendodekaëderfläche, d. h. immer auf diejenige Ebene, die vermöge der Hemiëdrie als S.-E. ausgefallen ist.

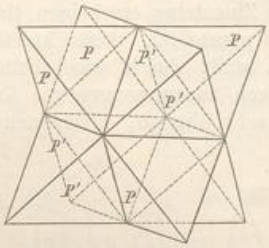


Fig. 248.

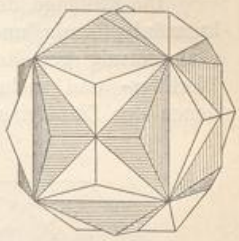


Fig. 249.

Bei den Zwillingen mit geneigten Axensystemen ist fast immer eine Fläche des Oktaëders die Zw.-E.; sie kommen häufig vor, sowohl bei holoëdrischer, als auch bei hemiëdrischer Formbildung. Die Individuen sind gewöhnlich an einander gewachsen und häufig in der Richtung der Zw.-A. bis auf die Hälfte verkürzt, so dass man sich dergleichen Zwillinge am besten vorstellen kann, wenn man sich ein Individuum durch einen centralen, parallel mit einer Oktaëderfläche geführten Schnitt halbirt, und die eine Hälfte gegen die andere um die Normale der Schnittfläche durch 180° verdreht denkt.

Auf diese Weise finden sich z. B. sehr häufig zwei Oktaëder des Spinells, Magneteisenerzes, Automolits mit einander verwachsen; Fig. 251. Nach demselben Gesetz

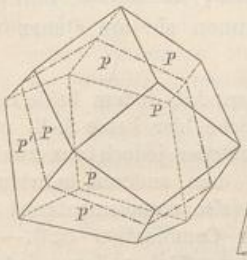


Fig. 250.

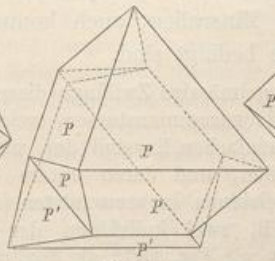


Fig. 251.

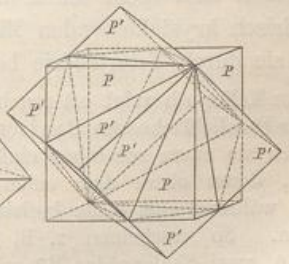


Fig. 252.

sind die Würfel des Flussspaths, Eisenkieses, Bleiglanzes als Durchkreuzungszwillinge gebildet; Fig. 252. Endlich kommen auch, zumal an der Zinkblende, zwei Rhomben-

dodekaëder in einer Oktaëderfläche durch Juxtaposition verbunden als Zwillinge vor, in welchen ebenfalls gewöhnlich jedes Individuum sehr stark verkürzt ist; Fig. 250. Aehnlich finden sich Zwillinge des Ikositetraëders z. B. beim ged. Kupfer, Silber, Gold [1]).

§ 56. **Einige Zwillinge des Tetragonalsystems.** Zwillinge mit parallelen Axensystemen kommen deshalb selten vor, weil nur wenige tetragonale Mineralarten hemiëdrisch ausgebildet sind; doch finden sie sich z. B. am Kupferkies, welcher der sphenoidischen, und am Scheelit, welcher der pyramidalen Hemiëdrie unterworfen ist. — Unter den Zwillingen mit geneigten Axensystemen trifft man besonders ein Gesetz bei mehren Mineralien verwirklicht; dasselbe lautet: Zw.-E. eine Fläche der Deuteropyramide P∞, oder eine von denjenigen Flächen, welche die Polkanten der Grundform P gerade abstumpfen; darnach sind z. B. die fast immer zwillingsartig beschaffenen Krystalle des Zinnsteins, sowie die Zwillinge des Rutils und des Hausmannits gebildet.

Die Zwillinge des Zinnsteins erscheinen theils wie Fig. 253, wenn die Individuen kurzsäulenförmig und pyramidal, theils knieförmig wie Fig. 254, wenn sie länger säulenförmig gestaltet sind; durch wiederholte Zwillingsbildung entstehen Drillings-, Vierlings- und mehrfach zusammengesetzte Krystalle. Die Zwillinge des Rutils sind denen des Zinnsteins sehr ähnlich, erscheinen aber meist knieförmig, wie Fig. 254,

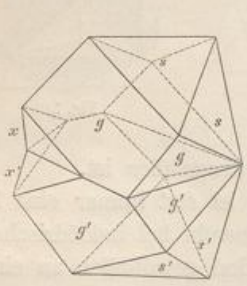


Fig. 253.

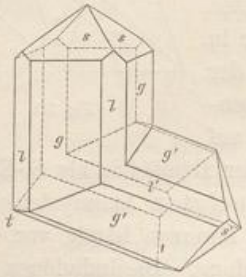


Fig. 254.

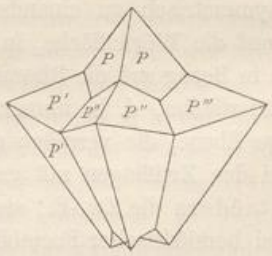


Fig. 255.

weil die Krystalle vorwiegend säulenförmig verlängert sind. Der Hausmannit besitzt Fünflinge wie Fig. 255, indem die Krystalle stets vorherrschend die Grundpyramide P zeigen, an deren Polkanten sich die Zwillingsbildung bisweilen sehr symmetrisch wiederholt, so dass ein centrales Individuum den Träger der übrigen bildet. Kupferkies bildet ganz ähnliche Zwillinge.

§ 57. **Einige Zwillinge des Hexagonalsystems.** Solche mit parallelen Axensystemen sind nicht selten am Kalkspath, Chabasit, Eisenglanz und anderen rhomboëdrisch krystallisirenden Mineralien; auch kommen sie am Quarz vor, bei welchem sie durch Tetartoëdrie bedingt sind.

Der Kalkspath zeigt oft regelmässige Zwillinge dieser Art, indem beide Individuen in einer Parallelfläche der Basis zusammenstossen, welche hier keine S.-E. mehr ist; so stellen sie einen scheinbar einfachen Krystall dar, welcher jedoch aus zwei Hälften besteht, deren obere dem einen, und deren untere dem anderen Individuum angehört, während sich beide Individuen in verwendeter (also complementärer) Stellung befinden. So erscheinen z. B. zwei Individuen der Combination ∞R.—½R wie Fig. 256, zwei Skalenoëder R3 wie Fig. 257; die Spaltungsflächen liegen jedesmal in

1) Sehr lehrreich für die Zwillingsbildung nach der Oktaëderfläche im regulären System sind *J. Strüver*'s Mittheilungen über polysynthetische Spinellgruppen (Z. f. Kryst. II. 1878. 180).

den beiden Individuen nach verschiedener Richtung. — Der Quarz zeigt besonders in den reineren Varietäten, als sog. Bergkrystall, Zwillinge (sog. Dauphinéer Gesetz), welche wesentlich durch den tetartoëdrischen Charakter seiner Krystallreihe ermöglicht werden, in Folge dessen z. B. die Pyramide P in zwei, geometrisch gleiche, aber physikalisch differente Rhomboëder p und x zerfällt; Fig. 258. Zwei gleichartige, d. h. entweder zwei rechte oder zwei linke Individuen sind, indem eine Fläche des Prismas ∞R oder die Basis 0R[1]) als Zw.-E. gilt, bisweilen an einander gewachsen, ungefähr so wie in Fig. 258, wobei $+$R (p) des einen parallel ist $-$R (x) des anderen und alle Axen, namentlich auch die Verticalaxen in beiden parallel sind; dabei erlangt der Zwilling als solcher die Symmetrie der trapezoëdrischen Hemiëdrie. Viel häufiger aber sind dann die Individuen durch einander gewachsen, wobei sie sich

Fig. 256.

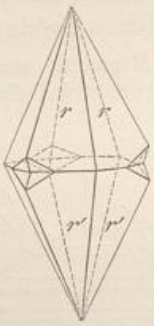


Fig. 257.

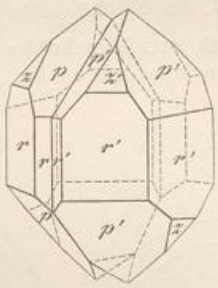


Fig. 258.

Fig. 259.

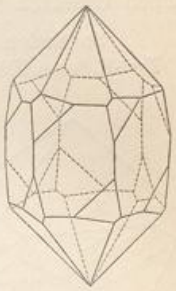


Fig. 260.

gewöhnlich in ganz unregelmässig begrenzten Partieen gegenseitig umschliessen und durchdringen, und scheinbar einfache Krystalle darstellen, deren Oberfläche jedoch theilweise dem einen, theilweise dem anderen Individuum angehört, wie z. B. in Fig. 259; hier sind die Theile des einen Individuums schraffirt, um sie von denen des anderen zu unterscheiden, wie dies in der Natur durch einen Gegensatz von matten und glänzenden Stellen hervorgebracht wird, wobei häufiger als es auf den ersten Blick scheinen will, Niveaudifferenzen der einzelnen Partieen zu beobachten sind. Wenn an einem solchen Durchwachsungszwilling die tetartoëdrischen Flächen eines trigonalen Trapezoëders auftreten, so sind dieselben an allen aufeinanderfolgenden Ecken zu beobachten (Fig. 260), während sie bei einem einfachen Individuum blos an den abwechselnden Ecken erscheinen; diese Flächen können übrigens nach Maassgabe der Durchdringung in der verschiedensten Zahl und Vertheilung vorhanden sein, so können z. B. oben alle 6, unten gar keine auftreten u. s. w. — Der Quarz bildet aber auch noch andere Ergänzungszwillinge (sog. Brasilianisches Gesetz), indem ein rechtes und ein linkes Individuum in paralleler Stellung der Verticalaxen mit einander verbunden sind, wobei sie nach einer Fläche von ∞P2 zu einander symmetrisch stehen; dadurch geschieht es, dass zwei trigonale Trapezoëder (x) derselben Rhomboëderfläche anliegen, und zusammen wie ein Skalenoëder auftreten (Fig. 261). Durch diese Zwillingsbildung wird eben die Symmetrie der rhomboëdrischen Hemiëdrie wiederhergestellt.

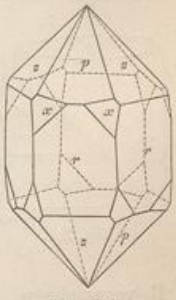


Fig. 261.

1) Denkt man sich 2 Rhomboëder zu einander symmetrisch in Bezug auf eine Fläche von ∞R, so sind ihre Axen c parallel und das eine hat diejenige Richtung der Flächen, welche am anderen Krystall das negative haben würde. Genau dieselbe relative Stellung der beiden Krystalle wird aber auch erhalten, wenn man das eine Rhomboëder durch 180° um die Axe c dreht, d. h. wenn man die Basis als Zwillingsebene betrachtet. Die Ausdrücke »Zwillingsbildung mit parallelen Axensystemen«, »Zwillingsebene die Basis 0R«, »Zwillingsebene ∞R« sind daher bei der rhomboëdrischen Hemiëdrie und auch hier gleichbedeutend.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bei rhomboëdrisch-tetartoëdrischen Substanzen gewinnen Durchkreuzungszwillinge nach der Basis die Symmetrie der pyramidalen Hemiëdrie, solche nach einem hexagonalen Prisma diejenige der rhomboëdrischen Hemiëdrie. — Besitzen rhomboëdrisch-hemimorphe Individuen $\infty P2$ als Zw.-E. und 0R als Zusammensetzungsfläche, so wird die Symmetrie der rhomboëdrischen Hemiëdrie hergestellt. — Bemerkenswerth sind noch die Zwillingsbildungen bei der Hemimorphie der pyramidalen Hemiëdrie: symmetrische Verwachsung nach 0P stellt die Symmetrie der pyramidalen Hemiëdrie wieder her; solche nach ∞P und $\infty P2$ diejenige der Hemimorphie der Holoëdrie. Sind beide Gesetze vereinigt und dabei die Individuen durcheinander gewachsen, so entstehen Formen von anscheinend holoëdrisch-hexagonaler Symmetrie (Nephelin).

Zwillinge mit geneigten Axensystemen kommen häufig und nach verschiedenen Gesetzen vor; doch ist meist die Fläche eines Rhomboëders die Zw.-E.

So finden sich oft am Kalkspath zwei Rhomboëder R und R' nach dem Gesetz: Zw.-E. eine Fläche von $-\frac{1}{2}R$ verwachsen, wie in Fig. 262, wobei die in A und A'

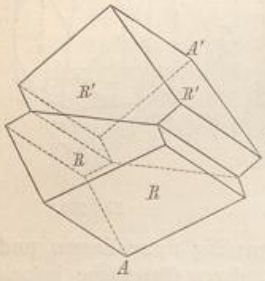


Fig. 262.

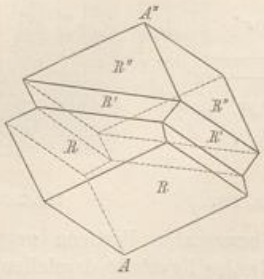


Fig. 263.

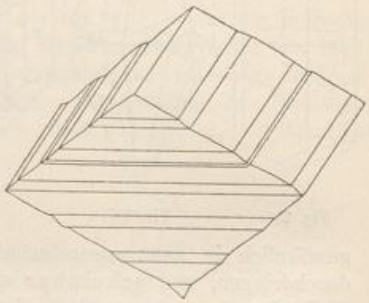


Fig. 264.

endenden Verticalaxen beider Individuen einen Winkel von 127° 34′ bilden. Diese Zwillingsbildung wiederholt sich nicht selten, indem ein drittes Ind. R'' hinzutritt, welches sich mit dem ersten Ind. R in paralleler Stellung befindet; dann pflegt das mittlere Ind. R' sehr stark verkürzt und nur als eine mehr oder weniger dicke Lamelle ausgebildet zu sein, welche dem scheinbar einfachen, wesentlich von R und R'' gebildeten Krystall eingeschaltet ist; Fig. 263. Häufig sind so viele sehr dünne lamellare Individuen in einem grösseren Spaltungsstück eingewachsen, an welchem dann zwei Gegenflächen eine, durch die Querschnitte der Lamellen gebildete, der längeren Diagonale parallele Zwillingsstreifung zeigen; Fig. 264. — Sind zwei Kalkspathkrystalle nach dem Gesetz: Zw.-E. eine Fläche von R verwachsen, so bilden ihre Verticalaxen den Winkel von 89° 8′, sind also fast rechtwinkelig auf einander; Fig. 265.

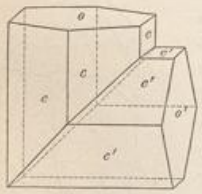


Fig. 265.

§ 58. **Einige Zwillinge des rhombischen Systems.** Zwillinge mit parallelen Axensystemen sind bis jetzt nur sehr selten beobachtet worden, weil die sie bedingende hemiëdrische Ausbildung zu den seltenen Erscheinungen gehört. Sehr häufig sind dagegen Zwillinge mit geneigten Axensystemen, besonders nach dem Gesetz: Zw.-E. eine Fläche des Grundprismas ∞P; z. B. sehr ausgezeichnet am Aragonit, Cerussit, Markasit, Melanglanz, Arsenkies, Bournonit.

Am Aragonit sind die Individuen theils durch, theils an einander gewachsen; das letztere ist z. B. der Fall in dem, Fig. 267 dargestellten Zwilling der Combination $\infty P.\infty\breve{P}\infty.\breve{P}\infty$. Diese Verwachsung wiederholt sich häufig mit durchgängig parallelen

Zusammensetzungsflächen, wodurch reihenförmige Aggregate entstehen, wie Fig. 268, in welchen sich die ungeradzähligen Individuen einerseits, und die geradzähligen Individuen anderseits zu einander in paralleler, je zwei auf einander folgende Individuen aber in der Zwillingsstellung befinden. Gewöhnlich sind jedoch die inneren Individuen so stark verschmälert, dass sie nur wie dünne, einem grösseren Krystall einverleibte Lamellen erscheinen, welche auf den Flächen $\breve{P}\infty$ und $\infty\breve{P}\infty$ dieses Krystalls mit einer deutlichen Zwillingsstreifung hervortreten.

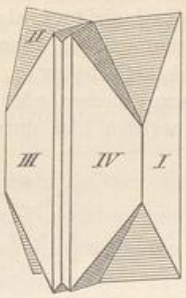


Fig. 266.

Fig. 267.

Fig. 268.

Auch wiederholt sich dieselbe Zwillingsbildung mit geneigten Zusammensetzungsflächen, wodurch kreisförmig in sich selbst zurücklaufende Aggregate entstehen, wie z. B. der in Fig. 266 abgebildete Vierlingskrystall der Combination $\infty P.2\breve{P}\infty$. Ganz ähnliche Erscheinungen zeigen der Cerussit und Bournonit.

Der Staurolith ist durch seine kreuzförmigen Zwillingskrystalle sehr ausgezeichnet. Seine Individuen stellen gewöhnlich die säulenförmige Combination $\infty P.\infty\breve{P}\infty.0P$ dar; die Zwillinge sind namentlich nach zwei Gesetzen gebildet:

1) Zwillingsebene eine Fläche des Brachydomas $\frac{3}{2}\breve{P}\infty$; die Verticalaxen beider Individuen schneiden sich fast rechtwinkelig; der Zwilling erscheint wie Fig. 269.

2) Zwillingsebene eine Fläche der Brachypyramide $\frac{3}{2}\breve{P}\frac{3}{2}$; die Verticalaxen und ebenso die Brachypinakoide (*o*) beider Individuen schneiden sich ungefähr unter 60°, und der Zwillingskrystall erscheint wie Fig. 270.

Endlich mag noch des Arsenkieses gedacht werden, welcher ausser den oben erwähnten Verwachsungen, bei denen ∞P die Zwillingsebene ist, noch ein anderes

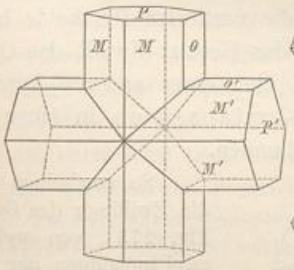


Fig. 269.

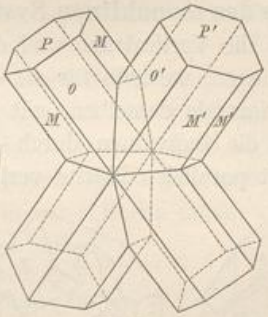


Fig. 270.

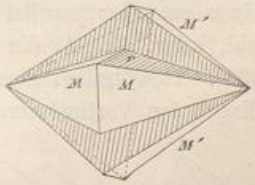


Fig. 271.

Gesetz (Fig. 271) aufweist, nach welchem für die zwei Individuen das Makrodoma $\bar{P}\infty$ die Zw.-E. darstellt; die Verticalaxen beider Individuen sind dabei unter 59° 12′ gegen einander geneigt, das sehr flache Brachydoma ist charakteristisch gestreift.

Es mögen hier noch einige Bemerkungen folgen über wiederholte Zwillingsbildungen bei rhombischen Krystallen mit einem 120° genäherten Prismenwinkel (Fig. 272). Bei cyklischer Verwachsung mit Juxtaposition liegen z. B. 3 Individuen um einen gemeinsamen Mittelpunkt und der schmale keilförmige Zwischenraum, welcher in Folge der Abweichung des Prismenwinkels von 120° zwischen den Individuen 1 und 3 bleibt, wird dann durch Ausdehnung dieser beiden letzteren ausgefüllt, die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

längs einer unregelmässig verlaufenden Fläche aneinandergrenzen (*a*). Oder es verzwillingt sich mit Ind. 2 ein drittes, gleichzeitig mit Ind. 1 ein viertes, wobei dann ebenfalls die Ind. 3 und 4 nur unvollständig entwickelt sein können und unregelmässig aneinandergrenzen (*b*). — Stossen die Individuen aber mit ihren scharfen Prismenkanten im Centrum des Viellings zusammen, so können sich noch mehr derselben an dem letzteren betheiligen (wie an dem Sechsling *c*, wo abermals zwischen 1 und 6 ein kleiner keilförmiger Zwischenraum bleiben oder eine irreguläre Fläche verlaufen würde; die äusseren Begrenzungen werden hier durch die Längsflächen gebildet). —

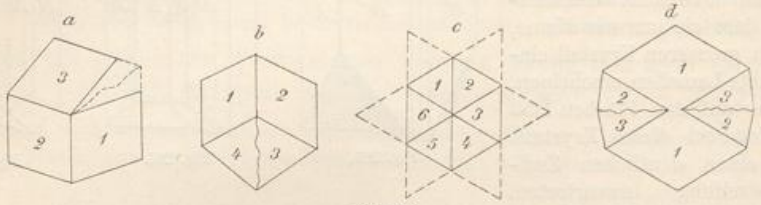


Fig. 272.

Eine ganz ähnliche Gestalt wie *c* kann aber auch durch Penetration entstehen, indem die Ind. 1, 2, 3 sich über den gemeinsamen Berührungspunkt und über die Zwillingsgrenze hinaus fortsetzen, wobei dann 4 mit 1, 5 mit 2, 6 mit 3 je ein einziges Individuum bilden und theoretisch auch hier diametral gegenüberliegende Zwischenfugen z. B. zwischen 1 und 6, zwischen 3 und 4 entstehen müssen, welche aber ebenfalls durch Fortwachsen der Individuen bis zur gegenseitigen Berührung ausgefüllt werden. *d* zeigt noch eine Penetration, bei welcher die beiden kleineren Ind. 2 und 3, jedes aus zwei isolirten Hälften bestehend, rechts und links keilförmig in das grosse Ind. 1 eingeschoben sind. — Ueberall offenbart sich das Bestreben der Substanz, den Raum möglichst gleichmässig auszufüllen.

Bei diesen Viellingen ist es eine häufige Erscheinung, dass sich von einem Individuum kleine blatt- und zahnähnliche Fortsätze unter Bewahrung der gegenseitigen Zwillingsstellung in die benachbarten hinein erstrecken, wodurch oft ein äusserst complicirtes gewebeartiges Ineinandergreifen entsteht.

§ 59. **Einige Zwillinge des monoklinen Systems.** Die häufigsten Zwillinge sind hier solche, bei welchen die Verticalaxen und die verticalen Pinakoide beider Individuen einander parallel liegen, weshalb für sie das Gesetz: Zw.-E. das Orthopinakoid, oder: Zw.-A. die Normale desselben, gilt (über einen anderen Ausdruck s. S. 130). Gewöhnlich sind die Individuen durch Juxtaposition in einer dem orthodiagonalen Verticalschnitt parallelen Fläche verbunden.

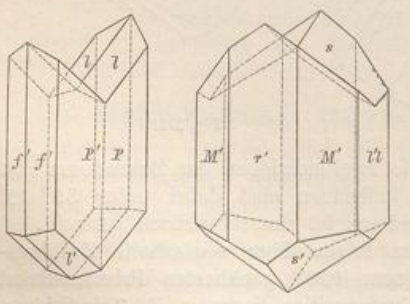


Fig. 273.

Fig. 274.

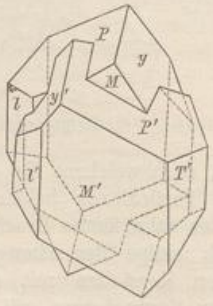


Fig. 275.

So erscheinen z. B. die Zwillinge des Gypses, Fig. 273, von welchem zwei Individuen der Combination ∞P̆∞.∞P.—P oft so regelmässig mit einander verwachsen sind, dass die Flächen des Klinopinakoids (*P* und *P'*) beiderseits in eine Ebene fallen. Auf ganz ähnliche Weise sind die gewöhnlichen Zwillinge des Augits gebildet, Fig. 274, deren Individuen die Combination ∞P.∞P̆∞.∞P̆∞.P darstellen, und gleichfalls sehr symmetrisch gestaltet und sehr regelmässig verwachsen zu sein

pflegen, ohne irgendeine Demarcationslinie auf den Flächen des Klinopinakoids erkennen zu lassen. Die beiderseitigen Hemipyramiden P(*s*) bilden (ebenso wie die Hemipyramiden —P am Gyps) einerseits einspringende, anderseits ausspringende Zwillingskanten. Aehnliche Erscheinungen wiederholen sich bei der Hornblende, dem Wolframit und bei anderen Mineralien.

In anderen Fällen zeigen sich die Individuen durch Penetration verbunden, indem sie in der Richtung der Orthodiagonale mehr oder weniger in einander geschoben sind, und sich theilweise umschliessen und durchkreuzen. Diese Verwachsung ist auch am Gyps nicht selten, am Orthoklas und Sanidin aber sehr häufig. Die Verwachsungsebene, welche hier nicht mit der Zwillingsebene zusammenfällt, geht dabei oft dem Klinopinakoid mehr oder weniger parallel.

Die Individuen des Orthoklases zeigen gewöhnlich Formen, denen wesentlich die Combination $\infty\breve{P}\infty.\infty P.0P.2\breve{P}\infty$ zu Grunde liegt (vgl. S. 112). Zwei dergleichen Krystalle sind nun seitwärts in einander geschoben, wie es Fig. 275 zeigt, und lassen dabei noch einen, zuerst von *Weiss* hervorgehobenen Unterschied wahrnehmen, je nachdem sie einander ihre rechten oder ihre linken Seiten zukehren. So stellt z. B. Fig. 275 einen Zwilling mit links verwachsenen Individuen dar. Um dieses rechts und links zu bestimmen, denkt man sich selbst in dem einzelnen Individuum so aufrecht stehend, dass das Gesicht nach der schiefen Basis 0P (der im Bilde mit *P* bezeichneten Fläche) gewendet ist. — Sehr belehrend für die Zwillingsbildungen des monoklinen Systems sind auch diejenigen des Glimmers (vgl. diesen im systematischen Theil), bei welchem die Individuen bald neben-, bald übereinandergewachsen sind. — Sind zwei hemiëdrisch-monokline Individuen nach dem Orthopinakoid verzwillingt, so wird die durch die Hemiëdrie verloren gegangene S.-A. wieder erworben und der Zwilling erhält holoëdrisch-monokline Symmetrie (z. B. Skolecit).

§ 60. **Einige Zwillinge des triklinen Systems.** Hier kommen häufig ein paar Zwillingsbildungen vor, welche zur Unterscheidung der triklinen und monoklinen Feldspathe von grosser Wichtigkeit sind. Die eine dieser Bildungen steht unter dem Gesetz: Zw.-E. das Brachypinakoid, oder Zw.-A. die Normale des brachydiagonalen Verticalschnitts. Da nun dieser Verticalschnitt und die Basis in den triklinen Feldspathen nicht mehr rechtwinkelig auf einander sind, so müssen in solchen Zwillingen die beiderseitigen Basen einerseits ausspringende, anderseits einspringende Winkel bilden, wogegen bei den monoklinen Feldspathen (wo das Brachypinakoid dem als S.-E. vorhandenen und deshalb als Zw.-E. ausgeschlossenen Klinopinakoid entspricht) nach analogem Gesetz gar keine Zwillinge entstehen können, und die beiderseitigen Basen in eine Ebene fallen würden.

Die Krystalle der unter dem Namen Plagioklas vereinigten triklinen Feldspathe (z. B. Albit) lassen diese Zusammensetzung nach $\infty\breve{P}\infty$ sehr häufig wahrnehmen, Fig. 276, und die dadurch von den beiderseitigen Flächen 0P (*P* und *P'*) und ebenso von den beiderseitigen $'\overline{P}'\infty$ (oder *x* und *x'*) gebildeten sehr stumpfen aus- und einspringenden Winkel sind eine höchst charakteristische Erscheinung, durch welche diese Mineralien auf den ersten Blick ihre trikline Natur zu erkennen geben. Diese Zusammensetzung wiederholt sich gewöhnlich, und so entstehen zunächst Drillingskrystalle wie Fig. 277, in welchen meist

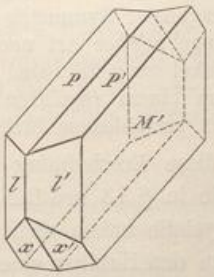


Fig. 276.

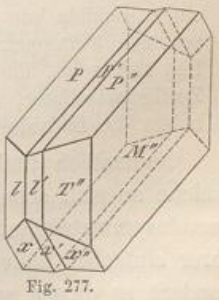


Fig. 277.

das mittlere Individuum eine dünne lamellare Form hat, so dass der ganze Drilling wie ein (aus den beiden äusseren Individuen bestehender) einfacher Krystall erscheint, welchem eine Krystalllamelle eingewachsen ist. Findet die Wiederholung mehrfach statt, so sind gewöhnlich alle inneren Individuen zu solch dünnen Lamellen verkürzt, und dann erscheint auf den Flächen P und x des Zwillingsstocks eine ausgezeichnete Zwillingsstreifung, nicht selten so fein, dass sie erst unter der Loupe oder in Dünnschliffen unter dem Mikroskop sichtbar wird. Ueber andere Zwillingsverwachsungen trikliner Krystalle vgl. Albit, Anorthit.

Allgemein gilt die Bemerkung, dass auch zwei Zwillinge, von denen ein jeder nach demselben bestimmten Gesetz gebildet ist, nach einem anderen Gesetz zu einem Doppelzwilling zusammenwachsen können. So geschieht es z. B., dass zwei Zwillinge des Plagioklases, von denen jeder wie Fig. 276 gebildet ist, in solcher Stellung und nach entsprechendem Gesetz mit einander verwachsen sind, wie es Fig. 275 für die beiden einfachen Orthoklas-Individuen zeigt.

§ 61. **Erhöhung der Symmetrie durch Zwillingsbildung.** Als sehr bemerkenswerth ist es schon in dem Vorstehenden an vielen Stellen ersichtlich geworden, dass den durch Zwillingsverwachsung entstehenden Formen höhere und vollkommenere Symmetrieverhältnisse eigen sind, als den betreffenden Einzelindividuen. So erlangen z. B. die nach $\infty\breve{P}\infty$ gebildeten einfachen Zwillinge der triklinen Feldspathe (Fig. 276) die Symmetrie des monoklinen Systems, die Zwillinge der monoklinen Mineralien Augit, Hornblende, Gyps, Titanit (z. B. Fig. 273, 274) die Symmetrie des regelmässigeren rhombischen; die Drillinge des rhombischen Witherits erscheinen wie hexagonale Formen (Fig. 272c).

Die monoklinen Individuen des Phillipsits sind sogar fähig, durch wiederholte Zwillingsbildung Gestalten von der Symmetrie des regulären Systems zu erlangen. Fig. 278 stellt einen, rhombische Symmetrie besitzenden Zwilling zweier monokliner Individuen nach der Basis dar; in Fig. 279 sind 2 Zwillinge dieser Art nach $\breve{P}\infty$ zu

Fig. 278.

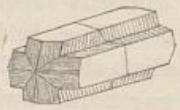


Fig. 279.

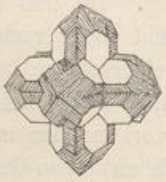


Fig. 280.

Fig. 281.

einem Gebilde von tetragonaler Symmetrie durcheinandergewachsen; in Fig. 280 erscheinen 3 Doppelzwillinge solcher Art nach ∞P vereinigt, und wenn darin, wie es Fig. 281 zeigt, die Winkel ausgefüllt sind, so gleicht die Form, abgesehen von der Zwillingsstreifung, genau einem regulären Rhombendodekaëder mit 9 S.-E.n; darin haben die Individuen 12 verschiedene Stellungen.

Namentlich findet diese Erscheinung aber noch statt bei Mineralsubstanzen, welche an sich schon die in § 48 erwähnte Pseudosymmetrie besitzen. Diese pseudosymmetrischen Krystalle haben nicht nur die Neigung, in den Combinationen ihrer einfachen Individuen den Habitus eines anderen höheren Systems anzunehmen, sondern es dienen auch gerade die Flächen, welche beinahe den charakteristischen Winkel des letzteren einschliessen, bei ihnen als Zwillingsebenen und ihre Winkelverhältnisse überhaupt ermöglichen nebenbei eine Ausfüllung der sonst für die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Zwillinge bezeichnenden einspringenden Kanten. Indem bei solchen Grenzformen die Zwillingsbildung gleichzeitig nach allen ähnlich gelegenen Ebenen erfolgt, und jede Zwillingsebene eine S.-E. des ganzen Baues liefert, werden durch complicirte Repetition der Zwillingsbildung, bei der namentlich cyklische Verwachsung sowie die Ausdehnung über die gemeinsame Axe oder den gemeinsamen Punkt hinaus eine Rolle spielt, Gestalten erworben, welche die Formen eines Krystallsystems höherer Symmetrie nachahmen. Dieselben werden nach *Tschermak* mimetische Krystalle genannt; die Erscheinung selbst heisst alsdann Mimesie und sie gewinnt natürlich ein besonderes Interesse, wenn sie nicht zufällig und vereinzelt, sondern constant auftritt, d. h. wenn sie von allen Krystallen desselben Minerals dargeboten wird[1]). Solche mimetische Mineralien pflegen durch eine Streifung oder Sculptur auf den Krystallflächen, sodann durch die Inconstanz der Kantenwinkel, ferner durch die Unvereinbarkeit der optischen Charaktere mit den geometrischen gekennzeichnet zu werden.

Die Zahl der hierher zu rechnenden Vorkommnisse ist in neuerer Zeit bedeutend erweitert worden, indem die optische Untersuchung dünner Platten (bisweilen verbunden mit dem Studium der Aetzfiguren) oder kleine Abweichungen in den Winkelverhältnissen auf das Resultat geleiteten, dass die Gestalt mancher Mineralien, welche man von jeher als einem regelmässigeren Krystallsystem wirklich angehörig erachtete, nur eine Sammelform sehr zahlreicher, in verwickelter Zwillingsstellung befindlicher Individuen eines minder symmetrischen Systems sei. So ist nach *Becke* das Rhomboëder des Chabasits ein Complex trikliner, nach *Grosse-Bohle* das Oktaëder des Senarmontits ein Complex monokliner Individuen. *Tschermak* wies nach, dass der rhomboëdrisch erscheinende Pennin eine Sammelform dünner, in Zwillingsstellung übereinander gelagerter monokliner Lamellen ist. Ebenso bildet der trikline Mikroklin-Feldspath mimetisch-monokline Formen. — In gewissen der auf diesem Gebiete hervorgehobenen Fälle ist freilich die Vermuthung nicht ausgeschlossen, dass die optischen Erscheinungen, auf Grund deren sowohl die Existenz als das Krystallsystem der Einzelindividuen erschlossen wurde, nicht auch noch einer anderen Deutung fähig sind.

§ 62. **Zwillingsbildung durch Druck und Erwärmung.** Die Zwillingsbildung, in den meisten Fällen schon anfänglich beim Wachsthum der Krystalle zu Stande gekommen, kann aber auch hin und wieder das Resultat eines secundären Vorgangs sein, indem sie erst später an einem ursprünglich nicht verzwillingten Krystall herbeigeführt worden ist. Es ist nachgewiesen, dass eine solche secundäre Zwillingsbildung bei gewissen Mineralien einerseits durch Druck, anderseits durch Erwärmung erzeugt werden kann.

Durch einen geeigneten Druck kann z. B. bei einem Spaltungsrhomboëder des Kalkspaths eine einfache oder lamellar-polysynthetische Zwillingsbildung nach einer Fläche von $-\frac{1}{2}R$ hervorgerufen werden (vgl. § 91). Man ist daher geneigt, die Ursache der so oft bei den Kalkspath-Individuen gröberkörniger Marmore wahr-

1) Zu den eigentlich mimetischen Krystallen scheint man diejenigen nicht rechnen zu sollen, welche zwar in der gewöhnlichen Beobachtungstemperatur ebenfalls solche, aus zwillingsmässig verwachsenen, minder symmetrischen Theilen bestehende Formen höherer Symmetrie besitzen, aber in hoher Temperatur diesen Aufbau verlieren und eine physikalische Beschaffenheit annehmen, die mit jener höheren Symmetrie übereinstimmt, z. B. der Leucit, Tridymit, Boracit. Denn in diesem Falle handelt es sich aller Wahrscheinlichkeit nach bei den Krystallen, wie sie jetzt vorliegen, nicht um einen ursprünglichen Aufbau aus so zusammengefügten Gebilden, sondern es ist im Rahmen der schon bestehenden höher symmetrischen Gestalt erst secundär ein Zerfall in minder symmetrische Theile erfolgt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

zunehmenden Zwillingsstreifung in dem gegenseitigen Druck zu erblicken, welchen die Krystallkörner gelegentlich der Gebirgserhebung auf einander ausübten. *Linck* wies nach, dass die beim Kalkspath in Dünnschliffen beobachtbare Zwillingsstreifung selbst erst bei der Herstellung des Präparats durch Druck nachträglich entstanden sein kann (N. Jahrb. f. Min. 1883. I. 204). Auch für andere Gesteinsgemengtheile ist es in hohem Grade wahrscheinlich, dass bisweilen die polysynthetische Zwillingsbildung nicht eine ursprüngliche, sondern erst durch spätere mechanische Wirkung in Folge des Gebirgsdrucks entstandene oder modificirte ist, so bei Diallagen, bei Feldspathen, für welche *van Werveke* auf Vorkommnisse hinwies, die eine solche Erklärung begründen (z. B. Gebundensein der Lamellen in ihrem Dasein, ihrem Verlauf und ihrer Ausdehnung an Bruchlinien im Krystall, wobei das Absetzen der Lamellen an den Rissen nicht als Verwerfung gedeutet werden kann; vgl. N. Jahrb. f. Min. 1883. II. 98). — Weitere Beispiele einer durch Druck auf künstlichem Wege herbeiführbaren Zwillingsbildung bieten Antimon und Wismut, bei denen sie nach $-\frac{1}{2}R$, Diopsid, wo sie nach 0P erfolgt.

Nachdem *Mallard* schon an Platten von künstlichen Krystallen des rhombischen schwefelsauren Kali gefunden hatte, dass beim Erhitzen derselben die nach ∞P oder $\infty \breve{P}3$ vorhandenen verzwillingten Lamellen sich erheblich vermehren, gelang es *Baumhauer* auch an vorher als einfach erkannten Platten dieses Salzes durch Temperaturerhöhung eine solche polysynthetische Zwillingsbildung erst hervorzurufen; dieselbe wurde auch in Platten von chromsaurem Kali durch Erhitzen bis zum schwachen Glühen reichlich und in grosser Feinheit erzeugt (Zeitschr. d. geol. Ges. XXV. 1883. 639). *Mügge* erhielt in Spaltstücken von Anhydrit durch Erwärmen zahlreiche parallel $\breve{P}\infty$ eingelagerte Zwillingslamellen.

Bei mehren Substanzen, welche äusserlich Formen eines höheren Symmetriegrades besitzen, aber innerlich aus Zwillingsverwachsungen von minder symmetrischen Theilen bestehen, geht umgekehrt diese in gewöhnlicher Temperatur ersichtliche Zwillingsbildung bei stärkerer Erwärmung verloren und die Krystalle erlangen dann eine optische Beschaffenheit, welche mit ihrer Form im Einklang steht; z. B. beim Boracit, Tridymit, Leucit. Weitere Angaben über diese eigenthümlichen Erscheinungen finden sich bei der Beschreibung der genannten Mineralien im Speciellen Theil.

c) Gesetzmässige Verwachsung ungleichartiger Substanzen.

§ 63. **Beispiele derselben.** Noch merkwürdiger, als die vorher betrachteten Verwachsungen, sind diejenigen, welche zuweilen zwischen Krystallen wesentlich verschiedener Mineralarten vorkommen und ebenfalls auf eine gesetzmässige Weise erfolgen. Die auch formell abweichenden Individuen sind dabei so gegen einander orientirt, dass beide mindestens eine Krystallfläche und eine dieselbe begrenzende Kante parallel haben. So kennt man schon lange die von *Germar* zuerst 1817 beschriebenen Verwachsungen des blauen triklinen Disthens und des braunrothen rhombischen Stauroliths, in welchen beiderseits eine Fläche und eine Axe parallel sind. *Breithaupt* wies interessante Verwachsungen von Eisenglanz (rhomboëdrisch) und Rutil (tetragonal) nach, bei welchen kleine Krystalle des letzteren auf einem grösseren Krystall des ersteren so aufgewachsen sind, dass für die Hauptaxe und gewisse Flächen des Rutils ein Parallelismus zu den Zwischenaxen und gewissen Flächen des Eisenglanzes hergestellt wird. — Auf gleiche Weise sind zuweilen grössere Krystalle des monoklinen Orthoklases (z. B. von Baveno und Elba, von Hirschberg und Striegau in Schlesien) mit kleinen Krystallen von triklinem Albit in einer möglichst parallelen Stellung besetzt, oder auch auf einzelnen ihrer Flächen mit krystallisirtem Albit überzogen; eine Verwachsung, welche *Leopold v. Buch*

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

schon im Jahre 1826 nach ihrer Gesetzmässigkeit richtig erkannt und beschrieben hat. — Der Speerkies, eine durch ihre Zwillingskrystalle ausgezeichnete Varietät des rhombischen Markasits, ist öfters mit kleinen Krystallen des regulären Pyrits besetzt, welche sich zu den Krystallen des ersteren in gesetzmässiger Stellung befinden. Flussspath und Pyrit stellen sich gegenseitig so, dass die drei Hauptaxen des regulären Systems parallel sind. Ein schönes Beispiel liefert auch die Erscheinung, dass durch einen nach 0P etwas abgeplatteten Krystall von Xenotim ein säulenförmiger von Zirkon senkrecht hindurchgewachsen ist, wobei die Verticalaxen und die Flächen $\infty P\infty$ (*s*) beider tetragonaler Mineralien parallel sind (Fig. 282).

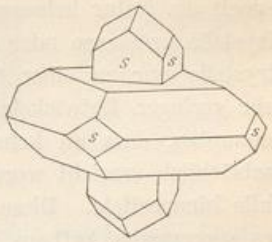


Fig. 282.

Ueber die speciellen Verwachsungsbeziehungen vgl. die Beschreibung der betreffenden Mineralien in dem systematischen Theil. — *Haidinger* erkannte zuerst eine Verwachsung zwischen Pyroxen und Amphibol, bei welcher viele lamellare Individuen beider Mineralien mit paralleler Lage der beiderseitigen Verticalaxen und Orthodiagonalen abwechselnd verbunden sind, und einen Theil von dem bilden, was man Smaragdit genannt hat. *G. Rose* beschrieb 1869 die regelmässige Verwachsung der verschiedenen Glimmerarten; *G. vom Rath* hob die Gesetzmässigkeit derjenigen von Eisenglanz und Magnoferrit hervor. — Bei der Verwachsung von Quarz und Kalkspath ist eine Quarzfläche R mit einer Kalkspathfläche $-\frac{1}{2}R$ und ausserdem die Kante zwischen R und ∞R beim Quarz mit der horizontalen Diagonale der Kalkspathfläche $-\frac{1}{2}R$ parallel. Vgl. ferner in dem systematischen Theil z. B. Rutil und Eisenkies.

Bei diesen Verwachsungen zeigt sich bisweilen die Erscheinung, dass das deckende Mineral nur auf gewissen Flächen des Trägers zum orientirten Absatz gekommen ist; wie denn die Albitkrystalle fast ausschliesslich auf den Flächen der Prismenzone des Orthoklases, die Rutile stets nur auf der Basis des Eisenglanzes, die Staurolithe immer nur auf $\infty\bar{P}\infty$ des Disthens sitzen.

Hierher sind auch die eigenthümlichen feindrusigen Ueberzüge von Kupferkies über Krystallen von Fahlerz und Zinkblende zu rechnen, in welchen die kleinen Individuen des Kupferkieses eine sehr regelmässige Stellung gegen die regulären Formen der anderen Schwefelmetalle behaupten. Und ebenso gehört hierher die von *Scheerer* mit dem Namen Interposition belegte Erscheinung, welche wesentlich darin besteht, dass grösseren Krystallen oder Individuen eines Minerals sehr viele, ausserordentlich kleine Lamellen eines anderen in paralleler und regelmässiger Lage innerlich eingewachsen sind, wofür der sog. Sonnenstein und der Glimmer von South-Burgess in Canada ein paar ausgezeichnete Beispiele liefern. Derartige orientirte Einwachsungen von mikroskopischer Kleinheit sind in sehr vielen Individuen des Mineralreichs vorhanden (vgl. § 69).

9. Von der Ausbildungsweise der Krystalle und den Unregelmässigkeiten ihres Wachsthums.

a) Aeussere Ausbildungsweise.

In den bisherigen Betrachtungen der Krystallformen wurde vorausgesetzt, dass solche von ebenen und glatten Flächen begrenzt seien, dass alle Flächen einer und derselben Form (oder Partialform) gleiche und ähnliche Figur, oder, was dasselbe ist, gleiche Centraldistanz haben, dass für die Krystalle selbst immer

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

eine vollständige, ringsum vollendete Ausbildung stattfinde, und dass solche nach allen Dimensionen hinreichend gross ausgebildet seien, um eine directe wissenschaftliche Bestimmung zu gestatten. Diesen Voraussetzungen entspricht jedoch die Natur keineswegs in allen Fällen, indem die Flächen und Gestalten der Krystalle grösseren oder geringeren Unvollkommenheiten unterworfen, die meisten Krystalle nur zu einer theilweisen Ausbildung, und viele derselben nur zu einer sehr geringen Entwickelung ihrer Dimensionen gelangt sind. Ja, man kann wohl behaupten, dass an keinem Krystall jene ideale Regelmässigkeit der Gestaltung thatsächlich erreicht worden ist, auf deren Verwirklichung die Natur doch in jedem Falle hinarbeitete. Diese Erscheinungen sind das Resultat des Wachsthums und des successiven Aufbaus der Krystalle.

§ 64. **Unvollkommenheit der Krystallflächen.** Die Unvollkommenheit in der Beschaffenheit der Krystallflächen gibt sich theils als eine durch viele kleinere Unebenheiten bewirkte Abweichung von der ebenflächigen Ausdehnung, theils als eine scheinbare oder wirkliche Krümmung zu erkennen.

Zu der ersten Art der Unvollkommenheit gehören besonders diejenigen Unebenheiten, welche als Streifung, Drusigkeit und Rauhheit bezeichnet werden. Die Streifung (oder Reifung) ist eine sehr häufig vorkommende Erscheinung, welche durch die oscillatorische (d. h. nicht stetige, sondern in schmalen, abwechselnden Flächenstreifen treppenartig ausgebildete) Combination irgend zweier Formen hervorgebracht wird (Quarz, Pyrit, Turmalin und viele andere Mineralien). Die Flächen einer Krystallform sind drusig, wenn aus ihnen viele kleine, in paralleler Stellung dicht aneinander stossende Ecken oder Theile einer anderen Krystallform hervorragen (Flussspath). Rauhe Flächen endlich sind mit ganz kleinen, nicht mehr erkennbaren Unebenheiten besetzt, können aber bisweilen durch Vergrösserung als sehr feindrusige Flächen erkannt werden. In anderen Fällen erscheinen die Krystallflächen wie gekörnt, genarbt, geschuppt, gebrochen, getäfelt, parquettirt oder zerfressen.

Von allen diesen Unvollkommenheiten ist die Streifung die bemerkenswertheste Erscheinung, deren sorgfältige Beachtung nicht selten auf die Kenntniss von Formen gelangen lässt, welche in der betreffenden Krystallreihe noch gar nicht selbständig beobachtet worden sind. Man unterscheidet übrigens die einfache Streifung der Krystallflächen, welche nur nach einer Richtung stattfindet, von der mehrfachen, nach verschiedenen Richtungen zugleich ausgebildeten Streifung, welche federartig, triangulär, quadratisch, rhombisch u. s. w. erscheinen kann, jedenfalls aber, wie die einfache Streifung, aus der oscillatorischen Combination zu erklären ist. So erscheinen z. B. die prismatischen Flächen ∞P des Quarzes einfach und horizontal gestreift durch oscillatorische Combination von ∞P und $4P$; die Würfelflächen des Flussspaths bedeckt mit quadratischen Streifensystemen (wobei die Seiten der Quadrate mit den Würfelkanten parallel gehen) durch die oscillatorische Combination von $\infty O\infty$ mit einem sehr stumpfen Tetrakishexaëder ∞On. Die verticale Streifung des Turmalins erfolgt durch Combination von Flächen der Prismenzone. Die Würfelflächen des Pyrits sind durch Combination von $\infty O\infty$ und einem Pentagondodekaëder parallel einer Kante, die Rhombendodekaëderflächen des Magnetits durch solche von ∞O und O parallel der längeren Diagonale gestreift. Uebrigens darf die Combinationsstreifung nicht mit der sehr ähnlichen, durch Zwillingsbildung bedingten Streifung oder Riefung, und die Drusigkeit der Krystallflächen nicht mit dem drusigen Ueberzuge derselben verwechselt werden; vergl. § 54.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Der Verlauf dieser Oberflächenstreifung ist auch geeignet, zur Entscheidung über den vollflächigen oder theilflächigen Charakter einer Form zu gelangen. Reguläre Würfel, gestreift wie *a* und *b* in Fig. 283, können unmöglich holoëdrisch sein, *a* muss

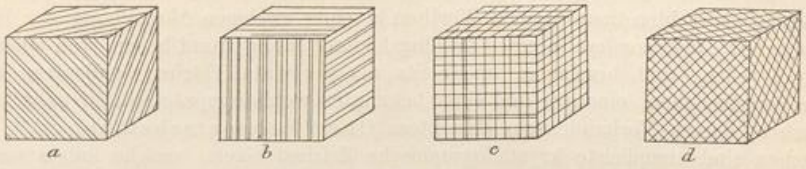


Fig. 283.

der tetraëdrischen, *b* der pentagondodekaëdrischen Hemiëdrie angehören. Streifung auf einem holoëdrischen Würfel würde wie *c* oder *d* verlaufen.

Scheinbar gekrümmte Flächen entstehen theils durch die soeben erwähnte oscillatorische Combination (Turmalin, Beryll), oder dadurch, dass zahlreiche sehr schmale Flächen eine Zone bilden, welche so den Eindruck einer continuirlichen cylindrischen Krümmung hervorruft (Vesuvian, Beryll), theils durch eigenthümliche Aggregation vieler sehr kleiner Individuen (Subindividuen), deren Flächen ungefähr so wie die Mauersteine eines Gewölbes, in nicht völlig paralleler (hypoparalleler) Stellung unter sehr stumpfen Winkeln zusammenstossen (Desmin, Prehnit, Strahlerz). Eine wirkliche Krümmung der Flächen dürfte dagegen z. B. an den sattelförmig gebogenen Rhomboëdern des Braunspaths und Eisenspaths, an den linsenförmigen Krystallen des Gypses, an Formen des Diamants (an welchem indess die Oktaëderflächen stets eben sind) und Antimonits vorkommen. Zu den ganz regellosen Krümmungen der Oberfläche gehören diejenigen, welche gerade so erscheinen, als ob der Krystall in Folge einer beginnenden Schmelzung halb zerflossen, oder auch an allen Kanten und Ecken abgerundet worden wäre (Bleiglanz, Augit von Arendal, Apatit im körnigen Kalk).

Endlich kommen auch noch andere, gleichfalls regellose, durch ganz unbestimmte Vertiefungen und Erhöhungen verursachte Unebenheiten der Krystallflächen vor. Eine fast allgemein gültige und für die Orientirung der Combinationen sehr wichtige Regel ist es übrigens, dass alle Flächen einer und derselben Form oder Partialform auch eine und dieselbe Beschaffenheit der Oberfläche besitzen, und sich überhaupt als völlig gleichwerthig erweisen.

Anm. Vgl. über diese Erscheinungen und ihre letzten Ursachen *Sadebeck* in seiner Angewandten Krystallographie (*Rose-Sadebeck*'s Elem. d. Krystallogr. II. 194). Von ihm werden jene kleinen Krystallindividuen, welche sich auf einer grösseren Krystallfläche in paralleler Stellung aber nicht immer übereinstimmend verjüngter Gestaltung bald mehr, bald weniger emporheben, Subindividuen genannt. Gröber werdende Ausbildung dieser Art geleitet zu dem Begriff des Krystallstocks (§ 51).

Bisweilen sind die feineren und gröberen Unebenheiten der Oberfläche nicht ursprünglich bei der Bildung derselben, sondern erst nachträglich entstanden, indem die ebenen Krystallflächen dem Angriff natürlich wirkender Corrosions- und Lösungsmittel unterlagen. Entstehen dabei eingesenkte Vertiefungen (zu vergleichen den künstlichen Aetzfiguren, s. § 92), so sind dieselben innerlich bisweilen krystallographisch regelmässig gestaltet; haben sie irreguläre Form, so heisst die Oberfläche zerfressen.

Die häufig vorkommende Erscheinung des Gebrochenseins der Flächen in mehre äusserst schwach gegen einander geneigte Felder hat *Scacchi* als Polyëdrie

bezeichnet; dieser Name war nicht glücklich gewählt, denn Polyëdrie, d. h. Umgrenzung von vielen ebenen Flächen, ist eine Eigenschaft aller Krystalle, welche gerade deshalb allgemein als Polyëder definirt werden. *Websky* will nur dann, wenn die Abweichungen der Neigungsverhältnisse gewisser Flächen von den mit ihnen in Verbindung gebrachten theoretischen Werthen in einer analogen Abweichung der inneren Structur, insbesondere in einer Zwillingsbildung ihren Grund haben, von einer Polyëdrie reden, und bezeichnet anderseits als vicinale Flächen denjenigen Complex von verschiedenen, einander und einer bekannten wohlausgeprägten sehr nahe liegenden Flächen, dessen Vorhandensein eine blose Oberflächenerscheinung ist[1]). Diesen Flächen sind complicirte krystallographische Zeichen eigen, welche indess nur wenig von einfachen Zeichen abweichen. Die Triakisoktaëder mO sind vicinal dem Oktaëder, wenn die Coëfficienten m der Einheit sehr nahe stehen, z. B. $\frac{4}{4}\frac{2}{1}$, $\frac{1}{1}\frac{8}{7}$, $\frac{1}{1}\frac{2}{1}$; vicinal dem Rhombendodekaëder, wenn m einen sehr hohen Werth hat; das Skalenoëder $\frac{1}{2}\frac{9}{1}R\frac{2}{1}\frac{1}{9}$ ist z. B. dem Rhomboëder R, das Makrodoma $\frac{1}{6}\frac{1}{0}\breve{P}\infty$ der Basis 0P, das Brachyprisma $\infty\breve{P}\frac{4}{4}\frac{3}{2}$ dem Grundprisma ∞P vicinal. Solche vicinale Flächen bieten z. B. der Diamant, Granat, Adular, Aragonit u. viele a. Mineralien dar. *Websky* hat am Adular, *v. Zepharovich* am Aragonit, *Grünhut* am Topas beobachtet, dass die Symbole vicinaler Flächen häufig gleiche Factoren aufzuweisen haben; bei letzterem findet sich z. B. in der Prismenzone die Reihe $\infty\breve{P}\frac{2}{2}\frac{8}{5}$, $\infty\breve{P}\frac{3}{2}\frac{6}{5}$, $\infty\breve{P}\frac{4}{2}\frac{4}{5}$, $\infty\breve{P}\frac{4}{2}\frac{2}{5}$, in welchen den die Axenschnitte ausdrückenden Verhältnisszahlen sämmtlich der Nenner 25 gemeinsam ist. Eine andere Prismenreihe, deren Verhältnisszahlen sämmtlich auf das allgemeine Zeichen $\frac{n}{n-1}$ führen, ist beim Topas: $\infty\breve{P}\frac{6}{5}$, $\infty\breve{P}\frac{5}{4}$, $\infty\breve{P}\frac{4}{3}$, $\infty\breve{P}\frac{3}{2}$. Die Brachydomen des Topases $\frac{2}{9}\breve{P}\infty$, $\frac{1}{3}\breve{P}\infty$, $\frac{4}{9}\breve{P}\infty$, $\frac{5}{9}\breve{P}\infty$, $\frac{2}{3}\breve{P}\infty$ stehen in dem Verhältniss, dass die Zähler der hier auftretenden Brüche, sofern man sie auf gleichen Nenner 9 bringt, eine arithmetische Reihe bilden. — *Hintze* gibt der Ansicht Raum, dass die Vicinalflächen nicht sowohl von irgend einer Rationalität abhängig sind, dass ihre Gesetzmässigkeiten sich nicht in den Parametern abspiegeln, sondern eher in den Neigungen selbst, also direct in den Winkeldifferenzen liegen.

Unechte Flächen, welche bisweilen wegen ihrer Glätte oder Streifung u. s. w. den wirklichen zum Verwechseln ähnlich sind, entstehen, wenn ein wachsender Krystall einen anderen bereits vorhandenen als Hinderniss antrifft und an diesem eine ganz zufällig verlaufende Contactebene abformt, welche dann noch desto mehr wie eine eigenthümliche Krystallfläche aussehen kann, wenn vielleicht der vorhanden gewesene Krystall später weggeführt worden ist. An Quarz-Individuen finden sich so vielfach die Flächen benachbarter Kalkspathkrystalle mit grosser Vollkommenheit ausgeprägt.

§ 65. **Unregelmässigkeiten der Krystallformen.** Es kann die Streifung und es muss die Krümmung der Krystallflächen schon eine mehr oder weniger auffallende Verunstaltung der ganzen Form bedingen; allein die meisten Unregelmässigkeiten der Formen können bei völlig ebener und stetiger Ausdehnung der Flächen vorkommen. Es gehören dahin besonders folgende Erscheinungen:

1) Ungleiche Centraldistanz gleichwerthiger Flächen. Die Flächen einer und derselben Form oder Partialform können nur dann die für sie geforderte Gleichheit und Aehnlichkeit der Figur besitzen, wenn sie in gleichen Abständen vom Mittelpunkt des Krystalls ausgebildet sind; anderenfalls werden sie nicht nur

1) Auch *Tschermak* will den Ausdruck Polyëdrie auf die betreffende Erscheinung bei den verzwillingten mimetischen Krystallen (vgl. § 61) beschränken, bei welchen sie dadurch zu Stande kommt, dass die einzelnen Felder oft verschiedenen Individuen angehören, welche nahezu in derselben Fläche endigen. Alsdann verhalte sich die Polyëdrie zu dem Auftreten der Vicinalflächen, wie die Zwillingsstreifung zur Combinationsstreifung (Lehrb. d. Miner. 1894. 105).

von ungleicher Grösse, sondern auch mit ganz anderer Figur erscheinen, als sie ihnen eigentlich zukommt, wodurch dann auch die Totalform des Krystalls mehr oder weniger entstellt werden muss. Da nun die Ungleichheit der Centraldistanz

Fig. 284.

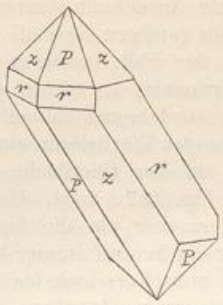


Fig. 285.

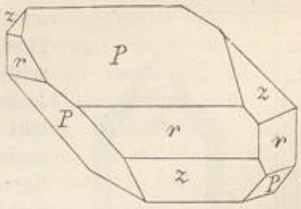


Fig. 286.

in Folge einer nicht allseitig gleichmässig erfolgten Lösungszufuhr eine ganz gewöhnliche Erscheinung ist, so begegnet man auch sehr häufig den so bedingten Abweichungen von der Regelmässigkeit der Ausbildung. Dadurch wird jedoch die, auch in ihrer physikalischen Beschaffenheit sich offenbarende völlige Gleichwerthigkeit aller Flächen einer und derselben Form nicht aufgehoben.

Man muss sich also eine jede Krystallfläche als parallel mit sich selbst beweglich vorstellen. Gewöhnlich erscheinen die dadurch erzeugten Unregelmässigkeiten als einseitige Verlängerungen oder Verkürzungen der Formen nach einer der Axen, nach einer Kante, oder nach irgend einer anderen krystallographisch bestimmten Linie, wodurch in manchen Krystallsystemen und namentlich im regulären System so auffallende Verzerrungen entstehen können, dass es nicht selten grosser Aufmerksamkeit bedarf, um den wahren Charakter des Systems zu erkennen. Ein Würfel, durch irreguläres Wachsthum nach einer Hauptaxe verlängert, sieht aus wie ein tetragonales Prisma mit 0P; nach einer Axe verkürzt, wie die tetragonale Comb. von ∞P und stark entwickeltem 0P; nach allen 3 Axen ungleich ausgedehnt, wie die Comb. der 3 rhombischen Pinakoide (Bleiglanz). Ein Oktaëder, abgeplattet nach einem Paar paralleler Flächen (d. h. in der Richtung einer trigonalen Zwischenaxe) gleicht einem Rhomboëder mit der Basis; stark ausgedehnt nach einer rhombischen Zwischenaxe kann es wie die Comb. eines rhombischen Makro- und Brachydomas aussehen (Spinell, Magnetit, Fluorit). Das Rhombendodekaëder, in der Direction einer Hauptaxe verlängert, liefert scheinbar die tetragonale Comb. ∞P.P∞; nach solcher Richtung verkürzt, die tetragonale Comb. P∞.∞P (Granat, Sodalith); nach einer trigonalen Zwischenaxe ausgedehnt, die rhomboëdrische Comb. ∞P2.R. Auch die übrigen regulären Formen gewinnen durch Ausdehnung nach einer trigonalen Zwischenaxe die Symmetrie der rhomboëdrischen Abtheilung, z. B. das Ikositetraëder. Das letztere, nach einer Hauptaxe verlängert, erscheint wie eine ditetragonale Pyramide, die oben und unten mit einer Protopyramide combinirt ist. — Fig. 285 und 286 stellen derartige Verzerrungen der in Fig. 284 abgebildeten normalen Krystallform des Quarzes dar. Zu den auffallendsten Beispielen gehören wohl die Salmiakkrystalle, welche von *Marx* und von *Naumann*, sowie die Kochsalzkrystalle, welche von *v. Kobell* beschrieben wurden.

Für die Gewinnung der äusseren Gestalt gilt im Allgemeinen der Satz, dass der Krystall sich mit denjenigen Flächen umgibt, welchen das langsamste Wachsthum zukommt (*Becke*).

Dies erläutert sich aus folgender Erwägung: Soll ein würfelförmiger Krystall beim Wachsthum seine Form behalten, so müssen die gleichzeitig auf allen

Würfelflächen abgelagerten Schichten gleich dick, die Wachsthumsgeschwindigkeit muss auf allen Flächen gleich sein. Setzt sich aber auf den oberen und unteren Flächen, indem diese langsamer wachsen, verhältnissmässig weniger Substanz ab, als auf den rascher wachsenden seitlichen, so müssen gerade die ersteren die grösste Ausdehnung erlangen und es entsteht ein nach ihnen tafeliger Krystall (Fig. 287a). Ist das Umgekehrte der Fall, wachsen die oberen und unteren Flächen rascher, so würde die Gestalt auf Kosten der seitlichen Ausdehnung säulenförmig werden (Fig. 287b). Je rascher das Wachsthum einer Fläche ist, desto mehr tritt sie auf der Oberfläche des wachsenden Krystalls zurück. Fig. 287c zeigt, dass die am oberen Ende des Krystalls rascher als die übrigen wachsende Fläche *a* nicht nur im Verlauf immer kleiner wird, sondern endlich ganz zum Verschwinden kommt.

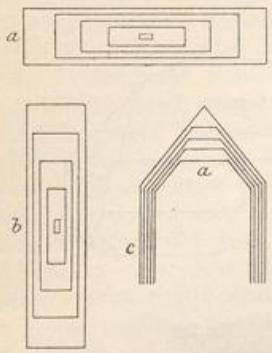


Fig. 287.

Wird ein verletzter, z. B. am einen Ende abgebrochener Krystall in eine Lösung gebracht, in welcher er weiterwachsen kann, so vergrössert er sich durch Substanzansatz an der verletzten Bruchfläche viel rascher als an den unversehrt gebliebenen Stellen, so dass die ursprüngliche Form des Krystalls durch Ausheilung wieder hergestellt wird. Auch im Mineralreich wird dieser Vorgang bisweilen beobachtet. Eine aus einem Krystall geschliffene Kugel umgibt sich in ihrer Lösung alsbald mit ebenen Flächen und wird, wie auch jedes unregelmässig begrenzte Körnchen oder Splitterchen allmählich durch Auswachsung zu einem regelmässigen Krystall.

2) Unvollzähligkeit der Flächen. An die aus der ungleichen Centraldistanz entstehenden Unvollkommenheiten der Ausbildung schliessen sich unmittelbar diejenigen an, welche darin begründet sind, dass die Zahl der zu einer und derselben Form gehörigen Flächen gar nicht vollständig vorhanden ist; eine Erscheinung, welche sowohl an einfachen Formen, als auch (und noch häufiger) an Combinationen vorkommt, und, bei ihrer völligen Regellosigkeit, weder mit der Hemiëdrie, noch mit der Hemimorphie verwechselt werden darf.

Das Oktaëder kann durch Ausfallen zweier gegenüberliegender Flächen wie ein Rhomboëder erscheinen. Grüne Flussspathkrystalle von der Form $\infty O3$ sind nach einer trigonalen Zwischenaxe ausgedehnt und haben nur die Hälfte ihrer Flächen entwickelt auf Kosten der anderen, so dass sie wie ein hexagonales Skalenoëder aussehen. Pentagondodekaëder von Eisenkies nehmen durch denselben Vorgang die anscheinende Gestalt eines spitzen Rhomboëders an.

3) Unvollständige äussere Raumerfüllung. Man sieht nicht selten Krystalle, deren Substanz den, durch die Umrisse des Kantennetzes vorgeschriebenen Raum nicht vollständig erfüllt, indem nur die unmittelbar an den Kanten und von diesen aus nach dem Mittelpunkt zu liegenden Theile ausgebildet sind. Die Flächen erscheinen dabei zurückgeblieben, trichterförmig vertieft oder ausgehöhlt, mit treppenartigen Absätzen (Fig. 288), und dies findet bisweilen in dem Grade statt, dass nur noch gleichsam Skelette von Krystallen übrig bleiben. Anderseits beobachtet man auch die Erscheinung, dass die Kanten wie eingekerbt oder eingeschnitten aussehen,

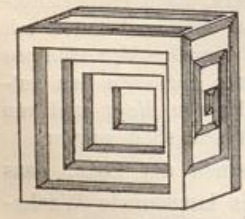


Fig. 288.

was auf denjenigen gestörten Bildungsact zurückzuführen ist, bei welchem die Flächen fortwachsen und die Kanten im Wachsthum zurückbleiben.

Die erstere lückenhafte Ausbildungsweise ist zumal an gewissen künstlichen, aus dem aufgelösten und geschmolzenen Zustande, oder auch durch Sublimation dargestellten Krystallen zu beobachten; z. B. an Kochsalz, Alaun, Wismut, Silber, arseniger Säure, Bleiglanz; sie tritt insbesondere da auf, wo eine rasche Krystallisation stattfindet. Quarze mit rippenartig vorstehenden Kanten zwischen den Rhomboëderflächen beschrieb *Laspeyres* vom Süderholz bei Siptenfelde im Harz; bei allen diesen Erscheinungen handelt es sich um das regelmässige Zurückbleiben von Flächen beim lagenweisen Weiteraufbau von Krystallen. (Aehnliche Einsenkungen kommen auch bei den nicht hierher gehörigen Pseudomorphosen vor, wo sie aber, wie bei den in Malachit umgewandelten Oktaëdern von Rothkupfer, dadurch hervorgebracht wurden, dass die neu entstandene Verbindung weniger Raum beanspruchte, als die ursprüngliche, und nicht hinreichte, den Umriss derselben ganz auszufüllen.) — Die sog. Krystallgerippe (oder Gitterkrystalle) bestehen aus Reihen von linear aneinander gefügten kleineren, insgesammt parallel und im Sinne eines Individuums orientirten Kryställchen (Subindividuen), wobei diese Reihen von einem Centrum aus in der Richtung gewisser Axen geradlinig auslaufen. Diese so in die Erscheinung tretenden Wachsthumsrichtungen nennt *Hirschwald* genetische Axen, *Sadebeck* tektonische Axen. In dem regulären System, in welchem Krystallgerippe oder discontinuirliche Wachsthumsformen sehr häufig sind, erfolgt die Aneinanderreihung sowohl, wie Fig. 289 zeigt, in der Richtung der drei Hauptaxen (z. B. Salmiak, Rothkupfererz, Bleiglanz, Magnetit, auch beim Gusseisen), als auch in der Richtung der trigonalen Zwischenaxen, welche das Centrum des Würfels mit dessen Ecken verbinden (z. B. Chlorkalium, Speiskobalt, ged. Silber), als auch selten in der Richtung der rhombischen Zwischenaxen, welche vom Centrum des Krystalls gegen die Mittelpunkte der Rhombendodekaëderflächen verlaufen. Dasselbe Mineral kann übrigens je nach den Bedingungen, unter welchen es krystallisirt, bald in der einen, bald in der anderen Axenrichtung wachsen. Wachsen die Krystallgerippe weiter, so können sie sich endlich zu einem einheitlichen Individuum schliessen. Vgl. *Knop*, Molecularconstitution u. Wachsthum d. Krystalle. Leipzig 1867; *Hirschwald*, N. Jahrb. f. Min. 1870. 183; *Lehmann*, Z. f. Kryst. I. 1877. 458. — Hierher gehört auch ein Theil der sog. gegitterten, gestrickten, netzartigen Formen, Individuen, bei denen das Voraneilen des Wachsthums an den Ecken und Kanten stern-, strauch-, netzähnliche Gestalten erzeugt, die aus Aestchen, Stäbchen, Blättchen zusammengesetzt sind. Vgl. auch die mikrokrystallinischen Aggregationsformen.

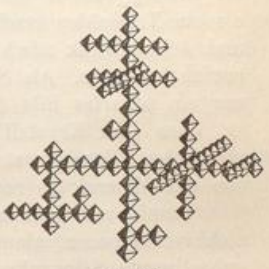


Fig. 289.

Wenn zufolge *Lehmann* das wachsende Krystallindividuum sich dadurch vergrössert, dass dasselbe aus der zunächst umgebenden, etwas übersättigten Lösung Stoff entnimmt, und wenn dadurch um dasselbe ein Hof verdünnter Lösung entsteht, diese Verdünnung aber durch Diffusionsströmung wieder ausgeglichen wird, so sind bei raschem Stoffansatz aus stark übersättigter Lösung die Ecken und Kanten des wachsenden Krystalls gewissermassen im Vortheil gegenüber den Flächen, weil sie ein viel ausgedehnteres Feld der in diesem Falle starken Diffusionsströmung beherrschen, als es einem gleich grossen ebenen Flächenstück möglich ist. Während auf letzterem sich nur eine dünne plane Anwachsschicht bildet, lagert sich auf den geknickten Stellen der Ecken und Kanten gleichzeitig ein dickerer Ansatz ab, welcher von Krystallflächen begrenzt ist, und nun mit seinen eigenen Ecken und Kanten Veranlassung zur Wiederholung des Vorgangs bietet. So entstehen die skelettartigen, gestrickten, gegitterten Formen, deren Auftreten auch durch die Zähigkeit der Lösung begünstigt wird. — Erfolgt das Wachsthum ganz allmählich aus wenig übersättigter Lösung, so ist der

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Hof verdünnterer Lösung schmal, die Diffusionsströmung schwach; ein Voraneilen der Kanten und Ecken kommt alsdann nicht zur Geltung und es bildet sich ein gleichmässiger Absatz über die ganze Krystalloberfläche hin aus.

Die schalenförmige Auflagerung, oder eine Parallelaggregation mit treppenartiger Ausbildung, wodurch eine Einkerbung der Kanten entsteht, ist sehr ausgezeichnet an Oktaëdern des gediegenen Silbers von Kongsberg, am Rothkupfererz, am ged. Gold von Sysertsk im Ural zu gewahren, auch an künstlichen Alaunkrystallen.

4) Anomalieen der Kantenwinkel. Die Unregelmässigkeiten der Krystallflächen scheinen sich bisweilen sogar bis auf die Lage derselben zu erstrecken, indem solche kleinen Schwankungen unterworfen sein kann, so dass die gleichwerthigen Kanten einer und derselben Krystallform die für sie geforderte absolute Gleichheit des Winkelmaasses nicht in allen Fällen erkennen lassen.

Breithaupt hat wohl zuerst auf diese Anomalieen aufmerksam gemacht, indem er z. B. fand, dass die Grundformen mehrer tetragonal und hexagonal krystallisirter Mineralien keineswegs die vorausgesetzte Gleichheit ihrer Polkanten besitzen, und dass selbst bei manchen regulären Formen ähnliche Ungleichheiten vorkommen. Doch hat sich anderseits die Thatsächlichkeit solcher Abweichungen vielfach nicht bestätigt. Dass z. B. die an den beiden Rhomboëdern der Quarzpyramide angeblich vorhandenen Winkeldifferenzen nicht existiren, davon haben sich *Kupffer*, *G. Rose*, *Naumann* und *Dauber* durch sehr genaue Messungen überzeugt, und dass ferner z. B. die für die Grundpyramide des Vesuvians behaupteten Monstrositäten, welche diese Pyramide als ein Triploëder erscheinen liessen, an den Varietäten aus Piemont, von Poljakowsk und Achmatowsk nicht vorhanden sind, wurde durch *v. Kokscharow* und *v. Zepharovich* bewiesen. Als *Strüver* u. a. die Winkel eines Spinell-Oktaëders, dessen Flächen nur ein scharfes Bild des Fadenkreuzes reflectirten, möglichst sorgfältig maass, fand er, dass »der Krystall allen billigen Anforderungen entspreche, welche man an ein physisches Oktaëder stellen kann«, sowie »dass man vom geometrischen Standpunkt aus das Mineral als regulär zu betrachten hat«.

Damit soll jedoch keineswegs behauptet werden, dass solche Anomalieen gar nicht vorkommen; sie mögen sich recht häufig finden, aber wohl nur auf kleine und unbestimmte Schwankungen beschränken, welche jeder Gesetzmässigkeit ermangeln. So berichtet *Pfaff*, dass er bei genauen, in dieser Richtung angestellten Messungen die Würfelflächen eines Flussspaths im Mittel $9\frac{1}{2}'$ von 90°, die Dodekaëderflächen eines Granats im Mittel $13\frac{5}{3}'$ von 60°, die Prismenflächen eines Berylls 6′ von 120° abweichend befunden habe, was darauf hindeute, dass da, wo für eine Form ein sehr unwahrscheinliches complicirtes Flächensymbol gefunden wurde, eine Winkelcorrection um mehre Minuten zur Herbeiführung eines annehmbaren in manchen Fällen wohl gestattet sei. *Dauber* hat mehrfach auf die physischen Einwirkungen aufmerksam gemacht, welche eine Störung in der Lage der Flächen verursachen können, ohne doch immer die Glätte und Ebenheit derselben zu alteriren. Wenn man bedenkt, wie manchen solchen störenden Einflüssen die Krystallbildung unterworfen gewesen sein mag, so wird man es ganz begreiflich finden, dass nur wenige Krystalle jener idealen Regelmässigkeit in der Ausdehnung und Beschaffenheit ihrer Flächen nahe kommen, welche in der reinen Krystallographie vorausgesetzt wird. Dergleichen Anomalieen können aber die Gesetze der Krystallsysteme nimmermehr erschüttern. — Die von den mimetischen Bildungen (§ 61) dargebotenen Winkelunterschiede gehören selbstverständlich nicht hierher, da es sich bei ihnen nur um scheinbar einfache Formen, thatsächlich um Zwillingsbildungen höheren Grades handelt. Ferner ist einleuchtend, dass bei der Entstehung der Umwandlungs-Pseudomorphosen (§ 83) Verschiebungen der für die ursprüngliche Substanz gültigen Winkelwerthe leicht eintreten können.

§ 66. **Unvollständige Ausbildung und andere abnorme Gestaltung der Krystalle.** Freier Raum nach allen Seiten, oder räumliche Isolirung, verbunden

mit einer allseitig gleichmässigen Zufuhr von Nahrung ist die erste Bedingung zu einer vollständigen Ausbildung der Krystalle. Die meisten ganz vollständigen Krystalle haben sich ursprünglich innerhalb einer sie umgebenden Masse als einzeln eingewachsene, gewissermassen schwebende Krystalle gebildet, und erscheinen als lose Krystalle, wenn sie durch die Zerstörung und Fortschaffung ihrer Matrix, oder auch durch absichtlichen Eingriff des Menschen frei gemacht worden sind. Solche eingewachsene und lose Krystalle stellen das Individuum des Mineralreichs in seiner völligen Isolirung, und wenn sie ausserdem regelmässig und scharf ausgebildet sind, in seiner vollkommensten Verwirklichung dar. Viele eingewachsene Krystalle sind jedoch während ihrer schwebenden Bildung durch die sie umgebende Mineralmasse in ihrer Entwickelung gehemmt worden oder haben nicht von allen Seiten her gleiche Substanzzufuhr erhalten, ermangeln daher einer scharfen Ausprägung ihrer Form und gehen endlich durch verschiedene Abstufungen in ganz regellos gestaltete Individuen über (Granat, Pyroxen, Spargelstein).

Die nächst vollkommene Form der Ausbildung gewähren die einzeln aufgewachsenen oder sitzenden Krystalle, welche sich auf der Oberfläche einer (gleichartigen oder fremdartigen) starren Masse gebildet haben und in einen Hohlraum hineinragen. Solche Krystalle werden freilich nur eine theilweise Formausbildung besitzen, weil sie in ihrem Fundament ein Hinderniss ihres freien Wachsthums finden mussten. Gewöhnlich zeigen sie nicht viel mehr, als die eine (obere) Hälfte ihrer Form; doch können sie bei günstiger Lage noch eine ziemlich vollständige Entwickelung, ja bisweilen, wenn sie nur von einem einzelnen Stützpunkt aus gewachsen sind, eine fast völlige Integrität der Form erreichen.

Der erwähnte Gegensatz der eingewachsenen schwebend und der aufgewachsenen sitzend gebildeten Krystalle ist für manche Mineralien charakteristisch; so finden sich z. B. unter den üblichen Verhältnissen die Leucite, Diamanten, Boracite nur in ersterer, die Zeolithe, Axinite nur in letzterer Form; die meisten Mineralien können allerdings in beiderlei Weise auftreten.

Wenn aber, wie dies nach § 3 meist der Fall, keine Isolirung, sondern eine Gruppirung oder Aggregation der Individuen stattfindet, so wird auch, im eingewachsenen wie im aufgewachsenen Zustande, eine unvollständige Bildung eintreten müssen, weil sich die neben und über einander gewachsenen Individuen gegenseitig nach verschiedenen Richtungen beschränken. Gewöhnlich ragen dann nur die zuletzt gebildeten Krystalle mit ihren freien Enden hervor.

Der Mineralog befindet sich daher öfters in derselben Lage, wie der Archäolog, welchem die Aufgabe vorliegt, aus einzelnen Gliedern, aus dem verstümmelten Torso einer Statue die ganze Form herauszufinden, und solche, wenigstens in seiner Vorstellung, zu reproduciren.

Während die vorstehend erwähnten Gestaltungen als ursprünglich so gebildete Wachsthumsformen gelten müssen, kommen bei manchen Mineralien, namentlich den als Gemengtheile in Felsarten eingewachsenen, gar nicht selten Zerbrechungen, und damit verbundene Verschiebungen ihrer Theile gegen einander vor, wobei dann die Fragmente durch dazwischen getretene Mineralmasse wieder verkittet erscheinen (Feldspathe in Graniten, Quarze in Porphyren, Granaten, Berylle, Turmaline in krystallinischen Schiefern). Diese Störungen in dem Regelmaass der formellen Ausbildung sind ohne Zweifel durch eine spätere mechanische Einwirkung auf bereits fest gewordene und fertige Individuen veranlasst worden; einestheils müssen sie in

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

den schon starr gewesenen Gesteinen mit dem Gebirgsdruck in Verbindung gebracht werden, anderentheils können in den aus dem Schmelzfluss sich verfestigenden Eruptivgesteinen die Bewegungen des noch plastischen Magmas mechanische Deformationen und Fracturen der bereits darin zu einer relativ frühen Auskrystallisation gelangten Individuen herbeiführen. Der in dem letzteren Falle um das schwebend aus ihm gebildete Individuum befindlich gewesene Schmelzfluss vermochte aber auch bisweilen durch chemische Corrosion die gewonnene Krystallform desselben zu verstümmeln oder abzurunden.

§ 67. Geringe Ausdehnung und mikroskopische Kleinheit der Krystalle.

Die absolute Grösse der Individuen eines und desselben Minerals ist nach § 3 sehr schwankend; sind ihr auch aufwärts gewisse Grenzen gesetzt, so kann die Dimension doch abwärts bis zu mikroskopischer Kleinheit herabsinken.

So gibt es z. B. vom Quarz, Gyps, Beryll fuss- bis ellenlange Krystalle, wogegen man noch niemals einen Boracitkrystall oder Diamantkrystall von solcher Grösse gesehen hat; wie denn überhaupt die regulären Krystalle, wegen ihrer gleichen Dimensionen, die absolute Grenze derselben weit eher erreichen, als die der übrigen Systeme.

Es ist daher begreiflich, dass bei sehr kleiner Ausdehnung der Individuen eine genaue Erkennung und Bestimmung ihrer Krystallform für das unbewaffnete Auge theils erschwert, theils auch ganz unmöglich gemacht werden muss. Dies gilt nicht nur für solche Krystalle, welche nach allen drei Dimensionen sehr geringe Ausdehnung besitzen, sondern auch für solche, bei denen dies nur nach einer oder zweien der Fall ist. Zeigt ein Krystall sehr geringe Ausdehnung nach einer Dimension, so hat er eine dünn-tafelartige oder lamellare, irgend einem Pinakoid entsprechende Form, und dann sind nicht selten die Randflächen der Tafel so klein und schmal, oder auch so unvollkommen gebildet, dass eine nähere Untersuchung der Form nicht einmal bis zur Bestimmung des Krystallsystems gelangen lässt. Sind zugleich auch die übrigen Dimensionen sehr klein, so erscheinen die Krystalle nur noch als dünne Blättchen und Schüppchen. Wenn ein Krystall nur nach einer Dimension bedeutende, nach den beiden anderen Dimensionen aber sehr geringe Ausdehnung besitzt, so hat er eine nadelförmige, oder haarförmige, meist durch die Flächen eines Prismas bestimmte Gestalt, und dann sind wiederum die Seitenflächen dieses Prismas oft so schmal, und die terminalen Flächen so klein, dass man gleichfalls auf eine nähere Bestimmung der Form verzichten muss. In vielen solchen Fällen lässt zwar die Anwendung einer Loupe oder eines Mikroskops zu einer allgemeinen Bestimmung der Form gelangen; doch ist eine ganz genaue Ermittelung derselben nicht leicht vorzunehmen.

Eine Anzahl von Mineralien gibt es übrigens, welche bis zur allergrössten Winzigkeit ihrer Individuen, deren eigenthümliche Formengestaltung mit fast modellgleicher Schärfe beizubehalten vermögen. Dazu gehören z. B. Leucit, Quarz, Augit, Magneteisen, Eisenglanz, Spinell, Apatit, Zirkon, die mitunter in den niedlichsten, um und um ausgebildeten Kryställchen von wenigen Tausendstel Millimeter Länge als Gemengtheile von Gesteinen auftreten.

Die in mikroskopischer Kleinheit ausgebildeten Mineral-Individuen, wie dieselben namentlich als Gemengtheile von Gesteinen oder als Einschlüsse in Mineralien sich finden, erscheinen, abgesehen von den eben erwähnten wohlgeformten Vorkommnissen, namentlich in der Gestalt von rundlichen Körnern, Lamellen oder langen nadelförmigen Säulchen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die mikroskopischen lamellaren Krystalltäfelchen zeigen mancherlei Deformitäten durch gestörte Ausbildung, indem ihre begrenzenden Ränder zum Theil oder sämmtlich nicht linear ausgezogen, sondern mit den verschiedensten Contouren ausgebuchtet, ausgezackt und ausgefranzt sind, oder indem diese Blättchen in einzelne isolirte und durch fremde Substanz getrennte Striemen auseinandergelöst erscheinen, welche gleichwohl in ihrer Vereinigung augenscheinlich zu einem Individuum zusammengehören. Im grösseren Maassstab kommt letzteres z. B. bei den wie zerschnitten aussehenden Titaneisenlamellen im Basalt vor.

Ausserordentlich beliebt ist für die mikroskopischen Individuen mehrer Mineralarten die Nadelform oder langgestreckte dünne Säulengestalt. *H. Vogelsang* hat für diese Gebilde, wie sie insbesondere als Gemengtheile von Felsarten auftreten, die sehr passende allgemeine Gruppenbezeichnung Mikrolith in Vorschlag gebracht (Philosophie der Geologie, 1867. 139). In vielen Fällen kann man mit grösster Sicherheit feststellen, welchem Mineral der Mikrolith angehört, und alsdann bedient man sich der genaueren Benennung Hornblende-, Feldspath-, Augit-, Apatit-, Sillimanit-, Rutil-Mikrolith u. s. w. Anderseits ist bei manchen nadelförmigen Gebilden dieser Art die Zurechnung zu einem makroskopisch bekannten Mineral nicht mit genügender Gewissheit möglich, sei es, weil dieselben zu arm an charakteristischen Eigenthümlichkeiten sind, sei es, weil sie vielleicht überhaupt nicht makroskopisch aufzutreten pflegen. Die

Fig. 290.

Mikrolithen (Fig. 290) sind gleichfalls allerhand Abweichungen in ihrer äusseren Gestaltung unterworfen: bald erscheinen diese Nadeln an einem oder an beiden Enden etwas keulenförmig verdickt, oder pfriemenförmig zugespitzt, oder gabelartig in zwei Zinken ausgezogen, oder fein eingesägt und gefranzt, auch wohl in der Mitte sanduhrähnlich eingeschnürt; bald sind sie schwächer oder stärker hakenähnlich gekrümmt oder gar geknickt, schleifenförmig verdreht oder pfropfenzieherartig geringelt; bald wird es durch die abwechselnde Verdickung und Verdünnung eines und desselben Mikroliths ersichtlich, dass er durch die Vereinigung mehrer linear aneinandergereihter rundlicher Körnchen entstanden ist. Doch sind solche Gestaltungen immerhin nur Ausnahmen gegenüber den regelmässig in der einfachen Nadelform gewachsenen Mikrolithen. Die regulären Mineralien besitzen wegen ihres isometrischen Aufbaues keinerlei Neigung zur mikrolithischen Ausbildungsweise, ebensowenig diejenigen, welche auch makroskopisch als Tafeln oder Lamellen aufzutreten vorziehen.

Anm. Anfertigung von Präparaten für die mikroskopische Untersuchung. Bei dieser Gelegenheit, wo zum ersten Mal von dem Verhalten der Mineralien unter dem Mikroskop die Rede ist, mag Einiges über die Art und Weise eingeschaltet werden, wie die für die mikroskopische Untersuchung im durchfallenden Licht vor allem dienlichen Objecte, die sog. Dünnschliffe hergestellt werden. Diese Untersuchung erstreckt sich nicht nur auf die Wahrnehmung und Erkennung von Mineralpartikeln, die wegen ihrer Kleinheit dem freien Auge unsichtbar sind, sondern sie hat den ferneren Zweck, das Detail der innerlichen Beschaffenheit auch grösserer Individuen zur Anschauung zu bringen (z. B. schichtenartigen Aufbau, das Dasein fremder fester, flüssiger oder gasförmiger Einschlüsse, Zwillingsbildung, Spaltbarkeit, Umwandlungserscheinungen u. s. w.), und in Verbindung mit optischen Methoden sowohl die physikalischen Eigenschaften (Lichtbrechung, Anzahl und Lage der optischen Axen, Lage und Werth der optischen Elasticitätsaxen, Pleochroismus u. s. w.) festzustellen als überhaupt die Diagnose zu vermitteln.

Durch Abschlagen mit einem Hammer, durch Abspalten mit dem Meissel oder durch Abschneiden vermittels einer sog. Steinschneidemaschine verschafft man sich ein

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

möglichst dünnes, flaches, scherbenähnliches Stückchen des zu präparirenden Minerals (oder Gesteins). Letztere Maschine, bei welcher das Schneiden durch eine rotirende, an der Peripherie mit Diamantstaub besetzte Weissblechscheibe erfolgt, ist namentlich dann von Nutzen, wenn Präparate in einer bestimmten krystallographisch orientirten Richtung gewonnen werden sollen, oder wenn es sich um nur sehr spärlich vorliegendes Material handelt. Dem von Sprüngen möglichst freien Scherbchen oder Plättchen wird nun durch einseitiges Anschleifen auf einer homogenen Unterlage, am besten auf einer Gusseisenplatte, die mit Wasser benetzt und mit gröberem oder feinerem Smirgel- oder Carborundpulver bestreut ist, eine ganz ebene Fläche verliehen, welche dann auf einer matten Glastafel mit äusserst feinem Smirgelschlamm geglättet und gewissermassen polirt wird. Darauf wird es mit dieser letzteren Oberfläche auf einem handlichen dickeren Glasplättchen vermittels festwerdenden Canadabalsams aufgekittet und es erfolgt nun das eigentliche Dünnschleifen, welches zuvörderst wieder in derselben Weise, wie das anfängliche Anschleifen vorgenommen wird, wobei das Gläschen als Handhabe dient. Hat das Plättchen allmählich eine solche Dünne erreicht, dass es durch diese gröbere und rauhere Operation leiden könnte, so geht man zu der matten Glastafel mit möglichst allerfeinstem Smirgelschlamm oder zu einem Wetzstein mit Terpentinöl über. Nach der gründlichen Reinigung von schmutzigem Balsam wird das hinlänglich dünn gewordene Präparat von der erwärmten Unterlage auf einen reinen Objectträger übertragen, hier in Canadabalsam eingebettet und mit einem Deckgläschen versehen. Die zu erzielende Dünne des Präparats hängt selbstredend vorzugsweise von dem Grade der Pellucidität des Objectes ab: durchsichtige, durchscheinende oder an den Kanten durchscheinende Substanzen brauchen nicht so dünn präparirt zu werden, wie solche, welche im gewöhnlichen Sprachgebrauch als impellucid gelten. Das fertige Präparat sollte, sofern es ausführbar ist, immer so fein sein, dass man, wenn es auf Druckschrift gelegt wird, letztere durch dasselbe hindurch lesen kann. Die durchschnittliche Dicke wohlgelungener Dünnschliffe beträgt 0,025 bis 0,05 mm. Dünne lichtdurchlässige Lamellen, die aus leicht nach einer Richtung spaltbaren Mineralien unschwer gewonnen werden, gelangen ohne weitere Präparation zur Einbettung. — Die unbedeckt gelassenen Dünnschliffe können auch zu chemischen Reactionen im kleinen Maassstab benutzt werden, deren Verlauf und Resultat dann mit dem Mikroskop verfolgt wird (§ 163). — Anderseits geben in gewissen Fällen zerkleinerte Mineralsubstanzen ebenfalls den Gegenstand mikroskopischer Untersuchung ab, wie sie theils durch directes Pulvern, theils nach einer mechanischen oder chemischen Separation gemengter Pulvermassen als isolirte Portionen erhalten werden. Solche Pulver werden, um die innere Structur ihrer Partikelchen besser hervortreten zu lassen, gleichfalls in Canadabalsam eingebettet und mit einem Deckgläschen versehen; will man die äussere Begrenzung der Körnchen scharf erblicken, so untersucht man sie in einer Flüssigkeit, deren Brechungsquotient mehr von dem des Pulvers abweicht, als es bei dem Canadabalsam ($n = 1{,}549$) der Fall ist, z. B. in Wasser. — Bei Mineralsubstanzen, welche, wie die meisten Erze, selbst bei grösster Verdünnung nicht lichtdurchlässig werden, kann nur die angeschliffene Oberfläche im auffallenden Lichte untersucht werden. Ueber Specielles vgl. *F. Zirkel*, Lehrb. der Petrographie. 2. Aufl. I. 1893. 20 ff.

b) Innere Beschaffenheit der Krystalle.

Nicht nur mit Bezug auf das Regelmaass der äusseren Umrisse sondern auch betreffs der inneren Continuität und Homogenität der Substanz bieten die Individuen des Mineralreichs ausserordentlich viele Abweichungen von der normalen oder idealen Ausbildungsweise dar, welche es verlangt, dass jeder Theil des Krystalls dieselbe chemische und physikalische Natur besitzt, wie ein benachbarter. Hierher gehören vor allem die meisten Erscheinungen der Umrindung und des Schalenbaues, sowie das Dasein von fremden Einschlüssen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

§ 68. **Umrindung und Schalenbau.** Die Umrindungen bestehen in dem parallelen Umschlossensein eines innerlichen Kerns von einer Hülle oder mehren derselben, wie sich dies an den durchbrochenen oder durchschnittenen Krystallen zeigt. Solche zonar gebaute Krystalle sind also durch fortwährende Umlagerung, welche aber mit gewissen Unterbrechungen erfolgte, zu ihrer jetzigen Grösse gewachsen, jede schalenartige Umhüllung entspricht einer Bildungsperiode, die Grenze zwischen zweien derselben bezeichnet die Intermittenz des Wachsthumsactes. Diese Umrindungen geben sich theils schon dem freien Auge kund, theils sind sie in solcher Zartheit ausgebildet, dass sie nur bei stärkerer Vergrösserung unter dem Mikroskop an den Mineraldurchschnitten erkannt werden. Bei ihnen handelt es sich um verschiedene, insbesondere um folgende drei Fälle:

1) Kern und Schalen sind krystallographisch und chemisch identisch; alsdann wird der Gegensatz zwischen den einzelnen, gleich beschaffenen und auch gleich gefärbten Umhüllungen vielfach nur dadurch ersichtlich gemacht, dass Partikel fremder Substanz, welche während des successiven Wachsthums die jedesmalige Oberfläche bestäubten, auf der Grenze zwischen jenen abgelagert erscheinen. Hin und wieder wechseln trübere und klarere Schalen mit einander ab oder es wird ihr Dasein dadurch dargethan, dass innerhalb gewisser derselben fremde färbende Mineralpartikel eingeschlossen liegen; z. B. Schwerspathkrystalle, zusammengesetzt aus wasserklaren und rothen, durch eingelagerte Realgartheilchen so gefärbten Zonen. — Grosse Individuen von Quarz (Kappenquarz), von Wolframit zeigen solche Zusammensetzung aus Schalen, welche gewöhnlich mehr oder weniger fest mit einander verwachsen, mitunter aber so locker verbunden sind, dass man sie ohne weiteres abheben kann. Bisweilen erfolgt der Schalenaufbau nicht gemäss der ganzen Krystallgestalt, sondern blos nach einer einzigen Fläche, wie beim Diallag, Bronzit.

2) Kern und die einzelnen Schalen sind krystallographisch isomorph (gleichgestaltet), aber chemisch mehr oder weniger verschieden, oder wenigstens nicht identisch, deshalb auch, wo gefärbte Mineralien vorliegen, durch das wechselnde Eintreten von Bestandtheilen etwas abweichend und manchmal in häufiger Wiederholung abwechselnd gefärbt. Diese Erscheinung verweist offenbar auf successive Veränderung in der Beschaffenheit derjenigen Substanzen, aus welchen der wachsende Krystall sich ausschied; bei den Gemengtheilen der Eruptivgesteine ist dieser zonare Aufbau die Folge der zeitlich verschiedenen chemischen Zusammensetzung des Magmas. Während die einzelnen Anwachsschichten meist untereinander und mit den äusseren Contouren des Krystalls parallel verlaufen, zeigt sich bisweilen auch ein anders begrenzter Kern, dessen Kanten und Ecken, bei der fortschreitenden Vergrösserung, den krystallographischen Gesetzen entsprechend, durch Flächen ersetzt wurden und umgekehrt.

Grosse Individuen des Vesuvians oder Granats sind so aus vielen Schalen von verschiedenem Braun, grosse Epidote aus solchen von abweichend grünen Tönen zusammengesetzt, beim Turmalin umschliessen z. B. braune Schalen einen inneren blauen Kern; beim Flussspath finden sich honiggelbe Würfel mit weissen trüben Kernen, weingelbe Würfel mit violetten, farblose Würfel mit blauen Kernen; bräunliche oder gelbliche Kalkspathe tragen wasserklare Hülle. — Würfelige Flussspathkrystalle besitzen einen oktaëdrisch gestalteten Kern, oder sind weiss mit violblauen Ecken. Krystalle

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

von Kalkspath, äusserlich die Form des Grundrhomboëders R aufweisend, lassen einen dunkeln Kernkrystall von der Form — 2R durchscheinen. Krystallographische Abweichungen zwischen Kern und Hülle zeigen auch viele Barytkrystalle.

Die schalige Zusammensetzung offenbart sich bei vielen Krystallen erst mit Hülfe des Mikroskops durch die Untersuchung der von ihnen angefertigten Dünnschliffe, erscheint alsdann aber auch im allergrössten Detail; die einzelnen Schichten geben sich in solchen Durchschnitten als rahmenähnliche, ineinander geschachtelte Streifen oder Zonen zu erkennen, deren gegenseitige Abgrenzung theils durch verschiedenen Farbenton der aufeinander folgenden, theils durch zwischengestreute oder eingestreute fremde Körperchen oder durch Wechsel der Pellucidität, auch wohl durch abweichendes optisches Verhalten, z. B. durch Gegensätze in der Auslöschungsschiefe, in den Brechungsquotienten, in den optischen Axenwinkeln besonders deutlich wird. Augite, Hornblenden, Feldspathe, Granaten, Leucite, namentlich solche, welche als Gemengtheile der Felsarten auftreten, weisen diese Erscheinung ungemein schön auf. Derart fein fallen manchmal die einzelnen zusammensetzenden Lagen aus, dass sie nur wenige Tausendstel Mm. in der Dicke messen: an Durchschnitten von millimeterlangen Augitkrystallen sind bisweilen an hundert einander umhüllende Schichten zu zählen.

Bei der optischen Untersuchung von Durchschnitten der Plagioklasfeldspathe wird oft erkannt, dass die vom Centrum nach der Peripherie auf einander folgenden, deutlich abgegrenzten Zonen einen Wechsel der Auslöschungsschiefe besitzen, welcher auf eine, nach bestimmter Richtung fortschreitende Veränderung in der chemischen Zusammensetzung schliessen lässt, meist so, dass der Kern kieselsäurearm, kalkreich und natronarm ist, nach aussen zu immer kieselsäurereicher, kalkärmer und natronreicher werdende Schichten sich gegenseitig umhüllen. Nicht selten erfolgt auch, wie das optische Verhalten zeigt, die Substanzänderung von innen nach aussen stetig und continuirlich, d. h. ohne ersichtliches Dasein von einzelnen getrennten Schalen.

Künstlich lässt sich die isomorphe Schichtung nachahmen, indem man z. B. dunkle Oktaëder von Chromalaun in eine Lösung von gewöhnlichem Kalialaun hängt, welche eine farblose Hülle um den Kern absetzt. Bringt man Bittersalzkrystalle abwechselnd in Lösungen von Bittersalz und Manganvitriol und wieder in solche von reinem Bittersalz, so wachsen abweichend gefärbte isomorphe Schichten in beliebiger Zahl umeinander.

In einem gewissen Sinne gehört zu der isomorphen Schichtung auch die Erscheinung, dass das Weiterwachsen in der isomorphen Mischung nicht allseitig peripherisch, sondern nur einseitig geschah, wie es z. B. bei den säulenförmigen Turmalinen der Fall, welche in der Richtung der Verticalaxe verschiedene, ungefähr basisch abgegrenzte Färbung zeigen. — Eine besondere Modification des successiven Krystallaufbaus besteht in dem Dasein der sog. Anwachspyramiden oder Anwachskegel. Der Krystall erscheint alsdann gewissermassen als eine Vereinigung von lauter (umgekehrten) Pyramiden, deren Basis eine Krystallfläche ist und deren Spitze sich da befindet, wo die Fläche zuerst aufgetreten war, also im idealen Falle in der Mitte (Fig. 291). Im Durchschnitt gibt sich daher eine Zusammensetzung aus einzelnen Sectoren zu erkennen, welche den auf den einzelnen Flächen eines kleinen Kerns zum Absatz gelangten Partieen entsprechen. Natürlich ist die Zahl der Anwachspyramiden ebenso gross wie diejenige der Flächen, parallel denen die Vergrösserung des Krystalls stattfand: ein Würfel würde 6, ein Oktaëder 8 derselben aufweisen; auf gleichwerthigen Flächen bilden sich übereinstimmende Anwachspyramiden aus. Die Erscheinung wird aber namentlich dadurch deutlich, dass ungleichwerthige Flächen auch eine Abweichung in der Beschaffenheit der zugehörigen Pyramiden erkennen lassen; dies spricht sich z. B. darin aus, dass ihnen verschiedene Färbung, verschiedene chemische Zusammensetzung oder ein etwas anderes optisches Verhalten eigen ist (sog. Sanduhrbau beim Augit), oder dass sie fremde Einschlüsse in verschiedentlicher Weise

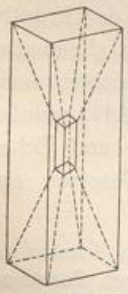


Fig. 291.

enthalten (Chiastolith), oder dass in Verbindung damit die Aetzfiguren differirende Form und Anordnung zeigen. Für das Zustandekommen des Sanduhrbaus scheint namentlich das Dasein anisomorpher Substanzen von Belang zu sein (vgl. *Blumrich*, Min. u. petr. Mitth. XIII. 1892. 239; *Pelikan*, ebendas. 258, sowie dessen ausgezeichnete Abhandlung »Ueber den Schichtenbau der Krystalle«, ebendas. XVI. 1896. 1). — An den durch dilutes Pigment gefärbten Krystallen treten die Anwachspyramiden dadurch hervor, dass verschiedene Krystallflächen den Farbstoff in verschiedenem Grade auf sich niederschlagen. Aus einer gesättigten Lösung von Strontiumnitrat, welche mit dem Farbstoffextract von Haematoxylon Campechianum versetzt ist, scheiden sich Krystalle ab, bei denen die Anwachskegel auf den Prismenflächen ungefärbt, diejenigen auf den übrigen Flächen prachtvoll roth erscheinen. Künstliche Meconsäurekrystalle, gefärbt mit Methylviolett, zeigen 2 violette und 2 blaue Anwachspyramiden. — Andere Beispiele dafür, dass den Krystallflächen eine gewisse auswählende Kraft zukommt, liefern Baryte, Turmaline (bei welchen auf den Rhomboëderflächen Substanzen abgelagert werden, die auf den Prismenflächen fehlen), Zinnstein.

3) Kern und Schalen sind krystallographisch und chemisch abweichend, aber es ist das Zusammenfallen gewisser ausgezeichneter Flächen oder Spaltrichtungen möglich und vorhanden; hierher gehören z. B. die primären Umrindungen von Hornblende um Augit, die von monoklinem Pyroxen um rhombischen, die von triklinem Plagioklas um monoklinen Orthoklas.

§ 69. **Fremde Einschlüsse in den Mineralien.** Die Continuität der innerlichen Raumerfüllung durch eine und dieselbe Substanz wird bei den Individuen des Mineralreichs sehr häufig auf verschiedene Weise unterbrochen, indem dieselben sowohl mit grösseren oder kleineren Krystallen oder krystallinischen Partikeln anderer Mineralien durchwachsen, als auch mit anderen theils festen, theils flüssigen amorphen fremden Substanzen in grösserem oder geringerem Grade erfüllt oder endlich von Poren und Hohlräumen durchzogen sind. Alle diese fremden Einschlüsse treten ausserordentlich viel häufiger in mikroskopischem Maassstab als von makroskopischen Dimensionen in den Mineralien hervor[1]).

Die Einschlüsse sind zwar häufig ganz regellos durch das Mineral vertheilt, finden sich aber doch in sehr vielen Fällen auf deutlich ersichtliche Weise an gewissen Stellen desselben besonders angehäuft, während sie an anderen Stellen sehr spärlich erscheinen oder ganz fehlen. Sie liegen nämlich vor allem bald im Centrum des Krystalls versammelt, wobei dann dessen äussere Theile einschlussarm oder einschlussfrei sind, oder, im Gegensatz zum Centrum, gerade an der Peripherie besonders reichlich, oder sie finden sich schliesslich in den Durchschnitten innerhalb einzelner concentrischer Zonen eingelagert, treten also bei dem Schalenbau zwischen je zwei Schichten auf oder sind an gewisse derselben geknüpft. Wenn, worauf Beobachtungen bei künstlichen Krystallbildungen hinweisen, die Einlagerungen desto reichlicher von dem Krystall aufgenommen werden, je rascher sein Wachsthum erfolgt, so würde die centrale Anhäufung der Einschlüsse auf eine anfangs beschleunigte, später verlangsamte Vergrösserung des Krystalls schliessen lassen, die peripherische auf den gerade umgekehrten Vorgang, die zonare auf einen Wechsel in der Wachsthumsgeschwindigkeit.

Das Vorkommen solcher mit blosem Auge wahrnehmbarer krystallisirter oder krystallinischer Einschlüsse gehört zu den ziemlich häufigen Erscheinungen des Mineralreichs, und findet sich in sehr verschiedener Weise der Ausbildung. Bald sind es grössere, sehr deutlich erkennbare Krystalle, bald nur

1) Vgl. dar. *F. Zirkel*, Lehrb. d. Petrographie. 2. Aufl. 1894, Bd. I. 162—192.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

haarförmige oder feinschuppige Individuen eines Minerals, welche in ganz regelloser Lage von grösseren Krystallen eines anderen Minerals umschlossen werden. Im ersteren Falle ragen die eingeschlossenen Krystalle bisweilen mehr oder weniger weit aus dem einhüllenden Krystall heraus, auch sind sie wohl mitunter verbogen oder zerbrochen; im zweiten Falle kommt es oft vor, dass die feinen schuppigen oder körnigen Individuen nur nahe an oder auf der Oberfläche des einschliessenden Krystalls vertheilt, ihm gleichsam nur aufgestreut sind.

Besonders häufig ist die Erscheinung am Quarz, zumal an denjenigen reineren Varietäten, welche Bergkrystall genannt werden, und bei ihrer grossen Durchsichtigkeit ganz vorzüglich geeignet sind, die eingeschlossenen Krystalle deutlich erkennen zu lassen. Auch der Kalkspath, der Flussspath, der Baryt, die Feldspathe und Turmaline sind nicht selten mit krystallisirten Einschlüssen versehen, deren Vorhandensein, bei den höheren Graden der Pellucidität, welche diesen Mineralien eigen zu sein pflegen, ebenfalls leicht bemerkt werden kann.

Als weniger deutliche Einschlüsse in Form von staubähnlichen Partikeln, Schüppchen oder haarförmigen Gebilden kommen zumal häufig Pyrit, Kupferkies, Chlorit (Helminth), Amiant und Goethit vor. Die kleinen Pyrit- und Chloritkrystalle zeigen bisweilen innerhalb des sie umschliessenden Krystalls eine mehr oder weniger regelmässige Vertheilung, welche durch die Form dieses Krystalls bestimmt wird. Doch bleibt die gegenseitige Lage der Individuen untereinander eine regellose, weshalb die Erscheinung in diesem Falle nicht als eine Interposition zu bezeichnen ist.

Krystallisirte oder krystallinische Körper von mikroskopischer Kleinheit sind den verschiedensten Mineralien in reichlicher Fülle und vormals ungeahnter Verbreitung eingewachsen, wie dies namentlich die Untersuchung der Gemengtheile von Felsarten gelehrt hat. Obschon sie in der Regel während des Wachsthumsactes des sie bergenden Minerals ganz ordnungslos und in zufälliger Stellung darin eingeschlossen wurden (sog. poikilitische Verwachsung), gibt es doch auch manche Fälle, wo ihre innerliche Einlagerung einen Parallelismus aufweist (sog. Interposition) oder in einer bestimmten Beziehung zu Form und Wachsthum des grossen Krystalls steht.

So enthalten z. B. die röthlichen Kalkspathkörner des serpentinführenden Kalksteins von Modum in Norwegen eine grosse Menge zinnoberrother oder dunkelorangefarbiger, scharf begrenzter, durchscheinender Nädelchen (wahrscheinlich Nadeleisen) in sich, welche genau parallel den vier Axenrichtungen des Kalkspaths darin orientirt sind.

Fig. 292.

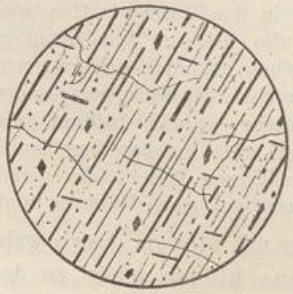


Fig. 293.

Fig. 294.

In den Nephelinen sind zarte grüne Augitprismen nach allen vier Axenrichtungen des hexagonalen Minerals eingeordnet. Im Dolomit vom Greiner liegen feine Tremolit-

fasern den Polkanten des Rhomboëders parallel. Der rhombische Hypersthen führt unzählige fremde Lamellen, die mit ihrer platten Fläche parallel dessen vollkommenster Spaltrichtung liegen, während ihre Längsausdehnung senkrecht auf die Verticalaxe des Hypersthens oder parallel derselben gerichtet ist.

Der Leucit hat die charakteristische Tendenz, zahlreiche fremdartige Körperchen (z. B. Augitmikrolithen, Magneteisenkörnchen) in sich einzuschliessen und dieselben so zu gruppiren, dass sie im Leucitdurchschnitt entweder einen centralen runden Haufen oder mehre concentrische Kränze darstellen, welche entweder Kreise oder achteckige Figuren sind; sie liegen demnach auf der Oberfläche von kleineren Leucitformen vertheilt, welche man sich in den Krystall eingeschrieben denkt (Fig. 292). Mikrolithische Interpositionen zeigt Fig. 293 im Labradorit, Fig. 294 in einem schalig zusammengesetzten Querschnitt von Augit, Fig. 295 in einem Verticalschnitt des Nephelins. Fig. 296 stellt in einem Ikositetraëder von Granat Quarzeinschlüsse dar, welche sich der Form des ersteren angepasst haben.

Fig. 295.

Fig. 296.

Solche Einwachsungen von mikroskopischen krystallisirten oder krystallinischen Individuen sind es auch, wodurch gewisse Mineralien ihre besondere Farbe oder hervorstechende optische Eigenthümlichkeiten erlangen. Rother feinvertheilter Eisenglimmer färbt den bei Stassfurt vorkommenden Carnallit und den Stilbit aus dem tiroler Fassathal intensiv roth. Der Prasem von Breitenbrunn verdankt seine lauchgrüne Farbe einem dichten Gewirr von schilfigen und nadelförmigen Strahlsteinsäulen, mit welchen seine klare farblose Quarzmasse durch und durch gespickt ist; Bergkrystalle erscheinen schmutzig grün durch massenhaft eingewachsene Chloritstäubchen. Betreffs weiterer durch solche Einlagerungen hervorgebrachter Erscheinungen vgl. den Abschnitt über Farbenwandlung, Schillern, Asterismus.

In manchen Krystallen sind die eingewachsenen mikroskopischen Individuen in ganz ungeheurer Anzahl vorhanden. Die Substanz vieler dunkelgefärbter Mineralien strotzt wahrhaft von innig eingemengten isolirten winzigen Magneteisenkörnchen. In den triklinen Feldspathen vieler Gesteine liegen schwarze und bräunlich durchscheinende Körnchen, Nädelchen und Täfelchen in enormer Anzahl und herabsinkend zu so kleinen Dimensionen, dass ein Theil derselben selbst bei stärkster Vergrösserung nur wie der allerfeinste Staub erscheint. — Ausserdem ist die grosse Verschiedenartigkeit der eingeschlossenen Kryställchen bemerkenswerth; so hat man z. B. Leucit-Individuen untersucht, welche ausser glasigen und flüssigen Partikeln nicht weniger als fünf verschiedene andere mikroskopische Mineralien einhüllten: grüne Pyroxene, farblose Nepheline, blaue Haüyne, braune Granaten, schwarzen Magnetit. Häufig aber ist es wegen der Kleinheit der körneligen, mikrolithischen oder lamellaren Einschlüsse schwierig oder nicht möglich, sie mit einem bekannten Mineral zu identificiren.

Bei sehr vielen chemischen Analysen ist eine Mineralsubstanz einschliesslich der fremden Einlagerungen zur Untersuchung gekommen, sei es, weil man die Gegenwart derselben überhaupt nicht voraussetzte, sei es, weil die vorherige mechanische oder chemische Entfernung derselben entweder verabsäumt wurde, oder thatsächlich unausführbar war. So haben manche, früher auffallende oder unerklärliche Ergebnisse

der Analysen, welche nicht mit der Normalformel des Minerals oder nicht unter einander stimmen wollen, in derlei fremden Einmengungen ihren Grund. (Vgl. z. B. Staurolith.) Davon machen die wohlausgebildeten, aber als solche undurchsichtigen Krystalle keine Ausnahme; denn makro- und mikroskopische Betrachtung lehrt, dass innige Erfüllung mit fremden Gebilden das Regelmaass der Krystallform keineswegs zu beeinträchtigen braucht. Denjenigen Mineralien gegenüber, welche, wie die meisten Erze, keine hinlänglich pelluciden Dünnschliffe liefern, hat das berechtigte Misstrauen in die Homogenität einen noch viel weiteren Spielraum.

Die Erscheinungen der Interposition gehen bis zur gegenseitigen innigen und vollständigen Durchdringung zweier verschiedener Mineralien, bei denen beide Substanzen in fast gleichem Volumen betheiligt sind und die einzelnen der beiderseitigen Partikel vielfach unter einander parallele Orientirung aufweisen; z. B. Verwachsungen von Kalifeldspath mit Albit, von Feldspath mit Quarz (Schriftgranit), von monoklinen und rhombischen Pyroxenen, von Magnetit und Titaneisen. In seltenen Fällen bestehen dann hinsichtlich der gegenseitigen Verwachsung beider Mineralien auch noch gesetzliche Beziehungen.

Es ist nicht ausgeschlossen und wird durch manche Beobachtung wahrscheinlich gemacht, dass dergleichen innige Durchwachsungen in einem so feinen Maassstab erfolgen, dass sie, jenseits der Grenze der Wahrnehmung gelegen, bei stärkster Vergrösserung in den besten Präparaten nicht mehr als solche zu erkennen sind, dass also submikroskopische Verwachsungen vorliegen. Eine Annahme derselben würde mehrfach auch die Resultate chemischer Analysen deuten. So z. B. fände der Natrongehalt in Orthoklasen seine Erklärung, wenn die letzteren als eine submikroskopische Verwachsung von Kalifeldspath mit Natronfeldspath betrachtet werden könnten.

Im Vorstehenden ist vorausgesetzt worden, dass die fremden krystallinischen Partikel während des Wachsthums des umgebenden Minerals von ihm eingeschlossen wurden. Die Durchsetzung einer Mineralmasse mit anderen nicht zugehörigen krystallinischen Substanzen kann aber auch so zu Stande kommen, dass dieselben sich, wie z. B. Chloritblättchen im Augit, Epidotkörnchen in der Hornblende, erst secundär als Neubildungsproduct aus jener Mineralmasse heraus entwickeln, oder dass auf Spältchen, welche die letztere durchziehen, fremde Mineralsubstanz zum Absatz gelangt, z. B. Infiltrationen von Brauneisenstein auf Klüftchen im Quarz. Solche erst nachträglich gebildete Einlagerungen werden nicht als Einschlüsse bezeichnet.

Anm. Zu den merkwürdigsten Beispielen einer sehr mangelhaften Raumerfüllung gehören noch die von *Scheerer* so genannten Perimorphosen oder Kernkrystalle: regelmässige, aus einem Individuum bestehende Krystallhüllen, welche meist mit ganz anderen Mineralien ausgefüllt sind, deren Aggregat sie wie einen Kern umschliessen. Sie sind bisweilen papierdünn, so dass der eigentliche Krystall gleichsam nur auf seine Epidermis reducirt ist. Die im körnigen Kalk vorkommenden Krystalle des Granats (z. B. von Arendal, Auerbach, Moldawa) lassen diese Ausbildungsweise zuweilen sehr auffallend erkennen; sie ist aber auch an anderen Mineralien beobachtet worden. Die Entstehung dieser Gebilde bietet noch manches schwer Erklärliche.

Mit blosem Auge sichtbare Einschlüsse einer Flüssigkeit sind u. a. in vielen Chalcedonen von Brasilien, Quarzen und Amethysten von Schemnitz und vom St. Gotthard, in manchen Steinsalzen, Flussspathen, Gypsen nicht eben selten und längst bekannt. Die in einem Hohlraum sitzende Flüssigkeit enthält gewöhnlich ein Bläschen, eine Libelle, und bewegt sich deshalb beim Neigen der Stücke wie diejenige einer Wasserwage hin und her. Auch nachdem Sir *David Brewster* nachgewiesen, dass solche Höhlungen mit Flüssigkeiten sich gleichfalls in mikroskopischer Kleinheit in manchen anderen Mineralien (z. B. Smaragd, Beryll, Chrysoberyll,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Chrysolith, Feldspath, Topas, Sapphir) finden, glaubte man zunächst noch, dass dieselben nur in wohl ausgebildeten Krystallen und in diesen blos spärlich und zufällig vorkommen. Erst durch *Henry Clifton Sorby*[1]) wurden (1858) diese Beobachtungen über die Verbreitung mikroskopischer Flüssigkeitseinschlüsse weiter ausgedehnt, verallgemeinert und zugleich auf zwei ganz neue Gebiete gelenkt, indem einerseits die künstlich gebildeten Krystalle in dieser Rücksicht eingehend zur Vergleichung untersucht wurden und anderseits die als Gemengtheile von Gesteinen auftretenden Mineralien eine Prüfung erfuhren. Im Laufe der Zeit haben sich die Nachweise über die Verbreitung dieser Gebilde so vervielfacht, dass es nicht mehr zweifelhaft ist, eine jede Mineralsubstanz sei unter den erforderlichen genetischen Bedingungen fähig, liquide Einschlüsse und zwar selbst in reichlicher Anzahl innerhalb ihrer Masse zur Ausbildung gebracht darzubieten.

So sind dieselben z. B. beobachtet in: Quarz, monoklinem und triklinem Feldspath, Nephelin, Elaeolith, Leucit, Meionit, Augit, Hornblende, Chlorit, Olivin, Phenakit, Topas, Cordierit, Vesuvian, Smaragd, Beryll, Spinell, Sapphir, Apatit, Kalkspath, Gyps, Flussspath, Steinsalz, Kryolith, Zinnstein, Zinkblende, Zinnober. Diese Mineralien sind allesammt solche, welche in Dünnschliffen genügende Pellucidität erlangen; für die völlig impellucid bleibenden Mineralkörper, z. B. die meisten Erze, lassen sich diese Einschlüsse durch das Mikroskop nicht nachweisen; es ist aber wahrscheinlich, dass sie hier in einem vielleicht nicht minderen Maasse ebenfalls vorhanden sind.

Die kleineren der mikroskopischen Flüssigkeitseinschlüsse in den Mineralien (Fig. 297) sind gewöhnlich rundlich, dem Kugelrunden genähert, eiförmig, die grösseren oft auf das Verschiedenartigste gestaltet mit unregelmässigen Verästelungen und schlauchförmigen Verzerrungen. Weitaus die meisten derselben zeigen ein ganz deutlich erkennbares kugelförmiges und dunkelumrandetes Gasbläschen (Libelle) in der Flüssigkeit, welches sich sehr oft innerhalb derselben hin und her bewegt. Die freiwillige, zitternde oder wirbelnde Beweglichkeit der Libelle ist es, wodurch der ganze Einschluss auf den ersten Blick in entscheidender Weise als eine Flüssigkeit charakterisirt wird. Man pflegt diese constante spontane Bewegung als durch stetige kleine Temperaturschwankungen hervorgebracht zu deuten, mit denen ein fortwährender Wechsel von Evaporation und Condensation verbunden ist. Anderen Flüssigkeitseinschlüssen ist diese selbständige Motion der Libelle nicht eigen. Bei einem Theil derselben kann aber eine einfache Orts- oder Formveränderung der letzteren durch eine einseitige Erwärmung des Präparats herbeigeführt werden, wodurch gleichfalls die liquide Natur der Substanz gekennzeichnet ist. Bei noch anderen Einschlüssen verbleibt die Libelle sowohl bei gewöhnlicher als erhöhter Temperatur fortwährend ganz unbeweglich; dieses indifferente Verhalten darf indessen keineswegs als ein Beweis gegen den flüssigen Charakter gelten. — Die grösseren mikroskopischen Flüssigkeitseinschlüsse messen selten mehr als 0,06 Mm.

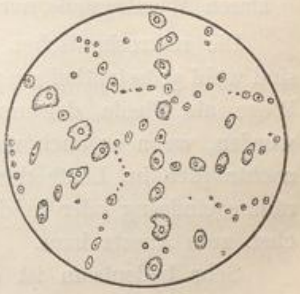


Fig. 297.

1) In seiner für alle Zeit classischen Abhandlung: On the microscopical structure of crystals, indicating the origin of minerals and rocks (Quart. journ. of geol. soc. XIV. 435).

im grössten Durchmesser und es finden sich alle Abstufungen der Kleinheit; die winzigsten erscheinen selbst bei 1000facher Vergrösserung nur als die allerfeinsten, kaum mehr wahrnehmbaren Punkte. Sind die Wandungen, welche die liquiden Einschlüsse begrenzen, überhaupt gerade und flach, so entsprechen sie, wie bei den künstlich aus Lösungen entstandenen Gebilden, meist auch den Flächen des betreffenden Krystalls.

So sind die mit einem Bläschen ausgestatteten liquiden Einschlüsse im Steinsalz meist hexaëdrisch gestaltet; im Quarz gibt es solche, welche genau die Form seiner hexagonalen Pyramide oder der Combination einer solchen mit dem Prisma besitzen. Ja flüssige Einhüllungen von einer den Orthoklas-Combinationen entsprechenden Gestalt wurden im Adular vom St. Gotthard beobachtet.

Die Flüssigkeitseinschlüsse erscheinen innerhalb der Mineralmasse entweder einzeln unregelmässig durcheinander gestreut, oder zu vielfach sich verzweigenden und wieder vereinigenden Reihen und Streifen, auch wohl zu Haufen und förmlichen Schichten versammelt. In den Gesteinen bemerkt man manchmal, wie ein Zug solcher Einschlüsse unter Beibehaltung seiner Richtung durch mehre benachbarte Mineralindividuen von übereinstimmender oder abweichender Natur hindurchgeht. Eine übergrosse Menge allerwinzigster Flüssigkeitspartikel verursacht oftmals ein milchiges oder trübes Aussehen der damit imprägnirten sonst völlig klaren Mineralsubstanz, z. B. beim Quarz, Steinsalz, Kalkspath.

Unter den Mineralien ist wohl keines durchschnittlich reicher an solchen flüssigen Einschlüssen als der Quarz, namentlich derjenige, welcher als Gemengtheil der Gesteine (Granite, Gneisse) sowie auf Gängen auftritt. Sie sind stellenweise so massenhaft darin vorhanden, dass es in der That von ihnen wimmelt, und dass nach einer Berechnung in einem Cubikzoll daran sehr reichen Quarzes über 1000 Millionen derselben enthalten sind. — Uebrigens scheinen die verschiedenen Mineralsubstanzen mit Bezug auf ihre Tendenz, während ihres Wachsthums flüssige Theilchen in ihre Masse einzuhüllen, von einander abzuweichen. So berichtet auch *Sorby*, dass, wenn gemischte Lösungen von Alaun und Chlornatrium nicht allzu rasch bei gewöhnlicher Temperatur verdunsten, die sich ausscheidenden Chlornatriumkrystalle so zahlreiche Flüssigkeitseinschlüsse enthalten, dass sie völlig weiss und impellucid erscheinen, während die klaren Alaunkrystalle nur sehr spärliche derselben aufgenommen haben.

Die mikroskopischen Flüssigkeitseinschlüsse in den verschiedenen Mineralien sind wohl grösstentheils ursprünglich bei der Bildung derselben auf mechanischem Wege als Theile der umgebenden Lösung oder als condensirte Gase eingehüllt worden, wenn es auch nicht ausgeschlossen ist, dass bisweilen das Liquidum erst nachträglich im Laufe der Zeit in leere, d. h. mit Gas erfüllte präexistirende Hohlräume eindrang oder in der Ausfüllungsmasse allmählich wieder zuheilender Spältchen zum Absatz kam.

Sehr bedeutsam ist die Ermittelung der physikalischen und chemischen Beschaffenheit der Flüssigkeitseinschlüsse. Wohl die meisten bestehen aus Wasser oder aus einer Lösung von Salzen oder von Gas in vorwaltendem Wasser. Bei ihnen wird durch steigende Temperatur, durch Erwärmung des Präparats, innerhalb der Beobachtungsgrenzen das Volumenverhältniss zwischen Libelle und Flüssigkeit nicht merklich verändert, selbst bei Temperaturen von 120° ist keine Condensation der ganz indifferenten (oft aber lebhaft beweglichen) Libelle durch Verkleinerung derselben zu beobachten. Ja es kommen in der That auch

gesättigte Salzlösungen als mikroskopische Flüssigkeitseinschlüsse vor, welche durch die darin ausgeschiedenen Salzkrystalle charakterisirt sind. Die merkwürdigste Natur ist aber denjenigen Einschlüssen eigen, an welchen sich die flüssige Kohlensäure betheiligt und welche sich dadurch kennzeichnen, dass während einer Erhöhung der Temperatur schon bei ca. 32° C. durch die enorme Expansivkraft der Kohlensäure die Libelle zum Verschwinden gebracht wird, worauf sie alsdann während der Abkühlung genau bei demselben Temperaturgrad wiederum in dem Einschluss zum Vorschein kommt.

Die in mehren Quarzen eingeschlossene Flüssigkeit wurde von *H. Davy* und *Sorby* als fast reines Wasser befunden, während der Letztere in anderen Quarzen wässerige Flüssigkeiten untersuchte, welche oft eine sehr beträchtliche Menge von Chlorkalium und Chlornatrium, von Sulfaten des Kaliums, Natriums, Calciums und mitunter freie Säuren enthielten. Sehr weit verbreitet scheinen die Liquida zu sein, welche aus kohlensäurehaltigem Wasser bestehen.

Die gesättigten Salzlösungen sind bis jetzt hauptsächlich nur in Quarzen (auch ganz selten im Kalkspath, Nephelin, Smaragd) nachgewiesen worden, scheinen aber, wo dies Mineral als Gemengtheil von Felsarten auftritt, gar nicht so selten zu sein. Zur Zeit hat man so nur Chlornatriumlösung gefunden, in welcher neben der Libelle ein kleines oft scharfkantiges wasserhelles isotropes Würfelchen des Salzes schwimmt. Dass hier in der That Chlornatrium vorliegt, dies wurde einmal auf spectralanalytischem Wege dargethan, indem der in der Flamme decrepitirende Quarz ein prachtvolles Aufblitzen der Natriumlinie hervorrief; anderseits ergab destillirtes Wasser, in welchem derselbe Quarz gepulvert worden war, mit Silbernitrat einen sehr deutlichen Niederschlag von Chlorsilber[1]). Das Würfelchen löst sich bei sehr starker Erhitzung des Minerals in der Flüssigkeit und krystallisirt bei der Abkühlung wieder heraus.

Den Nachweis von der Gegenwart flüssiger Kohlensäure in den Mineralien verdanken wir den ingeniösen Experimenten von *H. Vogelsang* und *Geissler*. Nachdem schon 1858 *Simmler* vermuthet hatte, dass wohl gewisse der von *Brewster* mehrfach in Krystallen beobachteten Flüssigkeiten liquide Kohlensäure sein dürften, weil insbesondere das so beträchtliche Expansionsvermögen am meisten mit demjenigen dieser seltsamen Substanz übereinstimme, thaten jene beiden Forscher 1869 die wirkliche Existenz derselben in Mineralien dar. Das Liquidum in einem Bergkrystall und in Topasen besass genau diejenigen Expansionsverhältnisse, welche nach *Thilorier* der flüssigen Kohlensäure zukommen. Beim Decrepitiren ergeben diese Mineralien in dem Spectralapparat das Spectrum der reinen Kohlensäure und beim Zersprengen in Kalkwasser erzeugen sie eine Abscheidung von kohlensaurem Kalk[2]). Fast gleichzeitig und unabhängig wies *Sorby* überzeugend nach, dass auch das in Sapphiren eingeschlossene Liquidum Kohlensäure ist. Nachdem einmal die Beweise für ihre wirkliche Existenz in den Mineralien geführt und die Unterscheidungsmerkmale festgestellt waren, gelang es, die flüssige Kohlensäure auch in Gemengtheilen von Gesteinen aufzufinden, wie sie denn in Quarzen von Graniten und Gneissen gar nicht so selten ist, und auch in Augiten, Olivinen und Feldspathen der Basalte vorkommt[3]). Ihre

1) *F. Zirkel*, N. Jahrb. f. Mineral. 1870. 802.

2) Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 137. 1869. 56 u. 265.

3) Vgl. noch über diese Einschlüsse die Abhandlung von *Erhard* und *Stelzner* (Min. u. petr. Mitth. I. 1878. 450), worin u. a. angegeben wird, dass der »kritische Punkt«, diejenige Temperatur, bei welcher Kohlensäure aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand übergeht, bei den selbst in demselben Krystall befindlichen einzelnen Flüssigkeiten etwas verschieden sein kann, sowie dass auch für manche Einschlüsse, welche wahrscheinlich aus unreiner Kohlensäure bestehen, der kritische Punkt niedriger, z. B. zwischen 25° und 26° C. liegt. Ueber das Verschwinden der Libelle bald durch allmähliche Verkleinerung, bald durch allmähliche Vergrösserung sowie über das bei der Abkühlung zunächst erfolgende Auftreten zahlreicher ganz kleiner Bläschen, ferner

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Gegenwart führt zu dem Schluss, dass die sie enthaltenden Mineralien unter hohem Druck gebildet sind.

Wie ein aus einer wässerigen Lösung entstehender Krystall Mutterlaugepartikelchen mechanisch in sich aufnimmt, so hüllt ein aus einer künstlich geschmolzenen Materie sich ausscheidender Krystall während seines Wachsthums sehr häufig kleine isolirte Partikel des umgebenden Schmelzflusses in seine Masse ein, welche, indem sie rasch erstarren, sich gewöhnlich als Einschlüsse von glasiger Substanz darstellen. Mikroskopische Glaseinschlüsse solcher Art besitzen auch in gewissen natürlichen Mineralvorkommnissen eine ganz ungeheure Verbreitung; sie finden sich sowohl in den Gemengtheilen derjenigen Gesteine, deren Masse zum grössten oder grossen Theil selbst zu Glas erstarrt ist, wie z. B. der porphyrartigen Obsidiane, der Pechsteine, als auch solcher, welche bei ihrer Festwerdung fast gänzlich oder lediglich zu einem krystallinischen Aggregat ausgebildet wurden. Wo immer diese primären Glaseinschlüsse sich zeigen, da liefern sie den unwiderleglichsten Beweis dafür, dass der sie einhüllende Krystall in Gegenwart einer geschmolzenen Masse fest geworden ist, eine Thatsache, welche für die genetische Mineralogie, Petrographie und Geologie die höchste Bedeutung besitzt.

Die in fremder Krystallmasse eingeschlossenen mikroskopischen Glaspartikel haben sehr oft eine dem Eirunden oder Kugelrunden genäherte tropfengleiche Umgrenzung, mitunter aber auch eckige und zackige, unregelmässige und keilähnliche Form. Nicht selten ist die oben gleichfalls für die Flüssigkeitseinschlüsse hervorgehobene Erscheinung, dass ihre Contour die Gestalt des sie einschliessenden Krystalls im Miniaturmaassstabe wiedergibt.

Wir haben es hier gewissermassen mit negativen Krystallen zu thun, wobei der durch sie bedingte Hohlraum mit Glas erfüllt ist. So kommen in den vesuvischen Leuciten isolirte Partikel braunen Glases vor, welche ihrerseits ausserordentlich scharf die Leucitform zur Schau tragen. Vielorts (z. B. in Quarzporphyren, Rhyolithen, Pechsteinen) besitzen die Glaseinschlüsse im Quarz vermöge ihres pyramidalen Umrisses, der oft als solcher hervortritt, einen hexagonalen oder rhomboidalen, diejenigen im Feldspath einen länglich-rechteckigen Durchschnitt, so dass man schon aus der Configuration derselben zu erkennen vermag, ob es Quarz oder Feldspath ist, der sie einhüllt.

In den Glaseinschlüssen findet sich nun gewöhnlich gleichfalls ein, im Gegensatz zu demjenigen der flüssigen Einschlüsse sehr dunkel umrandetes Bläschen oder auch mehre derselben. Diesem Bläschen innerhalb des starren Glases ist natürlich die freiwillige Bewegung oder die durch Erwärmung bewirkte Ortsveränderung, wie sie die Libellen der liquiden Partikel charakterisirt, durchaus versagt. Die Libelle ist in der Regel ziemlich kugelrund, oft eirund, hin und wieder birnförmig, oder sackähnlich und schlauchförmig gekrümmt; es existirt selbst innerhalb desselben Krystalls keinerlei Beziehung zwischen ihrem Volumen und demjenigen des ganzen Einschlusses, wie denn dicke Glaspartikel mit ganz kleinem und solche mit ausnehmend grossem Bläschen nebeneinander vorkommen. Die hyalinen Einschlüsse finden sich bald ganz unregelmässig durch die Krystallmasse vertheilt, bald auf gewisse Stellen, z. B. das Centrum beschränkt, wobei dann die anderen Krystall-

über die Gegenwart von zwei Flüssigkeiten in einem Hohlraum vgl. *F. Zirkel*, Lehrb. d. Petrogr. 2. Aufl. I. 1893. 475 ff.

theile arm daran oder frei davon sind. Häufig ist die charakteristische Erscheinung, dass die innerliche Gruppirung der Glaskörner in Schichten erfolgte, welche mit den äusseren Flächen des Krystalls parallel gehen und durch Lagen einschlussfreier Krystallsubstanz von einander getrennt sind[1]).

Der Krystall wurde daher in einem Zeitpunkt seines Wachsthums auf seiner ganzen Oberfläche von zahlreich anhaftenden isolirten Theilchen des umgebenden Schmelzflusses bedeckt, und vergrösserte sich darauf wieder durch Ansatz seiner eigenen Masse. Mitunter fand dieser Process wiederholt statt und es ergeben sich dann in dem Krystalldurchschnitt mehre concentrische Zonen von Glaspartikeln. — Aehnlich sind die von *v. Dechen* schon 1829 beschriebenen Feldspathkrystalle im Pechstein der Insel Arran, welche aus abwechselnden dünnen Feldspathschalen und glasigen Pechsteinlagen bestehen, Erscheinungen, die sich auch mikroskopisch wiederholen.

Die Anzahl der von den Krystallen eingehüllten mikroskopischen Glaspartikel geht oft ins Erstaunliche. Durchschnitte von Leucitkrystallen aus Vesuvlaven z. B., welche das Gesichtsfeld des Mikroskops bilden, bieten manchmal Hunderte von winzigen braungelben Glaseinschlüssen in einer Ebene dar, und bei der um ein Minimum veränderten Focaldistanz treten Hunderte andere tiefer oder höher gelegene Glaskörner innerhalb der farblosen Leucitsubstanz hervor, so dass diese in der That durch und durch auf das Innigste mit feinen Glaspartikeln imprägnirt ist, welche in einem nur den Bruchtheil eines Millimeters messenden Krystall nach Tausenden zählen. In derselben Weise strotzen z. B. Feldspathe, Augite, Noseane, Olivine von Glastheilchen.

Schliesslich sei noch erwähnt, dass in den Glaseinschlüssen, welche ja im Moment ihrer Einhüllung geschmolzene Partikel waren, sich manchmal eine Ausscheidung winziger Mikrolithen in Form feinster Nädelchen oder Fäserchen ereignet hat.

Ausser den eigentlich glasigen Einschlüssen begegnet man in den Mineralindividuen, welche als Gemengtheile von gewissen Eruptivgesteinen vorkommen, noch anderen, ebenfalls als solche nicht individualisirten Einhüllungen, welche hauptsächlich aus der den Grundteig des Gesteins bildenden Substanz bestehen, und genetisch sowie morphologisch den Glaspartikeln sehr ähnlich sind.

Leere, d. h. nicht absolut leere, sondern mit einem Gas oder Dampf erfüllte Hohlräume oder Poren (Gasporen, Dampfporen) sind in manchen Krystallen schon mit grösseren Dimensionen dem blosen Auge erkennbar. Bisweilen zeigen diese Höhlungen eine mit der äusseren Form der Krystalle übereinstimmende oder doch vereinbare Form, und dann befinden sie sich in paralleler Stellung zu einander und zu dem Krystall selbst; wie solches von *Leydolt* am Eis, Bergkrystall und Topas, von *G. Rose* am Gyps nachgewiesen worden ist.

Ausgezeichnet sind die 1—3 Mm. grossen Hohlräume von der scharfen Form ∞P.P in den wasserklaren Bergkrystallen von Middleville, New-York. Solche ebenflächig begrenzte Cavitäten heissen wohl negative Krystalle. Mikroskopische Untersuchungen haben nun nachgewiesen, dass dunkelumrandete, anscheinend leere Poren von äusserster Winzigkeit eine ungemein weit verbreitete Erscheinung in den verschiedensten Mineralien sind. Sie sind gewöhnlich kugelrund oder eirund, seltener

---

1) Ueber Glaseinschlüsse überhaupt und die Anhaltspunkte zur Unterscheidung derselben von den Flüssigkeitseinschlüssen vgl. *F. Zirkel*, Lehrb. d. Petrogr. 2. Aufl. I. 1893. 181. — Im Gegensatz zu den primären, auf Einhüllung von Schmelzflusspartikelchen während des Wachsthums zurückzuführenden Glaseinschlüssen stehen die — übrigens nur an ganz besonderen Orten und unter ganz besonderen Verhältnissen sich findenden — secundären Glaseinschlüsse in den Mineralien, welche innerhalb der letzteren erst nachträglich durch äussere Einwirkung eines geschmolzenen Eruptivgesteins entstanden sind und in ihrer speciellen Bildungsweise noch manches Unaufgeklärte darbieten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

regelrecht polygonal begrenzt, und liegen entweder regellos zerstreut, oder zu Haufen und Schwärmen gruppirt, perlschnurartig aneinander gereiht, oder zu förmlichen, durch den Krystall hindurchziehenden Schichten vereinigt, deren Lage mitunter eine Beziehung zur äusseren Krystallgestalt erkennen lässt. Gewisse Mineralien finden sich in einer ganz unermesslichen Menge von mikroskopischen Poren erfüllt; so sind im Haüyn von Melfi kleine Hohlkügelchen örtlich so dicht gedrängt, dass bei der Voraussetzung einer gleichmässigen Vertheilung durch die Krystallsubstanz nach einer Berechnung in einem Cubikmillimeter so porenreichen Haüyns 360 Millionen derselben enthalten sein würden[1]). Nach den bisherigen Untersuchungen bestehen die gasförmigen Einschlüsse zumeist aus Wasserdampf, Kohlensäure, Stickstoff-, Sauerstoffgas, sowie Kohlenwasserstoffen. Das im sog. Knistersalz von Wieliczka würfelförmige Höhlungen erfüllende, stark comprimirte Gas ist zufolge *Bunsen* vorwiegend Sumpfgas und Stickstoff; beim Auflösen des Salzes entweicht dasselbe unter knackendem Geräusch.

II. Abtheilung. Morphologie der krystallinischen Aggregate.

1. Allgemeine Verhältnisse der Aggregation.

§ 70. **Verschiedene Beschaffenheit der Aggregate.** Nach § 3 sind es besonders das herrschende Gesetz der Aggregation und die unbestimmte, oft sehr geringe Grösse der Individuen, welche den meisten Vorkommnissen des Mineralreichs einen ganz eigenthümlichen Charakter ertheilen. Die Aggregate der krystallinischen Mineralien lassen sich nach ihrer makroskopischen Erscheinungsweise in vier Abtheilungen bringen, je nachdem noch eine theilweise freie Auskrystallisirung der Individuen stattfindet oder nicht, je nachdem die krystallinische Zusammensetzung des Aggregats selbst noch deutlich wahrnehmbar ist oder nicht, und je nachdem die Individuen selbst noch deutlich erkennbar sind oder nicht. Hiernach gibt es also dem unbewaffneten Auge gegenüber:

I. Aggregate wenigstens theilweise frei ausgebildeter, deutlich erkennbarer Individuen (krystallisirte Aggregate *Naumann*'s).

II. Aggregate nicht mehr frei auskrystallisirter Individuen:

1) die Zusammensetzung aus krystallinischen Partikeln ist als solche erkennbar (phanerokrystallinische Aggregate);

a) auch die einzelnen Individuen sind als solche erkennbar und bestimmbar (phanerokrystallinische eudiagnostische Aggregate).

b) die einzelnen Individuen sind als solche nicht mehr makroskopisch erkennbar (phanerokrystallinische adiagnostische Aggregate).

2) die vorhandene Zusammensetzung aus krystallinischen Partikeln ist als solche nicht mehr erkennbar, selbstverständlich können dann auch

---

1) Von den beim ursprünglich lückenhaften Wachsthum der Krystalle darin entstandenen primären Poren würden die secundären Cavitäten zu unterscheiden sein, welche in der soliden Krystallsubstanz erst nachträglich durch Wegführung oder Auflösung von gewissen Theilen derselben oder von fremden Einschlüssen hervorgebracht wurden. Zu der letzteren Kategorie würden diejenigen von der Form negativer Krystalle gehören, welche nach der Auffassung von *Judd* in grosser Tiefe und unter hohem Druck vermöge der dann gesteigerten Lösungsfähigkeit des circulirenden Wassers längs gewissen krystallographischen Ebenen (den Ebenen »chemischer Schwäche«) aus den Mineralien förmlich innerlich herausgeätzt worden sein sollen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

die einzelnen Individuen mit blosem Auge nicht mehr unterschieden oder erkannt werden (kryptokrystallinische Aggregate)[1].

Die phanerokrystallinischen Aggregate werden je nach der Grösse ihrer Individuen allgemein auch als makrokrystallinisch und mikrokrystallinisch unterschieden; die letzteren schliessen sich an die kryptokrystallinischen an, in welchen die Zusammensetzung zwar für das unbewaffnete Auge verschwindet, aber gewöhnlich durch Vergrösserung sichtbar gemacht werden kann (dichter Kalkstein).

Die besondere Beschaffenheit eines jeden phanerokrystallinischen Aggregats hängt mehr oder weniger von der allgemeinen Configuration der Individuen selbst ab. In letzterer Hinsicht sind besonders als die drei vorwaltendsten Formen zu unterscheiden: der isometrische oder körnige Typus, wenn das Individuum nach allen drei Dimensionen ziemlich gleichmässig entwickelt ist; der lamellare, blätterige, tafelförmige, sofern zwei Dimensionen über die dritte erheblich vorwalten; der stengelige, nadelförmige, stab-, leistenförmige, wenn nur eine Dimension vorwiegend ausgebildet ist, die beiden anderen bedeutend zurückstehen. — Welche Form und Grösse, und welchen Grad der Ausbildung aber auch die Individuen haben mögen, jedenfalls ist der Gegensatz zu unterscheiden, ob das Aggregat im freien oder im beschränkten Raum gebildet worden ist.

§ 71. **Zusammenfügungsflächen und dadurch bedingte Formen.** Wenn sich viele Individuen in dichtem Gedränge neben und über einander gebildet haben, so berühren und beschränken sie sich gegenseitig in Flächen von regelloser Lage und Ausdehnung, welche Zusammenfügungsflächen oder Contactflächen genannt werden. Diese Flächen sind meist uneben, oft rauh oder unregelmässig gestreift, und dürfen weder mit Krystallflächen noch mit den weiter unten zu erwähnenden Spaltungsflächen verwechselt werden. Die Zusammenfügungsflächen der Individuen in den Zwillingskrystallen sind grossentheils, und die Spaltungsflächen sind sämmtlich durch ihre Ebenheit und ihre gesetzmässige Lage von diesen regellosen Zusammenfügungsflächen unterschieden. Sind jedoch innerhalb eines Aggregats hier und da leere Zwischenräume geblieben, so treten in diese letzteren die zunächst angrenzenden Individuen mit Krystallflächen aus, und so kann es kommen, dass selbst mitten in einem Aggregat einzelne Individuen theils von Krystallflächen, theils von Zusammenfügungsflächen begrenzt werden.

Die Formen der wesentlich von Zusammenfügungsflächen begrenzten Individuen sind:

a) bei isometrischem oder körnigem Typus, gewöhnlich eckigkörnig, selten rundkörnig oder plattkörnig;

---

1) Während sich das Vorstehende auf die makroskopische Beschaffenheit der Aggregate bezieht, kehren bei den mikroskopischen Aggregaten die unter II. 1. angeführten Gegensätze wieder. Ein solches Aggregat ist unter dem Mikroskop phanerokrystallinisch, wenn es seine Zusammensetzung aus krystallinischen Theilchen offenbart; können die letzteren ihrer mineralogischen Natur nach erkannt werden, so ist das mikroskopisch-phanerokrystallinische Aggregat eudiagnostisch, anderenfalls adiagnostisch. Die Bezeichnung kryptokrystallinisch indessen hat in mikroskopischer Hinsicht eigentlich insofern keine Berechtigung mehr, als sie auch hier eine zwar verborgene, aber doch immerhin wirklich vorhandene Krystallinität zugibt, während gerade mit unseren mikroskopischen Hülfsmitteln der Nachweis, dass die letztere existirt, nicht in derselben Weise geführt werden kann, wie es bei den makroskopisch-kryptokrystallinischen Aggregaten möglich ist. Auf mikroskopischem Gebiet besteht daher der Gegensatz zum Phanerokrystallinischen mehr in dem Dubiokrystallinischen als in dem Kryptokrystallinischen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

b) bei lamellarem Typus, entweder tafelförmig, d. h. von gleicher Dicke, oder keilförmig, d. h. nach der einen Seite zugeschärft;

c) bei stengeligem Typus, entweder stabförmig (bacillar), d. h. von gleicher Dicke, oder nadelförmig (acicular), d. h. nach dem einen Ende zugespitzt.

Sehr dünne Stengel werden Fasern, und sehr kleine und dünne Lamellen Schuppen genannt. Oft haben die Stengel eine grössere Breite als Dicke, in welchem Falle ihre Form breitstengelig heisst.

§ 72. **Verschiedene Grade der Aggregation.** Durch das Zusammentreten vieler Individuen entstehen eigenthümliche Aggregationsformen, welche, obgleich verschieden von den Krystallformen, doch noch bisweilen eine gewisse Regelmässigkeit erkennen lassen. Die ersten, unmittelbar durch die Verwachsung der Individuen gebildeten Formen nennen wir Aggregationsformen des ersten Grades. Allein die Aggregation wiederholt sich sehr häufig, indem neben oder über dem zuerst gebildeten Aggregat ein zweites, drittes, viertes u. s. w. abgesetzt wurde, durch welche doppelte Zusammensetzung Aggregationsformen des zweiten Grades entstehen, deren nächste Elemente nicht Individuen, sondern Aggregate des ersten Grades sind. Durch eine nochmalige Wiederholung der Aggregation können Aggregate des zweiten Grades abermals zu Aggregaten verbunden sein, welche demnach als solche des dritten Grades zu bezeichnen wären.

Jeder Grad der Aggregation bedingt natürlich das Dasein besonderer Zusammensetzungsflächen, welche daher eigentlich als Zusammenfügungsflächen des ersten, zweiten oder dritten Grades zu unterscheiden sein würden. Doch ist es zweckmässiger, diejenigen der beiden letzteren Grade Zusammensetzungsflächen, oder auch nach Befinden Ablagerungsflächen zu nennen, und das Wort Zusammenfügungsflächen lediglich von den Contactflächen der Individuen zu gebrauchen.

§ 73. **Textur und Structur der Aggregate.** Die Aggregation der Individuen bedingt für die so zusammengesetzten Varietäten des Mineralreichs zuvörderst eine innere Textur, welche den einfachen Krystallen und den anorganischen Individuen überhaupt gänzlich abgeht[1]). Unter der Textur eines Mineral-Aggregats verstehen wir mit *Naumann* die durch die Grösse, Form, Lage und Verwachsungsart seiner einzelnen Individuen bedingte makroskopische Modalität der Zusammensetzung. So lange die Individuen noch eine erkennbare Grösse besitzen, wird sich die Zusammensetzung durch die Textur immer noch kund geben; sind aber die Individuen mikroskopisch klein, so verschwindet mit der Zusammensetzung auch die wahrnehmbare Textur des Aggregats. Die kryptokrystallinischen Mineralien erscheinen daher dicht, d. h. ohne alle unmittelbar ersichtliche Textur.

Diese kryptokrystallinischen dichten Mineralien können leicht mit den amorphen Mineralien verwechselt werden, welche stets dicht sind. Hat man Dünnschliffe von hinreichender Durchsichtigkeit hergestellt, so wird deren mikroskopische Prüfung im polarisirten Licht meist darüber entscheiden, ob man es mit einem kryptokrystallinischen Aggregat, oder mit einem wirklich amorphen Mineral zu thun hat. Glatter muscheliger Bruch, starker Glanz der Bruchflächen, und höhere Grade der Pellucidität lassen

1) Es scheint für die Zwecke der Mineralogie angemessen, das unmittelbar und zunächst durch die Individuen selbst bedingte Gefüge der Aggregate als Textur von den ausserdem noch vorkommenden Arten des Gefüges zu unterscheiden, welchen der Name Structur gelassen werden mag.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

übrigens bei einem dichten Mineral immer eher auf amorphen, als auf krystallinischen Zustand schliessen.

Die Unterscheidung der verschiedenen Arten von Textur setzt in der Regel eine phanerokrystallinische Zusammensetzung voraus.

Nach der Form der Individuen erscheint die Textur entweder als körnige, oder als schalige (blätterige) und schuppige, oder als stengelige und faserige Textur, welche dann weiter nach der Grösse der Individuen als gross-, grob-, klein- und feinkörnig, als dick- und dünnschalig, als grob- und feinschuppig, als dick- und dünnstengelig, sowie als grob- und feinfaserig unterschieden wird. Die besondere Form der Lamellen und Stengel bedingt noch gerad- und krummschalige, gerad- und krummstengelige, gerad- und krummfaserige Textur.

Nach der Lage der Individuen erscheint die schalige (oder blätterige) Textur: parallelschalig, divergentschalig und verworren-schalig; die schuppige Textur: körnigschuppig und schieferigschuppig; die stengelige und faserige Textur: parallel-, radial- und verworren-stengelig oder -faserig.

Nach der Verwachsungsart der Individuen ist die Textur fest, locker oder zerreiblich. Bisweilen sind auch in der Masse eines Aggregats Zwischenräume zu erkennen, welche dann gewöhnlich eine drusige Oberfläche haben, und die porose oder cavernose Textur, im Gegensatz der compacten Textur bedingen.

Die Aggregate des zweiten und dritten Grades lassen ausser der Textur der sie zusammensetzenden einfachen Aggregate auch noch eine ihnen eigenthümliche Structur wahrnehmen, welche wesentlich durch die Form, Lage und Verbindungsweise dieser einfachen Aggregate bestimmt wird, und gewöhnlich als krummschalige oder als grob- und grosskörnige Structur erscheint.

Hierher gehört die sogenannte doppelte Structur, in welcher eine Vereinigung von Textur und Structur stattfindet, und die dreifache Structur, welche eigentlich eine doppelte ist, und allemal ein dreifaches Aggregat voraussetzt. Da die Verhältnisse der Structur von der Form der einfachen Aggregate abhängig sind, so müssen wir nun zunächst diese in Betrachtung ziehen.

2. Formen der krystallisirten Aggregate.

§ 74. **Krystallgruppe.** Die Formen der im freien oder halbfreien Raum deutlich auskrystallisirten Aggregate lassen sich wesentlich auf die Krystallgruppe und Krystalldruse zurückführen. Eine Krystallgruppe ist ein Aggregat vieler, um und über einander ausgebildeter Krystalle, welche eine gewisse Regel der Anordnung zeigen und sich gegenseitig dergestalt unterstützen, dass nur wenige Punkte als die Stützpunkte des Ganzen erscheinen. Die Vorkommnisse werden als eingewachsene und aufgewachsene Krystallgruppe unterschieden.

a) Bei eingewachsenen oder freien, ursprünglich schwebend gebildeten Krystallgruppen liegen die Stützpunkte im Mittelpunkt der Gruppe, von welchem aus sich die Krystalle nach allen Richtungen ausbreiten, z. B. Gruppen von Gypskrystallen im Thon, von Kupferlasur im Sandstein. Nach der besonderen, z. Th. in wiederholter Aggregation begründeten Gestalt erscheinen sie als kugelige, ellipsoidische, sphäroidische, traubige, nierförmige, knollige, garbenförmige und unregelmässige Krystallgruppen.

b) Bei aufgewachsenen oder halbfreien Krystallgruppen liegen die Stützpunkte an der Grenze der Gruppe auf einer fremdartigen Unterlage, oberhalb welcher sich

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

die Krystalle ausbreiten. Auch bei ihnen kommen im Allgemeinen die kugeligen, traubigen, nierförmigen, knolligen und unregelmässigen Formen zur Unterscheidung, obwohl solche in der Regel nur mit der oberen Hälfte ausgebildet sind.

Ausserdem aber entwickeln sich nach Maassgabe des besonderen Formentypus der Individuen noch folgende besondere äussere Gestalten der Krystallgruppe:

α) Bei isometrischem oder körnigem Typus der Krystalle zeigen dieselben in den freien oder aufgewachsenen Gruppen bisweilen eine reihenförmige, treppenförmige oder auch eine kugelige, halbkugelige Anordnung.

β) Bei tafelartigem Typus sind die Krystalle gewöhnlich auf die Weise gruppirt, dass sie von einer Linie, wie von einer gemeinsamen Axe aus divergiren, während ihre breiten Seitenflächen einander zugewendet sind, was nothwendig mit einer keilartigen Verschmälerung jedes Krystalls nach der Gruppirungsaxe hin verbunden ist. Die so gebildeten Gruppen erscheinen keilförmig, fächerförmig (Prehnit), radförmig (Glimmer), mandelförmig, wulstförmig, cylindrisch oder doppelt kegelförmig. — Selten sind tafelartige Krystalle so verbunden, dass ihre breiten Seitenflächen beiderseits in eine Ebene fallen, wodurch bei divergirender Stellung die kamm- und radförmigen Gruppen entstehen (Baryt). — Ordnen sich tafelartige Krystalle rings um einen Mittelpunkt, so bilden sie rosettenförmige Gruppen (Eisenglanz).

γ) Bei stengeligem Typus sind die Krystalle entweder parallel oder divergirend zusammengewachsen; im ersteren Falle entstehen bündelförmige Gruppen, im anderen Falle, welcher meist mit einer Verschmälerung jedes Individuums nach dem Gruppirungscentrum hin verbunden ist, büschelförmige, oder auch sternförmige, kugelige und halbkugelige Krystallgruppen.

§ 75. **Krystalldruse.** Unter einer Krystalldruse versteht man ein Aggregat vieler neben einander gebildeter Krystalle, welche sich, ohne eine bestimmte Anordnung, auf eine gemeinschaftliche Unterlage dergestalt stützen, dass ihre Stützpunkte auf der ganzen Unterlage vertheilt sind. Die Druse hat sich entweder aus ihrer Unterlage heraus, oder blos auf ihrer Unterlage gebildet: im ersteren Falle ist die Unterlage gleichartig mit der Druse, welche dann nur aus den letzten, frei ausgebildeten Individuen derselben Mineralart besteht, deren Individuen weiter abwärts ein körniges, lamellares oder stengeliges Aggregat bilden, in welchem dieselben gewissermassen wurzeln. Im zweiten Falle ist die Unterlage meist ungleichartig, bald aber auch gleichartig mit der Druse.

Die Form der Drusen richtet sich im Allgemeinen nach der Form desjenigen Raumes, dessen Begrenzungsfläche ihre Unterlage bildet; sie ist also ganz zufällig, bald eben, bald uneben, gewöhnlich sehr unregelmässig und oft von allen Seiten umschlossen (Drusenhöhle). Bildet die Unterlage einen hohlen sphäroidischen Raum, so nennt man die Druse eine Geode, dergleichen in den grösseren Blasenräumen der Mandelsteine nicht selten zur Ausbildung gelangt sind (Quarz, Calcit, Zeolithe). Wenn die Druse nur aus einer Lage vieler kleiner, aber ziemlich gleich grosser, dicht neben einander stehender Krystalle besteht, so bildet sie eine drusige Kruste oder einen Ueberzug ihrer Unterlage, welcher die Form dieser letzteren noch deutlich erkennen lässt, und, wenn die Krystalle sehr klein sind, nur noch als eine Drusenhaut erscheint. Sehr häufig sind grössere Krystalle eines anderen Minerals mit einer solchen Drusendecke oder Drusenkruste überzogen, welche die Formen der umhüllten Krystalle noch mehr oder weniger erkennbar zur Schau trägt. Hat sich eine Druse oder überhaupt eine krystallinische Masse über einer anderen, früher vorhandenen Druse gebildet, so wird sie auf ihrer Unterfläche die Eindrücke der Krystalle dieser älteren Druse zeigen müssen, welche Eindrücke als freie Hohlabdrücke solcher Krystalle erscheinen werden, wenn die ältere Druse später zerstört worden ist.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

3. Freie Formen der mikrokrystallinischen Aggregate.

§ 76. **Einfache Aggregationsformen.** Die, zwar noch kenntlich krystallinischen, aber nicht mehr deutlich auskrystallisirten Aggregate bestehen in der Regel aus sehr kleinen Individuen, welche nach Maassgabe ihres besonderen Formentypus als feine Körner, als Schuppen, oder als feine Nadeln und Fasern erscheinen, dicht aneinander gedrängt sind, und daher eine körnige, eine schuppige, oder eine faserige Textur des Aggregats bedingen. Verkleinern sich die Individuen immer mehr, so hören sie endlich auf, unterscheidbar zu sein; die Textur verschwindet, und das Aggregat wird kryptokrystallinisch.

Die im freien (oder doch wenigstens im einseitig freien) Raum gebildeten Formen solcher mikrokrystallinischen und kryptokrystallinischen Aggregate erscheinen sehr häufig als Aggregationsformen des zweiten und dritten Grades (§ 72), sind in ihrer allgemeinen Ausdehnung nicht selten abhängig von der Schwerkraft, finden aber ausserdem ihre Erklärung in den Verhältnissen der Krystallgruppe und Krystalldruse. Die ihnen zu Grunde liegenden Aggregationsformen des ersten Grades sind entweder um einen Punkt, oder längs einer Linie, oder auch über einer Fläche zur Ausbildung gelangt, und stellen daher im Allgemeinen entweder kugelige, oder langgestreckte, oder flach ausgebreitete Formen dar.

Die Kugeln haben sich bisweilen ganz frei gebildet, und erscheinen dann als vollständige Kugeln (Erbsenstein, Oolith). Häufiger entstanden sie auf einer Unterlage, und erweisen sich nur als Halbkugeln, oder, wenn sich viele neben einander bildeten, als unregelmässige Kugelausschnitte, welche in ihrer Vereinigung eine mehr oder weniger starke Decke von nierförmiger Oberfläche darstellen, die eigentlich schon eine Aggregationsform des zweiten Grades ist. — Die langgestreckten Formen sind entweder cylindrisch, und dann meist gerade, selten zackig gewunden (Eisenblüthe); oder sie sind kegelförmig, zapfenförmig, keulenförmig und kolbenförmig gestaltet. Bisweilen erscheinen sie hohl oder röhrenförmig. — Die flach ausgebreiteten Formen stellen Krusten, Schalen, Ueberzüge oder Decken dar, von ebenflächiger oder krummflächiger Ausdehnung, in welcher Hinsicht sie ganz abhängig von der Form ihrer Unterlage sind. Ist oder war diese Unterlage ein Krystall, so zeigen dergleichen Krusten krystallähnliche Formen, welche man Umhüllungs-Pseudomorphosen genannt hat. Diese Krystallkrusten sind nicht selten hohl, wenn nämlich der Krystall, um welchen sie sich gebildet hatten, später zerstört und weggeführt worden ist. Uebrigens werden die aus mikro- und kryptokrystallinischen Mineralien bestehenden Krusten und Decken, wenn sie sich über früher vorhandenen Drusen bildeten, auf ihrer Unterfläche dieselben Krystalleindrücke zeigen müssen, welche oben S. 170 bei der Krystalldruse erwähnt worden sind.

Ueber die Textur dieser Aggregationsformen ist noch zu bemerken, dass, bei faseriger Form der Individuen, in den kugeligen Formen eine radiale, in den cylindrischen Formen eine um die Axe symmetrisch geordnete und auf sie rechtwinkelige, in den Krusten eine gegen die Unterlage rechtwinkelige Stellung der Individuen stattzufinden pflegt. In den zackig gewundenen Formen der Eisenblüthe stehen jedoch die Individuen schiefwinkelig auf der Axe.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die meisten langgestreckten und flach ausgebreiteten Aggregationsformen haben sich aus einer Flüssigkeit, während des freien Herabtröpfelns oder auch tropfenweisen Abfliessens derselben gebildet, weshalb man sie auch unter dem gemeinschaftlichen Namen von Stalaktiten oder stalaktitischen Formen (Tropfsteinen) zusammenfasst. Die langgestreckten Formen sind daher in ihrer Längsausdehnung gewöhnlich vertical, wenn sie sich noch in ihrer ursprünglichen Lage befinden. — Sehr merkwürdig sind cylindrische, röhrenförmige, zapfenförmige Gestalten, deren Spaltungsverhältnisse beweisen, dass sie nur aus einem einzigen Individuum bestehen.

Zu den ganz eigenthümlichen mikrokrystallinischen oder auch kryptokrystallinischen Aggregaten gehören endlich auch diejenigen, welche zumal an einigen gediegenen Metallen (namentlich Gold, Silber, Kupfer und Wismut), an ein paar Metallverbindungen (Silberglanz und Speiskobalt, namentlich schön an dem mikroskopischen Magneteisen in den Gesteinen), zum Theil auch an künstlich dargestellten Salzen (z. B. an Salmiak) vorkommen, und mit der Krystallform dieser Körper im genauesten Zusammenhang stehen. Sie setzen reguläre, oder doch wenigstens solche Krystallformen voraus, welche einen isometrischen Typus der Individuen gestatten, und sind wesentlich in einer reihenförmigen oder linearen Gruppirung der Individuen begründet, bei welcher sich dieselben durchaus in paralleler oder auch in zwillingsmässiger Stellung befinden. Diese linearen Aneinanderreihungen erfolgen dabei nach den Axenrichtungen (vgl. S. 149).

Sind die Individuen sehr klein und mit einander sehr innig verwachsen, so erscheinen diese Aggregate als haarförmige oder drahtförmige, gewöhnlich mehr oder weniger gekrümmte und gekräuselte Gestalten. Oft sind mehre solche Aggregate entweder parallel um eine Axe, oder in einer Ebene nach zwei und mehren Richtungen, oder auch im Raum nach drei Richtungen mit einander verwachsen, und so entstehen die zähnigen, baumförmigen, federförmigen, blechförmigen, blattförmigen, ästigen und gestrickten Gestalten, welche alle mehr oder weniger eine krystallographische Gesetzmässigkeit der Zusammensetzung erkennen lassen, und nicht selten mit einer einseitigen Verlängerung der Individuen verbunden sind. Bei den Blechen des gediegenen Goldes befinden sich die obere und untere Hälfte zu einander in Zwillingsstellung: die Hauptausdehnungsfläche der Bleche ist die oktaëdrische Zwillingsfläche. Die gestrickten Gestalten erinnern an die S. 149 erwähnten Krystallskelette.

§ 77. **Mehrfache Aggregationsformen.** Mit allen, in dem vorhergehenden Paragraph beschriebenen Formen ist nun sehr gewöhnlich eine Wiederholung der Aggregation verbunden, indem sich auf der Oberfläche des zuerst gebildeten Aggregats eine Schale oder Kruste absetzte, in welcher sich die Gestalt dieser Oberfläche wiederholt. Nicht selten liegen viele dergleichen ähnlich gestaltete Schalen übereinander, deren Ablagerungsflächen theils durch wirkliche Ablosungen bezeichnet, theils nur durch einen Wechsel der Farbe angedeutet sind. So entstehen Kugeln, Halbkugeln und Kugelausschnitte von concentrisch schaliger Structur; cylindrische, zapfenförmige, kegelförmige, keulenförmige, kolbenförmige Aggregate von ähnlich gestalteter krummschaliger Structur; Krusten und Ueberzüge von gerad- oder krummschaliger Structur.

Eine andere Art der Wiederholung ist darin begründet, dass viele Kugeln oder Kugelausschnitte, theils von einfacher, theils auch von zweifacher Zusammensetzung über und neben einander gruppirt sind. Es entstehen dadurch mancherlei zusammengesetzte Gestalten und Structuren, von welchen besonders die (bisweilen

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ausgezeichneten) traubigen und nierförmigen Gestalten, sowie die oolithische und pisolithische Structur und die Glaskopfstructur zu erwähnen sind. — Auch die langgestreckten stalaktitischen Formen finden sich in der Regel zu neuen Aggregaten versammelt; gewöhnlich sind sie alle parallel gestellt, und bilden in dieser Vereinigung parallele Systeme von Cylindern, Zapfen, Kolben u. dgl., welche an ihren oberen Enden oft mit einander verwachsen sind. Die kürzeren kegelförmigen Aggregate sind wohl bisweilen zu knospenförmigen, straussförmigen, staudenförmigen Gestalten verbunden u. s. w.

Ueberhaupt finden sich die Gruppirungen der stalaktitischen Formen in grosser Manchfaltigkeit ausgebildet, und nicht mit Unrecht hat man daher neben den Krystallgruppen und Krystalldrusen auch Stalaktitengruppen und Stalaktitendrusen unterschieden, weil die stalaktitischen Formen der mikro- und kryptokrystallinischen Mineralien auf ähnliche Weise und nach ähnlichen Gesetzen mit einander verbunden zu sein pflegen, wie die Krystalle der krystallisirten Aggregate.

Bei der Glaskopfstructur finden sich häufig ebene und glatte, z. Th. spiegelnde Absonderungsflächen, nach welchen sich das ganze Aggregat in keilförmige Stücke zerschlagen lässt; diese Absonderungsflächen scheinen die einzelnen, radial-faserigen Systeme von Individuen zu trennen, deren jedes für sich einem besonderen Mittelpunkt der Aggregation entspricht, von welchem aus die Bildung eines Kugelausschnittes eingeleitet und mehr oder weniger weit vollendet worden ist.

4. Formen der im beschränkten Raum gebildeten Aggregate.

§ 78. **Allgemeine Verhältnisse derselben.** Die im beschränkten Raum gebildeten Formen werden allerseits von fremdartiger Mineralmasse umschlossen und laufen an ihren Grenzen nirgends in Krystallspitzen aus, selbst wenn sie krystallinisch grosskörnig ausgebildet sind: letzteres Merkmal geht freilich bei kryptokrystallinischen Mineralien verloren. Sie sind theils von gleichzeitiger Ausbildung mit der umschliessenden Masse, theils spätere Ausfüllungen von hohlen Räumen (Klüften, Spalten, Blasenräumen) und enthalten nicht selten in ihrem Inneren selbst hohle Räume, welche zur Ausbildung von Drusen Gelegenheit gaben. Im Folgenden ist von den grösseren, der Gebirgswelt angehörigen Formen dieser Art (Schichten, Lager, Stöcke, Gänge u. s. w.) abgesehen und nur die Erscheinungsweise der kleineren Gestaltungen berücksichtigt worden.

§ 79. **Wichtigste Arten derselben.** Das einzeln eingewachsene, aber durch die umgebende Masse in seiner Ausbildung gehemmte und gestörte Individuum kann den Ausgangspunkt für die Betrachtung dieser Formen liefern. Dergleichen Individuen erscheinen als rundliche, längliche oder platte, ganz unregelmässig gestaltete Körper, welche individualisirte Körner oder Massen genannt werden können, je nachdem sie kleiner sind, oder schon eine bedeutendere Grösse besitzen. Sind nun viele solche Individuen zu einem Aggregat vereinigt, so werden sie in ihrer Ausbildung theils gegenseitig, theils durch die umgebende Masse behindert worden sein, und dann entstehen Formen, welche bei ungefähr isometrischem Typus als derb und eingesprengt bezeichnet werden, je nachdem sie etwa grösser oder kleiner als eine Haselnuss sind[1]). Das Eingesprengte kann bis

1) Derb nennt man oft auch jedes, von einer grösseren Masse abgeschlagene und aus Individuen derselben Art bestehende Stück Mineral.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

zu mikroskopischer Kleinheit herabsinken, in welchem Falle aber ein jedes eingesprengte Theilchen nur einem Individuum zu entsprechen pflegt.

Interessant sind die in manchen Mandelsteinen vorkommenden Kalkspathmandeln, welche sich durch ihre stetige Spaltbarkeit als einzelne Individuen zu erkennen geben, obwohl ihre äussere Form durch die Gestalt des Blasenraums bestimmt wurde, innerhalb dessen sie sich gebildet haben.

Rundliche, eiförmige, mandelförmige Aggregate entstehen durch gänzliche oder theilweise Ausfüllung von übereinstimmend gestalteten Hohlräumen. Ist eine Dimension des Aggregats sehr klein gegen die beiden anderen Dimensionen, so liegen platte Formen vor, welche nach der besonderen Beschaffenheit Platten, Lagen, Trümer, Adern, Anflug genannt werden.

Diese Anflüge erscheinen als ganz dünne, auf fast geschlossenen Klüften und Fugen abgesetzte Lamellen oder Membranen, finden sich nicht selten bei mehren gediegenen Metallen, und sind den Dendriten sehr nahe verwandt.

Alle diese Formen können sowohl bei phanerokrystallinischer, als auch bei kryptokrystallinischer Ausbildung vorkommen. Im ersteren Falle werden sie eine Textur erkennen lassen, welche dieselben allgemeinen Verschiedenheiten zeigen kann, wie solche im § 73 betrachtet worden sind. Während aber das Derbe und Eingesprengte nur eine regellos körnige, schalige oder stengelige Textur besitzt, so findet sich in den Platten und Trümern, wenn solche aus schaligen und blätterigen, oder aus stengeligen und faserigen Individuen bestehen, eine parallele Anordnung derselben, indem die Längsaxen der Blätter oder Fasern auf den Seitenflächen der Platten und Trümer völlig oder doch beinahe rechtwinkelig stehen.

5. Formen der amorphen Aggregate.

§ 80. **Wichtigste Arten derselben.** Die amorphen Mineralien sind theils tropfbarflüssig, theils fest, in beiden Fällen aber ohne alle Spur von Individualisirung, daher auch ohne alle Textur. Die flüssigen Mineralien insbesondere, welche nur in Tropfenform auftreten, besitzen auch keine Structur. Dagegen können bei den porodinen und hyalinen Mineralien dieselben Structuren vorkommen, wie bei den kryptokrystallinischen, indem durch den wiederholten Absatz derselben amorphen Substanz parallele und concentrische Lagen gebildet wurden, welche sich vielfach umschliessen und zu den manchfaltigsten Gestalten vereinigen. Die Ablagerungsflächen sind auch bei ihnen theils durch wirkliche Absonderung bezeichnet, theils nur durch eine, den successiven Absätzen entsprechende Verschiedenheit der Farbe zu erkennen (Opal, Eisensinter, Kupfergrün). — Was die Formen selbst betrifft, so erscheinen die im freien Raum gebildeten bei einfacher Ablagerung als kugelige, halbkugelige, knollige, tropfenförmige, cylindrische, zapfenförmige, krustenartige Gestalten; bei wiederholter Ablagerung als undulirte Ueberzüge und Decken, als traubige, nierförmige, stalaktitische Gestalten von sehr verschiedener Grösse und Figur, wobei auch wohl Ueberzüge über Krystallen gebildet wurden. Die im beschränkten Raum entstandenen dagegen lassen besonders derbe und eingesprengte, knollige und sphäroidische, auch plattenförmige und trümerartige Gestalten erkennen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Auf engen Klüften oder Fugen der Gesteine bilden sich häufig durch Infiltrationen von Wasser, welches Metallsalze aufgelöst hält, die sog. Dendriten, feine und z. Th. äusserst zierliche baum- oder strauchähnliche Zeichnungen, welche schon *Scheuchzer* 1709 sehr richtig für das erkannte, was sie sind (*tinctura arborifica*), obgleich sie auch später noch oft für Pflanzenabdrücke gehalten wurden. Es sind besonders Eisenoxydhydrat, Eisenoxyd und Manganoxyde, welche dergleichen Dendriten bilden, daher sie bald gelb oder braun, bald roth, bald schwarz erscheinen. Sie sind nur oberflächliche, auf beiden Wänden fast geschlossener Fugen oder Klüfte, unter Mitwirkung der Capillarität entstandene Zeichnungen, bei denen das Pigment gewöhnlich sehr dünn, bisweilen auch relativ dick aufgetragen ist. Es kommen aber auch körperliche Dendriten vor, welche sich innerhalb einer Mineral- und Gesteinsmasse nach allen Richtungen ausbreiten. Zu den körperlichen Dendriten gehören auch die pflanzenähnlichen Einschlüsse der sog. Moosachate, welche, wenn sie grün erscheinen, von Grünerde oder Chlorit gebildet zu sein scheinen und ebenfalls früher vielfach irrthümlicher Weise für wirkliche vegetabilische Petrefacte gehalten wurden. Uebrigens sind wohl viele Dendriten kryptokrystallinischer Natur.

6. Von den Pseudomorphosen.

§ 81. **Allgemeine Verhältnisse derselben.** Zu den merkwürdigsten Erscheinungen des Mineralreichs gehören die Pseudomorphosen. So nennt man nämlich diejenigen krystallinischen oder amorphen Mineralkörper, welche ohne selbst Krystalle zu sein, die Krystallform eines anderen Minerals zeigen[1]). Diese Krystallformen der Pseudomorphosen sind meist sehr wohl erhalten und leicht erkennbar, ja zuweilen ganz scharfkantig und glattflächig[2]). Zerschlägt man aber eine Pseudomorphose, so erkennt man, dass sie keineswegs aus einem Individuum der ihrer Form entsprechenden Mineralart, sondern meist aus einem körnigen, faserigen, blätterigen oder dichten Aggregat einer ganz anderen Mineralart besteht. Die Krystallform einer Pseudomorphose, welche dem sie

1) Früher wurden sie auch Afterkrystalle genannt; der Name Pseudomorphose stammt von *Haüy*. Unter ihm wurden von Anfang an Gebilde zusammengefasst, welche sich später als auf sehr abweichendem Wege entstanden herausgestellt haben. Wäre nicht die Bezeichnung Pseudomorphosen somit ein Sammelname für Körper, welche ihre Eigenthümlichkeit zum Theil auf rein mechanischem Wege erlangt haben, so würde es mit Rücksicht auf den anderen umfangreicheren Theil wohl gerechtfertigt erscheinen, das folgende Kapitel in demjenigen Hauptstück, welches sich mit den Umbildungsvorgängen der Mineralien befasst, zu behandeln. Sie finden sich hier an dieser Stelle besprochen, weil sie sämmtlich zu den Aggregaten gehören.

Zusammenfassendes über die Pseudomorphosen findet sich (abgesehen von fast unzähligen einzelnen Mittheilungen) in:

Breithaupt, Ueber die Echtheit der Krystalle, Freiberg 1815.
Haidinger, Annal. d. Phys. u. Chemie, Bd. 11, S. 173, 366; Bd. 62. 1844. S. 161.
Landgrebe, Die Pseudomorphosen im Mineralreich, Kassel 1841.
R. Blum, Die Pseudomorphosen des Mineralreichs, Stuttgart 1843; nebst vier Nachträgen dazu aus den Jahren 1847, 1852, 1863 und 1879; die reichhaltigste Fundgrube für alles damals Bekannte.
Th. Scheerer, Artikel »Afterkrystalle« im Handwörterbuch d. reinen u. angewandten Chemie, 2. Aufl., 1857.
Delesse, Recherches sur les pseudomorphoses, Ann. des mines [5], tome XVI. 1859. 317.
G. Bischof, Lehrbuch d. chemischen u. physikalischen Geologie, 2. Aufl. Bonn, I. 1863, II. 1864.
Eugen Geinitz, N. Jahrb. f. Miner. 1877. 449; Miner. u. petrogr. Mittheil. 1879. 489.
J. Roth, Allgemeine u. chemische Geologie, Berlin I. 1879.

2) An dem Dasein einer äusseren Krystallform muss wohl bei dem Begriff der Pseudomorphosen festgehalten werden. Verändern sich traubige oder nierförmige Massen von Rotheisen unter Erhaltung der Gestalt und Textur in Brauneisen, oder blätterige Aggregate von Gyps in Aragonit, so ist dies nur eine Umwandlungserscheinung, aber nicht — wie *Haidinger* und *Tschermak* wollen — eine Pseudomorphose.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

aufweisenden Mineral nicht zukommt, ist nur das rückständige Monument des ursprünglichen und oft spurlos verschwundenen Krystalls, um welchen, in welchem, oder aus welchem die Pseudomorphose entstanden ist. Einer fremden Substanz also, deren Dasein stets der Ausbildung der Pseudomorphose vorangehen musste, verdanken diese Formen ihre Existenz, nicht der eigenen, freiwilligen Krystallisationskraft des pseudomorphen Minerals.

Nach ihrer verschiedenen Entstehung und Beschaffenheit lassen sich die Pseudomorphosen zuvörderst als hypostatische und metasomatische Pseudomorphosen unterscheiden. Die hypostatischen Pseudomorphosen sind solche, welche durch den, von den Begrenzungsflächen eines Krystalls aus mechanisch erfolgten Absatz eines fremdartigen Minerals entstanden; die metasomatischen Pseudomorphosen dagegen solche, die vermöge der substantiellen Umwandlung eines Krystalls, vermöge der chemischen Ersetzung seiner Substanz durch eine andere, und zwar unter Beibehaltung seiner Form, gebildet wurden.

Die hypostatischen Pseudomorphosen haben sich von den Begrenzungsflächen des Krystalls aus entweder nach aussen, oder nach innen (oder nach beiden Richtungen hin) gebildet, und man unterscheidet demnach Umhüllungs-Pseudomorphosen und Ausfüllungs-Pseudomorphosen.

§ 82. **Umhüllungs- und Ausfüllungs-Pseudomorphosen.** Die Umhüllungs-Pseudomorphosen sind wesentlich nichts anderes, als die in den §§ 75 und 79 erwähnten abformenden Krusten, welche irgend ein Mineral über den Krystallen eines anderen Minerals bildete; doch pflegt man nur die dünneren, mikrokrystallinischen, kryptokrystallinischen oder amorphen Krusten, deren Oberfläche die Form des umhüllten Krystalls deutlich wiedergibt, als Pseudomorphosen zu bezeichnen. Sie sind zuweilen papierdünn, haben meist eine drusige, rauhe, fein nierförmige oder gekörnte Oberfläche, und umschliessen oft noch den umhüllten Krystall, wie eine Schale den Kern. Sofern aber an diesem Krystall mit seinem Ueberzug keine weiteren Veränderungen vorgegangen sind, kann man den letzteren kaum als eine Pseudomorphose im strengsten Sinne des Wortes bezeichnen.

Sehr häufig ist jedoch dieser Krystall durch einen späteren Auflösungsprocess, welcher die Umhüllung verschonte, gänzlich oder theilweise zerstört und entfernt worden, und dann können zweierlei verschiedene Verhältnisse stattfinden.

1) Entweder ist der dadurch frei gewordene Krystallraum leer geblieben, und die Innenseite der Umhüllungs-Pseudomorphose stellt dann einen vollkommenen negativen Abdruck der Krystallform dar.

Auf Gängen ist diese Ueberkrustung und spätere Wegführung des inneren Krystalls eine sehr gewöhnliche Erscheinung; hauptsächlich ist es der Quarz, welcher in dünnen Rinden andere Krystalle, z. B. Kalkspath, Eisenspath überzieht, und wegen seiner Widerstandsfähigkeit bei nachfolgenden Auflösungsvorgängen als Hülle von fremder erborgter Gestalt übrig blieb.

2) Oder es gab der entstandene leere Raum Gelegenheit zum Absatz neuer Substanz an der Innenseite der Umhüllungs-Pseudomorphose, wodurch dieselbe zuweilen gänzlich, gewöhnlich aber nur theilweise ausgefüllt wurde, indem diese innere Bildung zuletzt mit einer kleinen Krystall- oder Stalaktiten-Druse endigte. Eine derartige Ausfüllungs-Pseudomorphose setzt demnach stets das Dasein

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

einer früher gebildeten Umhüllungskruste voraus und besitzt äusserlich ebenfalls nur eine entliehene, nicht selbständige Form.

Man hat also bei dieser Combination einer Umhüllungs- und Ausfüllungs-Pseudomorphose vier Acte zu unterscheiden: Bildung des ursprünglichen Krystalls, Ueberkrustung desselben, Fortführung des Krystalls, Ausfüllung des Hohlraums durch eine andere Substanz. Allerdings ist somit zu ihrer Entwickelung eine immerhin complicirte Reihe von Processen erforderlich, von Vorgängen aber, welche keineswegs so schwierig denkbar oder so unwahrscheinlich sind, dass man deshalb die Existenz von Ausfüllungs-Pseudomorphosen überhaupt gänzlich in Abrede zu stellen berechtigt wäre, wie dies früher wohl geschehen ist. Man erwäge nur, dass sich in den Niederschlägen der Gangräume oft eine vielfache Succession und Repetition sehr verschiedenartiger Substanzen zu erkennen gibt, welche beweist, dass die, auf einer und derselben Gangspalte circulirende Mineralsolution im Lauf der Zeit eine sehr verschiedenartige Beschaffenheit hatte, und daher noch weit mehr als vier verschiedene Acte der Bildung und Zerstörung nach einander bedingen konnte.

Die Substanz, welche den leeren Raum ausfüllte, ist in den meisten Fällen dasselbe Mineral, aus welchem auch die Hülle besteht, oder eine Varietät desselben; hier fand also eine successive Repetition des Absatzes statt, unterbrochen durch die Auflösung des überrindeten Krystalls. Bisweilen gehören aber auch Umhüllungs- und Ausfüllungs-Pseudomorphosen verschiedenen Mineralien an. Für die Ausfüllungs-Pseudomorphosen ist es charakteristisch, dass die auf der Innenseite der Hülle gebildeten Individuen eine einwärts gewandte Stellung besitzen.

Wenn später auflösende Substanzen auf die ausgefüllte Umhüllungs-Pseudomorphose einwirkten, so konnte, sofern Schale und Kern demselben Mineral angehörten, nicht die erstere weggeführt werden, ohne dass auch der letztere zerstört worden wäre. Bestanden sie dagegen aus verschiedenen Mineralien, so mochte der Fall eintreten, dass nur die Hülle dem Lösungsprocess unterlag und verschwand, während die Ausfüllung davon nicht angegriffen wurde. Alsdann bleibt also nur noch die Ausfüllungs-Pseudomorphose erhalten, und man würde sie gar nicht von einer directen Umwandlung des ursprünglichen Krystalls unterscheiden können, wenn nicht die Geschichte ihrer Bildung innerhalb eines Hohlraums durch die einwärts gekehrte Richtung ihrer Individuen und durch die öftere Anwesenheit von Drusen im Inneren erwiesen würde.

§ 83. **Umwandlungs-Pseudomorphosen.** Eine Umwandlungs-Pseudomorphose ist eine solche, welche durch die innere Umwandlung eines krystallisirten Minerals in ein anderes, krystallinisches oder amorphes Mineral entstanden ist, ohne dass dabei die äussere Form des ursprünglichen Minerals verloren ging. Diese Umwandlung ist in den allermeisten Fällen eine substantiell-chemische; nur äusserst selten handelt es sich dabei um eine blose Veränderung oder Umlagerung der Molecüle bei gleichgebliebenem chemischen Analysenresultat. Da nun diese Umwandlung gewöhnlich an der Oberfläche beginnt, und allmählich weiter einwärts dringt, so findet man gar nicht selten im Inneren einer solchen Pseudomorphose noch einen unveränderten Kern des ursprünglichen Minerals, aus dessen Zersetzung die Pseudomorphose hervorgegangen ist; Fig. 298 ist ein Schnitt durch einen Krystall

Fig. 298.

von Olivin, von welchem innerhalb des serpentinischen Umwandlungsproducts noch Reste conservirt geblieben sind. Diese nur partielle Alteration ist deshalb besonders wichtig, weil durch sie die Natur des veränderten Minerals noch sicherer festgestellt wird, als es durch die alleinige Deutung der äusseren Pseudomorphosenform geschehen kann. In manchen Fällen ist sogar die Spaltbarkeit des ursprünglichen Minerals noch mehr oder weniger erhalten geblieben, wie z. B. in den Pseudomorphosen von Gyps nach Anhydrit[1]), von Aragonit nach Gyps, von Brauneisen nach Eisenspath u. s. w.

Alle genaueren Untersuchungen vereinigen sich dahin, dass der Stoffwechsel, um welchen es sich hier handelt, in erster Linie durch das in feinster Vertheilung hinzutretende und verschiedene Substanzen gelöst enthaltende Wasser herbeigeführt wird.

Früher in den alten Mineraliensammlungen nur als ein zufälliges schliessliches Anhängsel in ein Armsünderschränkchen verbannt, als ein verwahrlostes Häuflein seltsamer und sinnloser Missgeburten mit viel Verwunderung und wenig Nutzen betrachtet, bilden die Umwandlungs-Pseudomorphosen schon seit geraumer Zeit den Gegenstand grossen wissenschaftlichen Interesses und eines eifrigen Studiums, welches auch für die Geologie zu so bedeutsamen Resultaten geführt hat, dass der Einfluss jener unscheinbaren Gebilde auf ganze grosse Kapitel dieser Wissenschaft unverkennbar ist. Denn sie vermitteln uns die Erkenntniss und Specialisirung der gesetzmässig verlaufenden chemischen Processe, welche in dem grossen Laboratorium der äusseren Erdkruste thätig sind.

So nachdrücklich und erfolgreich haben übrigens diese Alterationsvorgänge nachgewiesenermassen oftmals gespielt, dass alle die unzähligen Individuen eines Minerals auf einer local begrenzten Lagerstätte, z. B. einem Erzgang, sammt und sonders bis auf das letzte in eine andere Substanz umgewandelt sind, so dass nur in ihrer gegeretteten Form das Andenken an ihr früheres Vorhandensein dort aufbewahrt wird.

Die alte Form ist mitunter ganz vorzüglich erhalten: die Kantenwinkel sind nur von höchst geringfügigen Veränderungen in ihrem Werth oder in ihrer Schärfe betroffen worden und charakteristische Oberflächenerscheinungen, z. B. die oscillatorische Combinationsstreifung, bisweilen völlig unverwischt geblieben. Die Reinheit, in welcher bei sehr vielen Pseudomorphosen die ursprüngliche Form gewahrt blieb (z. B. Quarz nach Datolith, Brauneisenerz nach Eisenkies), deutet darauf hin, dass es wahrscheinlich sehr verdünnte wässerige Auflösungen waren, welche in langen Zeiträumen allmählich die Veränderung bewirkten.

Die pseudomorphe Umbildung ist nur ein ganz specieller Fall der grossartigen chemischen Veränderungsvorgänge im Mineralreich, derjenige nämlich, bei welchem während und trotz der Metamorphose die äussere Gestalt erhalten blieb. Tausendfältig häufiger sind der Natur der Sache gemäss die wenn auch eben so gesetzlich, dann doch weniger exact und vorsichtig verlaufenden Processe, durch welche neben der alterirten chemischen Beschaffenheit auch die Krystallform des ursprünglichen Minerals entweder bis zur Unkenntlichkeit verunstaltet oder gänzlicher Zerstörung preisgegeben wurde.

Da wo bei der beginnenden materiellen Umwandlung ein Mineral neue Stoffe, wenn auch nur in spärlicher Menge in sich aufgenommen hat, mag der analysirende Chemiker leicht verleitet sein, dieselben für zufällig beigemengte Bestandtheile zu halten. Scheinbar unwesentlich und lästig, weil sie der Formelconstruction Schwierigkeiten bereiten, werden sie aber bedeutungsvoll, wenn man sie mit der Zusammensetzung der vollendeten Pseudomorphosen vergleicht und gewahrt, dass sie das erste

---

1) Nach dem Vorgang von *Blum* wird das Mineral, aus welchem die Pseudomorphose jetzt besteht, zuerst, darauf, durch »nach« verbunden, das ursprüngliche genannt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Stadium des Uebergangs in ein anderes Mineral bezeichnen. Das oft versuchte Einzwängen solcher unbestimmter Zwischenstufen in irgend eine chemische Formel hat natürlich keinen Sinn, und von diesem Gesichtspunkt aus betrachtet, mag der Selbständigkeit mancher sogenannter Mineralspecies ernstliche Gefahr drohen.

Etliche Mineralien sind sogar der Umwandlung in mehre abweichend geartete Producte fähig; einen solchen Ausgangspunkt für eine vielgliederige Reihe von verschiedenen pseudomorphen Mineralien bildet z. B. der Cordierit: der Pinit, Aspasiolith, der Gigantolith, Oosit, Pyrargyllit, Bonsdorffit, Fahlunit, Praseolith, Esmarckit, Chlorophyllit, Iberit — alle diese theils glimmerähnlichen, theils serpentinartigen wasserhaltigen Gebilde sind nichts weiter als ehemaliger Cordierit, der sich auf verschiedenen Stadien und in verschiedenen Richtungen der chemisch wohl zu verfolgenden Zersetzung befindet, dessen zwölfflächige Säulengestalt sie grösstentheils beibehalten und dessen halbfrische Ursubstanz sie vielfach als verschonten Kern noch einschliessen.

Bei der pseudomorphen Umwandlung liefern manche Mineralien nicht nur eine neue Substanz, sondern ein Gemenge von zweien oder mehren, wobei dann allerdings eine derselben vorzuwalten und die Bezeichnung zu liefern pflegt; so wandelt sich mancher Olivin in vorherrschenden Serpentin um, vermengt mit Brauneisenstein und Quarz. Bisweilen sind in solchen Fällen gewisse der spärlicher vorhandenen Substanzen selbst wieder weitere Umwandlungsproducte der vorwaltenderen. So erweisen sich auf den Turjinskischen Kupfergruben Pseudomorphosen von Kupferkies nach Kupferglanz aussen in Tenorit umgewandelt.

Die Umwandlung der Mineralkörper schreitet auf den verschiedensten Wegen gegen die frische Substanz vor, theils vorhandenen Spaltrissen, Sprüngen oder mikroskopischen Capillarspältchen, auch fremden Einschlüssen im Mineral folgend, theils sich nach der verschiedenen physikalischen Beschaffenheit im Inneren des Krystalls richtend; und zwar entweder in unregelmässigen körnigen, flockigen, blätterigen oder strahligen Partikelchen oder anderseits in Krystallcontouren erscheinend, welche bald dem Umwandlungsproduct, bald dem ursprünglichen Mineral eigenthümlich sind. In seltenen Fällen beginnt übrigens auch die Veränderung im Inneren der Krystalle, z. B. bei den zonenförmig-isomorph geschichteten Plagioklasen, deren Kern kieselsäureärmer und kalkreicher, deshalb leichter angreifbar ist, als die äusseren Schichten; oder wenn ein grosser Reichthum an Gasporen gerade im Inneren dort den Anfang der Umwandlung begünstigt.

Eine Combination von Umhüllungs- und Umwandlungs-Pseudomorphosen zeigen nach *Blum* Gebilde von Kautenbach bei Bernkastel; hier hat sich über Cerussitkrystallen eine papierdünne Lage von Bleiglanz abgesetzt, darüber Calcit, ebenfalls noch in der Form des Cerussits; später ist dann der innere Cerussit in Calcit umgewandelt worden.

Die Umwandlungs-Pseudomorphosen kann man in drei Gruppen bringen:

1) solche, bei welchen die ursprüngliche und die an ihrer Stelle befindliche Substanz chemisch identisch sind und die Umwandlung nur das Gefüge und physikalische Eigenschaften betroffen hat, sog. Paramorphosen;

2) solche, die zwar auf chemischer Umwandlung beruhen, bei welchen aber zwischen der ursprünglichen und der pseudomorphen Substanz noch ein chemischer Zusammenhang stattfindet, indem beide Massen einen oder mehre Bestandtheile gemein haben. Diese können gebildet sein durch:
   a) Verlust von Bestandtheilen,
   b) Aufnahme von Bestandtheilen,
   c) theilweisen Austausch von Bestandtheilen;

3) solche, bei welchen die chemischen Bestandtheile beider Substanzen

vermöge des stattgefundenen völligen Stoffaustausches gänzlich von einander verschieden sind (*Blum*'s Verdrängungs-Pseudomorphosen).

In den meisten Pseudomorphosen bildet das neue Mineral ein regelloses und verworrenes Aggregat von Individuen; in manchen Fällen aber behaupten diese epigenetischen Individuen eine parallele Stellung zu einander, und zugleich eine gesetzmässige Stellung zu der Krystallform des ursprünglichen Minerals.

Letzteres ist z. B. der Fall bei der Pseudomorphose von Aragonit nach Gyps (sog. Schaumkalk), indem die Verticalaxen und seitlichen Pinakoide beider Mineralien nach *G. Rose* einander parallel sind; oder bei der Pseudomorphose von Täfelchen des Baryts nach Barytocalcit, wo die Spaltfläche $\breve{P}\infty$ des Baryts parallel 0P des Barytocalcits und die Verticalaxe c des ersteren parallel der Orthodiagonale b des letzteren geht (*Mügge*). Bei der Pseudomorphose von Markasit nach Magnetkies liegen die Kryställchen des ersteren mit 0P auf den Prismenflächen des Magnetkieses und die brachydomatische Streifung des ersteren geht parallel der Randkante $0P : \infty P$ des Magnetkieses.

Die einzelnen der oben genannten Fälle erfordern specielle Erläuterung.

1) U.-Ps. (Paramorphosen), gebildet ohne Verlust und ohne Aufnahme von Stoffen, können nur bei einer dimorphen Substanz vorkommen, indem die eine Modification derselben durch eine zweite ersetzt worden ist; sie finden sich im Mineralreich an Anatas- und Arkansitkrystallen, die in Rutil, an Andalusitkrystallen, die in Disthen umgewandelt wurden; der Kohlenstoff des Diamants hat sich so in Graphit umgesetzt, das Schwefelquecksilber des regulären Metacinnabarits in tetartoëdrisch-hexagonalen Zinnober[1]).

Hält man sich an die oben gegebene Definition, so gehören die durch blose Stoffumsetzung entstandenen Paramorphosen mit in das Gebiet der Umwandlungs-Pseudomorphosen, schon deshalb, weil die ursprünglich vorhandene und die später an deren Stelle getretene Substanz, wenn sie auch bei der chemischen Analyse dasselbe Resultat geben, sich durch ihr specifisches Gewicht unterscheiden. Ein interessantes Beispiel liefern auch die aus geschmolzenem Schwefel künstlich dargestellten Krystalle, welche nach einiger Zeit von selbst, oder, mit Schwefelkohlenstoff befeuchtet, sogleich in ein Aggregat von rhombischen Krystallen übergehen, ohne jedoch ihre monokline Form dabei zu verlieren. Zu den Paramorphosen würden aber noch zu rechnen sein die Erscheinungen, welche Leucit, Boracit, Cristobalit darbieten, indem sich hier die reguläre Modification der Substanz unter Beibehaltung der chemischen Zusammensetzung in ein Aggregat von einer unter gewöhnlichen Verhältnissen stabileren, minder symmetrischen Modification umgesetzt hat, welche als solche in einfachen Krystallen nicht bekannt ist.

2a) U.-Ps., gebildet durch Verlust von Bestandtheilen sind nicht sonderlich häufig, z. B. Kalkspath nach Gaylussit (durch Austritt von kohlensaurem Natron und Wasser), Bleicarbonat nach Phosgenit (durch Verlust von Chlorblei), Willemit nach Kieselzink, gediegen Kupfer nach Rothkupfererz (durch Desoxydation), Haus-

1) Es finden sich sowohl Kalkspathkrystalle, die in Aragonit, als Aragonitkrystalle, die in Kalkspath verändert erscheinen, doch ist es zweifelhaft, ob hier wirkliche Paramorphosen vorliegen. Ueber die ersteren vgl. *Sandberger*, Annal. d. Phys. u. Chem. Bd. 129. S. 472. Die hierher gestellten Vorkommnisse aus den sicilianischen Schwefeldistricten hält *v. Lasaulx* nicht für eigentliche Paramorphosen, sondern für mechanische Ausfüllungs-Pseudomorphosen (N. Jahrb. f. Min. 1879. 507). Vgl. auch *M. Bauer* ebendas. 1886. I. 62, welcher für andere eine Bildung geltend macht, die eher nach Art der Umwandlungs-Pseudomorphosen verlaufen ist. — Die sog. Paramorphosen von Calcit nach Aragonit sind meist sehr porös, was gegen einfache Umlagerung spricht, denn bei solcher hätte gerade eine starke Volumvermehrung eintreten müssen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mannit nach Manganit, Magneteisen nach Eisenglanz, Silberglanz nach Rothgültigerz (durch Verlust von Schwefelantimon oder Schwefelarsen).

Künstlich kann man nach den Versuchen von *Berzelius* den Vorgang bei dieser letzteren Umwandlung nachahmen, indem man Rothgültigerzkrystalle in eine Auflösung von Schwefelalkalien bringt, welche in wenigen Stunden die Sulfosäure auszieht und das Schwefelsilber zurücklässt.

2b) Bei den U.-Ps., gebildet durch Aufnahme von Bestandtheilen, sind es meistens Sauerstoff, Wasser oder Kohlensäure, welche in die neue Verbindung eintreten; z. B. die weit verbreitete Umwandlung von Anhydrit in Gyps, die Pseudomorphosen von Malachit nach Rothkupfererz (welches bisweilen seinerseits selbst schon eine hierher gehörige Pseudomorphose nach gediegen Kupfer ist), von Eisenoxyd nach Magneteisen, von Bleivitriol nach Bleiglanz.

Die Pseudomorphose von Eisenoxyd nach Magneteisen (Eisenoxyduloxyd) kann entweder durch Oxydation des Eisenoxyduls (2b) oder so gedeutet werden, dass kohlensäurehaltiges Wasser auf die Krystalle einwirkte, welches Eisenoxydul auflöste, Eisenoxyd zurückliess (2a).

2c) Bei den U.-Ps., erzeugt durch theilweisen Austausch der Bestandtheile, hat die ursprüngliche Substanz gewisse Theile verloren, andere dafür aufgenommen, z. B. Aragonit nach Gyps, Kaolin nach Feldspath, Baryt nach Witherit, Bleiglanz nach Pyromorphit, Malachit nach Kupferlasur, Brauneisenerz nach Eisenkies oder Eisenspath, Grünerde nach Augit, Zinkspath nach Kalkspath.

Mehrfach findet hierbei der wechselseitige Austausch von Kohlensäure gegen Wasser statt, indem das letztere, wo es lange Zeit und in steter Zufuhr sich erneuernd wirkt, eine so schwache Säure, wie es die Kohlensäure ist, auszutreiben und sich selbst an deren Stelle zu setzen vermag (z. B. Malachit nach Kupferlasur, Brauneisenerz nach Eisenspath). — In manchen Fällen lässt sich solcher Austausch von Bestandtheilen als das Resultat einer einfachen, auf sog. doppelte Wahlverwandtschaft gegründeten Wechselzersetzung zweier Salze betrachten. Wenn z. B. auf Gypskrystalle Wasser einwirkte, welches kohlensaures Natron gelöst enthielt, so verband sich die Kohlensäure mit dem Kalk des Gypses zu Aragonit, welcher die Form des letzteren beibehielt, während das gebildete schwefelsaure Natron als leicht löslicher Stoff weggeführt wurde. Künstlich kann man, wie *Stein* darthat, diesen Vorgang nachmachen: behandelt man längere Zeit hindurch Gypskrystalle mit einer Auflösung von kohlensaurem Natron bei 50°, so werden sie in Kalkspath umgewandelt. *Sorby* hat manche dergleichen Pseudomorphosen dargestellt, indem er verschiedene Krystalle in geeigneten Solutionen bei verschiedenen Temperaturen bis zu 150° C. behandelte.

Sehr häufig entstehen solche Pseudomorphosen dadurch, dass das mit einem schwerer löslichen Stoff beladene Wasser diesen absetzt und dagegen einen leichter löslichen auflöst, wobei jener die Form von diesem annimmt. Diese Bildungsweise, auf welche *G. Bischof* aufmerksam gemacht hat, ist nach ihm auch die Ursache einer eintretenden porösen Beschaffenheit. Wenn Gewässer, welches den schwerer darin löslichen Eisenspath enthält, mit dem leichter darin löslichen Kalkspath in Berührung kommt, so wird unter der Voraussetzung, dass sowohl die zugeführte Lösung des Eisenoxydulcarbonats, als die abgeführte des Kalkcarbonats eine gesättigte sei, mehr Kalkspath fortgeführt, als Eisenspath an dessen Stelle tritt, und es müssen sich daher hohle oder poröse Pseudomorphosen bilden — abgesehen davon, dass diese hier schon deshalb entstehen müssen, weil Eisenspath specifisch schwerer als Kalkspath ist. *A. Knop* hat auf diese Weise durch Einwirkung einer Lösung des schwerer löslichen Thonerde-Ammoniakalauns auf Krystalle des leichtlöslichen Eisenoxyd-Ammoniakalauns hohle Krystalle der ersteren Substanz künstlich erzeugt (Z. f. Kryst. IV. 1880. 257).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

3) Sehr merkwürdig ist die Gruppe von Pseudomorphosen, welche durch völligen Austausch der Stoffe gebildet wurden, z. B. Quarz nach Flussspath, Quarz nach Kalkspath, Brauneisenstein nach Quarz, Brauneisenstein nach Kalkspath, Zinnstein nach Feldspath, Kieselzink nach Bleiglanz, Eisenkies nach Quarz, Pyrolusit nach Kalkspath u. s. w.

So räthselhaft diese Processe auch meistens sind, so kann man doch bisweilen solche Verdrängungen mit Hülfe der bekannten Zersetzungserscheinungen erklären, namentlich wenn man bedenkt, dass nicht immer eine directe Umwandlung stattgefunden zu haben braucht, sondern dass dieselbe durch Zwischenglieder allmählich vermittelt sein kann. So ist die Pseudomorphose von Brauneisenstein nach Kalkspath leicht zu deuten, wenn angenommen wird, dass dieselbe zuvörderst das Stadium derjenigen von Eisenspath nach Kalkspath durchlaufen habe; beide Vorgänge, sowohl die Umwandlung von Kalkspath in Eisenspath, als die von Eisenspath in Brauneisenstein, sind einzeln als solche sehr wohl constatirt. So mag ferner die Pseudomorphose von Quarz nach Flussspath in der Weise erfolgt sein, dass Wasser, welches kieselsaures und kohlensaures Natron enthielt, auf Flussspath reagirte: es bildete sich Fluornatrium, welches in Lösung weggeführt wurde, und kieselsaurer Kalk, der seinerseits durch das kohlensaure Natron zersetzt wurde; dabei erzeugte sich kohlensaurer Kalk, welcher gleichfalls im aufgelösten Zustand abgeführt wurde, und Kieselsäure, die als unlösliches Endproduct zurückblieb.

Zu dieser Gruppe von Pseudomorphosen gehört auch, wie *G. Bischof* mit Recht bemerkt, manches, was scheinbar in den Bereich der Gruppe 2c) fällt; jedes pseudomorphe Gebilde nämlich, von welchem sich nachweisen lässt, dass der gemeinschaftliche Bestandtheil nicht von dem verdrängten zu dem verdrängenden Mineral übergegangen sei. So ist z. B. bei der Pseudomorphose von Zinkspath nach Kalkspath nicht etwa nur Zinkoxyd gegen Kalk ausgetauscht worden und die Kohlensäure verblieben, sondern das kohlensaure Zinkoxyd hat als solches den ganz weggeführten kohlensauren Kalk verdrängt. Ebenso ist die Gemeinschaftlichkeit des sicherlich nicht vererbten Sauerstoffs bei der Pseudomorphose Quarz nach Kalkspath kein Grund, um dieselbe etwa der Gruppe 2c) zuzugesellen.

Uebrigens hat *Eugen Geinitz* auf mikroskopischem Wege überzeugend nachgewiesen, dass bei manchen der stets in diese Abtheilung gestellten Pseudomorphosen (z. B. Hornstein oder Chalcedon nach Kalkspath oder Flussspath) zunächst eine zarte krustenförmige Umhüllung aus der neuen Substanz sich um den bestehenden Krystall gebildet hat, welche gleichsam die Wandungen des Gefässes abgab, worin die Umwandlung (vielleicht auch manchmal die Auslaugung und Neu-Ausfüllung) vor sich ging.

E. Geinitz hat vorgeschlagen, die Umwandlungs-Pseudomorphosen der Abtheilung 2a) Apomorphosen, diejenigen der Abtheilung 2b) Epimorphosen, diejenigen der Abtheilung 2c) partielle und endlich die der Abtheilung 3) totale Allomorphosen (statt des längeren Allassomorphosen) zu nennen.

7. Von den organischen Formen.

§ 84. **Verschiedene Arten und Verhältnisse derselben.** Die organischen Formen, in welchen so viele Mineralien und Gesteine auftreten, zeigen manche Analogieen mit den Pseudomorphosen, und lassen sich grossentheils wie diese als hypostatische und metasomatische Gebilde unterscheiden. Je nachdem sie übrigens dem Thierreich oder dem Pflanzenreich angehören, können sie Zoomorphosen oder Phytomorphosen genannt werden.

Eigentliche Umhüllungsgebilde in dem Sinne, wie die Umhüllungs-Pseudomorphosen kommen selten vor (Kalktuff, Sprudelstein). Weit häufiger sind die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

durch Umhüllung gebildeten äusseren Abdrücke (Spurensteine), wobei die Substanz der Organismen später gelöst und weggeführt wurde, sowie die durch Ausfüllung gebildeten inneren Abdrücke oder Abgüsse (Steinkerne) organischer Formen, welche die Analoga der Krystalleindrücke (§ 76) und der Ausfüllungs-Pseudomorphosen (§ 82) sind. Wurde der organische Körper, welcher einen äusseren oder inneren Abdruck lieferte, später zerstört, und der dadurch leer gewordene Raum mit Mineralmasse erfüllt, so enstanden Bildungen, welche sich theils mit den durch Ausfüllung oder Verdrängung, theils mit den durch Umwandlung gebildeten Pseudomorphosen vergleichen lassen. Dasselbe gilt von den wirklich versteinerten oder vererzten organischen Körpern, bei welchen nicht nur die Form, sondern auch oft die Structur bis in das feinste Detail erhalten zu sein pflegt, so dass man in ihnen einen Theilchen für Theilchen bewirkten Austausch der organischen Substanz gegen die Mineralsubstanz annehmen möchte (verkieseltes Holz). Die mineralisirten organischen Körper endlich, wie Anthracit, Steinkohle und manche fossile Harze sind als solche Umwandlungsproducte zu betrachten, welche während eines sehr langsamen Zersetzungsprocesses, und meist durch Verlust von Bestandtheilen gebildet wurden.

Kieselsäure als Quarz und Opal, sowie kohlensaurer Kalk als Kalkspath und Aragonit sind bei weitem die gewöhnlichsten Versteinerungsmittel; viel seltener treten Dolomit und Phosphorit, sehr selten Gyps, Cölestin, Flussspath, Baryt als solches auf. Unter den metallischen Mineralien spielt der Pyrit oder Eisenkies nebst Brauneisenstein als seinem Umwandlungsproduct die Hauptrolle als Vererzungsmittel; hin und wieder haben auch Eisenspath, Vivianit, Bleicarbonat, Zinkspath, Rotheisenerz, Bleiglanz, Kupferglanz, Glaukonit für die Erhaltung der organischen Formen gedient. Merkwürdig ist die 1826 von *Hessel* nachgewiesene regelmässige Stellung der Kalkspath-Individuen in den versteinerten Crinoiden, Echiniden, Belemniten, Inoceramen u. a., sowie der Umstand, dass einzelne Theile der Echiniden (z. B. die Cidaritenstacheln) sehr häufig blos von einem einzigen Kalkspath-Individuum gebildet werden, dessen Hauptaxe mit der Längsaxe des Stachels zusammenfällt; hier ist also der organische Ueberrest für die Textur des versteinernden Minerals maassgebend gewesen.

8. Von den secundären Formen der Mineralien.

§ 85. **Verschiedene Arten derselben.** Alle bisher betrachteten Formen der Mineralien besitzen den Charakter der Ursprünglichkeit, d. h. sie sind unmittelbar bei der Bildung des betreffenden Minerals entstanden. Es kommen aber auch andere Formen vor, welche diesen Charakter entbehren, und deshalb als secundäre Formen bezeichnet werden können. Dahin gehören die durch mechanische Zerstückelung und Zermalmung, durch Reibung und Abschleifung, sowie die durch Ausnagung und Auflösung entstandenen Formen, welche theils als lose, ringsum oder allseitig begrenzte Körper, theils blos als oberflächliche, einseitig oder nur mehrseitig begrenzte Gestalten ausgebildet sind. So lassen sich diese secundären Formen besonders als fragmentare oder klastische, als Frictionsformen, als Erosionsformen und Contractionsformen unterscheiden.

1) Klastische oder fragmentare Formen; als solche gelten die bisweilen vorkommenden (und im folgenden Abschnitt näher betrachteten) Spaltungsstücke; dann alle, durch Zertrümmerung von Mineralmassen und durch Fortführung ihrer Fragmente in den Gewässern gebildeten Formen, welche nach Maassgabe ihrer Grösse und Gestalt

durch verschiedene Ausdrücke als scharfkantige und stumpfkantige Stücke, als Geschiebe und Gerölle, als eckige, platte und rundliche Körner, als Sand und Staub bezeichnet werden.

2) Frictionsformen (oder Contusionsformen); sie sind nur oberflächliche Formen an den Wänden von Klüften und Spalten, entstanden durch die gewaltsame Bewegung der zu beiden Seiten solcher Spalten liegenden Gebirgstheile; sie zeigen die sehr charakteristischen Frictionsstreifen, besitzen oft einen hohen Grad von Politur, und sind besonders dadurch ausgezeichnet, dass ursprünglich jedenfalls zwei, einander correspondirende Flächen vorhanden sind. Nach Maassgabe ihrer besonderen Beschaffenheit nennt man sie Rutschflächen, Quetschflächen oder Spiegel. Aehnliche, aber nur einseitig, und an der Oberfläche des Felsgrundes ausgebildete Formen zeigen die durch die Einwirkung von Gletschern, vielleicht auch durch das Fortschieben von Gebirgsschutt bei heftigen Fluthen gebildeten Felsenschliffe. Körperliche Frictionsformen sind die sog. Dreikantner, Kantengerölle, Facettengerölle, Pyramidengerölle, Geschiebe-Dreikantner, Geschiebe, welche nur auf einer Seite die übliche flache Rundung zeigen, während die andere Seite in Folge der abwetzenden Wirkung darübergewehten Sandes in auffallender Weise mehr oder weniger kantig-pyramidale Gestalt erlangt hat.

3) Erosionsformen; sie entstanden theils durch die mechanische Gewalt, theils durch die auflösende Einwirkung des Wassers oder gewisser organischer Körper; z. B. die seltsam ausgenagten Formen des Kalksteins, da, wo er dem Wellenschlag und der Brandung ausgesetzt ist; die Formen, welche Gyps und Steinsalz durch die auflösende Einwirkung der Atmosphärilien und Gewässer erhalten; die Aushöhlungen des Kalksteins durch den Angriff von Bohrmuscheln, u. a. Erscheinungen.

4) Contractionsformen (*formes de retrait*); entstanden durch das mit der allmählichen Austrocknung oder Abkühlung verbundene Schwinden der Massen, was innere Zerberstungen oder Absonderungen zur Folge hatte; Septarien, stengeliger Thoneisenstein, geglühter Magnesit. Auch die Kerne der sogenannten Klappersteine lassen sich gewissermassen hierher rechnen.

Zweiter Abschnitt.

Von den physikalischen Eigenschaften der Mineralien.

§ 86. **Uebersicht.** Die physikalischen Eigenschaften der Mineralien haften theils beständig an ihrer Substanz, theils werden sie nur vorübergehend, durch den Conflict mit einer von aussen einwirkenden Kraft oder Materie in ihnen hervorgerufen. Zu den ersteren gehören die Cohärenz und Elasticität, die Dichtigkeit oder das specifische Gewicht, und der Magnetismus; zu den letzteren die optischen, elektrischen und thermischen Eigenschaften. Die meisten und bemerkenswerthesten derselben geben sich in erster Linie an den Krystallen, oder an den Individuen überhaupt auf eigenthümliche und gesetzmässige Weise zu erkennen.

Mit Ausnahme des specifischen Gewichts stehen die physikalischen Eigenschaften der Krystalle im engsten gesetzlichen Zusammenhang mit deren regelmässiger Form und innerer Structur, mit den Richtungen, nach welchen sie in den

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Krystallen zur Wahrnehmung gelangen. Diese Beziehung wird in dem Hauptsatz ausgesprochen, dass geometrisch-krystallographisch gleichwerthige Richtungen sich in jeder Hinsicht auch physikalisch gleich verhalten, oder dass alle geometrischen Symmetrie-Ebenen gleichfalls physikalische sind. Doch gilt dieser Fundamentalsatz nicht allenthalben auch in seiner Umkehrung. Es gibt zwar eine Anzahl von Eigenschaften, für welche ebenfalls umgekehrt alle physikalisch gleichwerthigen Richtungen auch geometrisch gleichwerthig, die in ersterer Hinsicht verschiedenen dies auch in letzterer Hinsicht sind, z. B. die Cohäsion mit der Spaltbarkeit, Härte, Elasticität, ferner die Pyroëlektricität. Für eine zweite Gruppe von Eigenschaften, z. B. die optischen und thermischen, können aber in physikalischer Hinsicht Symmetrie-Ebenen existiren, welche keine geometrischen sind, indem die physikalisch gleichwerthigen Richtungen nicht lediglich auf die geometrisch gleichwerthigen beschränkt erscheinen. So sind z. B. bei einem regulären Krystall sämmtliche Richtungen zwar wohl in optischer Beziehung physikalisch, aber keineswegs auch krystallographisch einander gleich, also in krystallographischer Hinsicht abweichende nicht auch physikalisch verschieden. Für diese letztere Abtheilung ist daher die Umkehrung des obigen Hauptsatzes nicht zulässig [1]).

Wenn im Folgenden, dem althergebrachten Sprachgebrauch gemäss, auch bei den theilflächigen hemiëdrischen und tetartoëdrischen Krystallen des tetragonalen und hexagonalen Systems die verticale Axe c als Hauptaxe bezeichnet wird, so muss daran erinnert werden, dass ihr — in Folge der gegen die holoëdrischen Gestalten reducirten Symmetrie — morphologisch ein solcher Charakter als Haupt-Symmetrieaxe meist nicht mehr zukommt. In physikalischer Hinsicht aber spielt die Verticale auch bei den Theilflächnern jener beiden Systeme stets die Rolle einer Hauptaxe.

1. Spaltbarkeit der Individuen und andere Erscheinungen der Cohärenz.

§ 87. **Spaltbarkeit der Individuen.** Cohärenz überhaupt ist der innere Zusammenhalt der Körper, welcher sich durch den grösseren oder geringeren Widerstand offenbart, den sie jeder mechanischen Theilung entgegensetzen. Man unterscheidet an der Cohärenz die Quantität (den Grad oder die Stärke), und die Qualität (die eigenthümliche Weise ihrer Aeusserung).

An den Krystallen oder Individuen überhaupt muss ferner die Quantität der Cohärenz nach verschiedenen Richtungen unterschieden werden. Es ist nämlich eine sehr merkwürdige Erscheinung, dass in jedem anorganischen Individuum nach verschiedenen Richtungen verschiedene, und nach gewissen Richtungen weit geringere Grade der Cohärenz stattfinden, als nach anderen Richtungen. Jedes Individuum zeigt also nach bestimmten Richtungen Minima der Cohärenz, welche sich dadurch offenbaren werden, dass es in solchen Richtungen leichter zerrissen, oder nach den darauf normalen Richtungen durch Anwendung eines Messers, Meissels u. dgl. leichter gespalten werden kann, als nach anderen Richtungen. Ein jeder Krystall und überhaupt ein jedes Individuum besitzt demnach eine mehr oder weniger deutliche Spaltbarkeit, durch welche die Hervorbringung von Spaltungsflächen und Spaltungslamellen ermöglicht wird. Individuen von

1) Vgl. *Sohncke*, Entwickelung einer Theorie der Krystallstructur. 1879. 211.

Glimmer, Gyps, Kalkspath, Bleiglanz, Flussspath, Topas u. a. Mineralien lassen die Erscheinung besonders deutlich beobachten. Es gilt die Vorstellung, dass die Spaltbarkeitsebenen solche sind, in denen die Molecüle eine grosse gegenseitige Annäherung besitzen, während normal darauf die Entfernung der einzelnen auf einander folgenden Molecularlagen eine relativ grosse ist. — Amorphe Mineralien können keine Spaltbarkeit zeigen, weil bei ihnen die Cohärenz nach allen Richtungen übereinstimmt.

Sehr wichtig ist ferner die Thatsache, dass die Spaltungsflächen stets den Flächen bestimmter Formen des betreffenden Formencomplexes parallel liegen, welche entweder an dem Krystall schon vorhanden oder daran möglich sind; woraus denn von selbst folgt, dass die Richtungen jener Minima der Cohärenz stets normal auf denselben Krystallflächen sein müssen.

Da sich ferner jede Spaltungsfläche als eine ebene Fläche mit gleicher Vollkommenheit durch das ganze Individuum verfolgen lässt, so ist auch zu schliessen, dass die Minima der Cohärenz einen sehr eminenten Charakter behaupten, und keineswegs durch allmähliche Uebergänge in die grösseren Cohärenzgrade der zunächst anliegenden Richtungen verlaufen. Endlich ist die Annahme berechtigt, dass die Spaltbarkeit ohne Grenzen stattfindet, und auf immer dünnere und dünnere Lamellen gelangen lässt, bis zuletzt die Instrumente nicht mehr fein genug sind, um fernere Spaltungen zu bewerkstelligen (Gyps, Glimmer).

Die Spaltbarkeit ist also nur eine Folge der eigenthümlichen Cohärenzverhältnisse, des Vorhandenseins von Minimalgraden der Festigkeit bei den anorganischen Individuen, aber durchaus nicht eine Structur oder ein Gefüge derselben, wie so oft gesagt wurde, und nur dann mit Recht gesagt werden könnte, wenn die Spaltungsflächen und Spaltungslamellen als solche in den Individuen wirklich präexistirten, ehe sie durch mechanischen Eingriff zum Vorschein gebracht werden; dies ist aber schlechterdings nicht der Fall, vielmehr beruht jene Eigenschaft nur darauf, dass die Substanz des Krystalls in jedem Punkt nach der Richtung der Normalen der Spaltungsflächen am wenigsten cohärirt. Da die Spaltungsflächen eine Theilung der Krystalle in Lamellen oder Blätter gestatten, so hat man sie auch Blätterdurchgänge genannt. — Der Verlauf der Spaltbarkeit findet sich bei vielen Mineralien durch Sprünge oder Risse im Inneren angezeigt; einige derselben, wie Glimmer, Gyps gelangen vielfach schon im zerspaltenen Zustand in unsere Hände.

§ 88. **Spaltungsformen.** Lässt sich an einem Individuum ein Minimum der Cohärenz oder eine Spaltungsfläche nachweisen, so findet dasselbe nach den Normalen aller gleichwerthigen Flächen, oder nach den sämmtlichen Flächen derjenigen Krystallform (oder Partialform) statt, zu welcher die beobachtete Spaltungsfläche gehört. Auch sind stets diese correlaten Minima von völlig gleichem Werth, während sich die zu verschiedenen Formen gehörigen Minima als ungleichwerthig erweisen (Beispiele an Kalkspath, Bleiglanz, Amphibol, Baryt, Gyps). Spaltungsflächen, welche nicht in gleichem Grade eben sind, lassen daher immer auf Ungleichheit der mit ihnen parallelen Krystallflächen schliessen. — Da die gleichwerthigen Spaltungsflächen also stets in derselben Anzahl vorhanden sind, wie die Flächenpaare der ihnen entsprechenden Krystallform, so gestatten sie die Darstellung von Spaltungsformen, welche sich durch nichts, als durch den Mangel der Ursprünglichkeit von den Krystallformen unterscheiden (§ 2) und, gleichwie diese, theils als geschlossene, theils als offene Formen zu erkennen geben.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Daher bestimmt man auch die Spaltungsformen jeder Art einfach durch die krystallographischen Namen und Zeichen der entsprechenden Krystallformen.

Oft fällt bei dem ersten Versuch, die Spaltungsform herzustellen, dieselbe etwas verzerrt aus: so liefert das cubisch spaltende Steinsalz vielleicht längliche rechtwinkelige Parallelepipeda, der oktaëdrisch spaltbare Flussspath zunächst Tetraëder, die rhombendodekaëdrisch spaltbare Zinkblende Formen, die nicht von allen 12 Flächen begrenzt sind. — Mineralien, welche blos in einer oder zwei Richtungen spaltbar sind (z. B. blos basisch oder blos prismatisch) liefern auch nur offene Spaltungsformen.

Eine sehr wichtige Thatsache, welche der Spaltbarkeit einen grossen Werth für die Diagnose der Mineralien verleiht, ist es aber, dass jede Mineralart immer nur eine, oder einige wenige Spaltungsformen erkennen lässt, welche in allen Varietäten des Minerals dieselben, und von der äusseren Krystallform sowie überhaupt von der Ausbildungsweise der Individuen gänzlich unabhängig sind. Diese specifische Einerleiheit der Spaltungsformen, bei aller Manchfaltigkeit der Krystallform eines und desselben Minerals, erhebt die Spaltbarkeit zu einem Merkmal von grösstem Belang. Ob der Kalkspath in flachen Rhomboëdern oder in spitzen Skalenoëdern oder in hexagonalen Prismen krystallisirt, seine Spaltbarkeit ist stets die gleiche. Und selbst die ganz ungestalteten Individuen der körnigen, schaligen und stengeligen Aggregate, welche keine Spur von Krystallformen besitzen, zeigen die Spaltbarkeit nach denselben Richtungen und mit derselben Vollkommenheit, wie die Krystalle derselben Substanz. Die Spaltbarkeit ist daher eine, allen Individuen derselben Mineralart in gleicher Weise zukommende Eigenschaft, wie vollkommen oder wie unvollkommen und wie verschieden auch ihre äussere Form beschaffen sein mag. So ermöglichen denn die Spaltungsformen bisweilen die Feststellung des Krystallsystems bei Substanzen, welche nicht in ausgebildeten Individuen, sondern nur in krystallinischen Stücken vorliegen, während dieselben anderseits verwandt werden können, um die Richtigkeit der Deutung einer Krystallform zu erproben.

Wenn reguläre Krystalle in einer Richtung ein Minimum der Cohärenz haben, also senkrecht darauf Spaltbarkeit stattfindet, so muss dasselbe Minimum auch in allen denjenigen Richtungen vorliegen, welche mit Bezug auf die drei Hauptsymmetrie-Ebenen symmetrisch zu jener liegen. Ein Krystall, der nur nach einer oder nur nach zwei Richtungen spaltet, kann daher nicht dem regulären System angehören, welches mindestens drei gleichwerthige Spaltungsrichtungen erfordert. — Geschlossene Spaltungsgestalten mit Spaltungsflächen gleicher Qualität sind ein nothwendiges Postulat des regulären Systems.

§ 89. **Bezeichnung und Benennung der Spaltungsrichtungen.** In den einzelnen Krystallsystemen verlaufen die Spaltungsrichtungen gewöhnlich:

1) im regulären System:
   oktaëdrisch nach **O**[1]), Flussspath, Rothkupfererz,
   hexaëdrisch nach **∞O∞**, Steinsalz, Bleiglanz,
   dodekaëdrisch nach **∞O**, Zinkblende, Sodalith;

2) im Tetragonalsystem:
   pyramidal nach **P** oder **2P∞**, Scheelit, Wulfenit, Kupferkies,

1) Die häufigsten Spaltungsrichtungen sind gesperrt gedruckt.

prismatisch nach ∞P oder $\infty P\infty$, Rutil, Zinnstein,
basisch nach $0P$, Uranit, Apophyllit;

3) im Hexagonalsystem:
pyramidal nach P oder $P2$,
prismatisch nach ∞P, $\infty P2$ oder ∞R, Apatit, Nephelin, Zinkit, Zinnober,
basisch nach $0P$ oder $0R$, Beryll, Pyrosmalith, Zinkit, Antimon,
rhomboëdrisch nach R, Kalkspath, Eisenspath, Dolomit;

4) im rhombischen System:
pyramidal nach P, Schwefel,
prismatisch nach ∞P, Cerussit, Natrolith,
makrodomatisch nach $\bar{P}\infty$, oder brachydomatisch nach $\breve{P}\infty$,
basisch nach $0P$, Topas, Prehnit,
makrodiagonal nach $\infty\bar{P}\infty$, Anhydrit,
brachydiagonal nach $\infty\breve{P}\infty$, Antimonglanz;

5) im monoklinen System:
hemipyramidal nach P oder $-P$, Gyps,
prismatisch nach ∞P, Amphibol, Pyroxen,
klinodomatisch nach $\mathfrak{P}\infty$, Kupferlasur,
hemidomatisch nach $\mathfrak{P}\infty$ oder $-\mathfrak{P}\infty$,
basisch nach $0P$, Magnesiaglimmer, Orthoklas, Klinochlor, Epidot,
orthodiagonal nach $\infty\mathfrak{P}\infty$, Epidot,
klinodiagonal nach $\infty\mathfrak{P}\infty$, Gyps, Stilbit, Orthoklas;

6) im triklinen System:
hemiprismatisch nach $\infty P'$ oder $\infty'P$, Labradorit,
hemidomatisch nach einem halben Makrodoma oder Brachydoma,
basisch nach $0P$, Albit, Oligoklas, Labradorit,
makrodiagonal nach $\infty\bar{P}\infty$, oder
brachydiagonal nach $\infty\breve{P}\infty$, Albit, Oligoklas, Labradorit.

§ 90. **Verschiedene Vollkommenheit der Spaltbarkeit.** Gleichwie sich die Spaltbarkeit an einem und demselben Individuum nach den Richtungen verschiedener Krystallflächen sehr ungleichwerthig herauszustellen pflegt (§ 87), so findet man auch, dass sie, obwohl nach krystallographisch übereinstimmend orientirten Flächen vorhanden, doch bei verschiedenen Mineralien, ja sogar in verschiedenen Varietäten einer und derselben Mineralart mit recht verschiedenen Graden der Vollkommenheit ausgebildet sein kann. Daher muss, ausser der Lage der Spaltungsflächen, auch die Leichtigkeit oder Schwierigkeit der Spaltung selbst, und die Beschaffenheit der Spaltungsflächen für eine erschöpfende Charakterisirung berücksichtigt werden.

Die Spaltbarkeit ist entweder höchst vollkommen (Glimmer, Gyps, Calcit, Antimonglanz), oder sehr vollkommen (Flussspath, Baryt, Amphibol), oder vollkommen (Pyroxen, Kryolith), oder unvollkommen (Granat, Quarz), oder sehr unvollkommen, wenn nur einzelne, kaum bemerkbare Spuren derselben vorhanden sind. Die Spaltungsflächen selbst aber sind entweder stetig ausgedehnt, oder unterbrochen und gleichsam abgerissen, übrigens meist glatt, selten gestreift. Sehr unvollkommene Spaltungsrichtungen geben sich nur in kleinen sporadischen

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Elementen von Spaltungsflächen zu erkennen, und lassen sich oft nur bei starker Beleuchtung auf den Bruchflächen des Minerals entdecken. Nur bei wenigen krystallinischen Mineralien unterscheiden sich die Minima der Cohärenz so wenig von den übrigen Cohärenzgraden, dass sie gar keine Spaltungsflächen, sondern lediglich Bruchflächen wahrnehmen lassen.

Bei solchen Mineralien, welche der vielfach wiederholten Zwillingsbildung mit parallelen Zusammensetzungsflächen unterworfen sind, und daher in polysynthetischen Krystallen oder in dergleichen individualisirten Massen auftreten, sind gestreifte Spaltungsflächen eine sehr gewöhnliche Erscheinung. Diese Streifung ist eine nothwendige Folge der wiederholten Zwillingsbildung und lässt z. B. vortrefflich die triklinen und die monoklinen Feldspathe auseinanderhalten.

Anm. Neben der eigentlichen Spaltbarkeit kommt noch bei einigen Mineralien die Tendenz zu einer Zerklüftung nach gewissen Richtungen vor. Die dadurch erzeugten Risse verlaufen unregelmässiger, vielfach etwas gebogen und gekrümmt und irgend einer Krystallfläche nur annähernd parallel. Eine solche Zerklüftung tritt z. B. bei den Sanidinen in den Phonolithen, Rhyolithen und Trachyten ungefähr dem Orthopinakoid parallel, bei den Krystallen der rhombischen Pyroxene, bei dem Apatit und Turmalin parallel der horizontalen Basis hervor und trägt nicht den Charakter der eigentlichen Spaltbarkeit.

Ausserdem existirt aber noch bei etlichen Mineralien eine Theilbarkeit nach recht planen und glatten Flächen, welche dennoch keine eigentliche Spaltbarkeit darstellt und keinem Cohärenzminimum entspricht, weshalb man sie wohl als Ablösung oder Absonderung unterscheidet; sie findet sich z. B. bei dem Diallag parallel dem Orthopinakoid, beim Korund nach der Basis. Theils scheint es sich hier um das Auftreten von Gleitflächen (§ 91) oder um einen Zwillingsbau zu handeln, theils scheint diese Ablösung auf dem Vorhandensein eingelagerter Substanzen oder insbesondere auf einer schaligen Verwachsung zu beruhen. Auch das der wirklichen Spaltbarkeit entbehrende Magneteisen zeigt in Folge einer schaligen Zusammensetzung nach den Oktaëderflächen gleichfalls darnach eine Ablösung. Der Unterschied gegen die echte Spaltbarkeit tritt in allen diesen Fällen dadurch hervor, dass die schaligen Ablösungen bei einer gewissen Dünne ihr Ende erreichen, wogegen die Spaltung unbegrenzt ist.

Die absolute Festigkeit der Krystalle ist natürlich um so abhängiger von ihrer Spaltbarkeit, je vollkommener dieselbe ist. *Sohncke* hat Versuche über diese Cohäsion oder Zugfestigkeit des Steinsalzes nach abweichenden Richtungen ausgeführt, indem er daraus verschiedene quadratische Prismen schnitt, deren Längsaxe einer der Hauptaxen, einer der trigonalen und einer der rhombischen Zwischenaxen parallel war, diese Prismen in zweckmässiger Fassung senkrecht befestigte, und am unteren Ende mit einer Schale verband, in welche feine Schrotkörner liefen, bis die Zerreissung erfolgte. Wurde das erste Stäbchen (senkrecht zu $\infty O \infty$) durch ein Gewicht von 1 kgr zerrissen, so bedurfte das zweite (senkrecht zu O) von gleichem Querschnitt 2, und das dritte (senkrecht zu ∞O) 2,6 kgr Gewicht, um es zu zerreissen. Stets ergab sich übrigens, dass die Zerreissungsflächen den Spaltungsflächen entsprachen.

§ 91. **Gleitflächen und Schlagfiguren.** Ausser den Spaltungsflächen gibt es in den Krystallen noch andere Flächen, welche dadurch ausgezeichnet sind, dass parallel denselben ein Gleiten, eine gegenseitige Verschiebung der Theilchen mit bedeutend grösserer Leichtigkeit als in den unmittelbar benachbarten Richtungen von Statten gehen kann und welche durch zweckmässigen Druck hervorgebracht werden. *E. Reusch*[1]) nannte die so entstehenden Trennungsflächen, welche eine

1) Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 132. 441, und Bd. 136. 130; auch Monatsberichte der Akad. der Wissenschaften in Berlin, 1872, April, S. 242, und 1873 vom 29. Mai.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

dauernde Deformation bewirken, die Gleitflächen. Viele Mineralien besitzen diejenigen Richtungen als Gleitflächen, nach welchen auch die Zwillingsbildung insbesondere erfolgt; aber niemals fallen die Gleitflächen mit den Spaltungsflächen zusammen. Durch diese Gleitungen werden bald nur einfache Trennungen in der gegebenen Direction hervorgerufen, anderseits kann aber auch eine Umdrehung der kleinsten Theilchen damit verknüpft sein, welche dadurch in eine gegenseitige Zwillingsstellung gerathen.

Feilt man an einem hexaëdrischen Spaltungsstück von Steinsalz zwei gegenüberliegende Kanten regelmässig weg, und presst man hierauf das Spaltungsstück zwischen den angefeilten Abstumpfungsflächen, so entsteht in ihm eine Trennungsfläche, welche der in der Richtung des Drucks liegenden Fläche von ∞O parallel ist; dieser Fläche entspricht bei dem Steinsalz keine Spaltbarkeit. Indem der Gebirgsdruck ganz ähnlich wie das künstliche Experiment wirkt, gewahrt man auch oft an natürlich vorkommenden Steinsalzstücken solche glatten Gleitflächen. Feilt man ebenso an einem Spaltungsstück von Kalkspath zwei gegenüberliegende schärfere Kanten dergestalt weg, dass die angefeilten Flächen dem Prisma $\infty P2$ entsprechen, und presst man das Stück zwischen beiden Flächen, so sieht man in dessen Innerem Trennungsflächen aufblitzen, welche den Flächen des Rhomboëders $-\frac{1}{2}R$ parallel sind, also dieselbe Lage haben, wie die Zwillingslamellen, welche die Spaltungsstücke so häufig durchsetzen; und in der That sind auf diese Weise auch dergleichen Lamellen erzeugt worden. Nach *Max Bauer* besitzen am Bleiglanz die Rhombendodekaëderflächen, am Cyanit die Basisflächen, nach *Seligmann* am Antimonglanz die Basisflächen Gleitflächencharakter.

Gleitflächen unterscheiden sich also dadurch von Spaltungsflächen, dass parallel zu den ersteren die leichteste Verschiebung, senkrecht zu den letzteren die leichteste Trennung erfolgt. — Die Thatsache, dass die Rhomboëderfläche $-\frac{1}{2}R$ am Kalkspath die Bedeutung einer Gleitfläche hat, war übrigens schon 1828 *Brewster* bekannt. Nach der Auffassung von *Reusch* beruht die Entstehung der Gleitfläche darin, dass der Druck eine Drehung der Theilchen um eine Axe, welche in einer Fläche $-\frac{1}{2}R$ und zugleich senkrecht zu einem Hauptschnitt (senkrecht zur Polkante von R) liegt, bewirkt, so dass die Molecüle dadurch in eine neue Gleichgewichtslage gelangen. Sehr merkwürdig ist bei dieser künstlichen Zwillingsbildung am Kalkspath die ebenfalls von *Reusch* beobachtete Thatsache, dass eine solche durch Druck hervorgebrachte Lamelle, welche nicht durch die ganze Dicke des Krystalls geht, mittels Erwärmung wieder zum Verschwinden gebracht werden kann. — Nach *Baumhauer* lässt sich aus einem prismatischen Spaltungsstück von Kalkspath ein äusserlich vollkommen modellgleicher Zwilling aus zwei nach $-\frac{1}{2}R$ symmetrischen Hälften herstellen, indem die Klinge eines gewöhnlichen Taschenmessers in geeigneter Weise allmählich hineingedrückt wird (Fig. 299); die wie in einem geschmeidigen Körper stattfindende Verschiebung mit Umstellung der Theilchen gibt sich auch darin kund, dass die auf den Flächen des in Zwillingsstellung übergegangenen Theiles erzeugten Aetzfiguren (vgl. § 92) sowohl ihre Lage als ihre Gestalt verändert haben; ritzt man in die Fläche vor der Einwirkung des Drucks mit einer feinen Spitze einen Kreis ein und bewirkt dann die Verschiebung des betreffenden Theiles, so zeigt sich an Stelle des Kreises eine zierliche Ellipse. — *O. Mügge* hat gezeigt, dass am Kalkspath auch $\infty P2$, $0R$ und vielleicht noch einige andere Flächen als »Structurflächen« zu betrachten sind, d. h. als Flächen, parallel welchen eine Trennung, Verschiebung oder

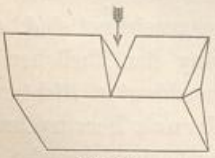


Fig. 299.

Drehung der kleinsten Theilchen besonders leicht stattfindet. Die Zwillingslamellen des Antimons nach $-\frac{1}{2}R$, diejenigen des Wismuts nach derselben Fläche können zufolge *Mügge* auch durch Druck hervorgebracht werden: beim Wismut genügt meistens ein Schlag auf die Polkante des Rhomboëders, um parallel der horizontalen Diagonale der anliegenden Fläche verlaufende Zwillingslamellen hervortreten zu lassen, die allerdings ausserordentlich fein sind; ebenso gelingt es bei Diopsiden, künstlich Zwillingslamellen nach 0P hervorzubringen. Anhydrit, welcher nach den 3 rhombischen Pinakoiden spaltet, gleitet nach einem Prisma.

Solche Zwillingsbildung durch Druck (vgl. S. 141) zeigt sich bei vielen Mineralien, welche als Gemengtheile eines dem Gebirgsdruck ausgesetzt gewesenen Gesteins vorkommen, z. B. bei den Kalkspathkörnern des Marmors.

Bauer hat zuerst die Vermuthung ausgesprochen, dass eine allgemeine Beziehung zwischen gewissen Gleitflächen der Krystalle und ihren Zwillingsflächen bestehe, wie dies z. B. für den Glimmer gilt, bei welchem die Gleitflächen zugleich Zwillingsflächen sind, ebenso beim Cyanit bezüglich der Fläche 0P; auch *Mügge* hat darauf aufmerksam gemacht, dass bei so vielen anderen Mineralien (wie namentlich beim Kalkspath) z. Th. die Zwillingsflächen mit den Spalt-, Gleit- und sog. Absonderungsflächen zusammenfallen, z. Th. letztere zu ersteren symmetrisch liegen. Auch beim Graphit sind die Zwillingsflächen, welche die trianguläre Streifung auf der Basis hervorbringen, zugleich Gleitflächen; die Streifung kann durch Biegung der Graphitlamellen auf deren concaver Seite künstlich hervorgebracht werden. — Doch unterscheiden sich die Gleitflächen von den Zwillingsflächen dadurch, dass sie in Richtungen existiren können, nach denen vermöge der Symmetrie keine Zwillingsbildung möglich ist, z. B. ∞O beim Steinsalz, 0P beim Antimonglanz.

Uebrigens wies *v. Jeremejeff* darauf hin, dass die Erscheinungen der Gleitflächen wohl auch an aufgewachsenen, grösstentheils in einen Hohlraum hineinragenden Krystallen wahrgenommen werden (z. B. beim Eisenglanz, Diopsid, Antimonglanz), wo Druck dieselben nicht hervorgerufen haben könne (Z. f. Kryst. XXVIII. 1897. 521). — Nach *Vernadsky* können einfache Schiebungen, wie sie in den Gleiterscheinungen zur Geltung kommen, auch durch ungleichförmiges Erwärmen des Krystalls, z. B. Berührung an einer Stelle mit einem heissgemachten Draht hervorgebracht werden.

Aehnliche Flächen lassen sich aber auch durch einen Schlag hervorbringen, indem man auf die zu prüfende Krystall- oder Spaltungsfläche einen stumpf-konisch zugespitzten Stahlstift (den Körner der Metallarbeiter) senkrecht aufsetzt, und gegen denselben mit einem kleinen Hammer einen kurzen leichten Schlag führt. Dabei bilden sich gleichzeitig mehre Trennungsflächen in der Form kurzer Sprünge aus, welche vom Schlagpunkt aus nach bestimmten Richtungen divergiren, und daher eigenthümliche Figuren bilden, welche *Reusch* Schlagfiguren nannte. So entstehen auf einer Spaltungsfläche von Steinsalz zwei Sprünge, die ein rechtwinkeliges Kreuz bilden, und den auf der geschlagenen Fläche senkrechten Flächen von ∞O parallel sind, während nach anderen Richtungen die übrigen sichtbar werden. Diese Sprünge entsprechen Trennungsflächen, welche bei dem Steinsalz wohl als Gleitflächen, aber nicht als Spaltungsflächen ausgebildet sind. Auf den Oktaëderflächen des Steinsalzes erscheint eine dreistrahlige Schlagfigur, deren abermals ∞O parallele Risse senkrecht stehen auf den Combinationskanten von O und $\infty O\infty$. Auf einem Spaltungsstück von Kalkspath entsteht ein gleichschenkeliges Dreieck, dessen Schenkel den Randkanten parallel sind, während die der Polecke zugewendete Basis der langen Diagonale der geschlagenen Fläche parallel ist, nach welcher Richtung auch die ganze Figur dicht gestreift erscheint. Auf parallel der

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Basis geschnittenen Kalkspathplatten erhält man einen Stern, dessen drei Strahlen 120° mit einander bilden.

Bei dem Sylvin (Chlorkalium) ist auf den Würfelflächen die Schlagfigur zwar auch in der Regel ein vierstrahliger Stern, aber die Winkel, unter denen sich die einzelnen Strahlen schneiden, sind im Allgemeinen verschieden und die Risse sind nicht mehr normal zur Würfelfläche, sondern immer gegen dieselbe geneigt, was beides mit dem plagiëdrisch-hemiëdrischen Charakter des Minerals zusammenhängt (vgl. S. 195).

Besonders interessant sind die von *Reusch* an Lamellen optisch zweiaxiger Glimmer hervorgebrachten Schlagfiguren, welche entstehen, wenn eine scharfe Nadelspitze durch einen raschen elastischen Schlag eingetrieben wird. Sofern sie gut gelingen, erscheinen sie als sechsstrahlige Sterne, welche aber bisweilen zu dreistrahligen werden, indem die Radien von der Mitte aus nur nach einer Richtung verlaufen. Einer dieser Radien (γ), welchen *Reusch* den charakteristischen Radius oder Leitstrahl nennt, ist stets parallel den zwei Lamellenkanten, welche der Klinodiagonale entsprechen, während die beiden anderen, nicht wie dieser scharf, sondern treppenartig verlaufenden Risse (μ) den übrigen vier Kanten des Hexagons parallel liegen (Fig. 300)[1]. Da nun die Ebene der optischen Axen in den meisten Glimmern parallel der Orthodiagonale, in den übrigen parallel der Klinodiagonale ist, so verhilft uns die Schlagfigur zur Erkennung dieses Unterschiedes. Denn in einem Glimmer der ersten Art wird die Ebene der optischen Axen rechtwinkelig auf dem charakteristischen Radius sein, während sie demselben in einem Glimmer der zweiten Art parallel ist; bei jenem fällt also die Axen-Ebene mitten zwischen zwei Durchmesser der (hexagonalen) Schlagfigur; bei diesem coincidirt sie mit dem charakteristischen Durchmesser derselben. Diese Unterscheidung ist ganz unabhängig davon, wie die Lamelle begrenzt ist, und kann an jedem ganz regellos gestalteten Glimmer vollzogen werden.

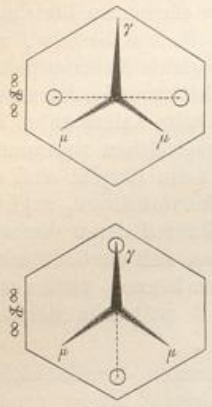


Fig. 300.

§ 92. **Aetzfiguren.** Auch durch den hinreichend langsamen und vorsichtigen Angriff von lösenden oder corrodirend wirkenden Mitteln auf die Krystalle offenbaren sich gewisse latente Cohäsionsverhältnisse nach bestimmten Richtungen, indem auf den glatten Krystallflächen mikroskopisch kleine und von ebenen Flächen begrenzte Vertiefungen, die sogenannten Aetzfiguren (oder Aetzeindrücke, Aetzgrübchen) entstehen, welche anfangs namentlich von *Leydolt, G. Rose, Haushofer*, am eingehendsten und erfolgreichsten aber von *H. Baumhauer* und *F. Becke* untersucht worden sind. Dieselben lassen erkennen, dass die Löslichkeit, die Ueberwindung des Zusammenhangs der kleinsten Theilchen, nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene ist, sind auch auf einer und derselben Fläche eines homogenen Krystalls sämmtlich einander ähnlich und unter einander parallel

1) Man vergleiche auch die treffliche Abhandlung von *Bauer* über den Glimmer (Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 138, S. 337), in welcher die Wichtigkeit dieser durch die Schlagfiguren ermöglichten Unterscheidung der Glimmer nach ihrer ganzen Bedeutung hervorgehoben, und das Verfahren zur Erzeugung jener Figuren ausführlich erläutert wird. Eine fernere Arbeit in Zeitschr. d. d. geol. Ges. 1874. 137, behandelt den Gegenstand noch weiter und erörtert den Unterschied zwischen den Schlagfiguren und ähnlichen, aber anders orientirten Bruchlinien, die durch plötzlichen Druck mit einem abgerundeten Stift bei Glimmerblättchen, welche auf elastischer Unterlage aufruhen, hervorgebracht werden; diese Knickungen, welche Gleitflächen des Glimmers entsprechen, stehen auf den Schlaglinien fast genau senkrecht.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

gestellt; ferner erweisen sie sich gleichartig auf krystallographisch gleichwerthigen, und verschiedenartig auf ungleichwerthigen Flächen, stets wie es scheint, wenigstens in der ursprünglichen Anlage, nach rationalen Parameterverhältnissen ausgebildet, wenngleich hier Vicinalformen (S. 146) eine grosse Rolle spielen. Die Flächen der Aetzfiguren sind mit *Becke* als Ebenen aufzufassen, deren Normalen die Richtungen des grössten Widerstandes gegen Auflösung oder chemische Zersetzung darstellen. Die Aetzfiguren erscheinen zwar, wie *Baumhauer* gezeigt hat, unabhängig von den Spaltungsrichtungen, stehen aber mit den Symmetrieverhältnissen der betreffenden Krystalle im engen Zusammenhang, indem sie in dieser Hinsicht von derselben Ordnung zu sein pflegen, wie die Symmetrie der geätzten Fläche selbst. Deshalb ermöglichen sie nicht nur die Erkennung des Krystallsystems, sondern geben auch, selbst wenn man nur einzelne Flächen der Krystalle untersuchen kann, ein Mittel an die Hand, die Existenz und Art einer etwaigen hemiëdrischen, tetartoëdrischen oder hemimorphen Ausbildung festzustellen. So zeigen die Aetzeindrücke in manchen Fällen, dass gewisse Krystallflächen, obschon sie holoëdrisch erscheinen, dies doch in Wirklichkeit nicht sind, sondern als Grenzformen hemiëdrischer, tetartoëdrischer oder hemimorpher Gestalten aufgefasst werden müssen (vgl. z. B. Apatit). Wo auf einer Fläche eine ganz variabele Lage der Aetzeindrücke hervortritt, wird auf eine geringe Symmetrie der Krystallsubstanz zu schliessen sein. Wegen ihrer analogen Lage auf den gleichnamigen Flächen mit einander nicht parallel verwachsener Krystalle lassen diese künstlichen Eindrücke ferner Zwillinge leicht als solche erkennen und die Art ihrer Verbindung beurtheilen, z. B. da, wo bei einem Zwilling gleiche oder verschiedene Flächen in ein Niveau fallen; auch treten nach der Aetzung die Zwillingsgrenzen, sowie die eingeschalteten Lamellen besonders deutlich hervor, gleichfalls kann der pseudosymmetrische Charakter (§ 48) erkannt werden. — Uebrigens machen aber *Laspeyres* und *Baumhauer* darauf aufmerksam, dass die Aetzeindrücke, wenn sie auch auf denselben Flächen eines Krystalls dieselbe Symmetrie und zwar diejenige der Fläche selbst aufweisen, doch ihrer Ausbildungsweise nach von der Natur des angewandten Aetzmittels abhängig sind[1]), weshalb dieselben nicht zugleich die Form der den Krystall aufbauenden Molecüle wiedergeben können. Auch wirkt ein und dasselbe Aetzmittel je nach seiner Concentration verschieden auf dieselbe Substanz ein. — Die corrodirende Behandlung der Mineralien erfolgt je nach deren Natur mit Salzsäure, Flusssäure, Aetzkali, Wasserdampf. Zur Erzielung einer guten Wirkung ist die rechtzeitige Unterbrechung des Vorgangs erforderlich. Die Beobachtung der Aetzeindrücke geschieht unter dem Mikroskop, entweder unmittelbar an der geätzten Fläche oder an Hausenblasen-Abdrücken derselben.

In Fig. 301 gibt Fig. *a* die auf der Basis des rhombischen Topas vermittels geschmolzenen Aetzkalis, Fig *b* die auf der Basis des monoklinen Muscovits durch Behandlung mit Flussspath und Schwefelsäure erzeugten Aetzfiguren wieder; die ersteren sind, entsprechend der Symmetrie der rhombischen Basis, gleichgestaltet einerseits nach rechts und links, anderseits nach vorne und hinten, wogegen diejenigen auf der

1) Vgl. dar. auch die am Kalkspath mit verschiedenen Säuren gewonnenen Aetzresultate von *O. Meyer*, N. Jahrb. f. Min. 1883. I. 74. Beim Datolith sind ebenfalls die mit Salzsäure oder Schwefelsäure gewonnenen Aetzfiguren ganz andere, als sie durch Aetzkali hervorgerufen werden.

Basis des Muscovits blos nach rechts und links sich symmetrisch verhalten. Fig. *c* zeigt die mit Salzsäure hervorgerufenen Aetzfiguren auf dem Brachypinakoid des nach der Verticalaxe hemimorphen Kieselzinks, welche selbst oben anders als unten ausgebildet sind. Werden Quarzkrystalle mit Flusssäure geätzt, so bedecken sich die Flächen mit feinen Figuren, welche durch Form oder Lage den unsymmetrischen

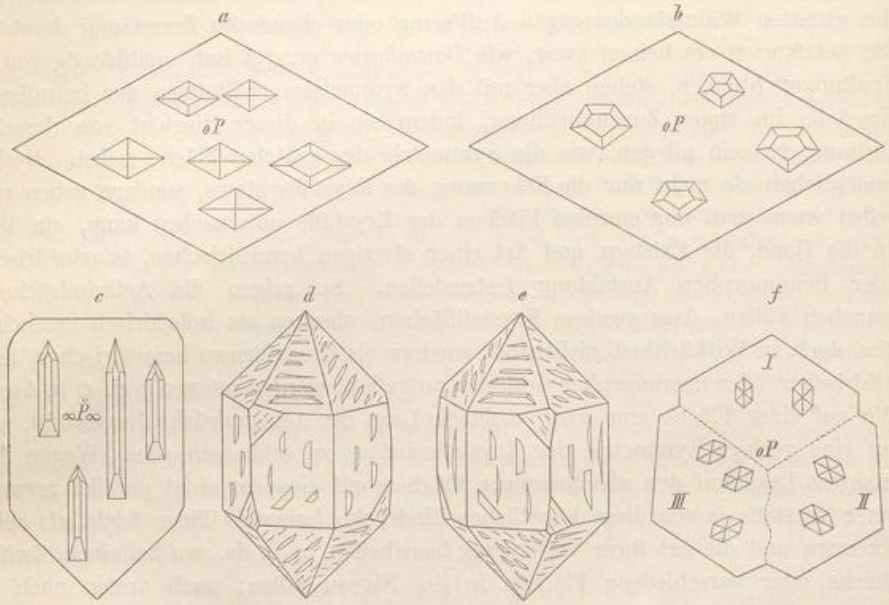


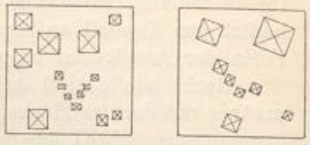
Fig. 301.

Charakter aller Flächen bekunden und zugleich den Gegensatz der beiden Rhomboëder +R und −R ersichtlich machen; bei dem linken Quarzkrystall (Fig. *d*) finden sich dieselben Figuren in gerade entgegengesetzter Stellung, wie bei dem rechten (Fig. *e*). Der vielleicht scheinbar ein einfaches Individuum bildende Drilling von Aragonit lässt auf der mit Essigsäure geätzten Basis die drei verwachsenen Krystalle durch die relativ abweichende Lage ihrer Aetzfiguren deutlich unterscheiden (Fig. *f*).

Eine Aetzfigur auf der Fläche eines holoëdrisch-regulären Oktaëders muss 3 Symmetrielinien besitzen, da der Fläche selbst 3 Symmetrielinien eigen sind; gehört aber das Oktaëder der dodekaëdrischen Hemiëdrie an, so wird sich die Aetzfigur durch mindere Symmetrie auszeichnen müssen. Aetzfiguren mit 4 Symmetrielinien können nur auf den Flächen des regulären Würfels oder auf der Basis des tetragonalen Systems erscheinen. Auf den Pyramidenflächen des tetragonalen Systems müssen Aetzfiguren von monosymmetrischem, auf denen des rhombischen Systems solche von asymmetrischem Charakter entstehen. Zeigen sich auf den beiden Makropinakoiden eines triklinen Krystalls abweichende Aetzfiguren, so gehört derselbe der letzten asymmetrischen Abtheilung an.

Durch das Studium der Aetzfiguren ist die Krystallisation mancher Mineralien überhaupt erst richtig erkannt worden. So leitete auch die Form der Aetzeindrücke auf den Spaltflächen des Glimmers zu der Ueberzeugung, dass derselbe zum monoklinen System gehöre, während er früher als rhombisch galt. — Der als isomorph mit dem rhomboëdrisch-hemiëdrischen Kalkspath betrachtete Dolomit muss auf Grund seiner abweichenden asymmetrischen Aetzfiguren als rhomboëdrisch-tetartoëdrisch betrachtet werden. — Während auf den Würfelflächen des wirklich holoëdrisch-regulären Steinsalzes die Aetzeindrücke eine normale Stellung aufweisen (Fig. 302*a*), ist bei den

äusserlich ebenfalls holoëdrisch erscheinenden Würfeln des Sylvins (Chlorkaliums) die unsymmetrische Lage der vierflächig-pyramidalen Aetzeindrücke zu den Würfelkanten (Fig. 302 *b*) berechtigte Veranlassung gewesen, die Krystalle der plagiëdrisch-hemiëdrischen Abtheilung des regulären Systems zuzurechnen. — Nach *Brögger* verweisen die Aetzeindrücke auf ∞O des als holoëdrisch-regulär geltenden Sodaliths auf tetraëdrische Hemiëdrie. — Der Skolecit muss zufolge *Rinne* wegen seiner Aetzfiguren auf ∞P und $\infty P\infty$ als geneigtflächig-hemiëdrisch monoklin gelten (N. Jahrb. f. Min. 1894. II. 51). — Die scheinbar holoëdrisch hexagonalen Krystalle des Nephelins sind nach *Baumhauer* hemimorph pyramidal-hemiëdrisch (Z. f. Kryst. XVIII. 1891. 611).



a *b*

Fig. 302.

Im Allgemeinen sind die Aetzeindrücke um so schärfer begrenzt, je kleiner sie sind und dies wird durch eine möglichst kurze Einwirkungsdauer des Corrosionsmittels erzielt; bei verlängerter Einwirkung fallen die Figuren gross, aber verschwommen aus. Am besten entstehen sie auf solchen Flächen, welche nicht allzu leicht vom Aetzmittel angegriffen werden. Die geringste Abrundung, die grösste Schärfe geradliniger Kanten findet sich in den tiefsten Theilen der Grübchen.

Im Beginn der Aetzeinwirkung entstehen ebene Flächen (primäre Aetzflächen), die dem Gesetz der rationalen Parameterverhältnisse gehorchen. Im Verlauf des Lösungsvorgangs muss indessen der Eindruck allmählich flacher ausfallen, da auf seinem Grunde sich das Lösungsmittel rasch sättigt und hier die Auflösungsgeschwindigkeit abnimmt, wogegen in der Nähe des oberen Randes durch Diffusion stets neue Mengen von Lösungsmittel zugeführt werden und die Lösung wie früher vorschreitet. Die so neu entstehenden Begrenzungsflächen, die secundären Aetzflächen, liegen mit den primären in bestimmten Zonen, den Aetzzonen, welche sowohl für den Krystall, als für den Aetzprocess charakteristisch sind.

Aehnlich wie bei vielen Krystallen die Aetzung durch Säuren, wie bei den in Wasser löslichen der Angriff durch dieses Mittel (oder durch den Wasserdampf beim Anhauchen), wirkt nach *G. Rose* bei dem Diamant der Verbrennungsprocess, indem sich während des Verbrennens auf seiner Oberfläche (durch den Sauerstoff als corrodirendes Mittel) kleine dreiflächige Vertiefungen ausbilden, deren Flächen denen des Ikositetraëders 303 parallel sind.

Baumhauer erwies speciell, dass die auf der Basis des Apatits gebildeten, der Symmetrie entsprechenden tritopyramidalen Aetzeindrücke keine constante, sondern von der Beschaffenheit der corrodirenden Substanz abhängige Lage besitzen; mit zunehmender Concentration der Salpetersäure erfahren die Aetzeindrücke eine Drehung, wodurch sie sich mehr einer Protopyramide nähern, wogegen umgekehrt bei den mit Salzsäure geätzten Krystallen der grösseren Concentration der Säure eine grössere Annäherung der Eindrücke an die Lage einer Deuteropyramide entspricht.

Bei längerer Einwirkung der Corrosionsmittel oder auf wenig widerstandsfähigen Flächen schliessen bisweilen die Vertiefungen durch gegenseitiges Ineinanderfliessen in der Weise aneinander, dass zwischen ihnen Erhabenheiten sich ausbilden, welche ebenfalls eine selbständige charakteristische Form gewinnen und Aetzhügel genannt werden (*Becke*). So haben die auf $\infty O\infty$ des Bleiglanzes durch Salzsäure entstehenden Aetzhügel die Gestalt achtseitiger Pyramiden (auf O und ∞O entstehen gleichzeitig vertiefte Aetzgrübchen); die auf ∞O der Zinkblende erscheinenden Aetzhügel zeigen eine dem Pyramidentetraëder entsprechende Lage.

Auffallender Weise ist die Vertheilung der Figuren über die geätzte Fläche gewöhnlich eine durchaus regellose, von dem ganz vereinzelten Auftreten einiger weniger bis zur gänzlichen Bedeckung der Flächen mit aneinanderstossenden Figuren sind alle Fälle vertreten; auch werden an einem und demselben Krystall die gleichnamigen Flächen durchaus nicht in gleichem Maasse mit den Aetzfiguren bedeckt. Dies erweist, »dass die Krystalle nicht homogen in dem Sinne sind, dass sie überall einem

in gleicher Richtung und mit gleicher Stärke wirkenden chemischen Angriff den gleichen Widerstand entgegensetzen, im Gegentheil gibt es darin zahlreiche unregelmässig vertheilte Punkte, wo dieser Widerstand geringer ist, als in der Umgebung; dennoch besitzt der Krystall an diesen Stellen eine gesetzmässige Structur, welche sich in der Form der Aetzfiguren ausprägt« (*Baumhauer*, Z. f. Kryst. XXX. 1899. 111).

Recht häufig sind Aetzfiguren beobachtet und beschrieben worden, deren Symmetrie mit der der Fläche, auf welcher sie auftraten oder mit der für den Krystall angenommenen nicht übereinstimmte, und alsdann erweisen sie sich durchgängig als minder symmetrisch. *Baumhauer* erhielt z. B. auf $\infty\breve{P}\infty$ des Colemanits neben rhomboidalen, der monoklinen Symmetrie entsprechenden auch vollständig unsymmetrische Aetzfiguren. Sofern es sich dabei nicht um das gegenseitige Ineinanderfliessen zweier benachbarter Figuren handelt, hat man solche Anomalieen auf das Dasein und auf die Einwirkung anisomorpher Beimengungen zurückzuführen versucht (*Vater*, Z. f. Kryst. XXX. 1899. 301; *Westhoff*, Unters. über die Krystallstructur d. Glieder d. Aragonitgruppe; Dissert., Freiburg, Schweiz, 1899).

Das Lösungsmittel greift die Krystalle nicht stets lediglich auf den Flächen an, bisweilen wird auch hauptsächlich an den Kanten Substanz gelöst und es bilden sich hier schmale und matte, die Kanten abstumpfende Flächen aus (Prärosionsflächen von *Hamberg* genannt, indem Corrosions- oder Aetzflächen diejenigen kleinen Flächen sind, welche die Aetzgrübchen oder Aetzhügel begrenzen). Ihre Lage führt, soweit sich ermessen lässt, ebenfalls auf rationale Parameterverhältnisse, wobei aber die Coëfficienten oft relativ hohe Zahlen sind. Liegen mehre Prärosionsflächen in einer Zone, so wird diese eine Hauptätzzone genannt. Selbstverständlich kann man aus der übereinstimmenden oder verschiedenen Angreifbarkeit der Kanten deren Gleichwerthigkeit oder Ungleichwerthigkeit erkennen. An einem pyramidal endenden Quarzkrystall werden die Polkanten durch Flusssäure abwechselnd sehr stark und nur wenig angegriffen, auch die verticalen Prismenkanten verhalten sich sehr ungleich. Eine starke Aetzung mit Salzsäure oder Salpetersäure formt ein Spaltungsrhomboëder R von Kalkspath in die Combination eines Skalenoëders mit einem Rhomboëder um.

An einem und demselben Krystall werden die ungleichartigen Flächen (und Kanten) auch durch Aetzmittel abweichend rasch und stark angegriffen. Verdünnte Säure ätzt an einem Aragonitkrystall die Flächen von ∞P rascher als die von $\infty\breve{P}\infty$. *Lavizzari* ermittelte die quantitativen Gegensätze, indem er die Mengen von Kohlensäure für sich getrennt bestimmte, welche durch Säureeinwirkung von den verschiedenen Flächen des Kalkspaths binnen gleicher Zeit geliefert wurden. Nach *Hamberg* ist das Lösungsverhältniss in reiner Salzsäure beim Kalkspath auf den Flächen $+R : -2R : \infty R : 0R : -\frac{1}{2}R = 54 : 64 : 130 : 201 : 213$. — Beim Quarz findet nach *Viola* das Maximum der Löslichkeit in der Richtung der Hauptaxe, das Minimum in der dazu senkrechten Richtung statt. — Sind Krystalle aus isomorphen, aber chemisch etwas verschieden beschaffenen Schichten aufgebaut, so werden die einzelnen derselben durch die Aetzung oft merklich abweichend beeinflusst; damit könnte es zusammenhängen, dass stellenweise eine Aneinanderreihung der Aetzfiguren nach bestimmten krystallographischen Richtungen bemerkt wird (Aetzgräben bei Eindrücken, Aetzwälle bei Aetzhügeln). — Natürliche Krystallflächen scheinen im Allgemeinen schwieriger durch Aetzung angreifbar als künstliche Spaltflächen; Spaltflächen, welche längere Zeit der Luft ausgesetzt waren, schwieriger als frisch erzeugte.

Werden aus Krystallen geschliffene Kugeln einer Aetzung unterworfen, so bilden sich gleichzeitig alle möglichen Corrosionsflächen aus, da in diesem Falle keine Krystallflächen vorhanden sind, welche etwa ein besonderes Resultat hervorrufen könnten. *Lavizzari* erhielt aus einer Kalkspathkugel, welche sich langsam in concentrirter Salpetersäure auflöste, schliesslich eine hexagonale Pyramide. Nach *Meyer* und *Penfield* sowie *Gill* erfolgt die allmähliche Auflösung einer Quarzkugel durch Flusssäure am raschesten in der Richtung der optischen Axe (Hauptaxe) und in dieser wird so die Kugel bald stark abgeplattet; senkrecht zur Hauptaxe ist die Lösung sehr gering.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Aeltere Beobachtungen über die Aetzung von Krystallen finden sich schon in einer Abhandlung von *Daniell* (übersetzt in *Oken's* Isis vom Jahre 1817, S. 745). — Besonders wurde dann die Aufmerksamkeit auf die Aetzeindrücke wieder gelenkt durch die Versuche von *Leydolt* am Quarz (Sitzgsber. Wien. Akad. XV. 59) und jene von *Lavizzari* am Kalkspath. *H. Baumhauer* gab in den Ann. d. Phys. u. Ch. Bd. 138. 563; Bd. 139. 439; Bd. 140. 271; Bd. 145. 459; Bd. 150. 619; Bd. 153. 75, und mehrfach in den neueren Jahrgängen des N. Jahrb. f. Mineralogie sowie in der Zeitschr. f. Kryst. die Resultate seiner unermüdlichen und werthvollen Untersuchungen über die Aetzfiguren. Vgl. noch *Becke* in Min. u. petr. Mitth. V. 1883. 457 (Zinkblende), ebendas. VI. 1885. 237 (Bleiglanz), VII. 1886. 200 (Magnetit), VIII. 1887. 230 (Pyrit), XI. 1890. 349 (Flussspath); *v. Ebner* in Sitzgsber. Wiener Akad. Bd. 89. 1884. 368 und Bd. 91. 1885. 760; *Bömer*, N. Jahrb. f. Min. Beilageb. VII. 1891. 517 (Quarz); *Molengraaff*, Z. f. Kryst. XIV. 1888. 173 und XVII. 1890. 137 (Quarz); *Gill*, ebendas. XXII. 1894. 110 (Quarz); *Daly*, Ref. im N. Jahrb. f. Min. 1900. II. 336 (Amphibole und Pyroxene). Eine vortreffliche Uebersicht gewährt die Schrift von *Baumhauer*, »Die Resultate der Aetzmethode in der krystallogr. Forschung, mit 12 Tafeln in Lichtdruck«, Leipzig 1894.

Bisweilen zeigen auch in der Natur vorkommende Mineralien Erscheinungen, welche man als Wirkungen einer mit natürlichen Corrosionsmitteln vor sich gegangenen Oberflächenätzung aufzufassen veranlasst ist: Aetzgrübchen, Aetzhügel, Prärosionsflächen. Selbstverständlich dürfen diese Vorkommnisse weder mit der S. 148 erwähnten treppenartigen Vertiefung der Flächen, noch mit der S. 144 besprochenen Drusigkeit verwechselt werden. Eine tief eingreifende Aetzung kann wohl eine wie zernagt aussehende Form im Gefolge haben. Am Magnetit werden bei der künstlichen Aetzung durch Säuren ∞O und O beinahe gleichmässig angegriffen, während die auf natürlichem Wege angeätzten Krystalle auf ∞O ein Maximum, auf O ein Minimum des Angegriffenseins erkennen lassen (*Becke*).

In den Kreis dieser Erscheinungen gehören auch wohl die auf natürlichem Wege sich bei der Zersetzung von Krystallen entwickelnden regelmässigen Verwitterungs- (oder Verstäubungs-)gestalten, deren oft scharfe Begrenzungsflächen mit den Symmetrieverhältnissen des Krystallsystems im Einklang stehen; vgl. auch § 128.

§ 93. **Bruch der Mineralien.** Wird ein Mineral nach Richtungen zerbrochen oder zerschlagen, in welchen keine Spaltbarkeit vorhanden ist, so entstehen Bruchflächen, die man kurzweg den Bruch nennt. Bei Mineralien von sehr vollkommener Spaltbarkeit, z. B. Kalkspath oder Bleiglanz ist es daher schwierig, eigentliche Bruchflächen zu beobachten oder hervorzubringen, zumal wenn die Spaltung nach mehren Richtungen gleich erfolgt. Je unvollkommener aber die Spaltbarkeit ist, um so bestimmter tritt der Bruch hervor, indem die Spaltungsflächen an sehr vielen Stellen durch Bruchflächen unterbrochen werden, und zuletzt nur noch an einzelnen Punkten sichtbar sind. Bei der Beschreibung des Bruchs hat man die allgemeine Form der Bruchflächen und ihre Beschaffenheit im Kleinen anzugeben. In ersterer Hinsicht erscheint der Bruch:

1) muschelig, wenn die Bruchflächen muschelähnliche Vertiefungen zeigen, wobei weiter flach- und tiefmuscheliger, gross- und kleinmuscheliger, vollkommen und unvollkommen muscheliger Bruch unterschieden wird;

2) eben, wenn die Bruchflächen ziemlich frei von Vertiefungen und Erhabenheiten sind, und sich in ihrer Ausdehnung einer Ebene nähern;

3) uneben, wenn dieselben regellos Erhöhungen und Vertiefungen zeigen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Nach der Beschaffenheit der Oberfläche erscheint der Bruch:

1) glatt, wenn die Bruchfläche ganz stetig ausgedehnt und frei von kleinen Rauhheiten ist;
2) splitterig, wenn die Bruchfläche kleine halbabgelöste Splitter zeigt; diese Splitter werden dadurch besonders sichtbar, dass sie in ihren scharfen Rändern lichter gefärbt und stärker durchscheinend sind; wie denn überhaupt eine deutliche Wahrnehmbarkeit dieses Bruches nur bei pelluciden Mineralien stattfinden kann; man unterscheidet übrigens nach der Grösse der Splitter fein- und grobsplitterigen Bruch; Feuerstein;
3) erdig, wenn die Bruchfläche lauter staubartige oder sandartige Theilchen wahrnehmen lässt; feinerdig und groberdig; kommt wohl bei Individuen nur im zerstörten oder zersetzten Zustand vor; Thon, Tripel, Kreide;
4) hakig, wenn dieselbe sehr kleine drahtähnliche Spitzen von hakenartiger Krümmung zeigt; findet sich nur bei dehnbaren gediegenen Metallen.

2. Härte der Mineralien.

§ 94. **Schwierigkeit ihrer Bestimmung.** Ausser der Bestimmung der relativen Cohärenz, wie sich solche in den Verhältnissen der Spaltbarkeit zu erkennen gibt, ist auch eine, wenigstens approximative Bestimmung der absoluten Cohärenz, oder der Härte der Krystalle und der Mineralien überhaupt von grosser Wichtigkeit. Unter der Härte eines festen Körpers versteht man den Widerstand, welchen er der Trennung seiner kleinsten Theile entgegensetzt.

Zu einer leichten, schnellen und für das gewöhnliche praktische Bedürfniss hinreichend sicheren Bestimmung der Härte steht kein anderes Mittel zu Gebot, als das Experiment, mit einer Stahlspitze oder auch mit dem scharfkantigen Fragment eines Minerals in das zu prüfende Mineral einzudringen, also dasselbe zu ritzen oder zu schaben. Da nun die Ursache des dabei geleisteten Widerstandes in der Cohärenz, oder in derjenigen Kraft zu suchen ist, welche die Theile des Minerals zusammenhält, und da diese Cohärenz in den Krystallen nach gewissen Richtungen ihre Minima hat, so wird natürlich auch die Härte an einem und demselben Krystall nach verschiedenen Richtungen mehr oder weniger verschieden sein müssen, was sich schon dadurch offenbart, dass an einem und demselben Krystall die Flächen verschiedener Krystallformen bei dem Ritzungs-Experiment oft einen sehr verschiedenen Widerstand erkennen lassen.

Aber auch eine und dieselbe Krystallfläche zeigt oft nach verschiedenen Richtungen mehr oder weniger auffallende Verschiedenheiten der Härte; und sogar dieselbe Richtung auf derselben Fläche verräth dergleichen Verschiedenheiten, je nachdem längs dieser Richtung das Ritzungs-Experiment in dem einen, oder in dem entgegengesetzten Sinne ausgeführt wird. Doch zeigen stets alle correlaten, d. h. alle derselben Form oder Partialform angehörigen Flächen ganz übereinstimmende Verhältnisse. Man würde also eigentlich bei Krystallen die Flächen, auf welchen, und die Richtung, nach welcher das Experiment angestellt worden ist, angeben müssen, dafern eine sehr genaue Bestimmung der Härte stattfinden sollte oder könnte. Da jedoch eine solche Bestimmung bei Anwendung der gewöhnlichen Ritzungsmethode ohnedies nicht zu hoffen ist, so muss

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

man sich mit einer ungefähren Bestimmung der mittleren Härte begnügen, und diese ist mit einer, dem nächsten Bedürfniss der Mineralogie hinreichend entsprechenden Genauigkeit durch das von *Mohs* angegebene Verfahren zu erhalten.

Schon *Huyghens* bemerkte, dass sich die Flächen der rhomboëdrischen Spaltungsstücke des Kalkspaths nach einer Richtung leichter ritzen lassen, als nach der anderen. Dieselbe Erscheinung ist später bei anderen Mineralien, z. B. am Gyps, Disthen und Glimmer erkannt, zuerst aber 1829 von *Frankenheim* nach ihrer Abhängigkeit von der Lage der Spaltungsflächen untersucht worden. Beim Flussspath sind die Oktaëderflächen weniger hart als die Würfelflächen; auf den Würfelflächen ist nach *Franz* die geringste Härte in der Richtung der Diagonalen, die grösste parallel den Kanten. Ein von *Seebeck* construirter und von *Franz* benutzter Apparat (Sklerometer) beruht darauf, dass sich über dem Mineral eine verticale Diamant- oder Stahlspitze befindet, welche durch aufzulegende Gewichte auf die zu prüfende Fläche hinabgedrückt wird; wenn man nun das auf einem Wagen befestigte Mineral in horizontaler Lage langsam unter dieser Spitze fortbewegt, so lässt die Menge der Gewichte, womit die Spitze belastet werden muss, damit auf der Fläche ein Strich erscheint, eine Vergleichung der Härte zu. Aus den mit einem ähnlichen Apparat 1854 ausgeführten sklerometrischen Untersuchungen des Kalkspaths von *Grailich* und *Pekárek* folgt das überraschende Resultat, dass sich in diesem Mineral der kleinste und grösste Härtegrad wie 1 : 10 verhalten. Ausführliche Beobachtungen stellte später *F. Exner* an 17 Substanzen an; die werthvollen Ergebnisse finden sich niedergelegt in einer von der Wiener Akademie gekrönten Preisschrift (Wien 1873). — *Pfaff* versuchte, die absolute Härte dadurch zu messen, dass man mit der horizontalen Schneide eines meisselförmigen Diamantsplitters bei mässiger Belastung vielmals über eine horizontale Krystallfläche abhobelnd hinfährt; wägt man den Krystall vor und nach dem Ritzen, so kann man aus der Gewichtsdifferenz der beiden Wägungen (dem Gewicht des weggeritzten Pulvers) und dem spec. Gewicht des Krystalls theoretisch die Tiefe der Hobelrinne berechnen. Damit verbindet dann *Pfaff* den weiteren Satz, dass die Härte der Mineralien genau im umgekehrten Verhältniss stehe zu der bei gleicher Belastung und gleicher Zahl der Gänge der Diamantschneide über die Krystallfläche erzeugten Tiefe der Hobelrinne. Mesosklerometer nennt *Pfaff* ein von ihm construirtes Instrument zur Messung der mittleren Härte. Es besteht im Wesentlichen darin, dass eine belastete feste Diamantspitze sich in eine darunter befindliche, vermittels eines Zahnrades in drehende Bewegung versetzte Krystallfläche einbohrt, und nun vermittels eines kleinen Fühlhebels die Tiefe, bis zu welcher der Bohrer eindrang, genau gemessen wird. Die Zahl der Umdrehungen, welche nöthig ist, um den gleichmässig nach allen Richtungen wirkenden Bohrer stets um den gleichen Betrag in den Krystall eindringen zu lassen, steht direct im Verhältniss zur Härte. Ein auf ähnlichem Princip beruhendes, mit einem Mikroskop zu verbindendes »Mikrosklerometer« construirte *Jaggar* (Z. f. Kryst. XXIX. 1898. 262). *Rosiwal* versuchte, die Härte durch Schleifen mit einer bestimmten Menge eines Normalpulvers bis zu dessen Unwirksamkeit zu messen, wobei die Härte umgekehrt proportional dem Volumverlust ist (Verh. geol. Reichsanst. Wien, 1896. 495).

Streng genommen würde sich also der mittlere Härtegrad eines krystallinischen Minerals nicht sowohl an dessen grösseren Krystallen oder Individuen, sondern an dessen kryptokrystallinischen Aggregaten, also an den sogenannten dichten Varietäten bestimmen lassen, in welchen jedes Individuum gleichsam auf einen materiellen Punkt reducirt ist, dessen Härte die mittlere Resultante aller der nach verschiedenen Richtungen vorhandenen Härtegrade darstellen würde.

§ 95. **Methode der Härtebestimmung nach *Mohs*.** Diese Methode beruht auf dem Axiom, dass von zwei Körpern, von welchen der eine den anderen

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

zu ritzen vermag, der ritzende härter ist als der geritzte. Dasselbe begründet die Aufstellung einer Härtescala, indem man mehre Mineralien von deutlich ausgesprochenen Härtedifferenzen in eine Reihe stellt, deren mit Zahlen bezeichnete Glieder als feste Vergleichungspunkte für alle übrigen Bestimmungen dienen. *Mohs* hat folgende allgemein angenommene zehngliedrige Scala vorgeschlagen:

Härtegrad 1	= Talk,	Härtegrad 6	= Orthoklas,
» 2	= Steinsalz oder Gyps,	» 7	= Quarz,
» 3	= Kalkspath,	» 8	= Topas,
» 4	= Flussspath,	» 9	= Korund,
» 5	= Apatit,	» 10	= Diamant.

Mit Ausnahme des Diamants, der sehr selten in Anwendung kommt, hat man grössere und kleinere Stücke dieser Mineralien vorräthig, um sie bei den Härtebestimmungen zu benutzen. Die Prüfung der Härte eines gegebenen Minerals geschieht nun in der Weise, dass man mit einem etwas scharfkantigen oder spitzigen Stück desselben die Glieder der Scala zu ritzen versucht, indem man von den härteren zu den minder harten herabsteigt, um nicht die Probestücke der unteren Härtegrade unnöthiger Weise zu zerkratzen. Dadurch bestimmt sich zuvörderst dasjenige Glied der Scala, dessen Härtegrad von dem des gegebenen Minerals noch eben übertroffen wird. Hierauf versucht man, ob das zu prüfende Mineral selbst von dem Mineral des nächst höheren Härtegrades wirklich geritzt wird, oder nicht. Im letzteren Falle hat es genau den nächst höheren Härtegrad; im ersteren Falle liegt seine Härte zwischen diesem und dem nächst niederen Härtegrad. Ist das zu prüfende Mineral eingewachsen oder nicht verfügbar in isolirten Bruchstücken, so versucht man dasselbe mit den Gliedern der Härtescala zu ritzen, wobei man von unten nach oben fortgeht, bis dasjenige Glied erreicht wird, welches eine Ritzung hervorbringt.

Das Resultat solcher Prüfung drückt man einfach durch Zahlen aus; fände man z. B., dass ein Mineral genau so hart ist, wie Orthoklas, so schreibt man: H. = 6; oder fällt seine Härte zwischen die des Orthoklases und Quarzes, so schreibt man: H. = 6,5. Dass nun diese Zahlen kein genaues Maass-Verhältniss der Härte ausdrücken können und sollen, dies versteht sich von selbst; auch würde man eben so gut Buchstaben oder sonstige Zeichen gebrauchen können, wenn nicht die Zahlenreihe den Vortheil gewährte, die successive Steigerung der Härtegrade einigermassen auszudrücken. Uebrigens sind die Härtedifferenzen zwischen den höheren Gliedern der Scala weitaus bedeutender, als zwischen den Anfangsgliedern.

Bei diesen Vornahmen muss allemal genau constatirt werden, ob thatsächlich ein Ritz entstanden ist oder nicht, und vor allem darf nicht ein von der angewandten scharfen Kante herrührender feiner Pulverstrich mit einem Ritz verwechselt werden. Ist die zu prüfende Fläche nicht völlig eben, so können auf ihr selbst durch eine weichere Kante oder Spitze kleine hervorragende Theilchen abgesprengt werden. Bei faserigen Mineralien kann ein anscheinendes Geritztwerden darauf beruhen, dass eine weichere Spitze die Fasern nur auseinanderreisst. Eine an der Oberfläche eingetretene Umwandlung der Substanz bringt dort eine Veränderung, meist eine Verminderung der Härte mit sich (Granat, Feldspath).

Mineralien von H. = 1 fühlen sich fettig an; solche von H. = 2 (nicht mehr solche von = 3) lassen sich noch mit dem Fingernagel ritzen; eine Kupfermünze

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

hat die H. = 3, Fensterglas = 5; ein Messer ritzt noch Substanzen bis zur H. = 4; zwischen 6 und 7 beginnt die H., welche am Stahl Funkensprühen hervorruft.

Setzt man die Härte des Gusseisens = 1000, so ist sie nach *Calvert* und *Johnson*

für Stahl	= 958	für Aluminium	= 271	für Cadmium	= 108
» Stabeisen	= 948	» Silber	= 208	» Wismut	= 52
» Platin	= 375	» Zink	= 183	» Zinn	= 27
» Kupfer	= 304	» Gold	= 167	» Blei	= 16

Sowohl zur Controle des ersten durch Ritzen gefundenen Resultates, als auch zur genaueren Ermittelung des Härtegrades, wenn solcher zwischen zwei Glieder der Scala fällt, dient nun die Anwendung des ferneren Satzes von *Mohs*, dass von zwei Körpern ungefähr gleichen Volumens und ähnlicher Configuration, welche mit möglichst gleichem Druck auf einer feinen Feile gestrichen werden, derjenige der härtere ist, welcher einen schärferen Klang, einen grösseren Widerstand und ein spärlicheres Strichpulver gibt. Indem man so das Probestück mit einem, nach Form und Grösse ungefähr gleichen Stück sowohl des nächst höheren, als auch des nächst niederen Härtegrades auf der Feile vergleicht, unterstützt sich das Gefühl und Gehör des Beobachters gegenseitig, und es ist auch auf die Menge des abgefeilten Pulvers Rücksicht zu nehmen.

§ 96. **Allgemeine Ergebnisse der Härtebestimmungen.** Nach den bisherigen Untersuchungen, insbesondere denen von *Exner*, gelten folgende Sätze:

1) Gegensätze in der Härte werden überhaupt nur an solchen Krystallen beobachtet, welche eine Spaltbarkeit besitzen.
2) Die Krystallflächen, welche der vollkommensten Spaltbarkeit parallel gehen, sind überhaupt am wenigsten hart, diejenigen, auf denen die Spaltbarkeit senkrecht steht, am härtesten.
3) Auf einer Fläche, die der Spaltung parallel geht und von keiner weiteren Spaltrichtung getroffen wird, ist die Härte nach allen Richtungen gleich.
4) Eine Fläche, auf welcher die Spaltbarkeit senkrecht steht, besitzt in der Richtung parallel zur Spaltung die geringste, senkrecht zur Spaltung die grösste Härte.
5) Auf einer Fläche, welche schief von einer Spaltebene geschnitten wird, zeigt sich sogar eine Härtedifferenz längs derselben Linie: ritzt man von dem stumpfen Durchschnittswinkel gegen den scharfen zu, so offenbart sich die grössere Härte; wird umgekehrt die Härte in der Richtung von dem scharfen Durchschnittswinkel gegen den stumpfen zu geprüft, so ist sie geringer.

Um graphisch auf einer Krystallfläche die Grösse der Härte in einer bestimmten Richtung darstellen zu können, drückte *Exner* das zum Ritzen nothwendige Gewicht durch die relative Länge von Linien aus, welche vom Mittelpunkt aus gezogen werden; in der Richtung, in welcher bei 3 Gramm Belastung ein Ritz erfolgte, wurde eine dreimal so lange Linie aufgetragen, als in einer anderen, in welcher zum Ritzen blos 1 Gr. erforderlich war. Verbindet man die Enden sämmtlicher vom Mittelpunkt aus strahlenförmig auslaufender Linien, so wird die Härtecurve auf der geprüften Fläche erhalten. Zeigen sich keine Härtegegensätze nach verschiedenen Richtungen, so ist diese Curve ein Kreis; steht auf der untersuchten Fläche eine einzige Spaltbarkeit senkrecht, so gibt sie eine Ellipse; wird die Fläche von mehren Spaltrichtungen geschnitten, so liefert sie eine gelappte Figur, welche in der Richtung grösserer Härte eine Ausbuchtung, in derjenigen geringerer eine Einbuchtung zeigt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Auf der sechsseitigen Basis (*a* in Fig. 303) des monoklinen Glimmerkrystalls, welcher nur nach dieser Fläche Spaltbarkeit zeigt, erscheint nach Satz 3 die Härtecurve als Kreis; auf der Seitenfläche dieses Minerals (Fig. *b*) ist sie eine Ellipse, deren kürzere Axe parallel zur basischen Spaltbarkeit steht (Satz 4). Auf den Würfelflächen des vollkommen cubisch spaltbaren Steinsalzes (Fig. *c*) ist die Härtecurve vierlappig,

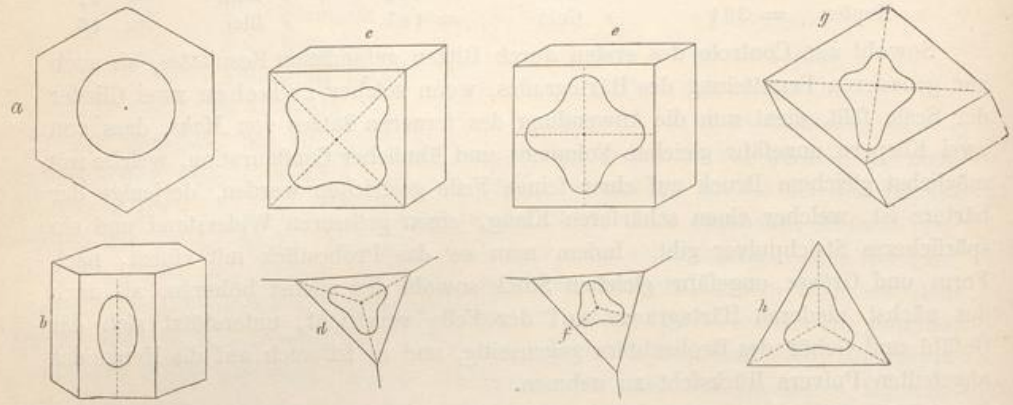


Fig. 303.

indem die Maxima der Härte den Diagonalen parallel sind (Satz 4). Wird an dem Steinsalzwürfel eine dreieckige Oktaëderfläche angeschliffen (Fig. *d*), so erscheint die geringste Härte senkrecht gegen die Combinationskante von Oktaëder und Würfel. Gerade umgekehrt liegen die Verhältnisse an dem oktaëdrisch spaltbaren regulären Flussspath. Auf seinen Würfelflächen (Fig. *e*) ist senkrecht zu den Kanten die Härte am grössten, in der Richtung der Diagonalen am geringsten; auf einer Oktaëderfläche desselben (Fig. *f*) ergibt sich hier senkrecht gegen die Combinationskante von Würfel und Oktaëder die grösste Härte. Der rhomboëdrisch spaltbare Kalkspath ist überhaupt auf diesen Spaltungsflächen am mindesten hart; auf ihnen (Fig. *g*) erscheint eine vierlappige Härtecurve, welche ihren schwächsten Lappen gegen die Polecke des Rhomboëders wendet; wird an dem Rhomboëder die gleichseitig-dreieckige Basis angeschliffen (Fig. *h*), so zeigt sie eine symmetrisch-dreilappige Härtecurve.

Wenn auch die Härtecurve sehr verschiedene Configuration besitzen kann, so entspricht doch ihre Symmetrie immer derjenigen der geritzten Fläche.

3. Tenacität und Elasticität der Mineralien.

§ 97. **Tenacität.** Die Qualität der Cohärenz oder die Tenacität lässt vorzüglich folgende Verschiedenheiten erkennen. Ein Mineral ist:

1) spröde, wenn sich jede, durch eine Stahlspitze, Feile oder ein Messer bewirkte Unterbrechung des Zusammenhangs von selbst nach vielen Richtungen weiter fortsetzt, so dass sich kleine Risse und Sprünge bilden und viele, zum Theil fortspringende Splitter ablösen, was meist mit Heftigkeit und einem knisternden Geräusch geschieht; Zinkblende, Feldspath;
2) mild, wenn sich die Unterbrechung des Zusammenhangs nur wenig fortsetzt, wobei die abgetrennten Theile nur pulverartig zermalmt erscheinen und ruhig liegen bleiben; Speckstein, Kupferglanz;
3) geschmeidig, wenn die Unterbrechung des Zusammenhangs genau nur so weit stattfindet, als das Instrument eingedrungen ist, dabei weder Splitter

noch Pulver entstehen, sondern die abgetrennten Theile ihren Zusammenhang behaupten; Silberglanz, Silber, Kupfer;

4) biegsam, wenn dünne Blättchen oder Stäbchen gebogen werden können, ohne nachher ihre frühere Form wieder anzunehmen; Chlorit, Talk;

5) elastisch, wenn dünne Blättchen oder Nadeln nach der Biegung, oder grössere Massen nach einer Zusammendrückung in ihre vorige Form und Lage zurückspringen; Glimmer, Asbest, Elaterit;

6) dehnbar, wenn es sich unter dem Hammer zu dünnen Blechen plätten oder auch zu Draht ausziehen lässt, ohne den Zusammenhang zu verlieren.

Nach *Haidinger* ordnen sich die Metalle bezüglich ihrer Streckbarkeit zu Draht in: 1. Gold, 2. Silber, 3. Platin, 4. Eisen, 5. Kupfer, 6. Zink, 7. Zinn, 8. Blei; nach ihrer Hämmerbarkeit in: 1. Gold, 2. Silber, 3. Kupfer, 4. Zinn, 5. Platin, 6. Blei, 7. Zink, 8. Eisen.

§ 98. **Elasticität.** Durch mechanische comprimirende oder dilatirende Kräfte kann Gestalt und Volumen eines festen (nicht starren) Körpers eine Veränderung, eine Deformation erfahren, wobei die verschiedenen Körper einen abweichenden Widerstand entgegensetzen. Sofern die deformirende, eine Annäherung oder Entfernung der kleinsten Theilchen hervorbringende Kraft eine gewisse Grenze nicht überschreitet, wird beim Aufhören der Einwirkung auch die Deformation selbst wieder rückgängig gemacht, der Körper nimmt also seine anfängliche Grösse und Form wieder an. Diese Fähigkeit nennt man seine Elasticität, die so wieder verschwindenden Veränderungen seine elastische Deformation, die Grenze, jenseits welcher aber dauernde Formveränderungen mit neuer stabiler Gleichgewichtslage der kleinsten Theilchen eintreten, die Elasticitätsgrenze; die Elasticität innerhalb der letzteren wird ausgedrückt durch den Elasticitätscoëfficienten.

Schneidet man aus einem Mineral Stäbchen, so kann man die durch angehängte Gewichte hervorgebrachte Verlängerung, die durch aufgelegte Gewichte erfolgende Verkürzung derselben messen. Eine Biegung erfahren horizontale Stäbchen, welche an einem Ende festgeklemmt, am anderen freien durch Gewichte belastet werden, oder welche an beiden Enden unterstützt und in der Mitte belastet sind; ferner kreisrunde Scheibchen, die auf 2 parallelen gleichen Sehnen aufliegen und in dem diesen parallelen Durchmesser belastet werden. Durch Gewichte lässt sich auch die Drehung bestimmen, welche das freie Ende eines am anderen Ende befestigten Stäbchens erfahren kann. Je grösser das zu einer vorübergehenden bestimmten Verlängerung, Zusammendrückung, Biegung, Drehung erforderliche Gewicht, desto grösser ist der Elasticitätscoëfficient des Körpers; er drückt aus, wie gross das Gewicht in Kilogramm sein muss, um quadratische Stäbe von 1 Quadr.-Mm. Querschnitt auf das Doppelte ihrer Länge auszudehnen oder auf die Hälfte ihrer Länge zusammenzudrücken.

In amorphen Mineralien ist die Elasticität nach allen Richtungen hin gleich, d. h. sie zeigen stets denselben Elasticitätscoëfficienten, in welcher Richtung auch die Stäbchen aus ihnen herausgeschnitten sein mögen. In den Krystallen aber ist die Elasticität nur in den krystallographisch gleichen Richtungen gleich, in krystallographisch ungleichen Richtungen aber verschieden.

Voigt und *Groth* fanden, dass beim Steinsalz sich der Elasticitätscoëfficient erheblich mit der Richtung ändert, z. B. senkrecht zu $\infty O \infty = 4170$, senkrecht zu $\infty O = 3400$, senkrecht zu $O = 3180$ kgr; beim Flussspath ergibt sich senkrecht zu $\infty O \infty = 13940$, senkrecht zu $\infty O = 9527$. Beim Alaun mit sehr kleiner Elasticität sind die

Zahlen für die Richtungen senkrecht zu $\infty O\infty = 1793$, zu $\infty O = 1998$, zu $O = 2035$ (*Beckenkamp*, Z. f. Kryst. X. 1885. 44). — Nach *Baumgarten*, welcher Kalkspathstäbchen prüfte, die nach verschiedenen Richtungen aus einem Rhomboëder herausgeschnitten waren, ist das Maximum des Elasticitätscoëfficienten parallel den Kanten des Rhomboëders und sind die Minima parallel den kurzen Diagonalen seiner Flächen; hier ist parallel $c = 5010$, senkrecht zu c sehr ähnlich $= 4904$ (Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 152. S. 369). Beim Quarz ist dagegen parallel $c = 10304$, senkrecht dazu $= 7853$. Aehnliche sehr ausführliche Feststellungen sind von *Coromilas* über die Elasticitätsverhältnisse im Gyps und Glimmer gemacht worden (im Auszug in Z. f. Kryst. I. 1877. 407); vgl. auch *Koch* über Sylvin und Steinsalz in Ann. d. Phys. u. Chem. XVIII. 1883. 325. Ueber einen Apparat von *Warburg* und *Koch* zu Bestimmung der Elasticitätscoëfficienten sowie Anwendung desselben auf zur Axe senkrechte Platten von Kalkspath und Apatit vgl. *Vater* in Z. f. Kryst. XI. 1886. 549.

Eine allgemein gültige Beziehung zwischen der Elasticität und den Cohäsionsverhältnissen lässt sich zur Zeit nicht aufstellen. Krystalle, die fast gar keine Unterschiede in der Cohäsion zeigen, wie z. B. Quarz, können sehr bedeutende Gegensätze der Elasticität aufweisen, während anderseits z. B. die Alaune wohl Spaltbarkeit darbieten, aber nur geringe Unterschiede in der Elasticität. Die Richtung der Maxima und Minima der letzteren ändert sich nicht immer mit der Richtung der Spaltungsflächen: so ist bei Flussspath und Steinsalz die Richtung der Maxima und Minima die gleiche und doch spaltet der erstere nach O, das letztere nach $\infty O\infty$.

Drückt man, wie bei der graphischen Darstellung der Härte, jene Gewichte durch Längen von Linien aus, welche von der Mitte einer Krystallfläche aus in den betreffenden Richtungen gezogen werden und verbindet man die Enden dieser Linien durch eine Curve, so erhält man die Elasticitätscurve oder Elasticitätsfigur.

Hierher gehören auch aus älterer Zeit die schönen akustischen Untersuchungen von *Savart* und die gründlichen Forschungen *Neumann's*. *Savart* schnitt bei seinen Ermittelungen über die Schallschwingungen des Bergkrystalls Platten von 1 Linie Dicke und 24—27 L. Durchmesser in verschiedenen Richtungen aus demselben. Wären dieselben homogen wie Glas, so müssten sie unter gleichen Verhältnissen gleiche Knotenlinien und gleiche Töne geben. Allein auf den verschiedenwerthigen Flächen konnten die Töne um eine Quinte von einander abweichen. Vermöge des tetartoëdrischen Charakters des Bergkrystalls tönen auch drei Flächen der oberen scheinbar holoëdrischen Pyramide anders als die drei übrigen. Die Elasticität von Steinsalz und Eis hat *Reusch* in ähnlicher Weise aus der Tonhöhe schwingender Stäbe dieser Substanzen zu bestimmen versucht. *Groth* fand durch directe Messung ebenfalls die Schallgeschwindigkeit im Steinsalz in zwei 45° mit einander bildenden Richtungen verschieden.

4. Specifisches Gewicht oder relative Dichte.

§ 99. **Wichtigkeit und Bestimmung desselben.** Das specifische Gewicht, Eigengewicht oder Volumengewicht drückt das Verhältniss aus, in welchem das Gewicht eines Körpers zu dem Gewicht eines gleichen Volumens Wasser steht. Es liefert für die Mineralogie ein Merkmal ersten Ranges, weil verschiedene Mineralsubstanzen in den meisten Fällen verschiedenes, dagegen alle Varietäten eines und desselben Minerals bei derselben Temperatur sehr nahe gleiches specifisches Gewicht haben. In der Regel wird eine um so genauere Bestimmung erfordert, je niedriger das specifische Gewicht ist, während bei sehr schweren Körpern auch minder genaue Wägungen wenigstens zur Diagnose hinreichend sind.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bei der Bestimmung des specifischen Gewichts der Mineralien sind besonders folgende Punkte zu berücksichtigen:

1) Das zu wägende Stück muss vollkommen rein, und frei von beigemengten festen oder flüssigen fremdartigen Substanzen sein;
2) dasselbe muss frei von Höhlungen und Porositäten sein; dies ist besonders dann zu beachten, wenn man eine zusammengesetzte Varietät zu wägen hat;
3) dasselbe muss vollkommen frisch und darf nicht mit Producten beginnender oder vollendeter Zersetzung vermengt sein;
4) dasselbe muss vor der Abwägung in Wasser sorgfältig benetzt und gleichsam mit Wasser eingerieben, oder auch im Wasser gekocht werden, um die der Oberfläche adhärirende Luft zu vertreiben;
5) saugt das Mineral Wasser ein, so muss man dasselbe sich völlig damit sättigen lassen, bevor man es im Wasser wägt.

Die erste Bedingung wird um so sicherer erfüllt, in je kleineren anscheinend reinen Stücken das Mineral angewendet wird. Freilich kann dieser Bedingung in sehr vielen Fällen gar nicht genau genügt werden, indem in den Mineralien so häufig fremde, unter dem Mikroskop nachweisbare Einschlüsse vorhanden sind, welche sich weder mechanisch noch chemisch entfernen lassen und nothwendig das specifische Gewicht beeinflussen müssen. Bei impelluciden Mineralien ist selbst der Nachweis der Reinheit oder Verunreinigung auch mikroskopisch nicht mit Sicherheit zu führen. Der zweite Punkt macht es oft rathsam und bisweilen nöthig, das Mineral zu pulverisiren, um alle Zwischenräume und Porositäten zu vernichten. Die vierte Bedingung kann bei allen, und muss bei pulverförmigen Mineralien durch Auskochen derselben im Wasser erreicht werden. Das fünfte Erforderniss endlich macht ebenfalls eine gehörige Zerkleinerung des Minerals nothwendig, um sicher zu sein, dass nicht noch im Inneren der Stücke wasserfreie Stellen geblieben sind.

Verschiedene Proben eines und desselben Minerals werden nur dann übereinstimmendes spec. Gew. zeigen, wenn sie nicht nur denselben Grad der Reinheit, sondern auch gleiche chemische Zusammensetzung besitzen. Die durch das Eintreten verschiedener isomorpher Zumischungen bedingte Variabilität der letzteren wird sich aber, wie z. B. beim Granat, Olivin, Pyroxen auch durch kleine Abweichungen im spec. Gew. geltend machen müssen. Trotz übereinstimmender chemischer Zusammensetzung ist bei den heteromorphen Substanzen (§ 148) das spec. Gew. für die einzelnen Verkörperungen verschieden.

Da die Dichte des Wassers selbst mit seiner Expansion oder Contraction bei Temperaturwechsel variirt, so sollte bei ganz genauen Untersuchungen Wasser von bestimmter Temperatur, nämlich von 4° C. genommen werden, wo es seine grösste Dichte hat. Für die meisten Resultate können aber Abweichungen von dieser Temperatur vernachlässigt werden, da sie sich nur in der dritten Decimale aussprechen würden.

Die Methoden zur Bestimmung des specifischen Gewichts sind:

1) Bestimmung mit der hydrostatischen Wage. Die Substanz wird auf einer solchen zuerst in der Luft gewogen, sodann an einem Faden, Haar oder Platindraht hängend in reines Wasser getaucht und in diesem gewogen. Werden die bei der ersten und zweiten Wägung erhaltenen Gewichte mit g und γ bezeichnet, so ist das spec. Gew. $= \frac{g}{g - \gamma}$, da dasselbe gleich ist dem absoluten Gewicht, dividirt durch den Gewichtsverlust, welchen das Mineral im Wasser erleidet.

2) Bestimmung mit dem Pyknometer, einem kleinen niedrigen Flacon, der mittels eines fein durchbohrten, eingeschliffenen und nach oben verlängerten Stöpsels genau geschlossen werden kann. Ist M das Gewicht des als feine Splitter oder Körnchen vorhandenen Minerals, G das Gewicht des Ganzen, nachdem das

Mineral in das leere Fläschchen eingetragen und der übrige Raum desselben genau mit reinem Wasser gefüllt wurde, P das ein für allemal bestimmte Gewicht des blos mit Wasser ganz gefüllten Pyknometers, so ist das spec. Gewicht $= \frac{M}{P + M - G}$.

Ist das Mineral im Wasser löslich, so bestimmt man das specifische Gewicht desselben mit Beziehung auf eine andere Flüssigkeit von bekannter Dichtigkeit (z. B. Alkohol, Baumöl) und reducirt dann das Ergebniss auf Wasser. Ist das spec. Gew. eines Körpers in Alkohol $= 2{,}15$, das des Alkohols $= 0{,}79$, so ist das des Körpers in Wasser $= 0{,}79 \times 2{,}15 = 1{,}70$. Handelt es sich um ein flüssiges Mineral, so braucht man blos das Gewicht F des mit demselben genau erfüllten Pyknometers zu bestimmen, sowie auch das Gewicht L des ganz leeren Pyknometers; alsdann ist das spec. Gew. der Flüssigkeit $= \frac{F - L}{P - L}$.

Die Bestimmung mit der Senkwage oder dem *Nicholson*'schen Aräometer steht jetzt wegen ihrer geringen Genauigkeit wenig mehr im Gebrauch.

3) Eine Bestimmung des spec. Gewichts kann man bei manchen Mineralien auch mit Hülfe derjenigen schweren Lösungen vornehmen, deren man sich bei petrographischen Untersuchungen bedient, um Felsartengemengtheile auf Grund ihrer verschiedenen spec. Gewichte von einander zu trennen[1]). Besitzt eine solche schwere Flüssigkeit, etwa Kaliumquecksilberjodid-Lösung, ihrerseits z. B. das spec. Gew. 3, so wird Feldspath (2,6) darauf schwimmen, Topas (3,5) darin untersinken, ein Mineral aber, dessen spec. Gew. ebenfalls genau 3 ist, weder aufsteigen noch untersinken, sondern in jeder Lage gerade schwebend erhalten werden. Da man jener Flüssigkeit nun durch Verdünnung mit Wasser jedes beliebige spec. Gew. zwischen 3 und 1 ertheilen kann, so ist es, um das spec. Gew. eines zu prüfenden geeigneten Mineralfragments zu ermitteln, nur erforderlich, diese Verdünnung derart vorzunehmen, dass das Mineral genau suspendirt bleibt, und darauf das spec. Gew. der Lösung festzustellen, welches dann auch dasjenige des Minerals ist.

Von solchen schweren Flüssigkeiten stehen im Gebrauch: a) die Kaliumquecksilberjodid-Lösung, eine wässerige Lösung von Jodkalium und Jodquecksilber[2]), mit einem spec. Gew. bis zu 3,196 (Maximum im Winter, im Sommer 3,17); zuerst 1873 angegeben von *Sonstadt*, dann 1877 empfohlen durch *Church*, namentlich von *Thoulet* (Bull. soc. minéral. 1879. II. 17. 189), daher auch *Thoulet*'sche Lösung genannt; vgl. darüber *Goldschmidt* im N. Jahrb. f. Min. Beilageb. I. 1881. 179; über die Regeneration derselben *van Werveke* ebendas. 1883. II. 86. — b) die analoge Baryumquecksilberjodid-Lösung mit einem erreichbaren spec. Gew. von 3,58, angegeben von *Rohrbach* (ebendas. 1883. II. 186). — c) die Cadmiumborowolframiat-Lösung ($9\,WO^3$, B^2O^3, $2\,CdO$, $2H^2O + 16H^2O$) mit dem Maximalgewicht von 3,6, gewöhnlich ca. 3,28; zuerst benutzt von *D. Klein* (vgl. Bull. soc. minér. IV. 1881. 419, auch Z. f. Kryst. VI. 306); von *Mann* als besonders zweckmässig und haltbar empfohlen im N. Jahrb. f. Min. 1884. II. 172. — d) das käufliche Methylenjodid

1) Das Princip dieser Methode bei der Gesteinsuntersuchung besteht darin, dass man die zu trennenden Mineralien in eine spec. schwerere Flüssigkeit einträgt und durch allmähliches Verdünnen derselben successive die untersinkenden schwereren von den schwimmend bleibenden leichteren separirt.

2) Am einfachsten wird die concentrirte Lösung dadurch erhalten, dass man ein Gemenge der beiden Salze in dem Verhältniss $KJ : HgJ^2 = 1 : 1{,}24$ in kaltem Wasser löst (c. 500 gr der Salze auf 80 ccm Wasser), in der Porzellanschale auf dem Wasserbad bis zur Bildung einer Krystallhaut eindampft und nach dem Erkalten filtrirt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

CH^2J^2, mit einem spec. Gew. bei 5° von 3,3485, bei 16° von 3,3243, empfohlen durch *R. Brauns* im N. Jahrb. f. Min. 1886. II. 72; das spec. Gew. kann durch Sättigung mit Jod und Jodoform bis 3,6 gebracht werden[1]). — Schon 1862 hatte Graf *Schaffgotsch* eine Lösung von salpetersaurem Quecksilber zur Bestimmung des spec. Gewichts von Mineralien vorgeschlagen.

Das Kaliumquecksilberjodid hat unter den vorgeschlagenen Flüssigkeiten zwar das geringste spec. Gew., doch den sehr erheblichen Vorzug, sich in jedem Verhältniss mit Wasser mischen und durch Eindampfen wieder auf das frühere spec. Gew. bringen zu lassen. Es ist wie das Baryumquecksilberjodid giftig und greift wie dieses die Instrumente an. Das Cadmiumborowolframiat ist viel schwieriger darzustellen und zu regeneriren, es greift die Carbonate an und das Maximalgewicht muss durch Schmelzen des Salzes in seinem Krystallwasser erzielt werden. Das Baryumquecksilberjodid hat ein sehr beträchtliches spec. Gew., aber bei der Verdünnung mit Wasser tritt eine Zersetzung ein. Das Methylenjodid besitzt ebenfalls ein hohes spec. Gew. (und hohen Brechungsquotienten), bleibt an der Luft unveränderlich und greift metallische Gegenstände nicht an, aber die Verdünnung kann nicht durch Wasser, sondern nur durch Benzol oder Xylol geschehen, und das spec. Gew. ändert sich ziemlich stark mit der Temperatur; auch bräunt sich die Lösung durch Erwärmen (welches erfolgt, wenn die mit Benzol verdünnte Flüssigkeit auf dem Wasserbad behandelt wird, um durch Abdestillation des Benzols die ursprüngliche Flüssigkeit wieder zu gewinnen), sowie durch langes Stehen im Sonnenlicht.

Um das mit demjenigen des suspendirten Materials übereinstimmende spec. Gew. der Flüssigkeit selbst zu bestimmen, bedient man sich am einfachsten und correctesten der zuerst von *Cohen* empfohlenen sog. *Westphal*'schen Wage (N. Jahrb. f. Min. 1883. II. 88). Der längere Arm dieser ungleicharmigen Wage trägt ein constantes Gewicht (Senkgläschen), an dem kürzeren Arm befindet sich ein Zeiger, welcher beim Hineinhängen dieses Gewichts in Wasser auf Null einspielt. Das Senkgläschen wird in die Flüssigkeit, in welcher der Mineralpartikel suspendirt ist, eingeführt und alsdann die Gleichgewichtslage des mit Theilung versehenen aufgetriebenen Wagebalkens in sehr kurzer Zeit mit Hülfe von 4 tarirten, dem längeren Arm aufgesetzten Reitern hergestellt; an der Lage der letzteren kann dann direct das spec. Gew. der Lösung bis zur dritten Decimale abgelesen werden. — Oder man bringt die auf den Mineralpartikel eingestellt gewesene Flüssigkeit in ein calibrirtes und genau tarirtes Glasgefäss von ca. 20—25 ccm Inhalt, stellt genau auf die Inhaltsmarke ein und wägt; das absolute Gewicht der Flüssigkeit, dividirt durch den Inhalt, ergibt bekanntlich direct das spec. Gewicht. — *Goldschmidt* schlug (N. Jahrb. f. Min. Beilageb. I. 215) vor, sich der sog. Indicatoren oder Schwimmer zu bedienen, d. h. Mineralstückchen von starker Erbsengrösse, deren individuelles spec. Gew. genau bekannt ist; dieselben werden in die Flüssigkeit hineingebracht, nachdem diese auf das zu prüfende Mineral eingestellt ist, oder man kann auch die Flüssigkeit zugleich mit dem Mineralpartikel auf die Indicatoren einstellen. Ueber weitere Methoden und Apparate von *W. Salomon* und *Sollas* vgl. *F. Zirkel*, Lehrb. d. Petrogr. I. 1893. 16; ebendas. auch über das Verfahren von *Thoulet* und von *Streng*, in schweren Flüssigkeiten das spec. Gew. von selbst schwereren Mineralkörnern zu prüfen.

§ 100. **Unterschied des krystallinischen und amorphen Zustandes.** Eine und dieselbe Substanz zeigt im Allgemeinen ein verschiedenes specifisches Gewicht, je nachdem sie im krystallisirten (krystallinischen) oder im amorphen Zustande

1) Nach *Retgers* erreicht eine gesättigte Lösung von Zinnjodid (SnJ^4) in Bromarsen ($AsBr^3$) bei 15° das spec. Gew. von 3,73. Er proponirte noch als sehr empfehlenswerth das geschmolzene Thalliummercuronitrat $TlHgN^2O^6$, welches schon bei 76° auf dem Wasserbad eine blassgelbe klare und wie Wasser dünnflüssige Schmelze vom spec. Gew. ca. 5,3 gibt; letztere kann einfach durch Zusatz von Wasser in jedem Verhältniss verdünnt werden, auch findet keine gegenseitige Zersetzung durch Sulfide statt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

vorliegt, und zwar ist der letztere der specifisch leichtere; es ergibt sich dies, wenn man die specifischen Gewichte einzelner krystallisirter Mineralien mit denjenigen vergleicht, welche das glasig-amorphe Erstarrungsproduct der betreffenden künstlich (ohne Veränderung der chemischen Zusammensetzung) geschmolzenen Mineralien aufweist. So sind die specifischen Gewichte für:

	krystallisirt	geschmolzen und glasig erstarrt
Rothen Granat von Grönland	3,90	3,05
Grossular vom Wiluifluss	3,63	2,95
Vesuvian von Egg	3,45	2,957
Adular vom St. Gotthard	2,561	2,351
Orthoklas von Hirschberg	2,595	2,284
Augit von Guadeloupe	3,266	2,835
Olivin von Fogo	2,604	2,041
Albit von Kirebinsk	3,381	2,831

5. Von den optischen Eigenschaften der Mineralien.

§ 101. **Einfache und doppelte Strahlenbrechung.** Es ist bekannt, dass ein Lichtstrahl bei seinem Eintritt aus der Luft in einen tropfbar-flüssigen oder festen durchsichtigen Körper vermöge seiner veränderten Fortpflanzungsgeschwindigkeit eine Ablenkung von seiner Richtung, eine Brechung oder Refraction erleidet, sobald er nicht rechtwinkelig auf die Trennungsfläche beider Medien einfällt. Dasselbe wird daher auch in allen Fällen stattfinden müssen, wenn ein Lichtstrahl aus der Luft in ein pellucides Mineral eintritt. Die Winkel, welche der so auffallende und der gebrochene Strahl mit einer zur Oberfläche des Minerals senkrechten Geraden bilden — der Einfallswinkel (i) und der Brechungswinkel (r) — haben stets für eine und dieselbe Substanz ein constantes Verhältniss der Sinus, welches man Brechungsquotient oder Brechungsindex oder Brechungsexponent (n oder μ) nennt, indem $\frac{\sin i}{\sin r} = n$. Derselbe beträgt z. B. für Steinsalz 1,498, d. h. wenn ein Lichtstrahl aus der Luft in Steinsalz eintritt, so ist der Sinus des Einfallswinkels 1,498mal grösser als der Sinus des Brechungswinkels. Beim Granat, in welchem die Strahlen stärker gebrochen oder abgelenkt werden, welcher ein optisch dichteres Medium darstellt, ist er 1,815, beim Diamant 2,419 u. s. w. Für die allermeisten festen Mineralmedien liegt der Brechungsquotient zwischen 1 und 2. Die Lichtgeschwindigkeiten verhalten sich umgekehrt wie die Brechungsquotienten. Der Brechungsquotient ändert sich übrigens nicht nur mit der Substanz, sondern auch mit der Farbe, d. h. mit der Wellenlänge des einfallenden Lichtstrahls und zwar ist die Grösse der Brechung umgekehrt proportional der Wellenlänge; für violette Strahlen ist daher n ein Maximum, für rothe ein Minimum. Diese Erscheinung heisst die Dispersion des Lichtes oder die Farbenzerstreuung und die Grösse derselben ist abweichend für verschiedene Medien.

Die Bestimmung der Brechungsquotienten kann auf verschiedenem Wege vorgenommen werden. Einmal an einem aus der Substanz geschliffenen Prisma, welches mit der scharfen Kante senkrecht gegen einen Limbus steht und woran die Minimalablenkung gemessen wird, die dasselbe auf das einfallende Licht ausübt. Sodann vermittels der Totalreflexion; das Verfahren beruht darauf, dass man aus der

Beobachtung des Grenzwinkels der totalen Reflexion auf der ebenen Fläche einer in Schwefelkohlenstoff getauchten Substanz die Brechungsquotienten der letzteren bestimmen kann, sofern dieselben kleiner sind, als die des Schwefelkohlenstoffs ($n = 1{,}6274$ bei 20° C.) bei derselben Temperatur; anstatt des Schwefelkohlenstoffs kann auch eine andere stark lichtbrechende Flüssigkeit, Kaliumquecksilberjodid oder Monobromnaphthalin verwandt werden[1]). — Ferner gab schon 1767 der *Herzog von Chaulnes* eine Methode an, wie sich vermittels eines Mikroskops der Brechungsquotient planparalleler Mineralplättchen bestimmen lässt. Bringt man zwischen einen im Mikroskop scharf eingestellten Punkt (z. B. auch eine Mikrometertheilung auf Glas) und das Objectiv die zu untersuchende Platte, so wird das Bild jenes Punktes ganz undeutlich oder kaum mehr sichtbar; es bedarf, um ihn wieder scharf zu erblicken, einer Tubushebung, deren Grösse v allein abhängt von der Dicke d der Platte und deren Brechungsquotienten n. Somit lässt sich letzterer aus v und d berechnen, indem sehr annäherungsweise $n = \frac{d+v}{d}$. Die Dicke der Platte kann mit einem Sphaerometer bestimmt, die Grösse der Verticalbewegung des Tubus an einer Kreistheilung der zu drehenden Mikrometerschraube des Mikroskops abgelesen werden.

Da ein durchsichtiger Krystall um so weniger dunkel umrandet erscheint, je geringer die Differenz zwischen seinem eigenen Brechungsquotienten und demjenigen des ihn umgebenden Mediums ist, so lässt sich sein Brechungsquotient manchmal dadurch angenähert bestimmen, dass er nach einander von Flüssigkeiten mit abweichendem bekanntem Brechungsquotienten umgeben wird, bis seine Randbegrenzung (und die Rauhheit seiner Oberfläche) ganz unmerklich wird; in diesem Falle ist der Brechungsquotient des Krystalls ungefähr derselbe wie der der angewandten Flüssigkeit (z. B. n für Wasser 1,336, für Tetrachlorkohlenstoff 1,466, für Xylol 1,495, für Nelkenöl 1,544, für Zimmtöl 1,605, für Jodmethylen 1,740 u. s. w.); vgl. über das Detail der Methode *Schroeder van der Kolk*, Tabellen z. mikroskop. Bestimmung d. Mineralien nach ihrem Brechungsindex; Wiesbaden 1900.

Die meisten Krystalle zeigen jedoch diese Brechung des Lichtes in der Weise, dass der in sie einfallende Lichtstrahl zugleich einer Theilung in zwei verschieden stark abgelenkte Strahlen unterliegt, von welchen zwar oft der eine den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung, der andere aber ganz eigenthümlichen Gesetzen unterworfen ist; weshalb man jenen den ordentlichen, diesen den ausserordentlichen Strahl nennt, und beide durch die Buchstaben O und E unterscheidet.

Die Krystalle des regulären Systems, holoëdrische wie hemiëdrische, sind allein hiervon ausgenommen, sie zeigen keine Doppelbrechung des Lichtes. In ihnen ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit desselben und demzufolge auch die Elasticität des Aethers nach allen Richtungen hin die gleiche, keine Direction hat vor einer anderen etwas voraus, und sie verhalten sich in dieser optischen Hinsicht

1) Einen Apparat für diese letztere Methode beschrieb *Kohlrausch* in Z. f. Kryst. II. 1878. 106. Eine zweckmässige Modification desselben wurde von *Klein* vorgenommen (N. Jahrb. f. Min. 1879. 880), während *Liebisch* angab, wie man auch ein Reflexionsgoniometer zu dem gleichen Gebrauch einrichten kann, und *Bauer* hervorhob, wie auch der bei dem *Fuess*'schen sog. Universalinstrument vorhandene Axenwinkelmessungsapparat fast ohne weitere Veränderung als Totalreflectometer zu benutzen ist (N. Jahrb. f. Min. 1882. I. 132). Ueber eine Abänderung des Verfahrens siehe *Feussner* in Z. f. Kryst. VII. 1883. 505. Vgl. auch *Ch. Soret* über ein Refractometer zur Messung der Brechungsexponenten und der Dispersion in Z. f. Kryst. VII. 1883. 529. — Eine andere Construction des Totalreflectometers als die von *Kohlrausch* herstammende ist von *Pulfrich* angegeben worden (*C. Pulfrich*, das Totalreflectometer, Leipzig 1890); dieselbe gestattet, die drei Hauptbrechungsquotienten nicht nur an den drei Hauptschnitten, sondern im Einklang mit *Soret*'s theoretischem Nachweis, an jeder beliebigen Schnittebene zu bestimmen. — Ueber das *Abbe*'sche »Krystallrefractometer« s. *Groth*, Physik. Krystallogr. 1895. 676.

wie amorphe, überhaupt unkrystallinische Körper. Diese einfach brechenden Medien (reguläre Krystalle und amorphe Substanzen) heissen auch isotrope. In den Krystallen der übrigen Systeme dagegen, in welchen auch nicht alle krystallographischen Axen gleichwerthig sind, ist die Aetherelasticität nach verschiedenen Richtungen verschieden, in ihnen ändert sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes mit der Richtung und sie besitzen die Eigenschaft der Doppelbrechung; sie heissen auch anisotrope. Diese Doppelbrechung kann allerdings nur selten, wie z. B. bei dem isländischen Kalkspath, unmittelbar wahrgenommen werden[1]) und ihr Dasein wird gewöhnlich nur auf Grund anderer, mit ihr zusammenhängender optischer Reactionen erkannt. Die Doppelbrechung eines Minerals ist natürlich um so stärker, je grösser die Differenz zwischen den Brechungsquotienten der beiden Strahlen ist.

Indem in den isotropen Medien die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes nur abhängig ist von seiner Schwingungszahl (oder Wellenlänge) und von der Natur der Substanz, dagegen unabhängig von der Fortpflanzungsrichtung, stellt die optische Elasticitätsfläche (Strahlenfläche oder Wellenfläche)[2]) hier eine Kugel dar, indem bei dieser jeder Querschnitt einen Kreis liefert; d. h., wenn in einem Punkt eines isotropen Mediums eine Lichtbewegung erregt wird, so pflanzt dieselbe sich radial in das umgebende Medium derart fort, dass zu einer bestimmten Zeit ein gleicher Bewegungszustand an allen denjenigen Punkten herrscht, welche auf einer Kugeloberfläche liegen, deren Centrum der Erregungspunkt ist. — Isotrope Medien besitzen nur einen einzigen constanten Brechungsquotienten für eine gegebene Wellenlänge.

§ 102. **Optische Axen.** In jedem doppeltbrechenden Krystall gibt es jedoch entweder eine Richtung, oder zwei Richtungen, nach welchen ein hindurchgehender Lichtstrahl keine Doppelbrechung erfährt, sondern ungetheilt bleibt. Diese Richtungen nennt man die optischen Axen, und unterscheidet demgemäss optisch-einaxige und optisch-zweiaxige Krystalle. Die optischen Axen sind also nicht einzelne Linien, sondern Richtungen, denen unendlich viele Linien parallel gehen. In einem isotropen Medium ist daher gewissermassen die Anzahl der optischen Axen unendlich gross. — Die Krystalle des tetragonalen und hexagonalen Systems, holoëdrische sowohl als hemiëdrische und hemimorphe, sind optisch-einaxig, die rhombischen, monoklinen, triklinen Krystalle optisch-zweiaxig. So stehen demnach die Erscheinungen der Doppelbrechung nicht nur mit den auf die krystallographischen Axen gegründeten Krystallsystemen überhaupt, sondern auch mit deren Hauptabtheilungen (S. 17) in genauem Zusammenhang.

Indem in den doppeltbrechenden, optisch anisotropen Krystallen die Elasticität des Lichtäthers nach verschiedenen Richtungen eine abweichende ist, setzt man demzufolge gewisse Richtungen grösserer oder kleinerer Aetherelasticität in denselben voraus, welche z. Theil in enger und gesetzlicher Beziehung zu den

---

1) An den durchsichtigen Stücken dieses sog. Doppelspaths aus Island wurde die Erscheinung zuerst im Jahre 1669 durch *Erasmus Bartholin* entdeckt; er beschrieb sie in der Schrift: Experimenta crystalli islandici disdiaclastici, quibus mira et insolita refractio detegitur. Havniae 1669. Bei anderen Substanzen fallen in Folge des geringen Unterschiedes zwischen den Brechungsquotienten der beiden gebrochenen Strahlen diese letzteren so nahe zusammen, dass das blose Auge sie nicht von einander trennen kann.

2) Es braucht kaum besonders betont zu werden, dass die optische Elasticität der Krystalle völlig verschieden ist von der in § 98 besprochenen gewöhnlichen oder rein mechanischen Elasticität.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

krystallographischen Axen stehen und welche man als die optischen Elasticitätsaxen bezeichnet. — Die optischen Axen und die Elasticitätsaxen sind in den Krystall-Individuen stets entsprechend der Symmetrie des inneren Baues derselben orientirt. Anisotrope Substanzen haben innerhalb gewisser Grenzen unendlich viele Brechungsquotienten; diejenigen für die ausgezeichneten Richtungen der optischen Elasticitätsaxen heissen Hauptbrechungsquotienten.

§ 103. **Optisch-einaxige Krystalle.** In ihnen geht die optische Axe, nach welcher keine Doppelbrechung des durchlaufenden Lichtstrahls erfolgt, parallel der krystallographischen Hauptaxe c, während in jeder anderen Richtung Doppelbrechung stattfindet. Dies verweist darauf, dass in diesen Krystallen die Aetherelasticität in der Direction der Hauptaxe verschieden ist von der in allen anderen Richtungen; wie aber die krystallographischen Nebenaxen a sowohl im tetragonalen als hexagonalen System gleichwerthig sind, so geschieht es auch hier, dass senkrecht zu der Hauptaxe nach allen Richtungen hin die gleiche Elasticität wirkt und der Krystall optisch gleich beschaffen ist. Die Elasticität, welche mit der Hauptaxe zusammenfällt, ist entweder grösser oder kleiner als die senkrecht darauf wirkende. Man bezeichnet die Axe der grössten Elasticität mit $\mathfrak{a}$, die der kleinsten mit $\mathfrak{c}$. — Bei den einaxigen Krystallen muss die optische Axe, als krystallographische Haupt- oder Verticalaxe ihrer Richtung nach fixirt, für jede Lichtart oder Farbe dieselbe Lage haben, sie kann keine Dispersion zeigen.

Der ordentliche Strahl pflanzt sich in diesen Krystallen nach allen Richtungen hin mit gleicher Geschwindigkeit fort und deshalb ist sein Brechungsquotient stets constant, seine Elasticitätsfläche eine Kugel, wie bei jedem Strahl in einem optisch isotropen Medium; der Brechungsquotient für den (im Allgemeinen dem Sinusgesetz nicht mehr gehorchenden) ausserordentlichen Strahl ist aber variirend je nach der Richtung, in welcher dieser den Krystall durchläuft, seine Elasticitätsfläche ein Rotationsellipsoid, dessen Drehungsaxe die optische Axe oder krystallographische Haupt-Symmetrieaxe ist und welches entweder in den Polen seiner längeren oder denjenigen seiner kürzeren Axe jene Kugel berührt. Geht der Lichtstrahl senkrecht zur Hauptaxe hindurch, so ist die Differenz zwischen beiden Quotienten am grössten, sie nimmt ab mit dem Winkel, welcher mit der Hauptaxe gebildet wird, und parallel mit der Hauptaxe (in welcher Richtung ja beide Strahlen in einen zusammenfallen) ist der Brechungsquotient von E gleich dem von O. — Alle Strahlen, die symmetrisch um die Hauptaxe gruppirt sind, besitzen gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit.

Man bezeichnet den constanten Brechungsquotienten von O mit ω, denjenigen des ausserordentlichen Strahls, welcher sich senkrecht zur Hauptaxe fortpflanzt, mit ε. — Selbstverständlich sind sowohl ω als ε abhängig von der Wellenlänge, und ihr Werth wechselt daher mit der Farbe des Lichtes. — Nennt man $\mathfrak{v}$ die Geschwindigkeit des ordentlichen Strahls und $\mathfrak{e}$ die Geschwindigkeit desjenigen ausserordentlichen Strahls, welcher sich in der Richtung senkrecht zur optischen Axe fortbewegt, so ist $\mathfrak{v} = \frac{1}{\omega}$ und $\mathfrak{e} = \frac{1}{\varepsilon}$. Man unterscheidet nun die doppeltbrechenden einaxigen Krystalle als (vgl. Fig. 304 u. 305):

Negative (repulsive), wenn in den Krystallen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Richtung der Hauptaxe kleiner ist, als in der Richtung senkrecht dazu; in ihnen ist also $\mathfrak{v} < \mathfrak{e}$ und $\omega > \varepsilon$; z. B. der Kalkspath, bei welchem $\omega = 1{,}654$ und ε (senkrecht auf die Hauptaxe) $= 1{,}484$. Bei den negativen Krystallen ist die Aetherelasticität in der Richtung der Hauptaxe ein Maximum und $c = \mathfrak{a}$. Bei ihnen stellt die innere Elasticitätsfläche eine Kugel dar (für O), die äussere ein senkrecht auf die optische Axe abgeplattetes Rotationsellipsoid (für E), welche sich beide an den Enden der Hauptaxe berühren, die hier $\mathfrak{a}$ entspricht.

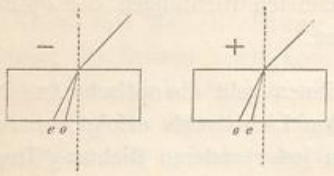


Fig. 304.

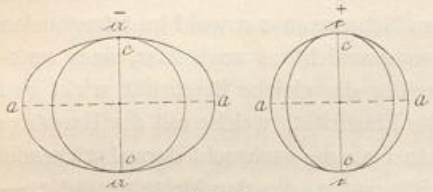


Fig. 305.

Positive (attractive), wenn in ihnen die Fortpflanzungsgeschwindigkeit in der Richtung der Hauptaxe grösser ist als in der Richtung senkrecht dazu; in ihnen ist daher $\mathfrak{v} > \mathfrak{e}$ und $\omega < \varepsilon$; hierher gehört z. B. der Quarz, bei welchem $\omega = 1{,}548$ und ε (senkrecht auf die Hauptaxe) $= 1{,}558$. Bei diesen positiven Krystallen ist die Elasticität des Aethers in der Richtung der Hauptaxe ein Minimum und $c = \mathfrak{c}$. Sie besitzen als innere Elasticitätsfläche ein nach der optischen Axe in die Länge gestrecktes Rotationsellipsoid (für E), als äussere eine Kugel (für O), welche sich beide an den Enden der hier $\mathfrak{c}$ entsprechenden Hauptaxe berühren. — Dieser Gegensatz zwischen positiv und negativ bedingt den sog. »optischen Charakter«.

Bei den negativen Krystallen ist die ausserordentliche Welle die schnellere, daher umschliesst das Rotationsellipsoid die Kugel; bei den positiven ist die ordentliche Welle die schnellere, deshalb umschliesst die Kugel das Rotationsellipsoid. — Da ω und ε für verschiedene Farben verschiedene Werthe haben, so muss auch die Elasticitätsfläche für eine andere Farbe eine andere Krümmung, d. h. einen anderen Werth der Rotations- und der äquatorialen Axe besitzen; so kann es selbst der Fall sein, dass ein Krystall für eine Farbe optisch positiv, für eine andere optisch negativ ist; die Rotationsaxe, im ersteren Falle die längere, im zweiten die kürzere des Ellipsoids, bleibt aber als Hauptaxe der Richtung nach constant für alle Farben.

Für jede Krystall- oder Spaltungsfläche, welche als Eintrittsfläche des Lichtes dient, versteht man unter dem optischen Hauptschnitt diejenige Ebene, welche auf solcher Fläche normal und zugleich der optischen Axe parallel ist[1]). Der ordentliche Strahl führt hier seine Schwingungen senkrecht zum optischen Hauptschnitt aus, der ausserordentliche schwingt in dem optischen Hauptschnitt.

§ 104. **Optisch-zweiaxige Krystalle.** Die Krystalle des rhombischen, monoklinen und triklinen Systems erweisen sich ebenfalls als doppeltbrechend, doch weichen hier beide Strahlen von den Gesetzen der gewöhnlichen Brechung ab, indem sie beide einen mit der Richtung variabeln Brechungsquotienten besitzen,

1) Von dem optischen Hauptschnitt gilt dasselbe wie von den optischen Axen; er ist nicht eine einzelne Ebene, sondern die durch solche Ebene bestimmte Richtung, welcher unendlich viele Ebenen parallel liegen.

so dass in ihnen eigentlich gar kein ordentlicher Strahl mehr vorhanden ist. Zwei Richtungen, die beiden optischen Axen, gibt es hier, nach welchen keine Doppelbrechung erfolgt, indem die beiden Strahlen mit gleicher Geschwindigkeit und Schwingungsrichtung hindurchgehen[1]).

In den Krystallen dieser Systeme ohne Hauptaxe setzt man drei Axen von abweichender optischer Elasticität voraus, von welchen man die Axe der grössten Elasticität mit a, die der mittleren mit b, die der kleinsten mit c bezeichnet. Diese drei rechtwinkelig auf einander stehenden optischen Elasticitätsaxen fallen in ihrer Richtung nur in so weit mit den krystallographischen Axen zusammen, als diese letzteren Symmetrieaxen sind, woraus ein wesentlicher Unterschied zwischen den rhombischen, monoklinen und triklinen Krystallen folgt. Eine Ebene, welche durch je zwei Elasticitätsaxen gelegt wird, nennt man einen Hauptschnitt der Elasticitätsfläche, deren es demnach drei gibt. Bei den optisch-zweiaxigen Krystallen, welche keine Haupt-Symmetrieebene besitzen, kann keiner dieser 3 Hauptschnitte ein Kreis sein: für sie ist die Elasticitätsfläche ein dreiaxig-ungleichaxiges Ellipsoid, bei welchem sowohl Längsschnitte als Querschnitte Ellipsen sind. Entsprechend den drei Elasticitätsaxen hat man hier auch drei verschiedene Haupt-Brechungsquotienten α, β, γ zu unterscheiden; α ist der Brechungsquotient für solche Strahlen, welche sich, indem die Vibrationen parallel a gehen, senkrecht zu a fortpflanzen, β derjenige für die parallel b schwingenden und sich senkrecht zu b fortpflanzenden Strahlen, γ der für diejenigen, welche parallel c schwingen und sich rechtwinkelig zu c fortpflanzen. Die Richtung der grössten Geschwindigkeit stimmt überein mit dem Quotienten der geringsten Brechung und umgekehrt.

Die beiden optischen Axen stehen senkrecht auf denjenigen kreisförmigen Schnitten, welche durch den Mittelpunkt des dreiaxigen Ellipsoids gelegt werden können, indem in einem solchen Schnitt die Elasticität nach allen Richtungen gleich gross ist. Sie bilden in diesen Krystallen mit einander einen Winkel, welcher nicht nur in den verschiedenen Mineralsubstanzen, sondern auch oft in den verschiedenen Varietäten einer und derselben Art sehr abweichende Werthe besitzt. Der Winkel ist meist verschieden von 90°, daher einerseits ein spitzer ($2Va$), anderseits ein stumpfer ($2Vo$). Eine den spitzen Winkel der optischen Axen halbirende Linie nennt man die spitze Bisectrix (Bisectrix schlechthin), die optische Mittellinie, die erste oder spitze Mittellinie; die Halbirungslinie des stumpfen Winkels heisst stumpfe Bisectrix, zweite oder stumpfe Mittellinie. Die beiden Bisectricen liegen daher in der Ebene der optischen Axen und sind senkrecht auf einander. Senkrecht auf der Ebene der optischen Axen steht die sog. optische Normale. Die beiden Bisectricen und diese Normale sind die drei Elasticitätsaxen. Immer ist die optische Normale auch die Axe der mittleren Elasticität (b), während abwechselnd in den verschiedenen Krystallen die beiden Mittellinien mit den Axen der grössten oder der kleinsten Elasticität zusammen-

1) Wenn auch in der Richtung von je einer dieser optischen Axen hier ebenfalls keine Doppelbrechung stattfindet, so besteht doch der Unterschied gegen die in der vorigen Abtheilung allein vorhandene einzige optische Axe, dass durch letztere unendlich viele Hauptschnitte gelegt werden können, während hier durch je eine der beiden optischen Axen nur ein Hauptschnitt geht.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

fallen (Fig. 306). Entspricht die spitze Bisectrix der Axe der grössten Elasticität (a), so heisst der Krystall negativ (Aragonit, Borax), coincidirt sie mit derjenigen der kleinsten Elasticität (c), so ist der Krystall ein positiver (Topas, Schwerspath, Gyps)[1]; a wird daher wohl auch die negative, c die positive Bisectrix genannt.

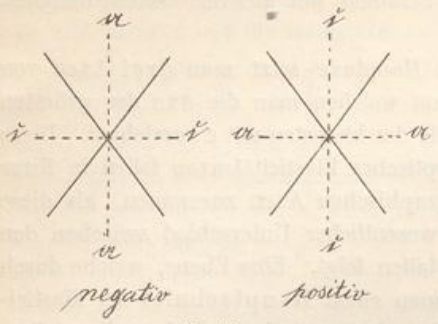


Fig. 306.

Da die Grösse des Winkels der optischen Axen (und des Winkels, den jede von ihnen mit einer Bisectrix bildet) von dem Verhältniss der Fortpflanzungsgeschwindigkeiten $a : b : c$ (oder von dem Verhältniss der Hauptbrechungsquotienten $\alpha : \beta : \gamma = \frac{1}{a} : \frac{1}{b} : \frac{1}{c}$) abhängt, und da das Verhältniss dieser Grössen mit der Wellenlänge des Lichtes variirt, so sind auch die Winkel der optischen Axen für die verschiedenen Arten homogenen Lichtes (oder die verschiedenen Farben) nicht einander gleich. Diese Erscheinung, welche bei allen optisch-zweiaxigen Krystallen auftritt, nennt man die Dispersion der optischen Axen. Beim Syngenit beträgt z. B. (Temperatur 20°) der scheinbare Axenwinkel in Luft für Roth 41° 36′, Gelb 44° 23′, Grün 45° 37′, Blau 49° 45′.

Da der Winkel der optischen Axen in verschiedenen Varietäten einer und derselben optisch-zweiaxigen Substanz bei derselben Lichtart sehr verschieden sein kann, wie solches z. B. für den Topas und den Glimmer in sehr auffallender Weise der Fall ist, so lässt er sich auch nicht mit Sicherheit als ein Merkmal zur Unterscheidung benutzen. Auch zeigte *Des Cloizeaux*, dass ein und derselbe Orthoklaskrystall bei derselben Temperatur, in verschiedenen seiner Spaltungslamellen, ganz ausserordentliche Verschiedenheiten des Neigungswinkels der optischen Axen erkennen lässt. — Ebenso ist in gewissen optisch-zweiaxigen Krystallen die Lage der optischen Axenebene nicht immer constant; vielmehr schwankt sie bisweilen zwischen zwei auf einander rechtwinkeligen Richtungen; ja es kommt sogar vor, dass die Axen der verschiedenen Farben in zwei verschiedenen, jedoch auf einander rechtwinkeligen Ebenen liegen, wie dies z. B. am Orthoklas, Stilbit, Prehnit u. a. Mineralien beobachtet wird.

Im rhombischen System fallen die drei ungleichwerthigen rechtwinkeligen optischen Elasticitätsaxen $a > b > c$ ihrer Richtung nach für alle Farben und Temperaturen mit den krystallographischen Axen zusammen, selbstverständlich ohne dass bei der willkürlichen Aufstellung der Krystalle auch die längste Krystallaxe mit der Axe der grössten Elasticität zu coincidiren, oder a der Brachydiagonale (*a*), b der Makrodiagonale (*b*), c der Verticalaxe (*c*) zu entsprechen braucht. Stets ist also eine krystallographische Axe die Schwingungsrichtung der grössten, eine

[1] Denkt man sich in einem negativen zweiaxigen Krystall den durch die spitze Bisectrix (= a) halbirten Axenwinkel immer kleiner und zuletzt gleich Null werdend, so fallen die optischen Axen mit a zusammen und es ergibt sich die Beschaffenheit eines negativen einaxigen Krystalls, in welchem die einzige optische Axe abermals die Axe (a) der grössten Elasticität ist und b alsdann = c wird. Dieselbe Vorstellung geleitet von einem positiven zweiaxigen Krystall auf einen positiven einaxigen, dessen Hauptaxe zugleich die Axe der kleineren Elasticität c ist. Die optisch-einaxigen (tetragonalen und hexagonalen) Krystalle stellen also gewissermassen die Specialfälle der optisch-zweiaxigen dar, dass entweder $c = b$ (Charakter —) oder $a = b$ (Charakter +) ist. — Der mittlere Brechungsquotient β liegt bei einem negativen Krystall näher an γ als an α bei einem positiven näher an α als an γ.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

andere die der kleinsten, die dritte diejenige der mittleren Lichtgeschwindigkeit, zwei der krystallographischen Axen sind hier immer die Bisectricen, und die Ebene der optischen Axen ist stets parallel einem der drei krystallographischen Axenebenen (Pinakoide) — alles entsprechend den Symmetrieverhältnissen dieses Systems, in welchem die 3 Hauptschnitte der Elasticitätsfläche identisch sind mit den 3 krystallographischen Axenebenen. So ist z. B. beim Olivin die Ebene der optischen Axen die Basis 0P, die ihren spitzen Winkel von 87° 46′ halbirende Bisectrix fällt mit der Brachydiagonale a, die stumpfe Bisectrix mit der Makrodiagonale b zusammen, die Verticalaxe c ist optische Normale; speciell ist $\mathfrak{a} = b$, $\mathfrak{b} = c$, $\mathfrak{c} = a$. — Die Dispersion der optischen Axen findet dergestalt statt, dass dieselben für alle Strahlen genau symmetrisch zur Bisectrix liegen; eine Dispersion (veränderliche Lage) der Elasticitätsaxen kann hier nicht eintreten, da dieselben zugleich krystallographische Axen sind.

Im rhombischen System können daher folgende Fälle vorkommen:

Optische Axenebene parallel 0P; alsdann $\left\{\begin{matrix}\text{entweder } a = \mathfrak{a},\ b = \mathfrak{c} \\ \text{oder } \quad a = \mathfrak{c},\ b = \mathfrak{a}\end{matrix}\right\}\ c = \mathfrak{b}$

Optische Axenebene par. $\infty\bar{P}\infty$; alsdann $\left\{\begin{matrix}\text{entweder } c = \mathfrak{a},\ b = \mathfrak{c} \\ \text{oder } \quad c = \mathfrak{c},\ b = \mathfrak{a}\end{matrix}\right\}\ a = \mathfrak{b}$

Optische Axenebene par. $\infty\breve{P}\infty$; alsdann $\left\{\begin{matrix}\text{entweder } c = \mathfrak{a},\ a = \mathfrak{c} \\ \text{oder } \quad c = \mathfrak{c},\ a = \mathfrak{a}\end{matrix}\right\}\ b = \mathfrak{b}.$

Im monoklinen System fällt nur noch die Orthodiagonale (die auch krystallographisch bevorzugte einzige Axe der Symmetrie) mit einer der drei optischen Elasticitätsaxen zusammen, die beiden anderen liegen zwar innerhalb der zur Orthodiagonale senkrecht stehenden Symmetrieebene (dem Klinopinakoid), stehen aber hier zu den krystallographischen Axen nicht mehr in einer gesetzmässigen Beziehung und verändern in dieser Ebene ihre Lage mit der Farbe des Lichtes und der Temperatur (Dispersion der Elasticitätsaxen). Hier ist nur noch ein Hauptschnitt der Wellenfläche mit der einzigen geometrischen Symmetrieebene, nämlich $\infty\breve{P}\infty$ identisch. Die Orthodiagonale ist natürlich Elasticitätsaxe für Licht jeder Wellenlänge und kann als solche keine Dispersion erleiden. Die Ebene der optischen Axen ist hier entweder parallel oder rechtwinkelig zu der Symmetrieebene. Daraus ergeben sich folgende Fälle:

1. Die Ebene der optischen Axen liegt in der Symmetrieebene $\infty\breve{P}\infty$, welche demzufolge auch die spitze und stumpfe Bisectrix, die Axe der kleinsten und grössten Elasticität enthält, während die Orthodiagonale b die Axe der mittleren Elasticität $\mathfrak{b}$ darstellt und optische Normale ist. Die Lage der optischen Axen und deren Bisectricen gegen die krystallographische Verticalaxe und Klinodiagonale ist nicht allgemein gesetzlich, sondern lässt sich jedesmal nur durch das Experiment feststellen (Gyps, Diopsid, Epidot).
2. Die Ebene der optischen Axen steht senkrecht auf der Symmetrieebene. Dabei geht entweder
   a) die spitze Bisectrix parallel der Orthodiagonale; die stumpfe Bisectrix und die optische Normale fallen in die Symmetrieebene (Borax, Heulandit); oder es steht
   b) die spitze Bisectrix senkrecht auf der Orthodiagonale, während die stumpfe mit der letzteren zusammenfällt (Orthoklas).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Orthodiagonale fungirt also entweder als optische Normale (Fall 1), oder als spitze Bisectrix (Fall 2a), oder als stumpfe Bisectrix (Fall 2b); eine andere Orientirung ist nicht möglich.

Für die triklinen Krystalle, in welchen man auch drei auf einander senkrechte Elasticitätsaxen annimmt, lässt sich im Allgemeinen gar keine bestimmte Relation zwischen der Lage der optischen Axenebene und den krystallographischen Axen aufstellen, weil letztere ja nur ganz willkürlich gewählte Coordinaten sind; deshalb muss in jedem concreten Falle die Auffindung der Axenebene, der optischen Axen und ihrer Mittellinien durch Experimente versucht werden. Die optischen Elasticitätsaxen haben hier sämmtlich für jede Farbe und für jede Temperatur eine etwas andere Lage. Die Elasticitätsellipsoide für Licht von verschiedener Wellenlänge besitzen daher keine Axe mehr gemeinsam.

§ 105. **Polarisation des Lichtes.** Unter der Polarisation des Lichtes versteht man eine eigenthümliche Modification desselben, vermöge welcher seine fernere Reflexions- oder Transmissionsfähigkeit nach gewissen Seiten hin theilweise oder gänzlich aufgehoben wird. In einem planpolarisirten Strahl finden die transversalen Schwingungen sämmtlicher Aethertheilchen nur in paralleler Richtung, demnach nur in einer einzigen (zu einer Fortpflanzungsrichtung senkrechten) Ebene statt, während ein nicht polarisirter gewöhnlicher sich nach allen Seiten rings um seine Gangrichtung gleichartig verhält, also bei ihm die Aethertheilchen in unendlich vielen Richtungen schwingen. Polarisationsebene ist diejenige Ebene, zu welcher die Schwingungen eines polarisirten Strahls senkrecht erfolgen. Man kann das Licht sowohl durch Reflexion als auch durch Transmission polarisiren.

Lässt man z. B. einen Lichtstrahl auf einen an seiner Rückseite geschwärzten Glasspiegel unter dem Einfallswinkel von $54\frac{1}{2}^{\circ}$ auffallen, so zeigt er sich nach der Reflexion mehr oder weniger vollkommen polarisirt. Er hat nämlich seine fernere Reflexionsfähigkeit total verloren, sobald man ihn mit einem zweiten Spiegel (dem Prüfungsspiegel) unter demselben Einfallswinkel dergestalt auffängt, dass die Reflexionsebenen beider Spiegel auf einander rechtwinkelig sind. Dagegen findet noch eine vollständige Reflexion statt, wenn beide Reflexionsebenen einander parallel sind; sowie eine partielle Reflexion, wenn beide Ebenen irgend einen Winkel bilden, der zwischen 0° und 90° liegt. — Man nennt die Reflexionsebenen beider Spiegel auch die Polarisationsebenen derselben, und sagt, das Licht, welches vom ersten Spiegel reflectirt wird, sei nach der Richtung der Reflexionsebene desselben polarisirt, oder habe seine Polarisationsrichtung nach dieser Ebene. Demgemäss lässt sich die Thatsache des Fundamentalversuchs auch allgemein so darstellen: wenn ein durch Reflexion polarisirter Lichtstrahl eine zweite polarisirende Spiegelfläche trifft, so wird er im Maximum oder Minimum der Intensität reflectirt, je nachdem die beiden Polarisationsebenen parallel oder rechtwinkelig sind. — Unter dem Polarisationswinkel einer reflectirenden Substanz versteht man denjenigen Einfallswinkel des Lichtes, bei welchem die Polarisation desselben möglichst vollkommen erfolgt; so ist also $54\frac{1}{2}^{\circ}$ der Polarisationswinkel für gewöhnliches Spiegelglas. — *Brewster* fand, dass derjenige Einfallswinkel der Polarisationswinkel (p) ist, bei welchem der reflectirte Strahl auf dem gebrochenen senkrecht steht; tang p = dem Brechungsquotienten.

Das Licht kann aber auch durch Transmission oder Brechung polarisirt werden. Lässt man z. B. auf ein System von parallelen Glasplatten einen Lichtstrahl unter $54\frac{1}{2}^{\circ}$ einfallen, so wird sich nicht nur, wie eben gezeigt, der reflectirte Strahl, sondern auch der transmittirte Strahl polarisirt erweisen. Allein die Polarisations-Richtung beider Strahlen ist wesentlich verschieden, indem der reflectirte Strahl nach

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

einer Parallelebene, der transmittirte Strahl dagegen nach einer Normalebene der Einfallsebene polarisirt ist; man sagt daher, dass beide Lichtstrahlen auf einander rechtwinkelig polarisirt sind.

Auch eine jede Doppelbrechung des Lichtes ist zugleich mit einer Polarisation desselben verbunden, indem beide Strahlen, sowohl *O* als *E*, jedoch beide auf einander rechtwinkelig, und zwar *O* nach einer Parallelebene, *E* nach einer Normalebene des optischen Hauptschnitts der Eintrittsfläche polarisirt sind. Der ordentliche Strahl schwingt also senkrecht zum Hauptschnitt, der ausserordentliche parallel zu demselben oder in demselben. — Wenn jedoch ein Lichtstrahl den Krystall in der Richtung einer optischen Axe durchläuft, so erfolgt, zugleich mit dem Ausbleiben der Doppelbrechung, auch keine Polarisation des Lichtes und der Strahl verhält sich wie gewöhnliches (nicht polarisirtes) Licht.

Die beiden Strahlen *O* und *E* eines doppeltbrechenden Krystalls verhalten sich also auf ähnliche Weise zu einander, wie der reflectirte und der transmittirte Strahl der Glasplattensäule.

Ein jedes Polarisationsinstrument besteht hauptsächlich aus zwei Theilen, dem Polarisator, welcher dazu dient, gewöhnliches Licht in den polarisirten Zustand zu versetzen, ihm nur eine einzige Schwingungsrichtung zu verleihen, und sodann dem Analysator, vermittels dessen das polarisirte Licht entweder für sich selbst oder nach seinem Durchgang durch das zu untersuchende Mineral bezüglich der mit ihm vorgegangenen Veränderungen geprüft wird. Als Polarisator kann im Allgemeinen ein reflectirender Spiegel, ein das Licht transmittirender Glasplattensatz verwandt werden. Bei den hier in Frage kommenden Instrumenten pflegt man sich aber dazu eines doppeltbrechenden Mediums zu bedienen, welches von dem eintretenden Lichtstrahl in anderer als der Richtung einer optischen Axe durchlaufen wird; jener Strahl liefert dabei durch Doppelbrechung zwei polarisirte Strahlen, von denen der eine entfernt werden muss. Man erreicht dies durch die farblosen und durchsichtigen sog. *Nicol*'schen Prismen (Nicols), von denen eines als Polarisator, ein anderes als Analysator dient. Ein solches Prisma wird aus zwei eigenthümlich geschliffenen, mit Canadabalsam zusammengekitteten Kalkspathstücken hergestellt. Dasselbe hat die Eigenschaft, von den zwei Strahlen, in welche ein auffallender Lichtstrahl gespalten wird, nur einen, und zwar den ausserordentlichen Strahl im vollkommen polarisirten Zustande hindurchzulassen, während der ordentliche Strahl an der Balsamschicht total reflectirt und durch die geschwärzten Seiten des Prismas absorbirt wird. Gehen die optischen Hauptschnitte zweier hintereinander befindlicher Nicols parallel, so ist das Gesichtsfeld hell, denn der aus dem ersten Nicol (dem Polarisator) austretende einzige polarisirte Strahl *E*, welcher parallel der Hauptaxe schwingt, kann in dem zweiten Nicol (dem Analysator) keine Zerlegung erfahren, sondern muss diesen letzteren wieder als ausserordentlicher Strahl mit unveränderter Schwingungsrichtung durchlaufen. Stehen die Hauptschnitte der beiden Nicols aber senkrecht (gekreuzt), so erscheint das Gesichtsfeld dunkel; in diesem Falle gelangt nämlich der aus dem Polarisator kommende ausserordentliche Strahl mit Schwingungen in den Analysator, welche senkrecht zu dessen Hauptschnitt stehen, d. h. er tritt in ihn als ordentlicher Strahl ein, und muss demzufolge seitlich reflectirt und als solcher gänzlich

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

vernichtet werden. Je kleiner der Winkel der beiden Nicolhauptschnitte ist, desto heller, je mehr er sich 90° nähert, desto dunkler erscheint das Gesichtsfeld. — Neuerlich hat man den polarisirenden Prismen auch wohl eine etwas abweichende Construction gegeben, wodurch aber das Wesentliche ihrer Wirkung nicht verändert wird[1]).

Die hierher gehörigen Untersuchungen werden entweder im parallelen oder im convergenten polarisirten Licht ausgeführt. Das erstere wird erzeugt, indem man mit einem gewöhnlichen Mikroskop eine Polarisationsvorrichtung in der Weise verbindet, dass der polarisirende Nicol in fixer Stellung von unten her in den Objecttisch eingeführt wird, während man den analysirenden Nicol entweder gekreuzt in einen Schlitz des Tubus einführt, oder ihn in einem mit Gradeintheilung versehenen drehbaren Hut auf das Ocular oben aufsetzt. In diesem Falle gelangt das am Spiegel reflectirte Tageslicht durch den Polarisator als schmales und daher fast paralleles Lichtbündel in die Mineralplatte, welche also im parallelen polarisirten Licht untersucht wird.

Um nun anderseits sowohl die Untersuchung im convergenten Licht, im Lichtkegel, vornehmen zu können, als auch ein grösseres Gesichtsfeld zu erhalten, bedient man sich des sog. Nörremberg'schen Polarisationsinstruments, dessen Construction im Wesentlichen auf Folgendes hinausläuft: Am Fuss eines verticalen Stativs befindet sich als Polarisator entweder eine Spiegelcombination, oder ein Glasplattensatz, eine Turmalinplatte oder ein Nicol, wobei die drei letzteren ihr Licht durch einen Erleuchtungsspiegel beziehen. Die parallelen polarisirten Strahlen werden in einem darauf folgenden Linsensatz von kurzer Brennweite stark convergent gemacht und durchsetzen so das unmittelbar darüber befindliche Untersuchungsobject, aus welchem sie divergent austreten. Nun passiren sie ein weiter nach oben angebrachtes zweites Linsensystem, welches sie wieder schwächer convergent macht, und welches mit dem unteren ein möglichst grosses Gesichtsfeld, übrigens keine sehr bedeutende Vergrösserung, gewährt, weshalb das Instrument auch nur mit Unrecht Polarisationsmikroskop hiess. Am obersten Ende des Rohres befindet sich noch eine Loupe (Ocular), durch welche das entstandene reelle Bild als ein virtuelles erblickt wird. Als Analysator, der wie die beiden Linsensätze an dem Stativ verschiebbar ist, dient oben ein drehbarer Nicol, dessen Polarisationsebene alle Stellungen zu derjenigen des Polarisators annehmen kann. — Ueber

1) Platten des hexagonalen Turmalins, welche der Hauptaxe parallel geschliffen sind, erlangen bei einem gewissen Grade der Verdickung ebenfalls die Eigenschaft, dass von den beiden in ihnen durch Doppelbrechung entstandenen Strahlen nur der Strahl *E*, welcher nach 0R polarisirt ist, durchgelassen wird, indem *O* innerhalb des Minerals zur Absorption gelangt. Der Turmalin lässt also nur solche Schwingungen im Maximum durch, welche parallel seiner Hauptaxe gerichtet sind. Stehen die Hauptaxen zweier, hinter einander in einer Zange befindlicher Turmalinplatten parallel, so geht der Lichtstrahl durch beide wie durch eine einzige dickere Platte ungestört hindurch; werden aber die Hauptaxen senkrecht gekreuzt, so tritt der aus der einen kommende einzige Strahl *E* in die zweite als *O* ein und muss innerhalb der letzteren absorbirt werden. Senkrecht gekreuzte Turmalinplatten wirken daher wie ebenso gestellte Nicol'sche Prismen und erscheinen beim Durchblicken dunkel. Eine solche Turmalinzange hat den Nachtheil, dass sie nur gefärbtes Licht liefert.

Um zu erkennen, ob ein Strahl polarisirt ist, genügt es daher, ihn senkrecht auf ein Nicol'sches Prisma oder auf eine Turmalinplatte fallen zu lassen und die letzteren beiden Objecte um die Richtung des Strahles zu drehen; geht bei einer gewissen Stellung derselben das Licht nicht mehr hindurch, so ist dasselbe polarisirt (und führt seine Schwingungen senkrecht zur kurzen Diagonale des Nicols und zur Hauptaxe des Turmalins aus).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

die Einrichtung eines wirklichen Mikroskops als Instrument zur Untersuchung im convergenten polarisirten Licht vgl. S. 229. — Nach dem zweckmässigen Vorschlag von *Tschermak* wird das mit Nicols versehene Mikroskop, in welchem die Untersuchung im parallelen polarisirten Licht vorgenommen wird, Orthoskop, das die Untersuchung im convergenten Licht bedingende Instrument Konoskop genannt.

§ 106. **Untersuchungen im parallelen polarisirten Licht.** Dieselben bezwecken: 1) einfachbrechende und doppeltbrechende Blättchen zu unterscheiden; 2) in den letzteren die Lage der Elasticitätsaxen gegen die krystallographischen Axen zu bestimmen und somit das Krystallsystem abzuleiten; 3) den relativen Werth der Elasticitätsaxen, den sog. optischen Charakter zu bestimmen.

Unterschied von einfach- und doppeltbrechenden dünnen Mineralblättchen im weissen parallelen polarisirten Licht. Aufsuchung der Lage der Elasticitätsaxen. Zu diesen Untersuchungen dient, wie erwähnt, das gewöhnliche mit Nicols versehene Mikroskop, an welchem sich ein graduirter, mit Nonius versehener, horizontal drehbarer Tisch befindet, um dem Object eine verschiedene Lage gegen die Polarisationsebene ertheilen zu können. Wird nun ein dünnes planparalleles Blättchen eines einfach-brechenden Minerals (regulären Krystalls oder amorphen Körpers) auf den Objecttisch zwischen beide Nicols gebracht, deren Hauptschnitte oder Polarisationsebenen gekreuzt sind, so wird das Object völlig dunkel erscheinen wie in diesem Falle das Gesichtsfeld selbst, da der mit der Schwingungsrichtung des unteren Polarisators eintretende Strahl seinen Weg durch die isotrope Substanz mit gleicher Schwingungsrichtung fortsetzt und daher von dem gekreuzt stehenden Analysator ausgelöscht werden muss. Da die Aetherelasticität in dem Blättchen nach allen Directionen hin gleich ist, so wird auch dadurch, dass man dasselbe um seine eigene Axe dreht, oder dadurch, dass man eine von dem Mineral in anderer Richtung gewonnene Lamelle unterschiebt, keinerlei Veränderung eintreten. Wenn umgekehrt durch die parallele Stellung beider Nicolhauptschnitte das Gesichtsfeld hell erscheint, so wird das zwischengeschobene Blättchen keine andere Farbe aufweisen, als es auch im gewöhnlichen Licht besass.

Genau so wie einfachbrechende Lamellen verhalten sich zwischen gekreuzten (und parallelen) Nicols diejenigen von doppeltbrechenden einaxigen Substanzen, welche senkrecht zu der optischen Axe geschnitten sind. Für Strahlen, welche parallel der einzigen Hauptaxe den Krystall durchlaufen, erfolgt weder eine Doppelbrechung noch eine Polarisation, sondern sie gehen in dieser Richtung genau mit demselben Verhalten hindurch, wie durch ein überhaupt isotropes Medium. So erscheinen solche basischen Platten tetragonaler und hexagonaler Substanzen bei gekreuzten Nicols dunkel und bleiben dunkel bei einer vollen Horizontaldrehung um die eigene Axe. Die Frage, ob ein solcher einfachbrechender Schnitt ein basischer eines einaxigen Minerals ist, oder einem isotropen angehört, kann, wenn nur er allein vorliegt, erst im convergenten polarisirten Licht entschieden werden.

Da im tetragonalen und hexagonalen System die Basis die einzige Form ist, welche nur aus einem parallelen Flächenpaar besteht, welcher also auch eine einzelne Spaltungsfläche allein entsprechen kann, so muss jede von einem optisch-einaxigen

Krystall durch Spaltung erhaltene Lamelle ihre optische Axe senkrecht stehen haben und sich daher wie angegeben zwischen gekreuzten Nicols verhalten.

Dünne Schnitte senkrecht gegen eine optische Axe eines zweiaxigen Minerals erscheinen zwischen gekreuzten Nicols im Instrument für paralleles Licht bei totaler Horizontaldrehung aber nicht stets gleich dunkel, sondern im Gegentheil stets gleich hell, ohne dass Interferenzfarben auftreten; dieses Verhalten ist jedoch nur scheinbar abnorm, denn es folgt nothwendig aus der Thatsache, dass die optischen Axen zweiaxiger Körper Axen innerer konischer Refraction sind. Die Intensität des Lichtes ist abhängig von der Dicke des Schliffes und der Stärke der Doppelbrechung; dicke Platten sind zwischen gekreuzten Nicols ebenso hell, wie zwischen parallelen[1]).

Wenn dagegen das Blättchen nicht senkrecht zu einer optischen Axe geschnitten und doppeltbrechend ist, so zeigt es, mit Ausnahme gewisser besonderer, gleich zu erwähnender Stellungen sowohl zwischen gekreuzten als zwischen parallelen Nicols Farbenerscheinungen, chromatische Polarisation[2]). Sofern nämlich die Schwingungsebene des polarisirten Lichtstrahls mit dem optischen Hauptschnitt des doppeltbrechenden eingeschobenen Mediums irgend einen anderen Winkel bildet als 0° oder 90°, so erfolgt (in derselben Weise wie beim gewöhnlichen Licht) eine Zerlegung in zwei zu einander senkrechte Strahlen, welche, nach Reduction ihrer Schwingungen auf dieselbe Ebene, zur Interferenz gelangen. Die Farben, welche ein solches Object bei gekreuzten Nicols trägt, sind die complementären von denjenigen, die es bei parallelen aufweist (Roth im Gegensatz zu Grün, Blau zu Gelb u. s. w.).

Die Farbe, welche ein doppeltbrechendes, nicht senkrecht auf eine optische Axe geschnittenes Blättchen im weissen parallelen polarisirten Licht zwischen gekreuzten Nicols zeigt, ist abhängig von der Dicke des Blättchens, von der Lage desselben im Krystall und von der relativen Grösse der Elasticitätsaxen, resp. der Brechungsquotienten der Substanz. Ein Gypsblättchen von 0,13 mm Dicke erscheint purpurn, von 0,14 mm blau, von 0,16 mm grün, von 0,18 mm roth. Eine und dieselbe Substanz zeigt bei gleicher Dicke um so höhere Interferenzfarbe, je grösser die Differenz der zwei in dem Blättchen liegenden Elasticitätsaxen ist, denen die Schwingungen der Strahlen parallel gehen. Unter gleich dicken Schnitten eines optisch einaxigen Minerals muss daher derjenige die höchste Interferenzfarbe geben, welcher parallel der optischen Axe gerichtet ist; je mehr die Schnittrichtung sich der Basis nähert, desto mehr müssen die Interferenzfarben sinken. Bei einem zweiaxigen Mineral muss unter gleich dicken Schnitten derjenige die höchste Interferenzfarbe liefern, welcher senkrecht zur Axe der mittleren Elasticität steht, d. h. parallel der optischen Axenebene geht, weil in diesem Schnitt dann die Axen gerade der grössten und kleinsten Elasticität gelegen sind, und sich in ihm die grösste Differenz $(\gamma - \alpha)$ geltend macht.

Von zwei Substanzen mit verschiedenem Maass der Doppelbrechung, welche in gleich dicken Blättchen vorliegen, gibt diejenige mit schwächerer Doppelbrechung Farben, welche dem Anfang der Newton'schen Farbenscala näher stehen, als es bei der stärker doppeltbrechenden der Fall ist.

Wenn eine durch Spaltung erhaltene Lamelle einem rhombisch oder klinoëdrisch krystallisirten Mineral angehört, so entspricht ihre Spaltungsfläche in der Regel entweder der Basis oder einem der beiden verticalen Pinakoide; keine der beiden optischen Axen wird aber alsdann auf der Lamelle rechtwinkelig sein und die letztere muss daher in den meisten Stellungen zwischen den Nicols Farben aufweisen. Unter

1) Hierauf wurde zuerst von *Kalkowsky* hingewiesen, Z. f. Kryst. IX. 1885. 486.

2) Zur specielleren Erläuterung der Ursache dieser und folgender Erscheinungen wird auf die ausführlichen Lehrbücher der Physik oder physikalischen Krystallographie verwiesen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Erwägung des oben Angeführten kann man daher sehr leicht erkennen, ob man es mit einer optisch-einaxigen oder optisch-zweiaxigen Lamelle zu thun hat, woraus sich dann rückwärts ein Schluss auf den allgemeinen Charakter des Krystallsystems ziehen lässt.

Ist das doppeltbrechende Blättchen nicht gleichmässig dick, sondern keilförmig, so erscheint nicht eine einzige Farbe, sondern es folgen, der Dicke entsprechend, mehre Farben in Uebergängen aufeinander. Bei allzugrosser Dünne der doppeltbrechenden Lamelle sind die Interferenzfarben mitunter nicht lebhaft genug, um erkannt zu werden. Wenn man alsdann ein dünnes Glimmer- oder Gypsblättchen, welches für sich im polarisirten Licht gleichmässig und charakteristisch (z. B. mit dem empfindlichen Roth der ersten Ordnung) gefärbt erscheint, darüber deckt, so wird an den Stellen, wo die Lamelle darunter liegt, eine Veränderung dieser Farbe ersichtlich und damit die Doppelbrechung der Substanz selbst erwiesen sein. Eine isotrope Lamelle kann die Interferenzfarbe des Glimmerblättchens nicht ändern. Zu demselben Zweck schiebt man eine 3,75 mm dicke planparallele und senkrecht auf die optische Axe geschliffene Quarzplatte in einen über der Objectivlinse angebrachten Schlitz des Tubus und erzeugt durch Drehung des oberen Nicols das empfindliche Hellbläulichviolett oder Purpurviolett (die sog. Teinte de passage oder Teinte sensible im Anfang der dritten Ordnung) des circularpolarisirenden Quarzes; selbst ein sehr schwach doppeltbrechendes Object verändert diese charakteristische Farbe.

Speciell wird ein doppeltbrechendes, nicht senkrecht auf die optische Axe geschnittenes Blättchen in allen den überwiegenden Fällen bei gekreuzten Nicols Farben zeigen, wenn es eine solche Lage hat, dass die Elasticitätsaxen in seiner Fläche irgend einen schiefen Winkel mit dem optischen Hauptschnitt des Polarisators bilden. Die Intensität dieser Farbe ist weiterhin abhängig von der Neigung des optischen Hauptschnitts im Blättchen gegen die Hauptschnitte des Polarisators und Analysators, welche ihrerseits durch das Ocularfadenkreuz angezeigt zu werden pflegen. Dreht man das Blättchen horizontal um seine Axe, so bleibt die Art der Farbe gleich, aber die Intensität derselben wechselt und ist dann am grössten, wenn die Elasticitätsaxen des Blättchens mit den optischen Hauptschnitten der Nicols einen Winkel von 45° bilden; dies tritt bei einer vollen Horizontaldrehung des Blättchens viermal ein.

Fällt dagegen irgend eine Elasticitätsaxe mit dem optischen Hauptschnitt des polarisirenden Nicols zusammen, so erreicht die Intensität des Interferenzstrahls ihr Minimum, es werden dann selbst solche doppeltbrechende Blättchen keine besonderen Interferenzfarben aufweisen, sondern (bei parallelen Nicols nur hell oder eigenfarbig) bei gekreuzten Nicols nur dunkel erscheinen; denn — im Gegensatz zu dem Verhalten eines gewöhnlichen Strahls, welcher ein doppeltbrechendes Medium in einer anderen Richtung als der einer optischen Axe durchläuft — kann ein schon polarisirter Strahl in dem Blättchen dann keine weitere Zerlegung in zwei Strahlen erleiden und wird dasselbe unverändert (blos mit abweichender Fortpflanzungsgeschwindigkeit) passiren, sobald seine Schwingungsebene (also der optische Hauptschnitt des Polarisators) parallel der Richtung der grössten oder kleinsten Elasticität der Fläche des Blättchens liegt, welche ja die Schwingungsrichtungen für die dasselbe durchlaufenden Strahlen sind; die durch das Blättchen ungestört durchgegangene Schwingung gelangt alsdann in den Analysator, in welchem sie vermöge der Kreuzstellung desselben ausgelöscht wird. Dreht man nun das doppeltbrechende Blättchen aus der Dunkelstellung heraus, so erfolgt eine mit der

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Drehung wachsende Aufhellung und Intensität der chromatischen Polarisation, bis der Drehungswinkel 45° beträgt. Bei weiterer Drehung verschwächt sich aber die Aufhellung und Farbe wieder und wird dann = 0 (d. h. es tritt wieder Dunkelheit ein), wenn der Drehungswinkel 90° misst; letzteres tritt also bei einer vollen Horizontaldrehung ebenfalls viermal ein.

Durch diese so zwischen gekreuzten Nicols vorgenommene Einstellung des Blättchens auf Dunkel, durch die Aufsuchung der sog. Auslöschungsrichtung ist es daher möglich, in optisch-einaxigen Blättchen dieser Art die Richtung der Hauptaxe, in optisch-zweiaxigen die Richtung zweier Elasticitätsaxen zu finden. So kann also auch dadurch die Frage entschieden werden, ob die durch die optische Reaction der Auslöschung ihrer Richtung nach erkennbaren optischen Elasticitätsaxen sämmtlich oder nur theilweise oder gar nicht mit den durch Contourenverlauf, Spaltbarkeit u. s. w. der Blättchen ihrer Lage nach angezeigten krystallographischen Axen zusammenfallen. Aus diesem Ergebniss lässt sich aber in vielen Fällen ein directer Schluss auf das Krystallsystem ziehen. Die Auslöschung heisst eine gerade, wenn sie parallel einer krystallographischen Axe erfolgt, anderenfalls ist sie eine schiefe. — Im Folgenden sind noch einige andere Methoden zur Ermittelung der Lage der Elasticitätsaxen angeführt.

Wenn man auf das Ocular eines Mikroskops eine senkrecht auf die optische Axe geschnittene Kalkspathplatte legt und den Analysator, in Kreuzstellung mit dem Polarisator darüber stülpt, so erscheint in dem Gesichtsfelde die (erst im Folgenden zu erläuternde) charakteristische Interferenzfigur der Kalkspathplatte, ein System buntfarbiger concentrisch-kreisförmiger Ringe, durchzogen von einem schwarzen schattigen Kreuz, dessen Arme mit dem Fadenkreuz im Ocular zusammenfallen. Diese Calcitplatte heisst deshalb auch die stauroskopische. Wird nun ein zu untersuchendes Mineralblättchen auf den Objecttisch gelegt, so tritt jene Interferenzfigur nur dann völlig ungestört und ganz symmetrisch hervor, sofern entweder in dem Object überhaupt keine Doppelbrechung erfolgt, oder sofern das doppeltbrechende Object eine solche Lage hat, dass seine beiden Elasticitätsaxen mit den Hauptschnitten der gekreuzten Nicols (also mit dem Fadenkreuz im Ocular) zusammenfallen. Bei allen anderen Lagen des Untersuchungsobjects stellt sich eine auffallende Störung der Calcit-Interferenzfigur ein. Es kommt also hier, zur Ermittelung der Lage der Elasticitätsaxen in dem Blättchen, darauf an, den Moment zu erfassen, in welchem bei der Drehung desselben die buntfarbige Interferenzfigur in ihrer normalen Symmetrie correct erscheint, und dies gelingt dem Auge meistentheils schon viel besser, als die Aufsuchung des Dunkelheits-Maximums. — Liegt eine zu untersuchende Krystallplatte so auf dem Objecttisch, dass eine Kante derselben parallel geht dem Hauptschnitt eines der Nicols, und ist in diesem Falle die Calcit-Interferenzfigur gestört, so zeigt der Winkel, um welchen bis zur Wiederherstellung der letzteren das Object gedreht werden muss, an, wie gross die Neigung ist zwischen einer Elasticitätsaxe im Krystall und der betreffenden Kante. Das Princip dieser stauroskopischen Untersuchung wurde schon 1855 durch *v. Kobell* angegeben.

Brezina ersetzte die stauroskopische, senkrecht auf die Axe geschliffene einfache Kalkspathplatte durch zwei nahezu senkrecht auf die Axe, d. h. ein wenig schief gegen die Basis geschliffene Kalkspathlamellen, welche so übereinandergelegt werden, dass die optischen Axen von beiden zwar in einer Ebene liegen, aber nach entgegengesetzter Seite geneigt sind; die Interferenzfigur dieser Combination ist überaus empfindlich, indem eine sehr geringe Divergenz zwischen der Elasticitätsaxe des Objects und dem optischen Hauptschnitt des Analysators eine bedeutende Verschiebung des Mittelbalkens hervorbringt. — Ein anderer Ersatz für die gewöhnliche stauroskopische

Calcitplatte ist die *Calderon*'sche Doppelplatte. Dieselbe besteht aus zwei Theilen von Kalkspathrhomboëdern, welche zu einem künstlichen Zwilling aneinandergekittet und zu einer planparallelen Platte geschliffen sind, die mit einem Ocular verbunden zu sein pflegt. Liegt die Trennungsnaht der beiden Individuen parallel dem Hauptschnitt des einen der gekreuzten Nicols, so bleiben beide Hälften in allen den Fällen, wenn sonst die Calcit-Interferenzfigur durch ein zwischengeschobenes Object ungestört hervortreten würde, gleichmässig dunkelgrau, so dass die Trennungslinie überhaupt nicht sichtbar ist. Bei allen übrigen Stellungen des Objects tritt unverzüglich eine — der Störung der Interferenzfigur entsprechende — Aenderung in der Beschattung der beiden Plattenhälften hervor, die eine wird dunkel, die andere hell, oder beide erscheinen gleich hell. — Zum Ersatz von *Calderon's* Doppelplatte proponirte *Traube* zwei streifenförmige Viertelundulationsglimmerlamellen in der Weise nebeneinander zu legen, dass die optischen Axenebenen in beiden einen Winkel von 7° bilden.

Anstatt das Maximum der Dunkelheit oder die normale Calcit-Interferenzfigur u. s. w. zum Anhalt zu nehmen, kann man zur genaueren Bestimmung der Schwingungsrichtung auch auf eine bestimmte Farbe einstellen. Die letztere wird z. B. hervorgebracht, indem man in einen Schlitz des Tubus oberhalb des Objectivs eine parallel zur Hauptaxe geschliffene Quarzplatte von solcher Dicke und in einer 45°-Stellung ihrer Hauptaxe gegen die gekreuzten Nicols einschiebt, dass das Gesichtsfeld des Mikroskops gleichmässig mit dem charakteristischen hellbläulichen Violett oder Purpurviolett versehen erscheint. Diese Farbe bleibt nur unverändert, wenn auf dem Objecttisch in einen Theil des Gesichtsfeldes entweder ein isotroper Schnitt eingeführt wird, oder ein doppeltbrechender, welcher so gerichtet ist, dass seine Elasticitätsaxen mit den Nicolhauptschnitten zusammenfallen. In jeder anderen Stellung wird das doppeltbrechende Blättchen durch den Quarz eine von jenem Violett abweichende Farbe erhalten. Dreht man bis Blättchen und Gesichtsfeld gleichmässig gefärbt sind, so ist in diesem Moment jene Uebereinstimmung in der Richtung vorhanden. — Zu demselben Zweck kann auch irgend eine andere Platte eines doppeltbrechenden Minerals verwandt werden, dessen Interferenzfarbe empfindlich und leicht veränderlich ist, z. B. ein Glimmerblättchen oder Gypsblättchen, welches das Roth erster Ordnung zeigt. — An sich farblose Mineralien taugen natürlich für diese Prüfungen am besten.

Noch ein anderes Mittel, die Lage der Elasticitätsaxen in einem doppeltbrechenden Blättchen möglichst scharf zu bestimmen, ist die sog. *Bertrand*'sche Doppelquarzplatte. Dieselbe besteht aus zwei rechts- und zwei linksdrehenden Platten von senkrecht zur Axe geschnittenem Quarz (alle 4 gleich dick, etwa 2,5 mm), welche, je einen Quadranten darstellend, so zusammengekittet sind, dass die beiden rechten über Kreuz und die beiden linken über Kreuz liegen, also stets eine rechte Platte sich mit zwei linken berührt. Wird dann diese Combination so in das Ocular zwischen die erste und zweite Linse eingefügt, dass die als rechtwinkelig sich schneidende Linien erscheinenden Berührungsflächen der vier Stücke dem Fadenkreuz, d. h. den gekreuzten Nicolhauptschnitten genau parallel gehen, so sind die 4 Quadranten durchaus gleich gefärbt, bei der angegebenen Dicke ganz schwach bläulich. Die gleiche Färbung bleibt nach der Einschaltung eines doppeltbrechenden Mineralblättchens auf dem Objecttisch nur dann bestehen, wenn die in demselben liegenden Elasticitätsaxen genau parallel sind den Nicolhauptschnitten, also den Trennungslinien der Quadranten. Die kleinste Abweichung von dieser Richtung macht sich sofort in äusserst empfindlicher Weise dadurch kund, dass zwar die gegenüberliegenden gleichen Quadranten der Platte noch gleich, die anliegenden (rechten und linken) aber verschieden gefärbt sind. — Ueber eine andere empfindliche Quarzdoppelplatte vgl. *Stöber*, Z. f. Krystall. XXIX. 1898. 22.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich, dass als optische Wirkungen eines Objects zwischen gekreuzten Nicols einander entsprechen: Einerseits Dunkelheit des Objects ohne weiteren Apparat, ungestörtes Hervortreten der Calcit-Interferenzfigur

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

bei der stauroskopischen Platte, normales Auftreten der Interferenzfigur bei der Platte von *Brezina*, gleichmässige Dunkelheit der Platte von *Calderon*, Unveränderbleiben der Polarisationsfarbe einer Quarzplatte, übereinstimmende Färbung der vier Felder einer *Bertrand*'schen Doppelquarzplatte. Alle diese Erscheinungen treten hervor bei Schnitten, in denen überhaupt keine Doppelbrechung erfolgt, sowie bei solchen doppeltbrechenden, welche so gerichtet sind, dass je eine ihrer Elasticitätsaxen mit einem Nicolhauptschnitt zusammenfällt. Anderseits sind unter einander gleichbedeutend: Chromatische Polarisation des Objects ohne weiteren Apparat, Störung der Calcit-Interferenzfigur, Verschiebung des Mittelbalkens in der Platte von *Brezina*, Aenderung in der Beschattung der Hälften in der Platte von *Calderon*, Aenderung der Polarisationsfarbe einer Quarzplatte, abweichende Färbung zweier anliegender Felder bei einer *Bertrand*'schen Doppelquarzplatte. Diese Erscheinungen verweisen allemal darauf, dass das untersuchte Object überhaupt doppeltbrechend und ferner derartig gelegen ist, dass keine seiner Elasticitätsaxen mit einem Nicolhauptschnitt zusammenfällt.

Bestimmung des optischen Charakters im parallelen polarisirten Licht. Nachdem in einem doppeltbrechenden Blättchen durch die angegebenen Methoden die Lage der beiden optischen Elasticitätsaxen mit Bezug auf die krystallographischen Axen überhaupt festgestellt ist, kann es sich weiter um den sog. optischen Charakter desselben, d. h. um die Frage handeln, welche davon die Axe der grösseren und welche die der kleineren Elasticität ist. Dies wird ermittelt durch Vergleichung mit einem anderen Mineralblättchen, in welchem der relative Werth dieser beiden Richtungen, der optische Charakter, bekannt ist.

Man kann sich dazu z. B. einer parallel zur Hauptaxe geschnittenen Quarzplatte bedienen, welche bei gekreuzten Nicols in den Schlitz des Tubus so eingeschoben wird, dass ihre Hauptaxe mit den Nicolhauptschnitten 45° bildet und so dick ist, dass sie dann für sich das empfindliche Purpurviolett zeigt. In dem Quarz mit optisch positivem Charakter liegt die Axe der kleinsten Elasticität c parallel der in bekannter Richtung verlaufenden Hauptaxe. Nun wird auf dem drehbaren Objecttisch das zu untersuchende Blättchen in eine solche Stellung gebracht, dass seine Elasticitätsaxen ebenfalls 45° mit den gekreuzten Nicols bilden, wobei dann natürlich in beiden Medien die Elasticitätsaxen überhaupt sich decken oder im Allgemeinen parallel gehen. Sind es nun gleichwerthige Axen, welche zusammenfallen, so muss das Mineralblättchen (in Folge der Vergrösserung des Gangunterschiedes der Strahlen) wie eine Verdickung der Quarzplatte wirken, und die Interferenzfarbe der letzteren muss daher steigen, durch Violett nach Blau und Grün der II. Ordnung. Decken sich aber ungleichwerthige Elasticitätsaxen, so wirkt das Blättchen wie eine Verdünnung der Quarzplatte und ihre Interferenzfarbe muss durch Roth und Orange nach Gelb der I. Ordnung fallen.

Statt der Quarzplatte kann man auch in derselben Weise ein dünnes Glimmerblättchen einschieben, welches zweckmässig als ein oblonges Rechteck geschnitten ist, dessen Längsseite parallel geht der optischen Axenebene des Glimmers; letztere ist bei dem Glimmer die Axe der kleinsten Elasticität c, und wird zu den gekreuzten Nicols in die 45°-Stellung gebracht. Nun wird das Untersuchungsobject wieder so eingefügt, dass seine Elasticitätsaxen mit denen des Glimmers parallel gehen und wenn dann die Axe der kleinsten Elasticität mit jener bekannten kleinsten des Glimmers sich deckt, so muss die Interferenzfarbe des letzteren steigen; zeigt der Glimmer in der Diagonalstellung das Roth der I. Ordnung, so muss in diesem Falle sich dasselbe durch Violett in Blau der II. Ordnung verwandeln. Fällt umgekehrt die

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Interferenzfarbe des Glimmers, von Roth durch Orange in Hellgelb der I. Ordnung, so beweist dies wieder, dass die grösste Elasticitätsaxe des Untersuchungsobjects parallel geht mit der kleinsten (der längeren Kante) des Glimmerblättchens.

Endlich kann man sich auch für solche Feststellungen bei stark doppeltbrechenden Medien eines Quarzkeils bedienen, an welchem eine Fläche genau parallel der Hauptaxe geschliffen ist, während die andere damit einen sehr kleinen Winkel bildet und die Schneide des sich verjüngenden Keils rechtwinkelig auf der Hauptaxe des Quarzes liegt. Die der Hauptaxe parallele lange Kante des Keils ist die Axe der kleinsten Elasticität c. Um die dünnste Schneide weniger zerbrechlich zu machen, ist der Keil auf eine Glasplatte aufgekittet. Dieser Quarzkeil wird, am besten zwischen Ocular und Analysator, bei gekreuzten Nicols eingeschoben und zwar so, dass seine Hauptaxe (lange Kante) 45° gegen die Nicolhauptschnitte steht. Wenn man nun den Quarzkeil in der Richtung von der Schneide nach dem Rücken zu vorwärts bewegt, so erblickt man in Folge der steigenden Dicke die ganze Reihe der Newton'schen Farben streifenartig nebeneinander, von dem Eisengrau und Lavendelgrau der ersten Ordnung bis in die zweite oder dritte Ordnung hinein. Das zu untersuchende Blättchen auf dem Objecttisch wird theilweise auch ins Gesichtsfeld gebracht und zwar wiederum in solcher Lage, dass seine Elasticitätsaxen 45° gegen die Nicolhauptschnitte geneigt sind. Dadurch muss die Farbe des Quarzkeils an der Stelle, wo das Blättchen darunter liegt, geändert werden und zwar tritt dann, wenn die Axe der kleinsten Elasticität des Blättchens parallel der Kante des Quarzkeils verläuft, dort eine Farbe höherer Ordnung auf, welche in dem Quarzkeil selbst erst an einer dickeren Stelle vorhanden ist. Sofern dagegen die durch das Blättchen hervorgebrachte örtliche Farbenänderung des Quarzkeils umgekehrt einer Farbe niederer Ordnung entspricht, wie sie bei dem Quarzkeil an einer dünneren Stelle erscheint, alsdann ist es in dem Blättchen die Axe der grössten Elasticität, welche der Keilkante parallel geht.

Bei einigen einaxigen Mineralien (z. B. Melilith) hat man sowohl ganz schwach positiv als ganz schwach negativ sich verhaltende Varietäten beobachtet, auch Zwischenglieder, welche überhaupt keine Doppelbrechung zeigen.

Bei der Bestimmung der Brechungsquotienten nach der Methode von *Chaulnes* (S. 209) gibt bei einaxigen Krystallen eine senkrecht auf die Hauptaxe geschnittene Platte darnach nur den Brechungsquotienten ω für den ordentlichen Strahl. An einer parallel mit der Hauptaxe geschnittenen Mineralplatte kann man aber die Brechungsquotienten für beide Strahlen, sowohl ω als ε bestimmen, und zwar werden diese unterschieden durch den unterhalb des Objecttisches angebrachten polarisirenden Nicol (unter Weglassung des Analysators). Steht die in der Mineralplatte liegende Hauptaxe senkrecht auf der Schwingungsrichtung dieses Nicols, so ist der gefundene Brechungsquotient wiederum ω, er muss also mit dem in einer basischen Platte ermittelten übereinstimmen. Wird darauf das Blättchen in seiner Horizontalebene um 90° gedreht, so dass seine Hauptaxe jetzt parallel mit dem Nicolhauptschnitt geht, so wird der Brechungsquotient ε für den anderen Strahl erhalten. — Bei zweiaxigen rhombischen Krystallen sind zur Bestimmung der drei Brechungsquotienten nach der *Chaulnes*'schen Methode mindestens zwei planparallele Platten erforderlich, von denen jede, einem Pinakoid entsprechend, senkrecht auf einer optischen Elasticitätsaxe steht; dieselben werden wiederum nach Einfügung blos des polarisirenden Nicols untersucht. Jede derselben liefert, wenn eine darin liegende Elasticitätsaxe einmal dem Nicolhauptschnitt parallel geht, das anderemal darauf senkrecht steht, zwei Hauptbrechungsquotienten. Diese reduciren sich insgesammt auf drei, da einer derselben auf zwei Platten übereinstimmend gefunden wird: die eine Platte liefert z. B. α und β, die andere α und γ oder β und γ.

Der mittlere durchschnittliche Brechungsquotient ist bei den einaxigen Mineralien $= \frac{\varepsilon + 2\omega}{3}$, bei den zweiaxigen $= \frac{\alpha + \beta + \gamma}{3}$ oder β, wenn nur dieses bestimmt war.

Je höher die Brechungsquotienten sind, desto stärker reliefartig und mit desto dunklerer Umrandung treten in den Dünnschliffen die Mineralien im gewöhnlichen Licht hervor, desto mehr runzelig sieht ihre Oberfläche aus. Das Maass dieser Erscheinungen lässt also schon ungefähr auf die Höhe oder Niedrigkeit der Brechungsquotienten schliessen. Derjenige des Canadabalsams ist = 1,549.

Bei doppeltbrechenden Mineralien ist aber nicht nur die relative Höhe der Brechungsquotienten selbst, sondern auch ihr gegenseitiger Unterschied, d. h. das Maass oder die Stärke der Doppelbrechung, die Differenz zwischen ω und ε, sowie zwischen γ und α sehr charakteristisch und für die Diagnose geeignet, indem damit die Intensität der Interferenzfarben zusammenhängt (vgl. S. 220). Aus der Höhe oder Niedrigkeit der letzteren innerhalb der Newton'schen Farbenscala kann man bei bekannter Dicke auf die Stärke oder Schwäche der Doppelbrechung schliessen und umgekehrt[1]).

Damit das Roth der ersten Ordnung entsteht, muss ein Blättchen von Chlorit ($\gamma - \alpha = 0{,}001$) die relativ sehr beträchtliche Dicke von 0,551 mm besitzen, während dasselbe Roth sich beim Andalusit ($\gamma - \alpha = 0{,}011$) schon bei einer Dicke von 0,05 mm, beim Muscovit ($\gamma - \alpha = 0{,}042$) selbst bei 0,013 mm, beim Rutil ($\omega - \varepsilon = 0{,}287$) bereits gar bei einem Blättchen von nur 0,00192 mm Dicke zeigen würde.

Mineralien (z. B. Zoisit, Melilith, Vesuvian), welche nur eine ausserordentlich schwache Doppelbrechung besitzen (und vielleicht für eine Farbe +, für eine andere — sind), zeigen zwischen gekreuzten Nicols nicht das Eisengrau im Anfang der I. Ordnung, sondern ein ganz eigenthümliches intensives Stahlgrau oder selbst Berlinerblau, welches von jedem anderen Blau der Farbenscala verschieden ist (sog. Ultra-Blau).

§ 107. **Untersuchungen im convergenten polarisirten Licht.** Diese Untersuchungen dienen allgemein dazu: 1) die einaxigen von den zweiaxigen Krystallen zu unterscheiden; 2) wiederum den relativen Werth der Elasticitätsaxen, den sog. optischen Charakter festzustellen; 3) die Dispersionen zu bestimmen; 4) den Winkel der optischen Axen zu messen; 5) kann dadurch auch für ein einfachbrechendes Blättchen ermittelt werden, ob es von einem überhaupt isotropen oder von einem einaxigen Mineral herstammt.

Interferenzbilder im convergenten polarisirten Licht. Etwas dickere planparallele Platten von doppeltbrechenden Krystallen, welche bei den optisch-einaxigen senkrecht auf die Hauptaxe, bei den zweiaxigen senkrecht auf eine der optischen Axen oder auf die Bisectrix geschnitten sind, offenbaren, namentlich wenn die Schwingungsebenen von Polarisator und Analysator gekreuzt sind, im Nörremberg'schen oder einem anderen für solchen Zweck eingerichteten Polarisationsinstrument im convergenten Licht sehr schöne bunte Farbenringe, was darin begründet ist, dass die aus der Platte austretenden Lichtstrahlen, im oberen Nicol

1) *Michel Lévy*, welchem man eine grosse Menge von Bestimmungen auf diesem Gebiet und den Nachweis ihrer Bedeutsamkeit verdankt, hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, wie dadurch in manchen Fällen zwei Mineralien, deren sonstige optische Eigenschaften ähnlich sind, unterschieden werden können. So haben der Enstatit und der Hypersthen eine zweimal geringere Doppelbrechung als die monoklinen Glieder der Pyroxengruppe; ebenso unterscheiden sich der Zoisit vom Epidot, der Korund vom Turmalin u. s. w. — Eine bewundernswerth hergestellte polychromatische Tafel, auf welcher man aus der bekannten Dicke eines Minerals und der Höhe der Newton'schen Farben für dasselbe direct das Maass der Doppelbrechung und umgekehrt ablesen kann, enthält das Werk »Les minéraux des roches«, Paris 1888 von *Michel Lévy* und *Lacroix*.

auf eine Schwingungsebene reducirt, gegenseitig zur Interferenz gelangen. Die Art der an jedem Punkt sichtbaren Farbe hängt wesentlich von der Wegdifferenz der interferirenden Strahlen, somit von der Dicke der Lamelle und von der Richtung ab, in welcher die Strahlen hindurchgehen.

Bringt man nämlich, bei gekreuzten Polarisationsebenen, eine optisch-einaxige und normal auf die Hauptaxe gespaltene oder geschnittene Platte von geeigneter Dicke in den Polarisationsapparat, so sieht man im convergenten weissen Tageslicht im Analysator ein System kreisrunder, concentrischer, bunter Farbenringe, welches von einem schwarzen, schattigen Kreuz durchsetzt wird, wie es Fig. 307 zeigt, in welcher die concentrischen Ringe als regenbogenähnlich farbige Curven vorgestellt werden müssen, während das schwarze Kreuz zwar in der Mitte ganz dunkel und ziemlich scharf begrenzt, nach aussen zu aber immer weniger dunkel und gleichsam vertuscht erscheint.

Fig. 307.

Die Dunkelheit des Centrums wird dadurch erzeugt, dass diejenigen Strahlen, welche vom Polarisator her senkrecht auf die Platte fallen, also parallel der optischen Axe durchgehen, als ordentliche Strahlen in dem Analysator durch Totalreflexion vernichtet werden. Die Balken des Kreuzes sind den Schwingungsrichtungen des Polarisators und Analysators (dem Fadenkreuz) parallel. Dreht man die Platte in ihrer Ebene, so bleibt die Interferenzfigur in ihrer Erscheinung ganz unverändert, da jene gekreuzten Richtungen dabei dieselben bleiben, und in der Platte rings um die optische Axe alle radialen Richtungen gleich sind. — Dreht man aber den Analysator allmählich, bis die beiderseitigen Polarisationsebenen parallel geworden sind, so ändert sich die Phase des Bildes, indem das schwarze Kreuz verschwindet und statt seiner ein weisses Kreuz erscheint, die farbigen Ringe aber die Complementärfarbe der vorherigen annehmen, etwa so, wie es Fig. 308 zeigt.

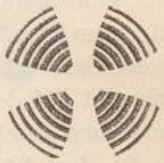


Fig. 308.

Bei gleich dicken Platten verschiedener Substanzen hängt der Durchmesser der Ringe von der Stärke der Doppelbrechung ab: die Ringe werden desto enger, je bedeutender die Differenz zwischen ω und ε ist: der Kalkspath liefert viel engere Ringe als eine ebenso dicke Quarzplatte. Mit der Entfernung vom Centrum nimmt der Abstand der Ringe von einander ab.

Je dünner die untersuchte Platte ist, desto weiter fallen übrigens die Ringe auseinander, und so kommt es, dass man bei einer gewissen Dünne (durchschnittlich unter 1 mm) nur noch den centralen Theil der Interferenzfigur sieht und schon der erste Farbenring ausserhalb des Gesichtsfeldes liegt. Die im vorhergehenden Paragraph besprochenen Polarisationserscheinungen dünner Blättchen doppeltbrechender Mineralien im parallelen Licht sind eben weiter nichts, als der innerste Theil der Interferenzfiguren. — Betrachtet man die Ringe im homogenen Licht, z. B. durch ein rein roth gefärbtes Glas, so vermehrt sich ihre Anzahl sehr bedeutend, während sie zugleich dunkel oder anders gefärbt erscheinen.

Steht in dem Krystallschnitt die optische Axe nicht genau senkrecht, so erscheint das Interferenzbild aus dem Centrum des Gesichtsfeldes gerückt, bei stärkerer Neigung vielleicht so weit, dass nur ein Theil desselben, ein Arm des Kreuzes und ein Theil der Farbenringe sichtbar ist. Bei der Drehung des Schnittes beschreibt alsdann dies Interferenzbild einen Kreis, wobei aber stets der sichtbare Theil des Kreuzes oder Kreuzarmes die gleiche Form und die gleiche Orientirung parallel dem Fadenkreuz beibehält.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Platten, in beliebiger Richtung aus einem überhaupt nur einfachbrechenden (regulären oder amorphen) Mineral entnommen, können natürlich im convergenten polarisirten Licht eine solche Interferenzfigur nicht aufweisen, sondern bleiben zwischen gekreuzten Nicols dunkel, zwischen parallelen hell, weil hier eine Zerlegung oder Aenderung der Schwingungsebene der aus dem Polarisator austretenden Strahlen in keinem Falle erfolgen kann. Durch diesen Gegensatz kann man also erkennen, ob eine im parallelen polarisirten Licht isotrope Krystalllamelle regulär oder die Basis eines tetragonalen oder hexagonalen Individuums ist.

Schneidet man von einem optisch-zweiaxigen Krystall eine planparallele Platte von geeigneter Dicke senkrecht auf eine optische Axe, so erblickt man bei derselben Untersuchung im convergenten Licht zwischen gekreuztem Polarisator und Analysator ein System von elliptischen oder ovalen bunten Farbenringen, welches von einem schwarzen schattigen Streifen oder Balken durchsetzt wird, etwa so, wie es Fig. 309 zeigt, in welcher die concentrischen Ringe abermals buntfarbig zu denken sind; der schwarze Streifen, welcher in der Axenebene liegt, erscheint zwar in der Mitte schmal und scharf begrenzt, verbreitert und vertuscht sich aber nach aussen immer mehr. Dieses Ringsystem bildet sich also um die eine der optischen Axen. Dreht man die Platte in der Horizontalebene, so dreht sich auch der Streifen, aber in umgekehrter Richtung. Der Streifen ist stets dann gerade gestreckt und halbirt das Gesichtsfeld dann, wenn die Axenebene mit einem der Nicolhauptschnitte zusammenfällt; in allen anderen Positionen zeigt er eine schwach hyperbolische Krümmung. Steht die optische Axe nicht genau senkrecht auf der Schnittfläche, so erscheint das Axenbild an der Seite oder am Rande und beschreibt beim Drehen des Präparats einen Kreis.

Fig. 309.

In dem Nörremberg'schen Polarisations-Instrument ermöglicht es die Grösse des Gesichtsfeldes, dass man in solchen optisch-zweiaxigen Platten, deren Axenebene rechtwinkelig auf ihnen steht, die um beide Axen gebildeten Ringsysteme zugleich beobachten kann, selbst wenn der Winkel der optischen Axen recht gross ist. Wird also eine solche senkrecht auf die spitze Bisectrix geschnittene oder gespaltene Platte (z. B. von optisch-zweiaxigem Glimmer) zwischen beide Linsensysteme so eingelegt, dass ihre Axenebene der Polarisationsebene entweder des Polarisators oder des Analysators parallel ist, so erblickt man ein Bild, wie es etwa Fig. 310 zeigt. Beide Ringsysteme, deren Mittelpunkte den Austritten der optischen Axen entsprechen, erscheinen mit symmetrischer Figur und Lage neben einander zugleich, umgeben von lemniscatischen Farbenringen, und getrennt durch einen dunkeln Zwischenraum, während sich der die Axenaustrittspunkte verbindende schattige Streifen in der Mitte beider Systeme schmal und scharf begrenzt zeigt, weiter hinaus aber verbreitert und vertuscht. Es ist also auch hier gewissermassen ein schwarzes Kreuz vorhanden, wie in den optisch-einaxigen Krystallen, jedoch mit

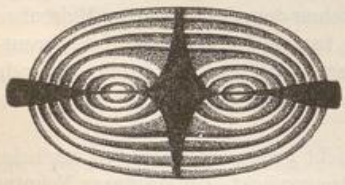


Fig. 310.

dem Unterschied, dass zwei Arme desselben sehr breit und kurz erscheinen, während die beiden anderen Arme sehr schmal beginnen und sich erst weiterhin ausbreiten. Das Kreuz ist daher, wenn auch symmetrisch, so doch nicht regelmässig, wie in den einaxigen Krystallen.

Die beiden dunkeln Balken entstehen natürlich dadurch, dass hier in diesen Richtungen die vom Polarisator kommenden Strahlen eine Zerlegung nicht erfahren und als ordentliche Strahlen in dem Analysator absorbirt werden. — Doch ist hervorzuheben, dass jene erwähnte Symmetrie der Figur und Lage nur dann stattfindet, wenn die beiden optischen Axen gleich geneigt gegen die Lamelle sind, wie dies in den Krystallen des rhombischen Systems und in denjenigen Krystallen des monoklinen Systems der Fall ist, deren Axenebene nicht parallel der Symmetrieebene ist. — Ist der Winkel der optischen Axen sehr klein, so nähert sich bei dieser Stellung die Interferenzfigur dem Bilde, welches ein optisch-einaxiger Krystall liefert.

Dreht man hierauf die Platte in ihrer eigenen Ebene so weit, bis ihre Axenebene mitten zwischen den Polarisationsebenen des Polarisators und Analysators zu liegen kommt, also mit jeder derselben den Winkel von 45° bildet, so verändert sich bei dieser Diagonalstellung die Erscheinung, und man erblickt ein Bild wie Fig. 311, in welchem beide Ringsysteme nebst den Lemniscaten vollständig zu übersehen sind, und jedes derselben von einem hyperbolischen schwarzen Streifen quer durchsetzt wird. Die Scheitel beider Hyperbeln erscheinen schmal und scharf begrenzt in der Mitte der Ringsysteme in je einem Axenaustritt, die gleichseitigen Arme oder Aeste derselben nach aussen verbreitert und vertuscht.

Fig. 311.

Die Grösse des Winkels der beiden optischen Axen ist maassgebend für die gegenseitige Entfernung der beiden Axenpunkte bei der Parallelstellung sowie der Hyperbelpole bei der Diagonalstellung; die Dicke des Blättchens hat darauf keinen Einfluss.

Steht aber die Bisectrix nicht genau senkrecht auf dem Schnitt, so zeigt das Gesammt-Interferenzbild zunächst eine excentrische Stellung; bei grösserer Abweichung erscheinen Theilbilder, ähnlich den für einaxige Krystalle angeführten. Allemal ist jedoch das Bild als das einer optisch-zweiaxigen Substanz charakterisirt durch das Drehen und die Krümmung der dunkeln Balken, sowie durch das Schliessen des Kreuzes und sein Auseinandergehen in Hyperbeln bei der Drehung des Präparats.

Da nun die meisten optisch-zweiaxigen Lamellen, deren Axenebene rechtwinkelig auf ihnen steht, diese gleichzeitige Wahrnehmung beider Ringsysteme gestatten, so gewährt das convergente polarisirte Licht ein vorzügliches Hülfsmittel zur Erkennung des optisch-zweiaxigen Charakters.

Um nun in dem mit Nicols versehenen Mikroskop an dem eingestellten dünnen Krystallblättchen die von demselben erzeugte Interferenzfigur sichtbar zu machen, wie sie bei dickeren Platten in dem für mikroskopische Untersuchungen nicht eingerichteten Nörremberg'schen Polarisationsinstrument erblickt wird, mit anderen Worten, um das Mikroskop in Stand zu setzen, vermittels desselben auch Beobachtungen im convergenten polarisirten Licht auszuführen, wird das Ocular entfernt und auf den

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

unteren Nicol eine starke Sammellinse (Condensor) aufgesetzt; das Objectiv muss recht stark gewählt werden. So sind es also, wie im Nörremberg'schen Polarisationsapparat stark divergente Strahlenbündel, welche aus dem Präparat austreten und in der Focalebene des Objectivs zu einem Luftbilde vereinigt werden. Die Interferenzfigur erscheint zwar klar und scharf, aber sehr verkleinert und in relativ beträchtlicher Entfernung. Zur Vergrösserung der Bilder dient eine über dem Objectiv im Tubus eingeschaltete schwache Linse, die *Bertrand*'sche Linse, welche etwas gehoben oder gesenkt werden kann, da die scharfe Einstellung des Interferenzbildes bei den verschiedenen Objectiven variirt. Belässt man das Ocular, so wird die Interferenzfigur durch eine über den Analysator gehaltene Loupe erblickt. — Um den Uebergang aus dem parallelen in das convergente polarisirte Licht so vorzunehmen, dass zur Aufsetzung des Condensors auf den Polarisator weder der letztere zurückgeschlagen noch das Object von der Stelle bewegt zu werden braucht, construirte *Wülfing* eine Vorrichtung, welche im N. Jahrb. f. Min. 1889. II. 199 beschrieben ist. Eine andere wurde von *R. Brunnée* (Voigt & Hochgesang) in Göttingen ausgeführt.

Bestimmung des optischen Charakters im convergenten polarisirten Licht. Die folgenden Untersuchungen können ebenfalls sowohl in einem Nörremberg'schen Polarisationsinstrument, als in einem für convergentes polarisirtes Licht eingerichteten Mikroskop vorgenommen werden, sofern letzteres die Axenbilder hinlänglich scharf und gross zeigt.

1. Bei einaxigen Krystallen. Um zu entscheiden, ob die Doppelbrechung einer einaxigen Lamelle positiv oder negativ ist, kann man sich eines sehr dünnen Blattes von optisch-zweiaxigem Glimmer bedienen, einer sog. Viertelundulationslamelle, d. h. einer von derjenigen Dicke, dass die durch Doppelbrechung eines senkrecht auffallenden Lichtstrahls entstehenden zwei Strahlen einen Gangunterschied von $\frac{1}{4}$ Wellenlänge ($\frac{1}{4}\lambda$) über eine beliebige Anzahl ganzer Wellenlängen erhalten. Dieses Viertelundulationsglimmerblatt wird bei der Untersuchung im convergenten Licht oberhalb der zu prüfenden Lamelle entweder unmittelbar unter den Analysator eingeschoben, oder in den Schlitz am unteren Ende des Tubus eingefügt, aber stets in solcher Lage, dass dessen (durch einen Pfeil markirte) Axenebene die beiden Polarisationsebenen unter 45° schneidet. Durch Einschaltung dieses Glimmerblatts trennt sich das schwarze Kreuz der Interferenzfigur in zwei Hyperbeln, deren Scheiteltangenten der Axenebene des Glimmers entweder parallel sind, oder dieselbe rechtwinkelig durchschneiden wie Fig. 312 zeigt. Im ersteren Falle hat die geprüfte Lamelle positive, im zweiten Falle negative Doppelbrechung. Bei den positiven Krystallen steht also die Verbindungslinie zwischen den beiden, als graue Punkte erscheinenden Hyperbelscheiteln gekreuzt (+) auf der Axenebene des Glimmerblatts, bei den negativen sind beide Linien parallel (=). Bei den ersteren erscheinen auch die concentrischen Ringe der Interferenzfigur erweitert in denjenigen Quadranten, durch welchen die Trace der optischen Axenebene des Glimmers nicht geht, bei den letzteren ist solches der Fall in den Quadranten, welche durch diese Trace halbirt werden. Doch sind diese Ringe oft überhaupt nicht sehr deutlich zu bemerken, und bei Substanzen von schwacher Doppelbrechung erscheinen auch wohl die grauen Punkte unbestimmt.

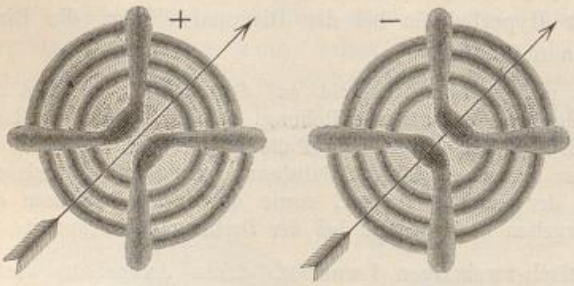


Fig. 312.

Man kann auch für eine basische einaxige Lamelle den Charakter der Doppelbrechung vermittels einer anderen basischen Platte bestimmen, deren Charakter bekannt ist. Wenn letztere durch Auflegung auf die zu untersuchende mit ihr combinirt wird und sich alsdann im convergenten polarisirten Licht die Ringe der Combination verengern und vermehren, so haben beide Platten (welche eben wie eine einzige verdickte wirken) dasselbe Zeichen; erweitern und vermindern sich aber die Ringe, wird also scheinbar eine Verdünnung der bekannten Platte hervorgebracht, so ist das Zeichen der Doppelbrechung für beide Platten entgegengesetzt. Als Hülfsplatte von bekanntem Charakter dient gewöhnlich der negative Kalkspath[1]).

2. Bei zweiaxigen Krystallen. Um über den positiven oder negativen Charakter der Doppelbrechung (in Betreff der spitzen Bisectrix) zu entscheiden, dazu kann man, wenigstens in denjenigen Fällen, wo die Lamelle im convergenten Licht beide Systeme von Farbenringen zeigt, auf ähnliche Weise gelangen, wie bei den optisch-einaxigen Krystallen, indem man nämlich ein Viertelundulationsglimmerblatt zwischen die zu prüfende Lamelle und den Analysator so einschaltet, dass die Axenebene des Glimmers mitten zwischen beiden Polarisationsebenen liegt, dieselben also wieder unter 45° schneidet. In der zu untersuchenden Platte liegen die Elasticitätsaxen parallel diesen Nicolhauptschnitten. Das unregelmässige schwarze Kreuz zerfällt dann abermals in zwei (unregelmässige) hyperbolische Schweife, deren Scheiteltangenten parallel oder rechtwinkelig mit der Axenebene des Glimmerblattes sind, je nachdem die Lamelle positive oder negative Doppelbrechung besitzt. Bei der auch hier erfolgenden Störung der Interferenzfigur der Platte sind in den abwechselnden Quadranten die Ringe verengert oder erweitert (Fig. 313). Wenn die optische Axenebene

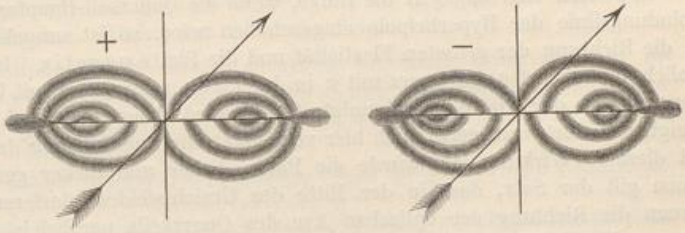


Fig. 313.

des Glimmers durch die Quadranten der verengerten Ringe geht, so ist die geprüfte Platte positiv, also ihre spitze Bisectrix Axe der kleinsten Elasticität; geht sie durch die Quadranten der erweiterten Ringe, so ist die Doppelbrechung negativ, d. h. die spitze Bisectrix ist die Axe der grössten Elasticität.

Im vorstehenden Falle ist angenommen, dass die zweiaxige Krystallplatte senkrecht zur spitzen Bisectrix geschnitten vorlag, indem ja nur dann zu erwarten ist, dass sie überhaupt in Luft die beiden Axenaustritte zeigen wird. Handelt es sich um eine senkrecht zur stumpfen Bisectrix geschnittene Platte, so würde das — allerdings meist nur in Oel zu beobachtende — Interferenzbild durch das Viertelundulationsglimmerblatt gerade die entgegengesetzte Veränderung erfahren, d. h. die oben für positiv angeführten Erscheinungen entsprechen negativem Charakter und umgekehrt.

---

1) *Rinne* schlug (N. Jahrb. f. Min. 1891. II. 21) vor, sich des Gypsblättchens vom Roth I. Ordn. zu bedienen, welches man auch im parallelen polarisirten Licht anwendet. Wird dasselbe so eingeschaltet, dass seine kleinste Elasticitätsaxe c zu den Nicols unter 45° steht, indem dieselbe den rechten oberen (positiven) Quadranten des Gesichtsfeldes halbirt, so wird das schwarze Kreuz der Interferenzfigur durch ein rothes ersetzt, die Ringe zerfallen in Ringstücke und zwar erweitern sich bei optisch positiven Krystallen diejenigen im positiven Quadranten, bei negativen die im negativen (linken oberen) Quadranten. Namentlich charakteristisch ist, dass an der Kreuzungsstelle der beiden Kreuzarme die Quadranten abwechselnd in blauen und gelben Tönen gefärbt erscheinen: liegt das Blau im + Quadranten, so ist die Doppelbrechung positiv, liegt das Blau im — Quadranten, so ist die Doppelbrechung negativ.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Zur Ermittelung der relativen Grösse der optischen Elasticität kann man ferner jenen Quarzkeil zu Hülfe nehmen, dessen man sich auch bedient, um im parallelen polarisirten Licht die Bestimmung des optischen Charakters vorzunehmen (S. 225); an demselben ist bekanntlich eine Fläche genau parallel der Hauptaxe geschliffen, während die andere damit einen sehr kleinen Winkel bildet; die lange Kante des Keils (entsprechend der Hauptaxe) ist die Axe der kleinsten Elasticität, die Schneide des Keils liegt rechtwinkelig auf der Hauptaxe und mit ihr fällt die Axe der grössten Elasticität zusammen. Die zu prüfende, senkrecht auf die Bisectrix geschnittene Platte wird bei gekreuzten Nicols in der Diagonalstellung (so dass ihre Hauptschnitte 45° mit den Nicolhauptschnitten bilden, und die Hyperbeln auftreten) in den Apparat gebracht. Wird nun zwischen den Analysator und die Platte der Quarzkeil einmal so, dass seine Hauptaxe parallel der optischen Axenebene der Platte, das anderemal so, dass dieselbe senkrecht zu der letzteren geht, langsam eingeschoben, so tritt in dem einen oder anderen Falle eine Erweiterung der centralen Ringe ein. Erfolgt dieselbe in dem ersteren Falle — also wenn der Quarzkeil mit seiner langen Kante im Sinne der Verbindungslinie der beiden Hyperbelpole oder der stumpfen Bisectrix eingeführt wird —, so muss diese letztere das entgegengesetzte Zeichen haben, wie der positive Quarz, demnach negativ sein, während die spitze Bisectrix (auf welche die Angaben bezogen zu werden pflegen) die Richtung der kleinsten Elasticität und die Platte positiv ist. In diesem Falle deckt sich nämlich a im Quarz mit b in der Platte, und c im Quarz mit a in der Platte; der in der Platte beschleunigte Strahl wird daher im Quarz verzögert und der in jener verzögerte wird im Quarz beschleunigt; die Keilgestalt des bewegten Quarzes hat also dasselbe optische Ergebniss, als ob die Platte dünner und dünner gemacht würde. — Erweitern sich dagegen die Ringe, wenn die Quarzkeil-Hauptaxe senkrecht zur Verbindungslinie der Hyperbelpole eingeschoben wird, so ist umgekehrt die spitze Bisectrix die Richtung der grössten Elasticität und die Platte negativ. In diesem Falle fällt nämlich umgekehrt a im Quarz mit a in der Platte, c im Quarz mit b in der Platte zusammen; der in der Platte beschleunigte Strahl wird daher nun auch im Quarz bebeschleunigt, der dort verzögerte auch hier verzögert; die Einschiebung des Quarzes hat also jetzt dieselbe Wirkung, als würde die Platte dicker und dicker gemacht. — Im Allgemeinen gilt der Satz, dass in der Mitte des Gesichtsfeldes Interferenzcurven auftreten, wenn die Richtung der optischen Axe des Quarzkeils parallel ist der Richtung der grösseren Elasticität der Platte[1]).

§ 108. **Winkel der optischen Axen.** Die Interferenzfiguren optisch-zweiaxiger Krystalle dienen auch zur Bestimmung des Winkels der optischen Axen; für ihn ist ein Maass der Abstand der Axenaustrittspunkte, wie sie bei der Diagonalstellung einer senkrecht auf die (spitze) Bisectrix geschnittenen Platte als Hyperbelpole erscheinen (Fig. 311). Der für die Messung benutzte, sog. Axenwinkelapparat ist ein Instrument, welches wie ein horizontal liegendes Nörremberg'sches Polarisationsinstrument construirt ist, und ein Fadenkreuz im Ocular besitzt, in welchem zuerst der Centralpunkt des einen, dann derjenige des anderen Axenbildes auf den Kreuzpunkt eingestellt wird; die zu untersuchende Platte steht

1) Benutzt man nach dem Vorschlag von *Rinne* das S. 231 erwähnte Gypsblättchen vom Roth I. Ordn., welches unter 45° eingeschoben wird, so erleidet in dem diagonal gestellten Interferenzbild um die spitze Bisectrix eines zweiaxigen Krystalls die bestimmte Interferenzfarbe, welche das in der Mitte des Gesichtsfeldes befindliche grössere Feld besitzt, eine Veränderung. Erscheint in der Mitte des Gesichtsfeldes dann der höhere Polarisationston, wenn die leicht zu erkennende Ebene der optischen Axen senkrecht auf der Axe c des Gypsblättchens steht, so ist die Doppelbrechung positiv; erscheint der höhere Polarisationston, wenn die optische Axenebene parallel geht mit der Axe c des Gypses, so ist die Doppelbrechung negativ. Wird die Bestimmung an einer Platte senkrecht zur stumpfen Bisectrix vorgenommen, so kehren sich natürlich für die spitze Bisectrix die Zeichen der Doppelbrechung um.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mit einem Theilkreis in Verbindung, an welchem die zwischen beiden Einstellungen erfolgte Drehung abgelesen wird. Ausserdem besitzt das Instrument eine Einrichtung, die Platte zu centriren und zu justiren. Je nachdem das Instrument mit Licht von abweichender Farbe beleuchtet wird, erhält man in Folge der Dispersion der optischen Axen verschiedene Ablesungen für beide Einstellungen, d. h. einen grösseren oder kleineren optischen Axenwinkel. — Der hier ermittelte Werth ist aber nur der scheinbare Winkel der optischen Axen in Luft. In der Platte P (Fig. 314), welche senkrecht auf die spitze Bisectrix M geschnitten ist, wird der wahre spitze Winkel, welchen die optischen Axen thatsächlich innerhalb des Krystallmediums mit einander bilden, nach dem Vorgang von *Des Cloizeaux* mit $2Va$ bezeichnet, während der durch die stumpfe Bisectrix S halbirte stumpfe wirkliche Axenwinkel dann $2Vo$ ist (a von aigu, spitz, o von obtus, stumpf). Beim Austritt in die Luft wird indessen jeder Lichtstrahl, welcher die Platte in der Richtung der optischen Axe passirt hat, von dem Einfallsloth M abgelenkt und bildet nun mit demselben den Winkel E. Daher ist $2Ea$ die Bezeichnung für den, durch directe Messung an einer senkrecht auf die Bisectrix geschnittenen Platte erhaltenen scheinbaren Axenwinkel in Luft, welcher immer grösser ist, als der wahre.

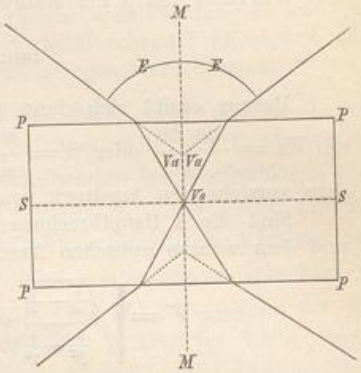


Fig. 314.

Dieser wahre Winkel der optischen Axen wird aus dem scheinbaren berechnet vermittels der Formel $\sin Va = \frac{1}{\beta} \sin Ea$, worin β den Brechungsquotient des in der Richtung einer optischen Axe sich fortpflanzenden Strahls bedeutet, welcher senkrecht zu derselben mit einer der Axe der mittleren Elasticität entsprechenden Fortpflanzungsgeschwindigkeit schwingt.

Ist die scheinbare Divergenz der optischen Axen sehr gross, erreicht oder überschreitet Va den Winkel der totalen Reflexion, so fallen die Ringsysteme vollständig ausserhalb des Gesichtsfeldes, und dann muss man zu anderen Hülfsmitteln seine Zuflucht nehmen, z. B. die Lamelle in einem stärker brechenden Medium, wie in Oel (statt in Luft) untersuchen, welches die totale Reflexion an der Grenze zwischen Platte und Luft aufhebt. Das Oel befindet sich in einem durchsichtigen Gefäss, welches in den Axenwinkelapparat eingeschaltet wird; die in ihm gemessenen scheinbaren Axenwinkel werden als Ha und Ho bezeichnet (von huile, Oel). Da beim Austritt des Lichtes in Oel keine so starke Brechung stattfindet, wie bei der in Luft, so ist der scheinbare Axenwinkel in Oel Ha allemal kleiner als der scheinbare in Luft Ea. In solchen Oelen können auch sehr häufig die Axenpunkte auf Platten wahrgenommen werden, welche senkrecht zur stumpfen Bisectrix der wahren optischen Axen liegen.

Zeigt sich in Folge eines übergrossen optischen Axenwinkels auch bei den gewöhnlich gebrauchten Oelen kein Axenbild, so kann man als umgebendes Medium eine Kaliumquecksilberjodidlösung anwenden, welche bei einem spec. Gew. von ca. 3 einen Brechungsquotienten von ca. 1,7 besitzt. Andere so verwendbare Substanzen sind Schwefelkohlenstoff ($n =$ ca. 1,63), Naphthalinmonobromid. — Sehr stumpfe Axenwinkel können auch vermittels des Apparats von *Adams* und *Schneider* gemessen werden,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

bei welchem eine Mineralplatte zwischen zwei halbkugelige drehbare Linsen eingefügt wird; dadurch wird der scheinbare Axenwinkel in Glas bestimmt.

Ist der Brechungsquotient n des Oels (oder der anderen Flüssigkeit) bekannt, so gilt die Formel

$$\sin Va = \frac{n}{\beta} \sin Ha;$$

kann man an zwei Platten aus demselben Individuum, senkrecht auf die erste und zweite Mittellinie, sowohl Ha als auch Ho bestimmen, so lässt sich ohne Kenntniss des Werthes von β der wahre Winkel der optischen Axen ermitteln nach der Formel

$$\text{tang } Va = \frac{\sin Ha}{\sin Ho}.$$

Daraus ergibt sich dann aber auch der Werth von β; denn nach Obigem ist $\sin Va = \frac{\sin Ea}{\beta}$ oder $\beta = \frac{\sin Ea}{\sin Va}$, wobei man Ea direct beobachten und Va aus dem vorstehenden Ausdruck von tang Va berechnen kann.

Sind die 3 Hauptbrechungsquotienten α, β, γ bekannt, so gilt zwischen ihnen und dem wahren optischen Axenwinkel $2V$ die Gleichung

$$\text{tang } V = \sqrt{\frac{\frac{1}{\alpha^2} - \frac{1}{\beta^2}}{\frac{1}{\beta^2} - \frac{1}{\gamma^2}}} \text{ oder tang } V = \frac{\gamma}{\alpha} \sqrt{\frac{\alpha + \beta}{\beta + \gamma} \cdot \frac{\beta - \alpha}{\gamma - \beta}}.$$

Schon auf S. 214 wurde hervorgehoben, dass für verschiedene Farben die optischen Axenwinkel etwas verschiedenen Werth haben, und es handelt sich daher bei ganz sorgfältigen Bestimmungen darum, diese Werthe für die einzelnen Farben zu gewinnen. Das dabei zur Verwendung kommende möglichst monochromatische Licht wird durch gefärbte Flammen geliefert; die Flamme eines Bunsen'schen Gasbrenners wird vermittels Lithiumsalz (Li^2SO^4) einfarbig roth, Natriumsalz (Kochsalz, $NaCl$) einfarbig gelb, Thalliumsalz (Tl^2SO^4) einfarbig grün, schwefelsaures Kupferoxyd-Ammoniak einfarbig blau gefärbt. Fast monochromatisches Roth gibt Licht, welches durch Kupferoxydulglas (auch durch eine Lösung von Eosin und Methylenblau) durchgeht. Chlornatrium kann durch Bromnatrium ersetzt werden, das nicht decrepitirt und grössere Helligkeit bewirkt[1]).

Man kann auch die Bestimmung des Winkels der optischen Axen für eine zur Bisectrix senkrechte Platte in dem Mikroskop vornehmen, wenn dasselbe durch Einschaltung eines Condensors und einer *Bertrand*'schen Linse (vgl. S. 230) auf convergentes polarisirtes Licht eingerichtet ist. Der Abstand der Axenaustritte, wie sie bei der Diagonalstellung der Platte als Hyperbelpole erscheinen, wird gemessen durch ein festes Ocularmikrometer, oder durch ein bewegliches Schraubenmikrometer (dessen Faden man erst mit dem einen, dann mit dem anderen Hyperbelpol in Verbindung bringt, worauf an der Mikrometerschraube die Distanz abgemessen wird), oder durch eine auf Papier entworfene Projection vermittels einer Camera lucida. Aus der gefundenen Lineargrösse $2D$ des Abstandes der beiden Pole erhält man den scheinbaren Winkel der optischen Axen in Luft $2E$ durch die Gleichung $\sin E = \frac{D}{K}$, worin K einen Factor darstellt, der für ein bestimmtes, auf convergentes Licht eingerichtetes Mikroskop constant ist, und für dieses betreffende Instrument vorher festgestellt werden muss,

1) Ueber eine zweckmässige Lampe für monochromatisches Licht s. *Laspeyres*, Zeitschr. f. Instrumentenkunde, 1882. 97. Ueber einen Spectralapparat zur Herstellung von intensivem monochromatischem Licht *Wülfing*, N. Jahrb. f. Min. Beilageb. XII. 1899. 343.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

dann aber auch für alle weiteren Untersuchungen mit demselben eingesetzt werden darf. Man erhält diesen Werth K, indem zunächst in einem eigentlichen Axenwinkelapparat der Axenwinkel in Luft $2E$ für irgend eine beliebige, aber genau senkrecht zur Bisectrix geschnittene Platte bestimmt wird; alsdann wird für diese Platte in dem Mikroskop der Abstand der Hyperbelpole $2D$ gemessen. Man hat dann für das letztere Instrument $K = \frac{D}{\sin E}$, worin D und $\sin E$ bekannt sind. — Zum möglichst scharfen und deutlichen Hervortreten des Interferenzbildes trägt eine zweckmässige Einstellung des Condensors und der *Bertrand*'schen Linse bei. Oberhalb und unterhalb des Präparats — zwischen dasselbe und das Objectiv, sowie zwischen dasselbe und den Condensor — kann man auch einen Tropfen stark lichtbrechender Flüssigkeit einfügen, deren Brechungsquotient natürlich in Betracht gezogen werden muss.

Dispersionserscheinungen. Allemal gilt der Satz, dass der Grad von Symmetrie, welcher einer Krystallfläche eigen ist, sich auch in der Configuration und den Dispersionserscheinungen des dadurch entstehenden Interferenzbildes ausspricht, und dass die Symmetrieebenen für die Krystallfläche auch solche für das Interferenzbild sind. Die für alle zweiaxigen Krystalle charakteristische Erscheinung, dass die optischen Axen für jede Lichtart oder Farbe eine etwas verschiedene Lage haben, die Dispersion der optischen Axen, wird bei Anwendung des gewöhnlichen weissen Lichtes in einem auf convergentes polarisirtes Licht eingerichteten Instrument überhaupt an der besonderen Figur und Lage gewisser isochromatischer Farbenzonen erkannt, wobei zunächst die Farben Roth und Blau berücksichtigt zu werden pflegen.

Wenn die den optischen Axenwinkel Halbirenden für alle Farben genau zusammenfallen, also nur eine Dispersion der optischen Axen stattfindet, so muss bei beiden Hyperbeln sowohl die Lebhaftigkeit als die Reihenfolge der Farben von innen nach aussen ganz genau übereinstimmen. Besitzt dagegen der Krystall auch noch eine Dispersion der Bisectricen, so können die Farbensäume bei beiden Hyperbeln nicht mehr gleich sein und gerade diese Ungleichheit bietet ein sehr vortreffliches und empfindliches Mittel zur Erkennung einer solchen Dispersion der Elasticitätsaxen, d. h. für das Ausgeschlossensein des rhombischen Systems. Specielleres siehe bei der Charakteristik der zweiaxigen Krystallsysteme.

§ 109. **Optische Charakteristik der regulären Krystalle und amorphen Mineralien.** Lamellen von durchsichtigen regulären Krystallen üben, in beliebiger Richtung denselben entnommen, auf das polarisirte Licht in der Regel gar keine Wirkung aus, weil sie nach allen Richtungen gleiche Elasticität und Fortpflanzungsgeschwindigkeit, daher auch nur einfache Lichtbrechung aufweisen. Diese isotropen Medien zeigen weder im parallelen noch im convergenten polarisirten Licht Interferenzfarben, speciell in dem letzteren auch keine Interferenzfigur, bleiben im parallelen bei gekreuzten Nicols während voller Horizontaldrehung stets völlig dunkel, stören niemals das schwarze Kreuz im Stauroskop u. s. w. Auf dieselbe Weise verhalten sich Lamellen durchsichtiger amorpher Mineralien. Die beiden wird man in Schnitten daran zu unterscheiden vermögen, dass die amorphen Substanzen weder einer krystallographischen Begrenzung noch einer Spaltbarkeit fähig sind, weshalb sie nur von ganz unregelmässigen Sprüngen durchzogen sein können; während die regulären Individuen ihre selbständige polygonale Formentwickelung

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

nur selten verleugnen und ihre vorhandene Spaltbarkeit sich in geradlinig verlaufenden Trennungen äussert.

§ 110. **Optische Charakteristik tetragonaler und hexagonaler Krystalle.** Dünne Lamellen dieser einaxigen Medien, welche man unter dem Mikroskop im parallelen polarisirten Licht untersucht, erscheinen, wenn sie senkrecht auf die Hauptaxe geschnitten sind, zwischen gekreuzten Nicols dunkel und verbleiben auch so bei Drehung in der Horizontalebene. Gehören sie aber Durchschnitten an, welche nicht senkrecht auf die Hauptaxe liegen, so werden sie bei gekreuzten und parallelen Nicols in den meisten Stellungen farbig; nur wenn die (ihrer Richtung nach leicht an den Contouren der Durchschnitte zu erkennende) Hauptaxe *c* mit dem optischen Hauptschnitt eines Nicols parallel geht, erweisen sie sich zwischen gekreuzten Nicols dunkel, zwischen parallelen hell, was bei einer vollen Horizontaldrehung viermal vorkommt. Die basischen Schnitte stören die stauroskopische Calcit-Interferenzfigur überhaupt nicht; die parallel oder schief gegen *c* geführten nur dann nicht, wenn die in der Lamelle liegende Hauptaxe mit einem Nicolhauptschnitt zusammenfällt.

Auf allen Prismenflächen beider Systeme erscheint demnach gerade (d. h. den Prismenkanten parallele) Auslöschung, die Flächen der Pyramiden zeigen die eine Auslöschung parallel zur horizontalen Kante, auf den Flächen der Rhomboëder verlaufen die Auslöschungsrichtungen parallel den Diagonalen.

Im convergenten polarisirten Licht zeigen senkrecht auf die Hauptaxe geschliffene oder gespaltene Platten das System von kreisrunden farbigen Ringen mit dem schwarzen Kreuz, dessen Arme den Nicolhauptschnitten parallel gehen; diese Interferenzfigur bleibt bei einer Horizontaldrehung constant; das Dasein derselben unterscheidet diese einfachbrechenden Schnitte doppeltbrechender Substanzen von den Schnitten solcher, welche überhaupt nur einfachbrechend sind.

Alle anderen Schnitte weisen keine Interferenzfigur von solcher Symmetrie, Ausbildung und Constanz auf; auf parallel der Hauptaxe gehenden sieht man möglicherweise gestreckte hyperbolische Curven, die symmetrisch zur Hauptaxe liegen; liegen die Schnitte nicht besonders schief gegen die Hauptaxe, so tritt seitlich im Gesichtsfeld die Interferenzfigur der Basis hervor, welche sich bei Drehung am Rande des Schnittes fortbewegt, indem die Kreuzarme sich gewissermassen parallel mit sich selbst verschieben.

Ob das unter dem Mikroskop untersuchte Mineral dem tetragonalen oder hexagonalen System angehört, das kann man auf rein optischem Wege nicht, gewöhnlich aber dadurch ermitteln, ob es — neben den davon herstammenden doppeltbrechenden Durchschnitten — quadratisch oder hexagonal begrenzte Schnitte sind, welche sich als einfachbrechend erweisen. Die tetragonalen Individuen liefern als basische Schnitte auch wohl selten Oktogone, die hexagonalen Dreiecke oder Neunecke. Treten in den basischen Schnitten Risse, welche der Spaltbarkeit entsprechen, hervor, so sind es in den tetragonalen zwei zu einander rechtwinkelige gleichwerthige Systeme, in den hexagonalen drei, ebenfalls gleichwerthige Systeme.

Die anisotropen mehr oder weniger parallel der Hauptaxe geführten Längsschnitte sind sowohl im tetragonalen als im holoëdrisch-hexagonalen System zumeist oblong rechtwinkelig (entsprechend der Combination ∞P.0P) oder ungleichwinkelig sechsseitig (Combination ∞P.P, meistens nach ∞P in die Länge gezogen), nur sehr selten ungleichwinkelig achtseitig (Combination ∞P.P.0P). Polarisirende Quadrate sind hier Längsschnitte durch die tetragonale oder hexagonale Combination ∞P.0P, wobei die Krystalle ebenso dick als hoch sind.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

§ 111. **Optische Charakteristik rhombischer Krystalle.** Prüft man dünne, dem rhombischen System angehörige Durchschnitte in dem mit Nicols versehenen Mikroskop bei parallelem polarisirtem Licht, so werden dieselben, da die Elasticitätsaxen sämmtlich mit den krystallographischen zusammenfallen, jedesmal dann zwischen gekreuzten Nicols dunkel werden, sobald irgend eine der rechtwinkelig auf einander stossenden Umrisslinien, welche ja einer krystallographischen Axe parallel sind, mit einem Nicolhauptschnitt coincidirt. Diese gerade Auslöschung tritt bei einer vollen Horizontaldrehung viermal ein. In diesem Falle erscheint auch das schwarze Kreuz im Stauroskop unverändert. Sehr selten ist es selbstredend, dass der Schnitt des rhombischen Minerals gerade genau senkrecht auf einer optischen Axe steht, wobei er alsdann selbst bei einer vollen Drehung stets zwischen gekreuzten Nicols hell bleibt (vgl. S. 220). In allen übrigen Fällen, mit Ausnahme dieser beiden, erscheint der Schnitt zwischen gekreuzten und parallelen Nicols farbig und stört er die Interferenzfigur im Stauroskop.

Die Prismen- und die Pinakoidflächen zeigen also allemal gerade Auslöschung; der Querschnitt eines rhombischen Prismas besitzt seine Auslöschung parallel der längeren und kürzeren Diagonale. — In den Schnitten aus einer der drei Hauptzonen $0P : \infty\breve{P}\infty$, $0P : \infty\bar{P}\infty$, $\infty\bar{P}\infty : \infty\breve{P}\infty$ liegt die Auslöschung parallel zu denjenigen Begrenzungslinien oder Spaltrissen, welche einer krystallographischen Axe (Zonenaxe) parallel gehen. — Eine pinakoidale Spaltbarkeit kann parallele, eine prismatische Spaltbarkeit muss entweder parallele oder sich durchkreuzende Spaltrisse hervortreten lassen: zu den parallelen Spaltrissen liegt hier die Auslöschung stets parallel oder senkrecht, für die sich schneidenden halbirt sie den Winkel.

Ueber die im convergenten polarisirten Licht hervortretenden Interferenzbilder senkrecht auf die spitze Bisectrix in Parallel- und Diagonalstellung (auch senkrecht auf eine optische Axe) vgl. S. 228. Ist das rhombische Individuum spaltbar nach einem der zwei Pinakoide, welche rechtwinkelig auf der optischen Axenebene stehen, so wird die Normale der Spaltungslamelle entweder mit der spitzen oder mit der stumpfen Bisectrix zusammenfallen, und so wird man im ersteren Falle die beiden Ringsysteme im convergenten Licht deutlich erblicken, sobald der scheinbare (das heisst der in der Luft gemessene) Neigungswinkel der beiden optischen Axen ($2E$, im Gegensatz zu $2V$, dem wahren Axenwinkel) nicht grösser ist, als 120°. — Ist aber der Krystall nur spaltbar nach demjenigen Pinakoid, welches der Axenebene parallel liegt, so ist man meist genöthigt, zwei Platten zu schleifen, welche den beiden anderen Pinakoiden parallel sind, und von denen die eine, auf welcher die spitze Bisectrix senkrecht steht, die Beobachtung der beiden Ringsysteme jedenfalls gewährleistet. Nur wenn der Krystall nach einem dieser Pinakoide tafelartig ausgedehnt ist, wird man die Schleifung der entsprechenden Lamelle entbehren können. — Ist endlich der Krystall nach gar keinem der Pinakoide spaltbar oder tafelförmig ausgedehnt, so muss man vielleicht drei Platten schleifen, welche den drei Pinakoiden parallel sind, und wird dann in derjenigen Platte, auf welcher die Axenebene und die spitze Bisectrix normal sind, die beiden Ringsysteme beobachten können.

In dem Falle, dass in einem gegebenen Schnitt eines rhombischen Minerals das Interferenzbild nicht im Centrum des Gesichtsfeldes erscheint, steht derselbe natürlich nicht senkrecht auf der Bisectrix. Wenn einer der Balken aber dann noch bei

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Parallelstellung das Gesichtsfeld symmetrisch halbirt, so geht der Schnitt dann wenigstens parallel einer Krystallaxe; tritt letzteres nicht ein, so ist der Schnitt ein solcher, dass er alle drei Axen in endlichen Abständen trifft.

In den Krystallen des rhombischen Systems offenbart sich die Dispersion der optischen Axen derart symmetrisch, dass die den verschiedenen Farben entsprechenden Axen in der gleichen Ebene liegen und mit der Bisectrix beiderseits gleiche Winkel bilden. Wenn nun bei Parallelstellung der Platte die innersten Ringe der beiden elliptischen Ringsysteme das Roth nach innen, das Blau nach aussen zeigen, oder wenn in der Diagonalstellung der Platte die Scheitel der beiden Hyperbeln auf der concaven Seite roth, auf der convexen Seite blau gesäumt erscheinen, so bilden die rothen Axen einen kleineren Winkel, als die blauen oder violetten Axen, was durch das Symbol $\rho < \upsilon$ ausgedrückt wird (Fig. 315). Wenn dagegen die Lage der rothen und der blauen Farbensäume die entgegengesetzte ist, so wird $\rho > \upsilon$, oder so würde der Axenwinkel für die rothen Strahlen grösser sein, als für die blauen Strahlen.

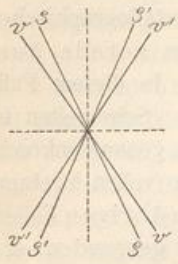


Fig. 315.

Bei rhombischen (wie überhaupt bei zweiaxigen) Krystallen kann die Dispersion so stark sein, dass die Axenebenen für zwei Farben rechtwinkelig gekreuzt sind; alsdann ändern sich die 3 Hauptbrechungsquotienten mit der Farbe so ungleich, dass der vorher kleinste der mittlere wird und umgekehrt (für eine gewisse Zwischenfarbe muss also der Krystall optisch einaxig werden). Bei dem rhombischen Brookit ist z. B. die Axenebene für Roth und Gelb 0P, für Grün dagegen $\infty\breve{P}\infty$, für alle Farben die Brachydiagonale a spitze Bisectrix. Bei dem Goethit ist die Axenebene für Roth $\infty\bar{P}\infty$, für Gelb und Grün 0P, spitze Bisectrix für alle Farben die Makrodiagonale b. Bei dem rhombischen Lithiophilit-Triphylin von Grafton liegen die optischen Axen für Grün ($2V = 21^\circ 35'$) in 0P, für Roth ($2V = 15^\circ 3'$) in $\infty\bar{P}\infty$; für das dazwischen liegende Gelb ist $2V = 0$, fallen die beiden optischen Axen zusammen, ist das Mineral einaxig.

§ 112. **Optische Charakteristik monokliner Krystalle.** Monokline Mineralien zeichnen sich im parallelen polarisirten Licht dadurch aus, dass dieselben theils Schnitte liefern, in denen die Auslöschungen parallel und senkrecht zu den Symmetrierichtungen liegen (wie es im rhombischen System allerwegen der Fall), theils Schnitte, in denen die Auslöschung mit der Richtung der krystallographischen Axen nicht zusammenfällt (wie es im triklinen System durchgängig vorkommt). Wie das monokline System morphologisch in der Mitte steht zwischen dem rhombischen und triklinen, so vereinigt es gewissermassen in sich das in solcher optischer Hinsicht für beide Systeme Charakteristische.

Durchschnitte monokliner Mineralien, welche im parallelen polarisirten Licht untersucht werden, kann man im Gegensatz zu den rhombischen daran erkennen, dass bei der Horizontaldrehung des Durchschnitts dann Dunkelheit zwischen gekreuzten Nicols (im Stauroskop Herstellung des schwarzen Kalkspathkreuzes) eintritt, wenn irgend eine der Umrisslinien, welche einer krystallographischen Axe parallel geht, irgend einen schiefen Winkel mit einem Nicolhauptschnitt macht. Diese sog. schiefe Auslöschung beweist ja, dass nicht mehr, wie im rhombischen System, alle Elasticitätsaxen mit den krystallographischen coincidiren.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Lage der Elasticitätsaxen im monoklinen System erfordert es nun aber, dass zwischen gekreuzten Nicols Dunkelheit eintritt (und das Kreuz im Stauroskop ungestört erscheint), sobald die Orthodiagonale mit einem Nicolhauptschnitt zusammenfällt. Die Orthodomen, das Orthopinakoid, die Basis bieten also hier gerade Auslöschung dar, welche parallel und senkrecht steht zu den monotomen, diagonal zu den prismatischen Spaltrissen; der Querschnitt eines Prismas löscht wie im rhombischen System parallel den Diagonalen aus, wenn die Schlifffläche der Symmetrie-Axe parallel ist. Blos in dieser orthodiagonalen Zone, in welcher allein auch Umrisse und Spaltbarkeit symmetrische Figuren bilden, liegen die Auslöschungen parallel und senkrecht zu den Symmetrierichtungen.

Auf dem Klinopinakoid erscheint stets schiefe Auslöschung, ebenfalls auf Schnitten aus der Zone $0P : \infty P\infty$ und $\infty P\infty : \infty P\infty$. In der prismatischen Zone hat die Auslöschungsschiefe je nach der Lage der Zone zu den optischen Axen und je nach der Orientirung der letzteren entweder ein Maximum auf dem Klinopinakoid und sie nimmt stetig ab, je mehr man sich dem Orthopinakoid nähert, auf welchem sie Null wird; oder sie nimmt vom Klinopinakoid aus nach der Querfläche anfangs zu bis zu einem Maximum, und dann erst ab bis zum Werth Null. — Das Maass der Auslöschungsschiefe auf Schnitten genau parallel dem Klinopinakoid, d. h. der Neigungswinkel einer Elasticitätsaxe zur Verticalaxe, ist für die verschiedenen monoklinen Mineralien sehr charakteristisch; dieser Winkel ist natürlich gleich demjenigen, welchen die andere Elasticitätsaxe mit der Normalen auf das Orthopinakoid bildet. Auf anderen schief auslöschenden Schnitten wechselt die Schiefe je nach der Richtung.

Was das Verhalten monokliner Krystalle im convergenten polarisirten Licht anbetrifft, so war von der dreifach abweichenden Lage der optischen Axenebene bereits S. 215 die Rede. Bei der Dispersion der optischen Axen wird die relative Grösse des Axenwinkels ($\rho > \upsilon$ oder $\rho < \upsilon$) an denselben Erscheinungen erkannt, wie bei der Interferenzfigur des rhombischen Systems (S. 238). Eine Dispersion der Elasticitätsaxen kann natürlich an der Orthodiagonale niemals eintreten, dagegen werden die in der Symmetrieebene liegenden beiden Elasticitätsaxen mehr oder weniger dispergirt. — Bei dem S. 215 erwähnten Fall 1 (optische Axenebene parallel der Symmetrieebene) liegen die optischen Axen für alle Farben zwar in derselben Ebene, aber die Bisectrix ist für jede Farbe eine andere, indem die Bisectricen längs der Richtung des Klinopinakoids zerstreut erscheinen (Geneigte Dispersion, Dispersion inclinée *Des Cloizeaux*'s). Fig. 316 zeigt (in $\infty P\infty$) V, die Halbirungslinie des Winkels $\upsilon o \upsilon'$, als spitze Bisectrix für die blauen Strahlen; R, halbirend den Winkel $\rho o \rho'$, als solche für die rothen Strahlen. Eine gemeinschaftliche Bisectrix für alle Wellenlängen existirt also nicht mehr. Bei Anwendung von weissem Licht ist in dem Interferenzbild die Vertheilung der Farben in den inneren Ringen und an den Hyperbelsäumen zwar noch symmetrisch zur Axenebene (d. h. zur Ebene der Bisectricen, der Symmetrieebene), aber nicht mehr zu einer darauf senkrechten Ebene; d. h. beide Augen der Lemniscaten sind rechts und links von der Symmetrieebene gleich, aber das vordere ist vom hinteren verschieden (1 in Fig. 317).

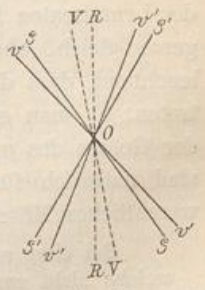


Fig. 316.

In den Fällen $2a$ und $2b$ (S. 215) — Orthodiagonale eine der beiden Bisectricen — kann nur die optische Normale und jedesmal diejenige Bisectrix dispergirt werden, welche nicht die Orthodiagonale ist. — In dem Falle $2a$ (Orthodiagonale spitze Bisectrix) müssen sich, in der Richtung der Axe b, also senkrecht auf das Klinopinakoid gesehen, die auf letzterem senkrecht stehenden Ebenen der optischen Axen für die verschiedenen Farben fächerförmig durchkreuzen: die Axenebene für rothes Licht und die für blaues Licht zeigen zu einander eine Verschiebung über Kreuz (Gedrehte oder gekreuzte Dispersion, D. tournante oder croisée *Des Cl.*, $2a$ in Fig. 317). Weil die Interferenzfigur in der einzigen Symmetrieebene liegt, existirt überhaupt keine Ebene mehr, mit Bezug auf welche sie symmetrisch wäre. Dagegen ist der Austrittspunkt der spitzen orthodiagonalen Bisectrix b wenigstens noch insofern ein Punkt der Symmetrie, als, wenn man einen Punkt der Interferenzfigur mit jenem centralen Punkte derselben durch eine Linie verbindet und diese über jenen hinaus um sich selbst verlängert, die beiden Endpunkte dieser Linie gleiche Farben aufweisen. — Im Falle $2b$ (Orthodiagonale stumpfe Bisectrix) müssen gleichfalls die Ebenen der optischen Axen für alle Farben durch die Axe b gehen, aber man spricht hier von der horizontalen Dispersion (D. horizontale *Des Cl.*), weil in der Richtung senkrecht auf die Axe b oder senkrecht auf das Orthopinakoid gesehen, die Ebenen der optischen Axen für verschiedene Farben horizontal über einander zu liegen scheinen ($2b$ in Fig. 317). Die Farbenvertheilung ist hier noch, aber auch nur, symmetrisch zu dem Klinopinakoid, auf welchem ja in diesem Falle alle Axenebenen der verschiedenen Farben normal sind; in beiden Augen der Lemniscaten ist rechts und links von der Symmetrieebene die Farbenvertheilung genau gleich, aber jedes Auge ist vorn anders gefärbt als hinten. — Es ist einleuchtend, dass die gekreuzte und die horizontale Dispersion stets zusammen auftreten: ob man einer Substanz die eine oder andere zuschreibt, längt lediglich von der Grösse des optischen Axenwinkels ab. — Alle diese Dispersionserscheinungen sind natürlich für Krystalle des rhombischen Systems ausgeschlossen, worin ein wesentliches Mittel der Diagnose beruht.

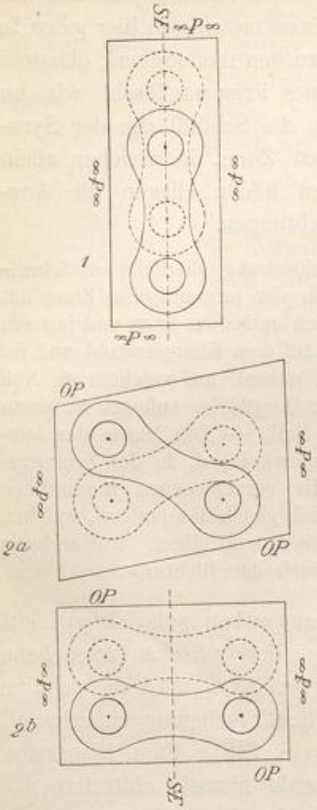


Fig. 317.

Bei einer sehr starken Dispersion der Bisectricen kann es geschehen, dass Schnitte, welche nicht ganz genau senkrecht auf der optischen Axenebene stehen, zwischen gekreuzten Nicols beim Drehen überhaupt in keiner Stellung auslöschen.

Besitzt der monokline Krystall, dessen optische Axenebene parallel $\infty\breve{P}\infty$ geht, deutliche klinopinakoidale Spaltbarkeit, so lässt sich in einer Spaltungslamelle desselben die Lage der beiden Bisectricen leicht bestimmen. Man braucht nämlich die Lamelle nur im parallelen polarisirten Licht zwischen gekreuzten Nicols einmal in

ihrer eigenen Ebene herumzudrehen und diejenigen beiden Richtungen zu bemerken, nach welchen sie das Maximum der Verdunkelung zeigt; diese beiden, auf einander rechtwinkeligen Richtungen sind es, in welche die Bisectricen fallen, und man wird finden, dass solche keine symmetrische Lage zu der Verticalaxe und Klinodiagonale haben; woraus denn folgt, dass auch die optischen Axen unsymmetrisch gegen diese beiden krystallographischen Axen liegen. Eine Spaltungslamelle von Gyps lässt dies sehr gut erkennen. Schleift man aus einem dickeren Krystall zwei Lamellen, welche auf der einen und auf der anderen Bisectrix rechtwinkelig sind, so wird wenigstens die eine derselben im convergenten pol. Licht die beiden Ringsysteme beobachten lassen. — Hätte man gefunden, dass eine der beiden Bisectricen ungefähr rechtwinkelig auf der Fläche des Orthopinakoids, oder der Basis, oder eines Hemidomas ist, und besitzt der Krystall nach derselben Fläche entweder eine tafelförmige Gestalt oder eine zweite Spaltbarkeit, so wird man im convergenten Licht entweder unmittelbar durch den Krystall, oder durch eine Spaltungslamelle beide Ringsysteme, jedoch mit unsymmetrischer Figur und Lage wahrnehmen. Dies zeigen z. B. manche durch das Orthopinakoid tafelige oder säulenförmige Diopsidkrystalle.

Besitzt der monokline Krystall im Falle $2a$ klinopinakoidale Spaltbarkeit, oder ist er tafelförmig nach dem Klinopinakoid, so sieht man durch eine Spaltungslamelle oder auch unmittelbar durch den Krystall selbst im convergenten pol. Licht meist beide Ringsysteme zugleich. — Zeigt ein prismatisches Spaltblättchen Axenaustritt, so steht er schief gegen die beiden Halbirungslinien des Gesichtsfeldes.

§ 113. **Optische Charakteristik trikliner Krystalle.** In dem triklinen System gibt es gar keine Fläche mit gerader Auslöschung; die Auslöschung liegt in allen Zonen im Allgemeinen schief gegen die Umrisslinien und die Spaltungsrisse. Bei den Durchschnitten durch trikline Krystalle ist die Interferenzfigur im Stauroskop stets gestört, wenn eine der krystallographischen Axen mit einem Nicolhauptschnitt parallel geht. Für jede Farbe haben die optischen Axen eine abweichende Lage in verschiedenen Ebenen und zugleich eine andere Mittellinie, es findet demnach hier eine Dispersion sowohl der Axen als der Axenebenen als der Mittellinien statt. Im convergenten polarisirten Licht ist daher die Interferenzfigur in Schnitten senkrecht gegen eine Bisectrix nicht nur von der entsprechenden eines rhombischen, sondern auch von derjenigen eines monoklinen Krystalls verschieden; die Farbenvertheilung ist hier unsymmetrisch sowohl mit Bezug auf die Projectionslinie der Axenebene, als hinsichtlich einer dazu Senkrechten, als auch unsymmetrisch zum Mittelpunkt des ganzen Axenbildes.

Anm. Bei den bisher angeführten Untersuchungen ist als Object gewöhnlich eine durch Schleifung oder Spaltung aus dem Mineral hergestellte dünne planparallele Lamelle vorausgesetzt worden. Zur Erkennung der Doppelbrechung, der Interferenzfigur, des optischen Charakters und des Pleochroismus, zur Aufsuchung der Auslöschungsrichtungen u. s. w. kann man aber auch, trotz ihrer Dicke und des Vorhandenseins von Flächen, Kanten und Ecken, kleinere ganze Krystalle, deren Bruchstücke, oder geschliffene Edelsteine verwenden, wenn für dieselben die Totalreflexion dadurch beseitigt wird, dass sie in ein Medium von nahezu gleicher Brechung getaucht sind. Man befestigt den Krystall als solchen in der zu untersuchenden Stellung mit Canadabalsam oder Wachs auf einem Objectträger, stülpt den Abschnitt einer Glasröhre darüber und füllt letztere mit Methylenjodid oder Kaliumquecksilberjodid. Eine Verdünnung mit Benzol erniedrigt den hohen Brechungsquotienten des ersteren (ca. 1,75), eine solche mit Wasser den des letzteren (ca. 1,72) bis zu dem des Minerals selbst. Auch Oele, Monobromnaphthalin können zur Verwendung kommen. Alsdann wird die Untersuchung im parallelen oder convergenten polarisirten Licht vorgenommen (*K. Klein*,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Sitzgsber. Berl. Akad. 1890. 347. 709; 1891. 435; 1895. 91. 1151. *Fuess* construirte dazu einen »Universaldrehapparat«.

§ 114. **Polarisationserscheinungen bei Zwillingen und Aggregationsformen.** Sämmtliche Zwillingsbildungen doppeltbrechender Mineralien mit geneigten Axensystemen geben im parallelen polarisirten Licht ihre Zusammensetzung aus mehren Individuen entweder durch Farbengegensätze oder durch Unterschiede der Helligkeit zu erkennen, wofern die Platte nicht parallel zur Verwachsungsebene gerichtet ist. Ist der Schnitt senkrecht zur Verwachsungsebene, so liegen die Auslöschungsrichtungen der einzelnen Individuen symmetrisch zu der Zwillingsnaht, z. B. in dem klinopinakoidalen Schnitt des Gypszwillings, Fig. 318. Polysynthetische Zwillinge mit lamellarer Ausbildung der Individuen liefern im polarisirten Licht gestreifte Schnitte, in denen die abwechselnden Lamellen übereinstimmende Auslöschung zeigen; Fig. 319 ist ein basischer Schnitt durch einen so nach $\infty\breve{P}\infty$ verzwillingten Plagioklas. Nach zwei Gesetzen gleichzeitig ausgebildete Zwillingsverwachsungen ergeben Schnitte mit gitterartiger oder parquettirter Zeichnung.

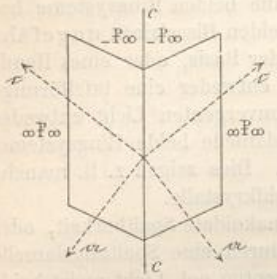


Fig. 318.

Fig. 319.

Ist die Schnittfläche genau oder nahezu parallel der Verwachsungsebene der Individuen und geht jeder transmittirte Lichtstrahl durch beide hindurch, so kann im parallelen polarisirten Licht zwischen gekreuzten Nicols in keiner Stellung völlige Dunkelheit eintreten. Wo bei schiefen Schnitten die Individuen an ihrer Grenze theilweise übereinandergreifen, fallen die Grenzen manchmal undeutlich aus. Unterscheiden sich die Individuen nur durch Grade der Helligkeit, so werden Farbengegensätze durch Einschaltung eines Gyps- oder Quarzblättchens hervorgebracht. — Im convergenten pol. Licht treten hier Axenbilder selbstverständlich nur dann hervor, wenn die einzelnen verzwillingten Individuen gross genug sind, um solche zu zeigen.

Alle Zwillinge des regulären Systems und die parallelaxigen des tetragonalen und hexagonalen können natürlich im polarisirten Licht überhaupt nicht optisch als solche erkannt werden.

Da, wo in den Aggregaten die feinen Individuen nicht parallel, sondern nach verschiedenen Richtungen gelagert sind, müssen die einzelnen derselben, sofern sie nicht isotrop sind, im polarisirten Licht gegenseitig verschieden gefärbt erscheinen. Bei dieser verschwommenen und schillernden, oft fleckig marmorirten sog. Aggregatpolarisation kann bei einer Horizontaldrehung selbstverständlich niemals der Fall eintreten, dass das ganze Aggregat zwischen gekreuzten Nicols gleichmässig dunkel wird.

Durch das Centrum geführte dünne Schnitte von radialfaserig oder -strahlig struirten Kugeln (oder Halbkugeln) zeigen, wenn das Aggregat homogen und jede Faser mit der anderen aequivalent ist, im parallelen polarisirten Licht oft zwischen gekreuzten Nicols ein dunkles (bisweilen blaugesäumtes) rechtwinkeliges Kreuz, dessen Arme von dem Mittelpunkt der Faserung ausgehen und meist in der Richtung der Polarisationsebenen der Nicols liegen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Diese letztere Erscheinung entsteht folgendermassen: In der durch das Centrum gehenden Platte, welche so dünn ist, dass sie nur aus einer ihrer Ebene parallelen Schicht von Fasern besteht, sind die letzteren alle radial und zugleich horizontal gerichtet. Gehören die Fasern nun einem einaxigen Mineral an, dessen Längsrichtung parallel der optischen Axe geht, oder einem zweiaxigen, dessen Längsrichtung ebenfalls irgend eine optische Elasticitätsaxe ist, so müssen gleichzeitig vier, um 90° verschieden gelegene Büschel ganz (oder fast ganz) paralleler Fasern — nämlich solche, deren Prismenaxen mit den Nicolhauptschnitten parallel gehen — gerade auslöschen und zusammen ein dunkles Kreuz bilden. Bei der Drehung des Präparats gelangen immer andere Fasern dazu, und dabei verbleibt das Kreuz natürlich an seiner Stelle; nur scheinbar bewegt es sich in umgekehrter Richtung mit derselben Geschwindigkeit, mit welcher das Präparat gedreht wird. In den durch das Kreuz gebildeten vier Quadranten liegen diejenigen Fasern, deren Elasticitätsaxen schief gegen die Nicolhauptschnitte gerichtet sind und hier ist je längs dem mittleren Radius die Helligkeit am grössten; das dunkle Kreuz kann daher auch nicht sehr scharf begrenzt sein, es verschwimmt allmählich in die hellen Quadranten. Bei parallelen Nicols gewahrt man ein unvollkommenes bräunliches Kreuz, dessen fleckenartige Aeste zwischen den verschwundenen Balken des ersteren liegen. Vermittels eines Gypsblättchens oder eines Quarzkeils kann man auch hier den optischen Charakter der Fasern bestimmen, wie an den Interferenzfiguren einaxiger Platten im convergenten Licht. — Sollten solche centralen Schnitte durch radialfaserige homogene Kugeln vorliegen, welche aus monoklinen oder triklinen Individuen bestehen, so würden die dunkeln, wiederum unter einander rechtwinkeligen Kreuzarme im Allgemeinen gegen die Nicolhauptschnitte mehr oder weniger schief geneigt sein, entsprechend dem Winkel, welchen die Elasticitätsaxe mit der Längsaxe der Fasern und der darauf stehenden Normalen bildet.

§ 115. **Wirkung der Temperaturerhöhung auf die optischen Eigenschaften.** Bei den im Folgenden erwähnten Erscheinungen wird vorausgesetzt, dass sie ohne chemische Veränderung der Substanz und ohne abnormen Wechsel der Molecularstructur erfolgen [1]).

1) Reguläre isotrope Krystalle bleiben isotrop bei jeder Temperatur und es kann bei ihnen nur der Brechungsquotient sich verändern; durch Temperaturerhöhung wird derselbe bei Steinsalz, Sylvin, Fluorit, Kalialaun kleiner, bei Diamant, Zinkblende grösser. — Reguläre Krystalle mit Circularpolarisation können dabei ihr Drehungsvermögen ändern; z. B. wird letzteres bei dem tetartoëdrischen Natriumchlorat verstärkt.

2) Optisch-einaxige (tetragonale und hexagonale) Krystalle behalten diesen Charakter bei jeder Temperatur; die einzige Veränderung beschränkt sich hier auf die Werthe der Brechungsquotienten ω und ε, also auf die Stärke der Doppelbrechung. Nach *Fizeau* vermindern sich für den Quarz bei der Erwärmung beide Quotienten (jedoch ε in etwas höherem Grade als ω), weshalb denn die Stärke der Doppelbrechung abnimmt; im Kalkspath dagegen wächst ε mit der Temperatur sehr bedeutend, während ω kleiner wird, so dass hier die Doppelbrechung zunimmt; auch am Vesuvian, Beryll, Apatit ist eine Steigerung der Differenz von ω und ε constatirt.

3) Bei den optisch-zweiaxigen rhombischen Krystallen erfahren die 3 Hauptbrechungsquotienten α, β, γ durch die Erwärmung ungleiche Aenderungen, und damit ändert sich auch die Grösse des optischen Axenwinkels; jede der 3 optischen Elasticitätsaxen muss aber bei jeder Temperatur fortfahren, mit einer der 3 krystallographischen Axen zusammenzufallen, die Ebene der optischen Axen muss also immer

1) Ueber Constructionen von Erhitzungsapparaten vgl.: *H. Vogelsang*, Poggendorff's Annal. CXXXVII. 58; *R. Brünnée*, N. Jahrb. f. Min. 1890. II. 87; *K. Klein* (*R. Fuess*), ebendas. 1891. I. 65 und 68; *R. Fuess*, ebendas. Beilageb. VII. 406.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

eine Symmetrie-Ebene bleiben. Für die Veränderung der Brechungsquotienten und des optischen Axenwinkels diene als Beispiel der Baryt:

	α	β	γ	$2V$ für Roth
Bei 20°	1,63609	1,63712	1,64795	37° 28′
50°	1,63575	1,63678	1,64726	38° 43′
100°	1,63512	1,63612	1,64643	40° 15′
200°	1,63344	1,63474	1,64426	44° 18′ (204°)

4) Bei den optisch-zweiaxigen monoklinen Krystallen ändert sich nicht nur α, β, γ und der Winkel der optischen Axen, sondern meist auch die Ebene, in welcher die optischen Axen liegen, und damit kann sich auch die Lage derjenigen beiden optischen Elasticitätsaxen ändern, welche nicht mit der einzigen orthodiagonalen Symmetrie-Axe zusammenfallen; letztere muss aber immer ihren Charakter als Elasticitätsaxe bewahren, und das dreiaxige Elasticitäts-Ellipsoid vermag sich gewissermassen um dieselbe zu drehen.

Beim Glauberit liegen die optischen Axen anfangs senkrecht auf $\infty\breve{P}\infty$ (horizontale Dispersion, $\upsilon < \rho$); bei Erwärmung verkleinert sich der Axenwinkel, wird bei verschiedenen Temperaturen für die verschiedenen Farben $= 0$, und dann gehen die optischen Axen in der Ebene $\infty\breve{P}\infty$ wieder auseinander (mit geneigter Dispersion und $\upsilon > \rho$); die Lage der optischen Elasticitätsaxen verändert sich nicht merklich zwischen 0° und 100° Temperatur (*Laspeyres*).

	für Blau	Grün	Gelb	Roth
Bei 5° opt. Axenwinkel =	8° 51′	11° 42′	14° 8′	16° 6′
» 22° » » =	0° (bei 18°)	8° 14′	11° 8′	13° 30′
» 36° » » =	8° 42′	0°	8° 9′	11° 1′
» 46° » » =	11° 8′	7° 8′	0°	8° 40′
» 58° » » =	13° 2′	10° 32′	7° 14′	0°
» 85° » » =	10° 47′	15° 15′	13° 14′	10° 47′

Beim Gyps liegen in gewöhnlicher Temperatur die opt. Axen im Klinopinakoid und bilden 95° (geneigte Dispersion); mit steigender Temperatur vermindert sich dieser Winkel, indem sie sich mit ungleicher Geschwindigkeit einander nähern: bei 47° beträgt er nur = 76°, bei 95° nur = 39°; bei 116° beträgt er für die rothen Strahlen = 0°, für diese ist also der Gyps einaxig geworden. Bei dieser Temperatur sind aber die optischen Axen für die blauen Strahlen, für welche schon früher Einaxigkeit eingetreten ist, in einer auf $\infty\breve{P}\infty$ senkrechten Ebene auseinandergegangen; bei 120° gehen auch diejenigen für die rothen Strahlen in dieser Ebene auseinander (die Dispersion wird horizontal). — Der Syngenit wird bei Temperaturerhöhung einaxig und zwar erfolgt dies für Roth bei 143°, Gelb bei 160°, Blau bei 181,5°. — Im Adular vom St. Gotthard verkleinert sich ebenfalls der Axenwinkel bei der Erwärmung, wird hierauf Null und bei 200° Temperatur haben die wieder auseinandergegangenen Axen eine zu deren anfänglicher Ebene senkrechte Lage angenommen; bei der Abkühlung kehrt alles wieder in rückläufiger Reihenfolge zum ursprünglichen Zustand zurück; nach einer bis zur Rothgluth fortgesetzten Erhitzung bleibt aber die erfolgte Veränderung bei der Erkaltung permanent.

Krystalle, welche starke Dispersion der optischen Axen zeigen, sind auch oft gerade ausgezeichnet durch beträchtliche Veränderlichkeit des Axenwinkels mit der Temperatur.

5) Bei den optisch-zweiaxigen triklinen Krystallen kann sich nicht nur verändern α, β, γ, der Winkel und die Ebene der optischen Axen, sondern auch die Lage aller dreier optischer Elasticitätsaxen.

Bei gewissen Krystallen bringt die Erhitzung eine Veränderung der Molecularstructur und damit eine gänzliche Veränderung der optischen Charaktere hervor; so z. B. werden die (künstlichen) grünlichgelben rhombischen Krystalle des Antimonjodids

SbJ^3, auf ca. 114° erhitzt, roth und einaxig hexagonal. Hierher gehören auch die Veränderungen, welche durch Erhitzung am Leucit, Boracit, Tridymit vor sich gehen.

Tritt bei der Temperaturerhöhung aber eine Veränderung des chemischen Bestandes ein, so können die optischen Eigenschaften in hohem Grade andere werden, wie die Zeolithe zeigen, welche bei dieser Gelegenheit Wasser verlieren.

§ 116. **Optische Anomalieen.** Schon seit langer Zeit ist es bekannt, dass gewisse Mineralien optisch untersucht nicht dasjenige Verhalten zeigen, welches man mit Rücksicht auf ihre Formausbildung und ihre morphologische Zugehörigkeit zu dem einen oder anderen Krystallsystem bei ihnen voraussetzen sollte. So gibt es eine Reihe von Mineralien, welche sich nach Winkelwerthen und charakteristischer Entwickelung der Gestalt als Mitglieder des regulären Systems bekunden, gleichwohl aber deutliche Erscheinungen der Doppelbrechung und Polarisation aufweisen. Formell zum tetragonalen oder hexagonalen System gehörige Individuen kommen vor, welche dennoch in der Richtung der Hauptaxe eine Doppelbrechung offenbaren und sich als zweiaxig ergeben; formell rhombische Krystalle sind anomal, indem die optischen Elasticitätsaxen nicht alle in die krystallographischen Symmetrieebenen fallen. Vielfach jedoch zeigt sich, dass die abnormen Erscheinungen nur von gewissen Vorkommnissen eines und desselben Minerals dargeboten werden, andere dagegen sich ganz normal verhalten, oder dass die Anomalie sich nur auf gewisse Stellen einer Krystallplatte beschränkt. Manchmal ruft sie im polarisirten Licht eine Theilung in einzelne Felder und Sectoren hervor. — Umgekehrt sind auch Fälle bekannt, wo Substanzen von geringerer Symmetrie ein optisches Verhalten zeigen, wie es Individuen von höherer zukommt.

Für das optisch anomale Verhalten hat man im Lauf der Zeit mit mehr oder weniger Glück verschiedene Deutungsversuche gemacht[1]).

Anomalieen durch innere Spannungen. Dieselben werden durch mechanischen Druck oder Zug, schnelle Kühlung, einseitige Erwärmung hervorgebracht; ferner durch die Gegenwart von isomorphen Beimischungen.

Brewster hat zuerst beobachtet, dass die optischen Eigenschaften von Krystallen gestört werden, wenn ein mechanischer Druck auf sie ausgeübt wird. Steinsalz, Flussspath und Diamant werden doppeltbrechend, optisch einaxige Krystalle wie Kalkspath und Quarz werden zweiaxig. Durch Erhitzen können dieselben Veränderungen hervorgerufen werden. Später sind diese Versuche von *Reusch* und *Marbach*, von *Moigno* und *Soleil*, *Pfaff*, *Klocke*, *Bücking* u. A. weiter geführt worden[2]).

---

1) Eine übersichtliche und kritische Zusammenstellung aller damaligen Forschungen nebst vielen neuen Untersuchungen enthält die ausgezeichnete, von der F. Jablonowski'schen Ges. d. Wiss. gekrönte Preisschrift von *R. Brauns*, »Die optischen Anomalien der Krystalle«, Leipzig 1891.

2) Wie künstliche amorphe Körper, Leim, gelatinöse Substanzen, Harze oft entweder schon in Folge der beim Eintrocknen entstehenden Spannungen doppeltbrechend sind, oder durch geringen Druck und Zug doppeltbrechend werden, so zeigen auch mineralische Harze, Opale und andere amorphe Medien manchmal energische Doppelbrechung. — *Klocke* stellte aus Gelatine-Gallerte, welche im gespannten Zustand zum Eintrocknen gebracht wurde, Platten her, welche sowohl im parallelen als auch im convergenten polarisirten Licht alle optischen Eigenschaften der von optisch anomalen Krystallen herrührenden Platten besitzen und erweisen, dass ein gleichförmig comprimirter (oder dilatirter) isotroper Körper die Eigenschaften eines ein- oder zweiaxigen Krystalls annehmen kann (Ber. d. naturf. Ges. z. Freiburg VIII. 1881. 1). Auch *Ben-Saude* nahm wahr, dass Gelatine, wenn sie in reguläre Formen, z. B. in solche von 202 gegossen wird, in den nach der Festwerdung angefertigten Schnitten eine nahezu vollständige Nachahmung der Doppelbrechungserscheinungen gewisser regulärer Krystalle erkennen lässt. — Fäden, welche aus zähflüssigem Gummi gezogen werden, sind stark doppeltbrechend und zwar bei arabischem Gummi in Bezug auf die Längsrichtung positiv, bei Kirschbaumgummi negativ. Mischt man

Ein Steinsalzwürfel kann durch blos mit den Fingern ausgeübten Druck doppeltbrechend gemacht werden; jedoch erfolgt alsdann keine dauernde Veränderung, sondern bei dem Nachlassen des Drucks wird der Würfel wieder isotrop. Wird derselbe aber in einer Presse stärker zusammengedrückt, so bleibt er dauernd doppeltbrechend und zwar negativ einaxig. Sylvin wird durch Druck parallel einer Würfelnormale positiv, durch Druck parallel einer Oktaëdernormale negativ einaxig, gerade umgekehrt wie Flussspath. — *Reusch*, welcher schwach doppeltbrechende Alaune untersuchte und diese Eigenschaft auf innere, beim Wachsthum der Krystalle hervorgebrachte Contractionen und Spannungen zurückführte, konnte durch eine geeignete Pressung, welche jener Spannung entgegenwirkte, die Doppelbrechung für die Dauer des Drucks wieder aufheben. In den Alaunkrystallen macht sich die Doppelbrechung in der Weise geltend, als sei die Substanz des Krystalls innerhalb derjenigen Ebenen gespannt, parallel denen der schichtenartige Aufbau erfolgte. — Einfach brechende reguläre Mineralien wie Steinsalz werden bisweilen bei der Erzeugung der Schlagfigur (S. 191) um dieselbe herum doppeltbrechend, in Folge des hier ausgeübten Drucks. — *Jannettaz* brachte in ein leeres Selterswasser-Syphon feingepulverten regulären einfachbrechenden Kali-Alaun und füllte darauf die Flasche mit kohlensäurehaltigem Wasser. Nach Auflösung des Salzes an der Sonne wurde die Flasche an einen kühlen Ort gebracht, wo sich bald Alaunkryställchen ausschieden, welche unter dem Druck der Kohlensäure eine Doppelbrechung erlangt hatten, ohne sich von dem gewöhnlichen Alaun chemisch oder geometrisch zu unterscheiden. — Reguläre geschmeidige Krystalle von Chlorsilber, Bromsilber und Jodobromid, mit dem Messer zu dünnen Plättchen zusammengedrückt, zeigen nach *v. Lasaulx* im parallelen polarisirten Licht unregelmässige Systeme dunkler Hyperbeln und Aufhellung einzelner Stellen; schneidet man von einem Chlorsilber-Würfel (aus Schneeberg) ein Scheibchen ab, so zeigt sich dies ebenfalls doppeltbrechend. — In einfachbrechender Zinkblende kann man durch gelinden Druck sehr leicht doppeltbrechende, nach O verlaufende Streifen hervorrufen, welche den Charakter von Gleitflächen besitzen.

Brewster leitete die Polarisationserscheinungen, welche sich stellenweise im regulären Diamant, im amorphen Bernstein finden, von comprimirten Gasen ab, welche dort in Höhlungen eingeschlossen sind und durch Druck in der Molecularstructur der umgebenden Substanz Spannungen hervorrufen. Nach *Sorby* gehen aber die Interferenzerscheinungen im Diamant nicht von Hohlräumen, sondern von eingebetteten fremden Krystallen aus, welche rings um sich die gleichmässige Contraction des Diamants verhinderten. Auch *Jannettaz* bemerkte in einem übrigens isotropen Diamant um einen fremden kleinen Einschluss einen hellen doppeltbrechenden Hof, während von den Ecken des Einschlusses dunkle Banden ausstrahlten. *Klocke* macht darauf aufmerksam, dass im parallelen polarisirten Licht auftretende, bei der Drehung der Platte bewegliche schwarze Streifen für die Spannungsdoppelbrechung, wie sie z. B. um fremde Körper in isotropen Medien vorkommt, charakteristisch sind.

Bei allen diesen Verhältnissen ist es insbesondere zu beachten, dass es ausser den die abnormen Erscheinungen aufweisenden Individuen auch allemal solche äusserlich gleiche Krystalle derselben Substanz gibt, welche sich als ganz normal einfachbrechend erweisen. *Ben-Saude* erhielt aus einer theilweisen Auflösung von durchaus

beide Colloide in dünnflüssigem Zustand und lässt dann wieder bis zu demjenigen Consistenzgrade eintrocknen, bei dem sich aus der Masse bequem Fäden ziehen lassen, so kann man je nach dem Mischungsverhältniss alle Abstufungen im Grade und Sinne der Doppelbrechung und auch bei Zug und Druck optisch ganz neutrale Fäden herstellen (*Ambronn*).

Ein von zwei Seiten her gleichmässig zusammengepresster Würfel aus Glas gewinnt dieselben optischen Eigenschaften, wie ein negativer optisch einaxiger Krystall, dessen optische Axe in der Druckrichtung liegt. Durch eine ebensolche Spannung in einer bestimmten Richtung wird das Glas umgekehrt positiv doppeltbrechend. Wird eine kreisförmige Platte von Glas auf ihrer cylindrischen Randfläche mit einer sehr festen Schnur umwunden und diese sehr stark angezogen, so erscheint im parallelen polarisirten Licht eine ähnliche Interferenzfigur wie in den basischen Platten einaxiger Krystalle im convergenten Licht.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

isotropem Steinsalz 1—3 Mm. grosse prächtig doppeltbrechende Steinsalzwürfelchen neben anderen, die sich im pol. L. ganz oder fast ganz unwirksam zeigten. Aus der Lösung eines doppeltbrechenden Krystalls schieden sich nach einander stark und weniger stark doppeltbrechende Krystalle ab. Es gelang ihm ferner, einen doppeltbrechenden Steinsalzkrystall in einer Kochsalzlösung so weiter wachsen zu lassen, dass einfachbrechende Substanz, ganz regelmässig orientirt, sich darum ansetzte. Die Doppelbrechung könne daher auch hier nur als eine auf gestörter Molecularstructur beruhende Anomalie erklärt werden (N. Jahrb. f. Min. 1883. I. 165).

Rücksichtlich des Zustandekommens der auf Spannungen begründeten optischen Anomalie regulärer Krystalle legt *K. Klein* in seinen Untersuchungen über die Doppelbrechung des regulären Granats (N. Jahrb. f. Min. 1883. I. 87; 1895. II. 68) besonderes Gewicht auf die Beziehungen zwischen der anomalen optischen Beschaffenheit und den Begrenzungselementen, der äusseren Form des Krystalls. Er constatirte, dass, wenn hier überhaupt Doppelbrechung auftritt, die Oktaëder sich bezüglich derselben anders verhalten, als die reinen Rhombendodekaëder, diese wieder anders als die reinen Ikositetraëder oder die Achtundvierzigflächner, und in den Combinationen dieser Formen kommen die für die letzteren charakteristischen optischen Structuren mit einander in Conflict. In einem und demselben Krystall finden sich isotrope und in optischem Sinne rhombische und trikline Schichten. Da auch nahezu und vollständig isotrope Krystalle vorkommen, so spreche dies dafür, dass die bei jenen anderen beobachtete optische Wirksamkeit nicht aus ursprünglicher Anlage resultirt, sondern secundären Umständen ihre Entstehung verdankt, insofern bei dem Act der Krystallisation, in einem kurzen Zeitmoment beim Festwerden nicht nur eine Contraction der Masse, ähnlich den Colloiden stattfindet (wofür vielfach Trennungsklüfte Zeugniss ablegen), sondern auch die Gestalt des vorhandenen Körpers selbst einen Einfluss auf diese Contraction geltend macht; indem der letztere auf einer gegebenen Fläche, nach Art ihrer Umgrenzungselemente, nach dem auf sie wirkenden Druck, nach Temperatur und Concentration der Lösung verschieden ist, wird er auch abweichende Wirkung äussern. Ueberwiegt der Einfluss der Begrenzungselemente (Kanten), so bildet sich eine Feldertheilung, präponderirt die Wirkung normal zur Fläche, so bleibt letztere einheitlich. — Auch nach *Ben-Saude* sind die Begrenzungselemente in erster Linie beim Zustandekommen der optischen Structur maassgebend; er that für den Analcim dar, dass die Form der einzelnen optischen Theile, deren für die Combination (∞O∞.202) 30, für 202 allein 24 vorhanden sind, mit den Veränderungen der äusseren Begrenzungen des Krystalls in zusammenhängender Weise sich verändert; verschwinden Flächen, so fallen Theile fort, treten Kanten auf, so erscheinen optische Grenzen. Von jeder Fläche aus geht nach der Mitte des Krystalls gewissermassen eine Pyramide, welche als Basis dieselbe Fläche hat und soviel Seiten besitzt, als Kanten die Fläche begrenzen. Jeder äusseren Kante am Krystall entspricht im Inneren eine optische Grenze, jeder Fläche ein optisches Feld. Schnitte parallel der Basis solcher Pyramiden aus der Oberfläche des Krystalls genommen, erscheinen annähernd einheitlich und unwirksam. Auch die Platten von Gelatinekörpern, welche in hohlen Krystallformen langsam zur Erstarrung gelangt waren, erwiesen sich bezüglich ihres Zerfalls in Sectoren mit einer Structur versehen, welche von den Begrenzungsflächen abhängig ist, und welche natürlich hier in dieser amorphen Substanz nicht durch krystallographisch verschiedene Richtungen bewirkt sein kann (N. Jahrb. f. Min. 1882. I. 41). — *Weinschenk* gewahrte übrigens an Grossularen des Gross-Venedigerstocks, dass auch da, wo in den körnigen Aggregaten Krystallform völlig fehlt, die doppeltbrechenden Sectoren genau in derselben Weise gegen einander abgegrenzt sind, wie es bei den wohlausgebildeten Krystallen der Klüfte und Drusen der Fall ist.

Für tetragonale und hexagonale Krystalle ist durch viele Untersuchungen festgestellt worden, dass dieselben, in der Richtung ihrer optischen Axe (also senkrecht auf die Basis) einem Druck unterworfen, stärkere oder schwächere Doppelbrechung gewinnen, aber immer optisch einaxig verbleiben. Wirkt der Druck senkrecht auf

die optische Axe (also parallel der Basis), so verändert sich die einaxige Interferenzfigur, die kreisförmigen Farbenringe verlängern sich elliptisch, das schwarze Kreuz geht in der Mitte in zwei Hyperbeln auseinander und es entsteht das Interferenzbild eines zweiaxigen Krystalls mit kleinem, aber bei Zunahme des Drucks sich (wenn auch nicht proportional) vergrösserndem Axenwinkel. Dabei gehen bei positiven Krystallen die beiden Axen in einer Ebene auseinander, welche der Druckrichtung parallel ist; es bleibt die frühere optische Axe die Schwingungsrichtung der kleinsten Lichtgeschwindigkeit und spitze Bisectrix, aus dem positiven einaxigen entsteht demnach ein ebenfalls positiver zweiaxiger Krystall. Bei den negativen Krystallen gehen die beiden optischen Axen umgekehrt in einer zur Druckrichtung senkrechten Ebene auseinander; die frühere optische Axe bleibt die der grössten Lichtgeschwindigkeit und der Krystall wird also auch negativ zweiaxig. Aus *Bücking*'s Untersuchungen über die Modification der optischen Verhältnisse der Krystalle unter dem Einfluss eines messbaren äusseren Drucks vermittels eines Schraubenpressapparats (Z. f. Kryst. VII. 1883. 558) geht hervor, dass bei einaxigen Krystallen die Grösse des durch den Druck entstehenden optischen Axenwinkels nicht von Anfang an proportional dem Druck zu- oder abnimmt, auch dass für die verschiedenen einaxigen Mineralien durch einen gleich hohen Druck ein verschiedener Axenwinkel entstand; bleibende Aenderungen konnte auch *Bücking* ebensowenig wie seine Vorgänger beobachten. — *Klocke* gibt an, dass eine das normale Axenbild zeigende Platte von (optisch positivem) Eis schon bei einfachem Druck zwischen den Fingern die Zweiaxigkeit in einer sehr deutlichen Weise offenbart; beim Nachlassen des Drucks vereinigen sich die Hyperbeln wieder zu dem schwarzen Kreuz (N. Jahrb. f. Min. 1879. 280). — *Wilh. Klein* fand, indem er einaxige Krystalle ungleichmässig einseitig erwärmte, dass das dunkle Kreuz der basischen Platten in eine Hyperbel gespalten wird, und zwar steht die Hyperbelaxe bei den positiven parallel, bei den negativen senkrecht zu der Richtung, in welcher die Wärme zugeführt wurde (Z. f. Kryst. IX. 1884. 38). — Von Belang ist die Wahrnehmung *Des Cloizeaux*'s, dass der Winkel der optischen Axen bei den an sich einaxigen Substanzen, welche nur durch gelegentliche Structur-Anomalieen zweiaxig erscheinen, bei der Temperaturerhöhung keine merklichen Veränderungen zeigt, während er bei wirklich zweiaxigen Krystallen dann meist bedeutenden Veränderungen unterworfen ist. Der tetragonale Apophyllit besitzt z. B. trotz der bisweilen vorkommenden Zweiaxigkeit dann beim Erwärmen einen unveränderten Axenwinkel.

Wenn *R. Brauns* die bemerkenswerthe Beobachtung gemacht hat, dass optische Anomalieen durch isomorphe Beimischung entstehen, so stellt er diesen Vorgang deshalb mit Recht den durch innere Spannungen erzeugten Erscheinungen an die Seite, weil es scheint, dass hier die isomorphe Mischung insofern die Ursache der optischen Abnormität sei, als deren Componenten nicht gleichzeitig in den Zustand des Festwerdens übergehen und dadurch unter Störung der Gleichgewichtslage Spannungen hervorgerufen werden, welche bei den einheitlichen Substanzen nicht beobachtet sind. Auch müssen Spannungen entstehen, wenn die Molecularvolumina von übereinander gelagerten isomorphen Schichten nicht genau gleich gross sind. Während bei den verschiedenen Alaunen, bei Bleinitrat und Baryumnitrat chemisch reine Krystalle vollkommen optisch isotrop sind, kommt die anomale Doppelbrechung nur bei solchen vor, denen ein isomorphes Salz beigemischt ist (N. Jahrb. f. Min. 1883. II. 102; 1885. I. 96). Alle Krystalle von reinem Kali-Thonerde-Alaun z. B. wurden als isotrop befunden, ebenso alle von reinem Ammoniak-Thonerde-Alaun; solche dagegen, die aus Lösungen entstanden waren, welche beide Substanzen gemischt enthielten, waren nach Maassgabe der Betheiligung der isomorphen Verbindung doppeltbrechend, am stärksten die aus einer, gleiche Gewichtstheile Kali- und Ammoniak-Alaun enthaltenden Lösung angeschossenen. Bei Bleinitrat und Baryumnitrat genügte schon eine verhältnissmässig geringe gegenseitige Beimengung, um Krystalle zu erhalten, welche stärker als die am stärksten activen gemischten Alaune doppeltbrechend ausfielen, während die reinen Salze ganz isotrop waren. Aus einer gemischten Lösung

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

wurden umgekehrt wieder isotrope Krystalle erhalten, wenn eine Entfernung des zugemischten isomorphen Salzes erfolgte. Die isomorphen Anwachsschichten, welche sich aus gemischten Lösungen über einem isotropen Alaunkrystall von einfacher Substanz absetzten, zeigten ebenfalls Doppelbrechung, sowie dass das Zerfallen in Sectoren durchaus abhängig war von der Form der Krystalle. Es kann nach diesen Untersuchungen keinem Zweifel unterliegen, dass das Auftreten der Doppelbrechung in den geprüften Krystallen mit dem Vorhandensein einer isomorphen Beimischung in einem ursächlichen Verhältniss steht. Durch die schichtweise wechselnde Zusammensetzung, welche ein aus einigermassen verschieden löslichen Componenten bestehender Mischkrystall besitzen muss, wird auch das bisweilen beobachtete, von der Mitte nach dem Rande zu erfolgende Zunehmen der Intensität der Doppelbrechung erklärt. Auf Grund der Wahrnehmung, dass die doppeltbrechenden Mischkrystalle von Ammoniak- und Kali-Alaun einen entgegengesetzten optischen Charakter besitzen als solche von Ammoniak- und Eisen-Alaun, gelang es, aus einer Lösung, welche diese drei Substanzen zusammen enthielt, dennoch isotrope Krystalle darzustellen, indem jene sich in ihrer Wirkung gewissermassen gegenseitig aufhoben[1]).

Für die durch isomorphe Beimischung anomalen Krystalle ist auch zufolge *R. Brauns* die Abhängigkeit der optischen Structur von der äusseren Begrenzung charakteristisch. In den hierher gehörigen regulären Krystallen geht von jeder Fläche eine Pyramide in das Innere, deren optisches Verhalten von der geometrischen Symmetrie dieser Fläche in auffallender Weise abhängt; in den betreffenden Anwachskegeln treten gewisse Druck- oder Zugkräfte auf, welche in deren Bezirk das optische Verhalten ändern. Die Mischkrystalle von Blei- und Baryumnitrat sind einfachbrechend nach den Würfelflächen, doppeltbrechend einaxig positiv nach den Oktaëderflächen, doppeltbrechend zweiaxig negativ nach den Flächen des Pentagondodekaëders. — *R. Brauns* findet eine solche Uebereinstimmung zwischen dem optischen Verhalten des Granats und der von ihm künstlich dargestellten doppeltbrechenden Alaunkrystalle, dass er geneigt ist, die Erscheinungen bei dem ersteren auch nur durch die verschiedene chemische Zusammensetzung, d. h. durch den Conflict isomorpher Mischungen zu erklären. Nach seiner Ansicht sind auch die optischen Anomalieen bei Haüyn, Sodalith, Chabasit, Turmalin, Apatit, Pyromorphit und Mimetesit, Vesuvian, Apophyllit, Topas wahrscheinlich auf isomorphe Beimischung zurückzuführen.

Anomalieen durch Dimorphie der Substanz. In diesem Falle hat die eine Modification der Substanz die äussere Form geliefert, während die andere Modification jetzt die innere Raumerfüllung bildet, so dass eine Discordanz zwischen morphologischer Ausbildung und optischem Verhalten besteht. Durch Aenderung der Temperatur kann aber in manchen Fällen die letztere zweite Modification innerhalb des bestehenden äusseren Rahmens in die erste ursprüngliche wieder übergeführt werden, und alsdann stehen Form und optische Reactionen wiederum im Einklang. So sind diese Anomalieen insofern von beschränkterer Art, als sie nur für bestimmte Temperaturen zur Geltung kommen. Im Allgemeinen ist die neue jetzt vorliegende Modification gegen die Form der alten gesetzmässig orientirt. In den bekannten Fällen besitzt die jetzige Modification niedrigere Symmetrie als die erste ursprüngliche, deren Gestalt, wenn auch bisweilen etwas deformirt, erhalten ist. Hier liegt demnach eine Art von Paramorphose vor. Solche Substanzen, welche durch Aenderung von Temperatur und Druck beliebig oft aus der einen in eine andere Modification übergeführt und rückgewandelt werden können, sind

1) Die Ergebnisse aus diesen Wahrnehmungen lassen sich nicht in dem Sinne umkehren, dass überhaupt isomorphe Mischungen optische Anomalieen im Gefolge haben müssen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

von *O. Lehmann* enantiotrope genannt worden. Ist mit der Umwandlung eine nur geringe Volumenänderung verbunden, so entstehen Spannungen, die sich durch Sprünge oder Verschiebungen nach Gleitflächen theilweise ausgleichen.

Mallard hat 1882 die bemerkenswerthe Beobachtung gemacht, dass der unter gewöhnlichen Umständen bei äusserlich vollkommen regulärer Form dennoch aus doppeltbrechenden rhombischen Theilen bestehende Boracit bei einer bestimmten höheren Temperatur (ca. 265° C.) plötzlich, und zwar für alle Farben, in der That einfachbrechend wird, in noch höherer Temperatur auch isotrop bleibt, wogegen dann aber bei verminderter Temperatur nahezu dieselbe frühere Feldertheilung mit ihrer optischen Zweiaxigkeit wieder zurückkehrt. Es ist daher wohl anzunehmen, dass anfänglich eine Entstehung der regulären Form unter entsprechender Anordnung der Molecüle erfolgte, welche aber bei sinkender Temperatur nicht bestehen blieb; es änderte sich die Gleichgewichtslage unter Ausbildung einer neuen, der rhombischen, mit welcher Zwillingsbildung Hand in Hand ging; durch höhere Erwärmung kann dann wieder die der Form ursprünglich entsprechende reguläre Anordnung der Theilchen erreicht werden. Bei sechsseitigen Blättchen von Tridymit, welche anfänglich als wirklich dem hexagonalen System zugehörig aufgefasst, dann aber bei optischer Untersuchung als ein zwillingsmässig verschränktes Aggregat rhombischer Theilchen erkannt wurden, verschwinden schon bei mässigem Erhitzen (ca. 130°) die Zwillingsgrenzen, und die der äusseren Form entsprechende einfache Brechung stellt sich ein. Hierher gehört ferner der Leucit, in dessen Schnitten die sehr complicirte lamellare polysynthetische Verzwillingung rhombischer Individuen bei beginnender Rothgluth plötzlich verschwindet; bei sinkender Temperatur kehren die Lamellen und Felder, oft in geänderter Vertheilung wieder zurück (*K. Klein*). Die auf den Krystallflächen vorhandenen Streifen und Knicke gehen ebenfalls in hoher Temperatur verloren. — Bei dem äusserlich regulär geformten Perowskit, welcher in seiner inneren Structur grosse Aehnlichkeit mit Boracit darbietet, ist es aber bis jetzt noch nicht gelungen, in hoher Temperatur die rhombischen verzwillingten Lamellensysteme verschwinden zu lassen.

Anomalieen durch Ueber- oder Nebeneinanderlagerung von verschieden orientirten Lamellen. Lamellen eines minder symmetrischen Systems können wohl so mit einander verwachsen, dass in den aufeinanderfolgenden Lamellen nahezu gleichartige Richtungen vertauscht und gleichnamige optische Elasticitätsaxen gekreuzt erscheinen. Durch solche Ueberlagerung wird eine Compensation ungleichnamiger optischer Elasticitätsaxen bewirkt und die Krystalle nähern sich auch in ihrem optischen Verhalten demjenigen höher symmetrischer Individuen.

E. Reusch hat gezeigt, dass man, wenn zweiaxige Glimmerblättchen mit gekreuzten optischen Axenebenen über einander geschichtet werden, die Interferenzerscheinungen einaxiger Krystalle (mit oder ohne Circularpolarisation) nachahmen kann. Das Verhalten solcher Glimmercombinationen im parallelen und convergenten polarisirten Licht entspricht, weil die ungleichnamigen optischen Elasticitätsaxen sich völlig compensiren, durchaus demjenigen einaxiger Krystalle, wenn die Blättchen unendlich dünn und nach bestimmten Gesetzen regelmässig gekreuzt sind. Ist dies aber nicht der Fall, sind die Lamellen vielmehr verschieden dick und nicht im regelmässigen Wechsel gekreuzt, so verhalten sich die Combinationen verschieden, an manchen Stellen scheinen sie einaxig, an anderen geben sie gestörte Interferenzbilder und gleichen mehr oder weniger zweiaxigen Krystallen. Beim Pennin kann man so nach *Tschermak* in fast ununterbrochener Reihenfolge die Entwickelung der Einaxigkeit aus der Verwachsung zweiaxiger Lamellen verfolgen. — Wird auf ein Kalkspathspaltungsstück R ein zweites gleich dickes in einer um 180° abweichenden Stellung gelegt, so dass also ein künstlicher Zwilling mit R als Zwillingsebene gebildet wird, so erfährt der durch diese

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Doppelplatte gerade hindurchgehende Strahl keine Doppelbrechung; Platten von ungleicher Dicke schwächen die Doppelbrechung. — In der Natur wird das Zustandekommen der Mimesie (§ 61) dadurch unterstützt, dass die den Aufbau bedingenden minder symmetrischen Theile eine Molecularstructur und eine Form besitzen, welche der äusseren höher symmetrischen Krystallgestalt sehr nahe steht.

Zeigen Krystalle an einzelnen Stellen vollkommene Einaxigkeit, an anderen Zweiaxigkeit mit wechselndem Axenwinkel und variirender Lage der Axenebene, so muss nach *Mallard* bei ihnen auf eine Zusammensetzung aus dünnen, einander unter schiefen Winkeln innig und zwillingsartig durchkreuzenden Lamellen von geringerer oder keiner Symmetrie geschlossen werden, auch wenn die mikroskopische Beobachtung solche nicht nachweisen kann. Damit hänge es alsdann auch zusammen, dass Krystalltheile bei einer schwächeren Vergrösserung optisch völlig homogen erscheinen, sich aber bei stärkerer in ein regelmässiges Aggregat höchst feiner Zwillingslamellen von niedriger Symmetrie auflösen, so dass das Zusammenauftreten von optisch sich ungleich verhaltenden Stellen bei einer äusserlich scheinbar einfachen Krystallform zurückgeführt würde auf eine abweichend grosse Entwickelung der einzelnen zwillingsverwachsenen Theile. Zeigt ein Krystall von regulärer Form Doppelbrechung, so sei dies unter allen Umständen ein sicherer Beweis dafür, dass er nur scheinbar regulär, aber in Wirklichkeit aus Theilchen von einer geringeren Symmetrie aufgebaut ist, deren Grad optisch ermittelt werden muss. Als Beispiel dieser Anschauungen *Mallard*'s mag der Granat dienen, dessen Krystalle bald einfachbrechend sind, bald doppeltbrechend mit verschiedenem Verhalten. Ein mOn bestehe aus 48 zweiaxigen triklinen Individuen, deren spitze Bisectrix schief steht zu jeder Fläche. Bei einem mOm, welches aus 24 zweiaxigen Individuen zu bestehen scheine mit der spitzen Bisectrix senkrecht zu je einer Fläche, sei jedes dieser Individuen schon ein Zwillingsgebilde jener triklinen Primitivformen. Ebenso verhalte es sich bei den 12 zweiaxigen Individuen, aus denen ∞O, bei den 8 einaxigen, aus denen O zusammengesetzt erscheine (eine optische Axe senkrecht auf jeder Oktaëderfläche). Je inniger und feiner die Zwillingsverwachsung, desto höher die optische Symmetrie. In den isotropen Granaten sei die Zwillingsverwachsung eine so feine, dass die darin befindlichen Molecülschichten in ihrer optischen Wirkung sich vollkommen compensiren und demzufolge auf das polarisirte Licht gar nicht wirken. Der Analcim und Flussspath sei aus 3 tetragonalen oder vielmehr aus 12 rhombischen, der Alaun aus 8 hexagonalen Individuen aufgebaut. Diese Hypothese *Mallard*'s ist von Einigen ganz oder theilweise anerkannt, von Anderen in ihrer Allgemeinheit mit guten Gründen eingehend bestritten worden[1]). Vgl. darüber das S. 245 citirte Werk von *Brauns*, der selbst ein Gegner derselben ist.

Abweichungen von den normalen optischen Verhältnissen können auch durch unvollkommenen Parallelismus der krystallographischen Axen bei solchen Krystallen entstehen, welche aus zahlreichen Subindividuen aufgebaut sind.

---

1) Dass der bei gewöhnlicher Temperatur aus rhombischen Individuen bestehende Boracit bei 265° plötzlich isotrop wird (S. 250), will *Mallard* nicht durch Rückkehr zu der regulären Modification, sondern dadurch erklären, dass in dieser höheren Temperatur die Zwillingsverwachsung eine so innige und reichliche wird, dass der Krystall einfachbrechend erscheint.

Mit obigen Vorstellungen verknüpft sich bei *Mallard* eine eigenthümliche Anschauung über die Dimorphie. Nach ihm hat jede chemische Verbindung stets nur eine einzige Krystallform und die dimorphen höher symmetrischen Modificationen entstehen durch zwillingsartige Verwachsung der einzelnen minder symmetrischen Molecülschichten; so betrachtet er den isländischen Doppelspath nur als ein Aggregat kleinster, in verschiedenem Sinne gekreuzter Krystalllamellen von nicht höherer Symmetrie als derjenigen des Aragonits; gegen diese Supposition erhebt der Gegensatz der specifischen Gewichte zwischen Kalkspath und Aragonit sofort Einspruch. Auch der Umstand, dass die verschiedenen Modificationen eines und desselben Salzes oft sehr deutlich verschiedene Löslichkeit besitzen, dürfte schon allein die Annahme ausschliessen, dass die höher symmetrische Modification aus zwillingsartig verwachsenen Molecülschichten einer minder symmetrischen aufgebaut sei.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bei einaxigen Krystallen zeigen die basischen Platten örtlich Defigurationen der farbigen Ringe, namentlich stellt der innerste centrale Ring nicht mehr eine ganz stetige Curve dar, wie dies bei wirklich zweiaxigen Lamellen der Fall ist, sondern besteht aus zwei einander nicht genau correspondirenden Kreisbogen.

Bei den vorstehenden Erklärungen handelt es sich darum, dass die Krystalle sich nicht oder nicht mehr im krystallologischen Gleichgewicht befinden. Wenn bei Erhaltung der äusseren Form eine innere chemische Veränderung der Substanz eingetreten ist und im Gefolge derselben das optische Verhalten ein anderes wird, so kann dies nicht als eine optische Anomalie bezeichnet werden. So verändert sich bei wasserhaltigen Mineralien (z. B. Zeolithen) die optische Beschaffenheit durch Wasserentziehung; oder es steht der reguläre Haüyn innerlich zu einem Haufwerk natrolithischer Fäserchen um und zeigt in Folge dessen Aggregatpolarisation.

§ 117. **Circularpolarisation.** Die Circularpolarisation besteht darin, dass in gewissen Krystallen die Schwingungsebene des polarisirten Lichtes gedreht wird, und zwar für Strahlen von verschiedener Wellenlänge um verschieden grosse Winkel. Die Aetherschwingungen erfolgen daher hier nicht wie sonst lediglich in bestimmten Ebenen, sondern es wird ihnen eine rotirende kreisförmige Bewegung verliehen. Die Eigenschaft wurde zuerst 1811 von *Arago* am Quarz entdeckt, 1817 von *Fresnel* erklärt. Am Quarz, bei welchem in Folge seiner tetartoëdrischen Ausbildung überhaupt enantiomorphe, rechts und links gebildete Krystalle zu unterscheiden sind, gibt sie sich in der Richtung der Hauptaxe, also in den basischen Krystallplatten im convergenten polarisirten weissen Tageslicht besonders durch folgende Erscheinungen zu erkennen:

1) Die kreisrunden Farbenringe des Interferenzbildes erscheinen zwar wie in jeder anderen optisch-einaxigen Platte, allein das schwarze Kreuz ist in seinem centralen Theile völlig unsichtbar und nur nach aussen hin mehr oder weniger zu bemerken. Ferner erweist sich das von dem innersten Ringe umschlossene kreisrunde Feld nicht mehr weiss, sondern gleichmässig gefärbt; und zwar hängt die Art der Farbe von der Dicke der Platte ab, weshalb sie in gleichdicken Platten dieselbe, in ungleichdicken Platten verschieden ist. Die Farbe ist diejenige, welche die Platte auch im parallelen Licht zeigen würde.

Blos ganz dünne Platten lassen noch den mittleren Theil des Kreuzes erkennen; sobald ihre Dicke 0,35 Millimeter erreicht hat, so fehlt dieser Theil gänzlich in dem Bilde der isochromatischen Ringe.

2) Dreht man den Analysator nach rechts oder nach links, so verändert sich die Farbe des centralen Feldes und es findet zugleich eine Theilung der farbigen Ringe in vier Bogen, sowie eine Erweiterung oder eine Verengung derselben statt. Stammt die Quarzplatte von einem rechtsgebildeten Krystall, so verändert sich bei einer Drehung des Analysators nach rechts die Farbe in dem Sinne von Roth durch Gelb, Blau nach Violett und es erweitern sich die Ringe. Rührt die Platte von einem linksgebildeten Krystall, so verändert sich die Farbe des Mittelfeldes bei derselben Analysatordrehung nach rechts in dem umgekehrten Sinne von Violett durch Blau, Gelb nach Roth und die Ringe verengen sich. Die übereinstimmenden Erscheinungen wie eben für die rechten Krystalle würden hier durch eine umgekehrte Drehung des Analysators nach links erhalten. Platten aus rechten Krystallen drehen daher auch die Polarisationsebene nach rechts (d. h. im Sinne des Uhrzeigers), solche aus linken dieselbe nach links.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

3) Legt man zwei gleichdicke aber enantiomorphe Platten über einander, so zeigen sie im Polarisationsapparat als verzerrtes Interferenzbild die sog. *Airy*'schen Spiralen, wie dies auch bisweilen von Platten natürlicher Quarzzwillinge (sog. brasilianisches Gesetz) dargeboten wird.

Um den Sinn der Circularpolarisation zu bestimmen, kann man auch zwischen die Platte und den Analysator ein Viertelundulationsglimmerblatt (S. 230) so einschalten, dass dessen optische Axenebene mit den beiden gekreuzten Nicolhauptschnitten 45° bildet; alsdann erscheint im Interferenzbild eine Spirale, welche vom Centrum ausgeht und nach rechts oder nach links gewunden ist; der Sinn der Drehung entspricht dem Sinne der Circularpolarisation.

Im parallelen weissen Tageslicht wird bei keiner Stellung der Nicols zu einander Dunkelheit der Quarzplatte hervorgebracht; dass dann die Platte stets farbig hell erscheint, kommt davon her, dass für die verschiedenen Farben des weissen Lichtes das Drehungsvermögen ein abweichendes ist, und somit bei jeder Nicolstellung immer nur eine Farbe ausgelöscht werden kann, die übrigen verbleibenden daher eine Mischfarbe erzeugen. Beobachtet man aber im homogenfarbigen Licht, z. B. im rothen, indem man rothes Glas vor das Auge hält, so tritt Dunkelheit ein, nachdem man den Analysator aus der Kreuzstellung heraus um einen gewissen Winkel gedreht hat, welcher von der Dicke der Quarzplatte abhängig ist; im Natriumlicht erfolgt bei einer 1 Mm. dicken Quarzplatte Dunkelheit bei einer Drehung um 22°, bei einer doppelt so dicken Platte Dunkelheit bei einer Drehung um 44°. Bei anderfarbigem Licht (oder bei einer Substanz von anderem Drehungsvermögen) muss zur Erzeugung der Dunkelheit um andere Winkel gedreht werden.

Wegen der Erklärung aller dieser Erscheinungen muss auf die Lehrbücher der Physik überhaupt, oder der Optik insbesondere verwiesen werden. Die Eigenschaft der Circularpolarisation wird, soweit bis jetzt bekannt, von Krystallen nur in Richtungen gezeigt, in denen sonst keine Doppelbrechung erfolgt, also einerseits von regulären, anderseits von tetragonalen und hexagonalen Krystallen in basischen Platten dargeboten; an rhombischen, monoklinen, triklinen Krystallen ist die Erscheinung noch nicht nachgewiesen. Nach *Des Cloizeaux* weist unter den Mineralien der Zinnober gleichfalls alle Wirkungen der Circularpolarisation auf (und zwar mit etwa 15mal so grossem Drehungsvermögen als der Quarz), wie sie denn auch bei einer Anzahl von künstlichen Krystallen und bei manchen Flüssigkeiten vorkommt. Die natürlichen und künstlichen Krystalle, welche Circularpolarisation zeigen, sind formell enantiomorph entwickelt, besitzen daher keinerlei geometrische Symmetrieebene. Dennoch decken sich beide Erscheinungen insofern nicht vollkommen, als es auch enantiomorphe Substanzen gibt, z. B. die regulär-tetartoëdrischen Nitrate von Blei, Baryum, Strontium, welche weder als Krystalle noch in Lösungen die Polarisationsebene des Lichtes drehen (*L. Wulff*, Z. f. Kryst. IV. 1880. 141). Auch ist z. B. an den zur trapezoëdrischen Hemiëdrie des hexagonalen Systems gerechneten Substanzen ein optisches Drehungsvermögen nicht nachgewiesen worden.

Interessante Beobachtungen über die Erzeugung der Circularpolarisation in zweiaxigem Glimmer stammen von *Reusch*. Schichtet man eine grössere Anzahl (12—36) Blättchen zweiaxigen Glimmers von möglichst gleicher, sehr geringer Dicke derart aufeinander, dass die (zur Fläche der Blättchen etwa senkrecht stehende) optische Axenebene jedes neu hinzugefügten Blättchens gegen die des darunter liegenden um 120° im Sinne des Uhrzeigers (nach rechts) gedreht ist, so dreht diese Glimmercombination die Polarisationsebene eines senkrecht hindurchgehenden Strahls ebenfalls nach rechts: sie verhält sich im Polarisationsapparat ähnlich wie eine senkrecht zur Axe geschnittene Platte rechtsdrehenden Quarzes. Wurde im entgegengesetzten Sinne wendeltreppenähnlich aufgeschichtet, so ist die Combination linksdrehend. — *Sohncke* sieht die Ursache für das optische Drehungsvermögen von Krystallen und das Auftreten derselben in enantiomorphen Formen in einer inneren Structur derselben, welche einer

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

solchen Glimmercombination analog ist (Entwickel. einer Theorie d. Krystallstructur. 1879. § 41).

§ 118. **Pleochroismus.** Man versteht darunter die Eigenschaft pellucider Krystalle, im durchfallenden Licht nach verschiedenen Richtungen eine verschiedene Farbe oder eine abweichende Intensität derselben Farbe zu zeigen. Die Farbe eines solchen Krystalls kommt davon her, dass von dem auffallenden weissen Licht nur die Strahlen, welche eben seine Farbe bilden, durchgelassen, die anderen absorbirt oder verschluckt werden[1]). Da in den regulären Krystallen (sowie in den amorphen Körpern) diese Absorption nach allen Richtungen hin gleich ist, so können dieselben auch keinen Pleochroismus aufweisen. In den doppeltbrechenden Krystallen ist aber diese Absorption gewisser Lichtstrahlen nach den Hauptrichtungen ungleich, und für sie ist daher die Erscheinung des Pleochroismus nothwendig, welche sich in den optisch-einaxigen als Dichroismus, in den optisch-zweiaxigen als Trichroismus äussert. Diese Absorption steht im engsten Zusammenhang mit der Doppelbrechung. Wie die beiden einen doppeltbrechenden einaxigen Krystall durchlaufenden Strahlen einen abweichenden Brechungsquotienten besitzen, so erleiden sie auch eine verschiedene Absorption, und wie ferner der Brechungsquotient für den ordinären Strahl constant ist, der für den extraordinären aber mit der Richtung zur Hauptaxe wechselt, so ist auch der Absorptionscoëfficient für den ersteren constant, während er für den letzteren mit der Richtung variirt. In der Richtung, in welcher keine Doppelbrechung erfolgt, tritt daher auch keine Absorptionsverschiedenheit zweier Strahlen auf. Manche Krystalle, z. B. Turmaline, Berylle, Cordierite weisen die nach verschiedenen Richtungen stattfindenden Farbendifferenzen schon dem freien Auge im gewöhnlichen Tageslicht auf.

Die Schwingungsrichtungen, welche für eine bestimmte Farbe der grössten, mittleren und kleinsten Absorption entsprechen (die Axen der Absorption, wie man sie mit *Laspeyres* nennen könnte), sind in den dichroitischen Krystallen parallel und rechtwinkelig der Hauptaxe; unter den trichroitischen Krystallen entspricht in dem rhombischen System die verschiedene Absorption den drei Hauptelasticitätsaxen, welche bekanntlich hier mit den drei krystallographischen Axen zusammenfallen, weshalb denn hier rechtwinkelig auf den drei Hauptschnitten die Farbenverschiedenheit erscheint. Nach den Untersuchungen von *Laspeyres* (Z. f. Kryst. IV. 1880. 454) und *Ramsay* (ebendas. XIII. 1888. 97) fällt in monoklinen Krystallen zwar noch eine Absorptionsaxe mit derjenigen Hauptelasticitätsaxe zusammen, welche hier krystallographische Symmetrieaxe ist, wogegen die beiden anderen

1) Das Sonnenlicht, welches durch eine Platte z. B. von Granat gegangen ist, liefert bei der Untersuchung mit dem Prisma ein Spectrum, welches zahlreiche Unterbrechungen in der Form dunkler Bänder zeigt, zum Beweis, dass eine Anzahl verschiedener Lichtarten beim Durchgang durch die Platte völlig absorbirt worden ist, während die übrigbleibenden nach dem Austreten eine Mischfarbe erzeugen.

Wenn nun ein tetragonaler Zirkonkrystall in der Richtung der Hauptaxe durchblickt, rothbraun, senkrecht darauf durchblickt, spargelgrün erscheint, so kommt dies daher, dass die ordentlichen Strahlen, welche senkrecht zur Hauptaxe schwingen, absorbirt werden, mit Ausnahme derjenigen, welche eben zusammen das Braun liefern, während die ausserordentlichen, welche parallel der Hauptaxe schwingen, absorbirt werden bis auf solche, welche zusammen das Grün erzeugen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Absorptionsaxen, welche in der Symmetrieebene liegen, nicht mit den beiden übrigen optischen Hauptelasticitätsaxen zusammenzufallen brauchen. Im triklinen System braucht zwischen den drei Hauptabsorptionsrichtungen und den Hauptelasticitätsaxen überhaupt keine Coincidenz stattzufinden.

Haidinger hat zur Untersuchung der Erscheinungen ein besonderes Instrument, das Dichroskop, angegeben; dasselbe besteht im Wesentlichen aus einem länglichen Kalkspath-Rhomboëder, steckend in einer Hülse, welche an dem Ocularende eine vergrössernde Linse, an dem Objectivende eine Metallplatte mit kleiner quadratischer Oeffnung besitzt, die beim Durchblicken doppelt erscheint. Mittelst desselben kann man die nach verschiedenen Richtungen austretenden Farben in die beiden Strahlen *O* und *E* neben- und auseinander legen.

Durchblickt man mit vorgehaltenem Dichroskop einen optisch-einaxigen Krystall in der Richtung der optischen Axe, also senkrecht auf die Basis, so wird man zwei gleichgefärbte Quadratbilder wahrnehmen, da in dieser Direction keine Doppelbrechung stattfindet und die beiden Bilder von gleich (und zwar in der Ebene senkrecht zur Hauptaxe) schwingenden Strahlen (*O*) herrühren. Man nennt diesen Farbenton Farbe der Basis; sie ist also lediglich bedingt durch die Absorption, welche der ordentliche Strahl erfährt. Rechtwinkelig auf eine prismatische Fläche des Krystalls aber zerlegt das Dichroskop den Farbenton in zwei senkrecht auf einander polarisirte Strahlen verschiedener Färbung oder Intensität, von welchen der das eine Quadratbild erzeugende (*O*) wieder der Farbe der Basis entspricht, also parallel derselben schwingt, der andere aber, parallel der Hauptaxe schwingend (*E*), in dem zweiten Bilde die sog. Farbe der Axe zur Anschauung bringt. Nur wenn eine Diagonale des Kalkspathprismas mit der optischen Krystallaxe einen Winkel von 45° bildet, erscheinen die beiden Bilder gleichgefärbt. — Mit der Neigung der Schwingungsrichtung gegen die Hauptaxe geht die Farbe des ausserordentlichen Strahls allmählich in die Farbe des ordentlichen über. — Neuere Vervollkommnungen des *Haidinger*'schen Dichroskops haben Wesen und Zweck des sinnreichen kleinen Apparats nicht erheblich verändert.

Bei Objecten, welche in dünngeschliffenen Blättchen unter dem Mikroskop untersucht werden, pflegt man aber, wie zuerst *Tschermak* 1869 vorschlug, den Pleochroismus dadurch zu beobachten, dass man nur den unteren Nicol feststehend einfügt und eine Horizontaldrehung des Präparats vornimmt. Jene Farbengegensätze, welche man an den beiden Quadratbildchen des *Haidinger*'schen Dichroskops nebeneinander erhält, treten hier bei der Drehung nacheinander hervor. Indem man einmal die eine und einmal die andere Elasticitätsaxe des Krystalldurchschnitts mit dem Hauptschnitt des polarisirenden Nicols parallel stellt, werden in der Krystallplatte hintereinander die beiden, ihren Schwingungsrichtungen entsprechenden Absorptionsrichtungen hervorgerufen.

Liegt eine optisch-einaxige, senkrecht auf die Hauptaxe geschnittene Platte vor, so wird man bei der Drehung überhaupt keinen Farbengegensatz gewahren, da in dem Blättchen keine Doppelbrechung stattfindet und der Farbenton wieder blos bedingt wird von derjenigen Absorption, welche der ordentliche, in der Ebene senkrecht zur Hauptaxe schwingende Strahl *O* erfährt; man erhält also als constanten Farbenton die Farbe der Basis. Eine parallel der Hauptaxe vertical geschnittene Platte wird sich aber als dichroitisch erweisen; richtet man die darin gelegene krystallographische Hauptaxe *c* senkrecht auf den Nicolhauptschnitt, so erscheint die Platte mit derjenigen Farbe, welche der Absorption des ordentlichen Strahls (welcher wieder parallel der Basis schwingt) entspricht; man wird also hier abermals genau dieselbe Farbe vor sich haben, welche auch eine basische Platte überhaupt zeigt. Wird dagegen in der vertical geschnittenen einaxigen Platte die Hauptaxe *c* parallel mit dem Nicolhauptschnitt

gestellt, so offenbart sich die abweichende Absorption, welche dem ausserordentlichen (parallel der Hauptaxe schwingenden) Strahl E zukommt; letztere entspricht somit der Farbe der Axe. Um den Dichroismus einaxiger Krystalle zu prüfen, genügt daher eine parallel der Hauptaxe geschnittene Platte, indem sie beide Farben ergibt. Bildet die Hauptaxe c 45° mit dem Hauptschnitt des Nicols, so erscheint eine Farbe, welche zwischen derjenigen der Basis und der Axe gelegen ist.

Pennin zeigt z. B. dem unbewaffneten Auge parallel der Hauptaxe eine schön grüne (Basis-) Farbe, senkrecht dazu erscheint er braunroth; die dichroskopische Untersuchung zerlegt diesen letzteren Farbenton in die Basisfarbe Grün (O) und die Axenfarbe Orangeroth (E). Andere ausgezeichnet dichroitische Krystalle sind Apatit, Turmalin, Zirkon, Rutil, Sapphir in gewissen Varietäten. Bei dem hexagonalen Turmalin wird der ordentliche, senkrecht zur Hauptaxe schwingende Strahl ganz oder fast ganz absorbirt, der ausserordentliche, parallel derselben schwingende z. B. mit lichtgraulichblauer Farbe durchgelassen; steht in den Verticalschnitten die Hauptaxe c senkrecht auf dem Nicolhauptschnitt, so erscheint der Turmalin fast schwarz oder dunkelrothbraun. Da bei diesem negativ doppeltbrechenden Mineral $\mathfrak{a} = c$, und $\mathfrak{c}$ senkrecht auf c ist (vgl. S. 212), so kann man dies Verhalten auch durch die Angabe ausdrücken: $\mathfrak{a}$ lichtgraulichblau, $\mathfrak{c}$ fast vollkommen dunkel. Die grössere Stärke der Absorption wird auf die übliche Weise zum Ausdruck gebracht: es ist also bei dem Turmalin in dieser Hinsicht $O > E$ und $\mathfrak{c} > \mathfrak{a}$.

Im Allgemeinen besteht die *Babinet*'sche Regel noch immer zu Recht, dass dem Strahl mit stärkerer Geschwindigkeit (dem schwächer gebrochenen) eine geringere Absorption zukommt, als dem langsameren (stärker gebrochenen).

Bei den trichroitischen rhombischen Krystallen erfolgt die Farbenverschiedenheit nach den drei krystallographischen Axen oder was dasselbe sagt, nach den drei optischen Elasticitätsaxen. Man muss daher hier drei Axenfarben unterscheiden, d. h. die Farben, welche durch die Absorption der nach den drei Elasticitätsaxen schwingenden weissen Lichtstrahlen entstehen; je zwei und zwei Axenfarben liefern zusammengemischt die drei Flächenfarben, die man beim Durchblicken rechtwinkelig auf je ein Pinakoid im gewöhnlichen Tageslicht mit freiem Auge wahrnimmt. Schneidet man aus einem rhombischen Krystall ein rechtwinkeliges Parallelepiped (Fig. 320), in welchem z. B. $\mathfrak{a} > \mathfrak{b} > \mathfrak{c}$ die drei Elasticitätsaxen (mit den krystallographischen c, a und b zusammenfallend), A, B, C die darauf senkrechten Pinakoidflächen darstellen, so ist, wie die Zerlegung im Dichroskop darthut, die Farbe der Fläche A gemischt aus den beiden Axenfarben $\mathfrak{b}$ und $\mathfrak{c}$, die Flächenfarbe B gemischt aus $\mathfrak{a}$ und $\mathfrak{c}$, die Flächenfarbe C gemischt aus $\mathfrak{a}$ und $\mathfrak{b}$. So ist z. B. bei dem Cordierit $\mathfrak{a}$ blassgelb, $\mathfrak{b}$ graublau, $\mathfrak{c}$ dunkelblau und daher in Folge der betreffenden Mischung A blau, B blassblau, C gelblichweiss. Die Axenfarbe $\mathfrak{a}$ erscheint auf den Flächen B und C, $\mathfrak{b}$ auf A und C, $\mathfrak{c}$ auf A und B, wie Fig. 321 zeigt, in welcher $\mathfrak{a}$ durch ein gestricheltes, $\mathfrak{b}$ durch ein punktirtes, $\mathfrak{c}$ durch ein schwarzes Feld nebst den Schwingungen dargestellt ist. Mit Rücksicht auf die Stärke der Absorption ist daher bei dem Cordierit $\mathfrak{c} > \mathfrak{b} > \mathfrak{a}$, oder bezogen auf die hier mit den Elasticitätsaxen zusammenfallenden krystallographischen Axen: Makrodiagonale $b >$ Brachydiagonale $a >$ Verticalaxe c. Bei optisch zweiaxigen Körpern genügen also zwei Platten zur Bestimmung der drei Farben, welche Schwingungen parallel den drei Elasticitätsaxen entsprechen. — Die drei Flächenfarben des Diaspors sind pflaumenblau, violblau, spargelgrün. — Da ein Krystall in jeder Richtung, welche nicht mit einem der drei Hauptschnitte zusammenfällt, eine zwischen derjenigen der drei Axenfarben liegende Absorption besitzt, so existiren also in ihm eigentlich alle auf diese Weise möglichen Farbentinten,

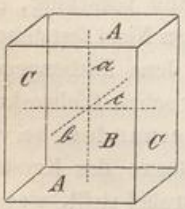


Fig. 320.

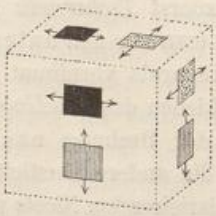


Fig. 321.

und es sind daher die Ausdrücke Dichroismus und Trichroismus strenggenommen nicht ganz richtig.

Bei Angaben über den Pleochroismus sollte immer die Dicke der untersuchten Platte hervorgehoben werden, da diese auf den Grad des Pleochroismus, sowie auf die Art der Farbe von Einfluss ist.

Sénarmont gelang es zuerst, Krystalle einer an sich farblosen Substanz künstlich mit Pleochroismus auszustatten, indem er dieselben aus einer gefärbten Lösung gefärbt entstehen liess, z. B. Krystalle von salpetersaurem Strontium durch beigemischte Lösung von Fernambukholz.

Wird eine senkrecht auf eine optische Axe geschnittene Platte eines Krystalls mit kräftigem Pleochroismus dicht vor das Auge gehalten und gegen den hellen Himmel gerichtet, so gewahrt man beim Durchblicken mit freiem Auge auf farbigem Grunde zwei dunkle Büschel (*Haidinger*'s idiophane Axenbilder, Polarisationsbüschel, epoptische Figuren), welche gewissermassen eine veränderte Form von Axenbildern sind; sie besitzen die Lage der im convergenten polarisirten Licht erscheinenden dunkeln Hyperbeln, erweisen sich indessen viel breiter, sind symmetrisch zur Ebene der optischen Axen gerichtet und durch einen hellen Zwischenraum getrennt. Eine Spaltungslamelle von Epidot (parallel 0P, senkrecht auf eine opt. Axe) zeigt so zwei braune Büschel auf grünem Grunde, eine orientirte Platte von brasilianischem Andalusit braunrothe Büschel auf blassgrünem Grunde, eine solche von Cordierit wohl dunkelblaue Büschel auf hellblauem Grunde (vgl. *Bertin*, Z. f. Kryst. III. 1879. 448, auch ebendas. 645. 646). Bei basischen Platten einaxiger Krystalle erscheint wohl ein abweichend gefärbter Fleck.

§ 119. **Farbenwandlung, Asterismus, Lichtfiguren und Irisiren.** Einige krystallinische Mineralien zeigen nach gewissen Richtungen sehr lebhafte, buntfarbige oder schillernde Lichtreflexe, welche in den angrenzenden Richtungen schwächer werden, und weiterhin gänzlich verschwinden; man hat diese Erscheinung mit dem Namen Farbenwandlung belegt, während sie vielleicht richtiger Farbenschiller genannt werden könnte. Sie kommt z. B. auf den brachypinakoidalen Spaltungsflächen buntfarbig am Labradorit und fast kupferroth am Hypersthen vor. Varietäten des Adulars und des Chrysoberylls lassen gleichfalls nach bestimmten Richtungen einen bläulichen Lichtschein wahrnehmen.

H. Vogelsang hat gezeigt, dass der blaue Lichtschein der Substanz des Labradorits eigenthümlich angehört und wahrscheinlich als ein Polarisationsphänomen zu erklären ist, hervorgebracht vermöge des Durchgangs gebrochener Strahlen aus einer Zwillingslamelle in eine andere, deren Schwingungsebenen mit jener nicht zusammenfallen; während die gelben und rothen Reflexe durch zahlreiche interponirte schwarze Mikrolithen und gelblichrothe Lamellen, die grünen und violetten Reflexe aber durch eine Vereinigung der letzteren mit dem blauen Lichtschein erzeugt werden (*Archives Néerlandaises*, tome III. 1868). Die Mikrolithen (längsgerichtet parallel der Kante $P:M$) und die Lamellen (eingelagert parallel M) gehören wahrscheinlich dem Titaneisen und Eisenglanz an. *Th. Scheerer* that dar, dass die Erscheinung am Hypersthen durch zahlreiche braune bis schwarze Lamellen und nadelförmige Gebilde eines fremden Minerals bedingt ist, welche metallartigen Glanz besitzen. Dieselben liegen wenigstens grösstentheils mit ihren platten Tafelflächen parallel der vollkommensten Spaltbarkeit ($\infty\breve{P}\infty$) und sind mit ihrer Längserstreckung meist senkrecht zur Verticalaxe; eine geringere Menge hat ihre Hauptausdehnung parallel mit letzterer oder ist mit ihren längeren Kanten ca. 30° gegen die Verticalaxe geneigt. Diese Interpositionen bestehen wohl am wahrscheinlichsten aus primärem Titaneisen, nicht, wie früher vermuthet wurde, aus Diallag oder Brookit oder Pseudobrookit.

Mit dieser Farbenwandlung sehr nahe verwandt ist das Schillern des sogenannten Sonnensteins, welches nach *Scheerer* durch eine ähnliche Interponirung vieler

sehr dünner lichtgelber, orangefarbiger, blutrother und schwarzer Eisenglanzschüppchen (nach *Kenngott* durch Goethitschuppen) verursacht wird; wie denn überhaupt eine solche Interponirung mehrfach vorkommt und derartige Lichtphänomene zur Folge hat. *E. Reusch* erklärte die Schillererscheinung gewisser Krystalle aus sehr feinen, die ganze Masse des Krystalls durchsetzenden Spaltungs- oder Absonderungs-Klüften, welche gegen die äussere Fläche geneigt sind, und bewies die Richtigkeit dieser Ansicht durch Experiment und Rechnung. An Feldspathen entspricht ein ausgezeichneter eigenthümlicher Farbenschiller oder Lichtschein einer feinen Theilbarkeit parallel einem steilen positiven Querdoma von der Form $7\breve{P}\infty$ oder $8\breve{P}\infty$. — *Judd* fasst die Schillererscheinungen (»Schillerization«), wie sie beim Labradorit, Hypersthen, Bronzit, Diallag u. s. w. vorkommen, als Resultat eines secundären Vorgangs auf: in grosser Erdtiefe habe der dort herrschende Druck dem circulirenden Wasser eine solche gesteigerte Lösungsfähigkeit verliehen, dass, ähnlich den künstlichen Aetzfiguren, Höhlungen von der Form negativer Krystalle längs gewissen krystallographischen Ebenen (den »Ebenen chemischer Schwäche«) entstanden und in diese Höhlungen nun gewisse Substanzen, die aus dem Mineral selbst oder aus benachbarten Mineralien ausgelaugt wurden, theilweise abgesetzt seien, ein Process, mit welchem sich ein schillernder Glanz auf den Flächen verknüpfe (vgl. darüber *F. Zirkel*, Lehrb. d. Petrogr. I. 1893. 164).

Was das bunte Farbenspiel des edlen Opals betrifft, so hat *Brewster* angegeben, dass in seiner Masse eine Menge mikroskopischer Poren lagenweise nach drei verschiedenen Richtungen vertheilt, und dass die Verschiedenheit der Farben von der abweichenden Grösse dieser Poren abhängig sei. *Behrens* konnte indessen von solchen Poren nichts wahrnehmen, und sucht die Ursache des Farbenspiels in eingebetteten, sehr dünnen und oft gekrümmten reflectirenden Opal-Lamellen von etwas anderer Brechbarkeit (Sitzungsber. d. Wien. Akad., Bd. 64, Decbr. 1871). *Tschermak* möchte die Erscheinung von der Gegenwart feiner Sprünge und Risse herleiten.

An die Farbenwandlung schliesst sich ferner auch, wegen seiner Abhängigkeit von der Krystallform oder Textur, der Asterismus an. So nennt man nämlich den eigenthümlichen, nach bestimmten Richtungen orientirten Lichtschein, welchen gewisse Mineralien im reflectirten oder transmittirten Licht erkennen lassen, und namentlich manche Sapphirkrystalle (die sogenannten Sternsapphire) in der Form eines sechsstrahligen Sternes zeigen, wenn man durch eine basische Platte des rhomboëdrischen Minerals eine Lichtflamme betrachtet, oder auf den halbkugelig über die Hauptaxe geschliffenen Sapphir blickt. *Volger* hat ausgeführt, dass in diesem Falle die Erscheinung in einer vielfach wiederholten, lamellaren Zwillingsbildung begründet sei, während nach *Tschermak* der Effect höchst wahrscheinlich von ungemein feinen röhrenförmigen Hohlräumen herrührt, welche parallel den Seiten des sechsflächigen Prismas auftreten. Auch gehört hierher der schielende Lichtstreifen, welchen die feinfaserigen Varietäten des Chrysotils, Faserkalks, Fasergypses u. a. Mineralien quer über die Fasern, und der kreisförmige Lichtschein, welchen sie zeigen, wenn sie halbkugelig geschliffen werden.

Dieselben Erscheinungen wiederholen sich in der unter dem Namen Katzenauge bekannten, von parallelen Amiantfasern durchwachsenen (oder vielleicht auch bisweilen blos feinfaserigen) Varietät des Quarzes. In allen diesen Fällen sind sie in der faserigen Textur der betreffenden Mineralien begründet. Ihre Theorie ist nahe dieselbe, wie die der sogenannten Höfe oder Halos. Vgl. *Volger* über Asterismus. Sitzungsber. d. Wien. Akad. Bd. 19. 1856. 103; *Babinet*, Comptes rendus, 1837. 762,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

G. Rose fand den sehr ausgezeichneten sechsstrahligen Asterismus eines zweiaxigen Glimmers von South-Burgess in Canada, welcher beim Betrachten einer Kerzenflamme durch das Glimmerblatt hervortritt, veranlasst durch die Interponirung zahlloser kleiner, breitsäulenförmiger Krystalle, deren Axen sich meist unter 60° schneiden, und welche nach *Des Cloizeaux* ebenfalls Glimmer sind, womit sich *Rose* später einverstanden erklärte, während er früher geneigt war, sie für Disthen zu halten. *Tschermak* stellt indessen, wohl mit Recht, die Glimmernatur dieser Einlagerungen in Abrede. Der von Tafeln braunen Phlogopit-Glimmers aus Ontario dargebotene scharfe Asterismus (6 hellere, 6 schwächere Strahlen) wird durch ein Gitter farbloser nadelförmiger Rutilprismen bedingt, welche den Flächen ∞P, ∞P∞, ∞P3, ∞P∞ des Glimmers parallel eingelagert sind. In anderen Glimmern erzeugen haarförmige Gebilde von Turmalin durch ihre regelmässige Anordnung den Asterismus. Nach *H. Vogelsang* zeigen Dünnschliffe des Labradorits, welche der Fläche ∞P∞ parallel sind, wenn man eine Kerzenflamme durch sie betrachtet, einen vielstrahligen Stern, in welchem besonders zwei Strahlen sehr hell sind; auch er erklärt diesen Asterismus durch die Wirkung der sehr zahlreich interponirten Mikrolithen.

Hält man eine künstlich geätzte Krystallfläche (§ 92), welche mit kleinen ebenflächigen Eindrücken bedeckt ist, nahe vor das Auge, und betrachtet darauf das Bild einer etwas entfernter befindlichen Flamme, so gewahrt man sich kreuzende Lichtstreifen, oder mehrstrahlige Sterne. Diese eigenthümlichen orientirten Reflexe werden die *Brewster*'schen Lichtfiguren genannt. Jede Wandung des Aetzeindrucks erzeugt einen Reflex, und da die Eindrücke unter einander parallel sind, so erscheint die Lichtfigur mit so viel Aesten, als Flächen an den Vertiefungen vorhanden sind. Da letztere ferner in ihrer Symmetrie mit derjenigen der geätzten Fläche übereinzustimmen pflegen, so entspricht auch die Gestalt der Lichtfigur selbst dieser Symmetrie. Krumme Lichtbögen erscheinen, wenn bei den Aetzeindrücken stumpf zu einander geneigte Flächen zu einer Krümmung verschwimmen.

Anstatt an den geätzten Krystallflächen selbst, kann man die Lichtfiguren gleichfalls an davon angefertigten Hausenblase-Abdrücken wahrnehmen, welche vermöge ihrer Durchsichtigkeit auch die Betrachtung derselben im durchfallenden Licht gestatten. In ähnlicher Weise ergeben auch feindrusig ausgebildete natürliche Krystallflächen verschiedengestaltete, aber gesetzmässig orientirte Lichtreflexe. — Ueber die Lichtfiguren vgl. *Brewster*, Edinburgh Transactions Bd. 14. 1837 und Philos. Magaz. 1853; *v. Kobell*, Sitzgsber. d. bayer. Akad. 1863. 60; *Haushofer*, Asterismus u. Lichtfig. des Calcits, München 1865; *Fr. Solger*, N. Jahrb. f. Min. Beilageb. XIII. 1901. 469.

Aus dem Vorstehenden geht hervor, dass es sich bei den Phänomenen des Farbenschillers, des Asterismus, der Lichtfiguren um Lichtreflexe an kleinen Flächen handelt, welche einerseits innerlich an eingelagerten festen fremden Körpern oder an Hohlräumen oder an Grenzflächen von Zwillingslamellen oder an den das Mineral zusammensetzenden Fasern auftreten, anderseits aber in Folge einer eigenthümlichen Beschaffenheit der Oberfläche dort vorhanden sind.

Die von *Stokes* als Fluorescenz bezeichnete Farbenerscheinung kommt im Mineralreich nur selten vor, obgleich sie zuerst und besonders auffallend am Flussspath (Fluorit) beobachtet wurde. Sie besteht darin, dass das Innere des Körpers unter dem Einfluss der Bestrahlung Licht von einer anderen Farbe aussendet als die Oberfläche, indem der bei der Absorption scheinbar verloren gehende Lichttheil in Licht von einer anderen (meist grösseren) Wellenlänge umgesetzt wird.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Lässt man in Flussspath von Cumberland, welcher im durchfallenden Licht meergrün, im auffallenden schön blau erscheint, im dunkeln Raum durch eine Sammellinse einen Lichtkegel eintreten, so leuchtet dieser in dem oberen Theile der Substanz mit prächtig blauer Farbe. Geht dieses Licht auch durch einen zweiten Flussspath, so wird in letzterem das Blau nicht mehr erregt. Mancher sicilianische Bernstein kann blau, Erdöl grün fluoresciren. Kalkspath fluorescirt bei hinreichend starker Bestrahlung durch Sonnen- oder elektrisches Licht mit schön ziegelrother Farbe; am stärksten wird die Fluorescenz durch die grünen Strahlen erregt, rothe Strahlen sind wirkungslos.

Das Irisiren endlich ist eine Erscheinung, welche lediglich durch das Dasein feinster Klüfte und Risse bedingt wird, längs welcher sich sehr zarte Blättchen abgelöst haben, die das Licht zur Interferenz bringen, und daher, wie dünne Lamellen überhaupt, halbkreisförmig oder bogenförmig verlaufende, concentrische regenbogenähnliche Farbenzonen erzeugen. Sie entstehen besonders leicht in gut spaltbaren krystallinischen Mineralien parallel den oft perlmutterglänzenden Spaltungsflächen, können aber auch nach anderen Richtungen und ebenso in Mineralien von gar keiner oder von schwieriger Spaltbarkeit hervorgebracht werden.

6. Glanz, Farbe und Pellucidität der Mineralien überhaupt.

§ 120. **Allgemeine Bemerkungen über diese Eigenschaften.** Glanz, Farbe und Pellucidität sind drei optische Eigenschaften, welche für die krystallinischen und amorphen Mineralien zugleich betrachtet werden können, und wegen ihrer leichten und sicheren Wahrnehmbarkeit einen grossen Werth besitzen, weshalb sie durchaus nicht vernachlässigt werden dürfen, wenn sie auch keine schärfere, mathematisch-physikalische Bestimmung zulassen, wie dies mit den meisten bisher betrachteten Eigenschaften der Fall war.

Unter dem Glanz der Körper versteht man die, durch die spiegelnde Reflexion des Lichtes von ihren mehr oder weniger glatten Oberflächen, in Verbindung mit zerstreutem Licht hervorgebrachte Erscheinung, sofern man dabei von der Farbe abstrahirt.

Dove hat gezeigt, dass auch das von den Körpern zerstreute Licht bei der Erzeugung des Glanzes mit im Spiele ist. Schon die qualitativen Unterschiede des Metallglanzes, Glasglanzes u. s. w. deuten darauf hin, dass die Mitwirkung eines von den Körpern ausgehenden Lichtes erfordert wird, und dass das blos äusserlich gespiegelte Licht zur Hervorbringung des Glanzes nicht ausreicht.

Unter der Farbe der Körper versteht man dagegen diejenige eigenthümliche Erscheinung, welche das von ihnen reflectirte oder transmittirte Licht, abgesehen von Glanz und Helligkeit, zu verursachen pflegt.

Die Pellucidität endlich ist die Fähigkeit eines Körpers, das Licht zu transmittiren; das Gegentheil dieser Eigenschaft lässt sich als Opacität bezeichnen.

Die qualitativen Verschiedenheiten, welche in Betreff des Glanzes und der Farbe stattfinden, lassen sich nicht durch Begriffe, sondern nur durch unmittelbare Wahrnehmung zum Bewusstsein bringen, weil die Modalität, das So oder Anders ihrer Erscheinung lediglich in der Art und Weise der durch sie erregten sinnlichen Affection begründet ist. Daher kann man die mancherlei Varietäten des Glanzes und der Farbe nur empirisch kennen lernen, indem man sie wiederholt an solchen Körpern beobachtet, an denen sie besonders ausgezeichnet vorkommen.

§ 121. **Metallischer und nicht-metallischer Habitus.** Man gelangt nun leicht zur Anerkennung zweier Hauptverschiedenheiten des Eindrucks, welche sich

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

sowohl bei dem Glanz als auch bei der Farbe geltend machen, und von grosser Bedeutung für die Physiographie der anorganischen Körper erweisen. Es sind dies die Verschiedenheiten des metallischen und des nicht-metallischen Glanzes, der metallischen und der nicht-metallischen Farbe; Verschiedenheiten, welche zum Theil dem Gegensatz der Opacität und Pellucidität entsprechen. Zwar ist es nach dem Vorigen nicht wohl möglich, diesen Unterschied durch Definitionen auszudrücken; allein die Anschauung nöthigt zu seiner Anerkennung, und man muss sich daher empirisch die Kenntniss von Dem verschaffen, was man unter der einen oder der anderen Art des Glanzes und der Farbe versteht.

Diese Hauptverschiedenheiten beider Eigenschaften, sowie die Verschiedenheit des pelluciden und opaken Zustandes begründen nun aber den wichtigen Gegensatz des metallischen und des nicht-metallischen Habitus. Man schreibt nämlich einem Körper metallischen Habitus zu, wenn derselbe zugleich metallischen Glanz, metallische Farbe und völlige Undurchsichtigkeit zeigt; nicht-metallischen Habitus dagegen, wenn sowohl der Glanz als die Farbe nicht-metallisch sind, und ausserdem noch Pellucidität vorhanden ist. Halbmetallischer oder metalloidischer Habitus findet statt, wenn nur zwei jener Eigenschaften vorliegen, besonders aber, wenn der Körper nicht völlig opak ist.

Dieser Gegensatz des metallischen und nicht-metallischen Habitus gibt sich dem einmal damit vertraut gewordenen Auge in jedem Falle auf den ersten Blick zu erkennen, lässt sich an dem kleinsten Körnchen wie an grösseren Stücken eines Minerals mit Leichtigkeit und Sicherheit auffassen, und gewinnt daher nicht nur für die Diagnose der einzelnen Mineralarten, sondern auch für die Charakteristik grösserer Gruppen eine hohe Wichtigkeit.

Wenn sich auch nicht läugnen lässt, dass Uebergänge aus dem metallischem in den nicht-metallischen Habitus vorkommen, wie ja solche durch den metalloidischen Habitus zugestanden werden, so tritt doch in der Mehrzahl der Fälle jener Gegensatz so bestimmt hervor, dass man ihn nicht fallen lassen darf. Er ist übrigens derselbe, welcher bekanntlich in der Chemie die erste Eintheilung der Elemente begründete, und auch auf dem Gebiet dieser Wissenschaft noch einen gewissen Werth behauptet, obgleich er sich für einzelne Elemente nicht ganz scharf durchführen lässt. Dieser Unterschied gewinnt aber auch Bedeutung für viele chemische Verbindungen, und ganz besonders für die Mineralien, bei denen der metallische Habitus in der Regel auch mit grossem specifischem Gewicht und mit gewissen Modalitäten der chemischen Constitution verbunden ist.

§ 122. **Grade des Glanzes.** Der Glanz zeigt Verschiedenheiten nach Quantität und Qualität, nach der Stärke und Art. Seine Stärke ist zwar von mancherlei Zufälligkeiten (z. B. von Glätte oder Rauhigkeit, Compactheit oder Lockerheit, Grösse des Korns) abhängig und daher oft von geringerer Wichtigkeit; indessen benutzt man zur Unterscheidung der verschiedenen Grade folgende Ausdrücke:

1) Starkglänzend; das Mineral reflectirt das Licht sehr vollständig, und gibt in Krystallflächen oder Spaltungsflächen scharfe und lebhafte Spiegelbilder der Gegenstände; Zinkblende, Bergkrystall, Kalkspath.

2) Glänzend; die Reflexion ist weniger intensiv und die Bilder sind nicht scharf und lebhaft, sondern nebelig und matt; dieser Grad kommt sehr häufig vor.

3) Wenigglänzend; die Reflexion ist noch schwächer und gibt nur einen

allgemeinen Lichtschein, in welchem die Bilder der Gegenstände gar nicht mehr zu unterscheiden sind; ebenfalls sehr häufig.

4) Schimmernd; auch der allgemeine Lichtschein ist verschwunden, und es treten nur einzelne Punkte lebhafter hervor; Bleischweif, dichter Kalkstein, Alabaster, überhaupt die meisten mikrokrystallinischen Aggregate.

5) Matt; das Mineral ist ohne allen Glanz, wie z. B. Kreide, Thon, Kaolin.

§ 123. **Arten des Glanzes.** Die Art des Glanzes, aus welcher ein, dem gespiegelten Licht, durch Beimischung zerstreuten Lichtes, von dem reflectirenden Körper ertheilter eigenthümlicher Charakter hervorleuchtet, ist jedenfalls wichtiger, als der Grad desselben. Es scheint übrigens hinreichend, folgende, durch allmähliche Abstufungen in einander verlaufende Arten zu unterscheiden:

1) Metallglanz; der sehr intensive und ganz eigenthümliche Glanz der Metalle; er ist stets mit relativ vollkommener Reflexion sowie völliger Undurchsichtigkeit verbunden und wichtig als einer der Factoren des metallischen Habitus. Man unterscheidet wohl noch vollkommenen und unvollkommenen Metallglanz, welcher letztere schon anderen Arten des Glanzes mehr oder weniger genähert und recht ausgezeichnet am Anthracit zu beobachten ist.

2) Diamantglanz; der ebenfalls sehr intensive und lebhafte Glanz des Diamants, welcher auch an manchen Varietäten der Zinkblende, des Bleicarbonats u. a. Mineralien vorkommt; bei sehr geringen Graden der Pellucidität nähert er sich oft dem Metallglanz und heisst dann metallartiger Diamantglanz.

3) Glasglanz; der Glanz des gewöhnlichen Glases; findet sich am Quarz, Beryll und sehr vielen anderen Mineralien; wohl die häufigste Art des Glanzes.

4) Fettglanz; der Glanz eines mit einem fetten Oel bestrichenen Körpers; sehr ausgezeichnet im frischen Bruch des Eläoliths, Schwefels (auch Pechsteins).

5) Perlmutterglanz; der eigenthümliche milde Glanz der Perlmutter; Gyps, Schaumkalk, Stilbit, überhaupt häufig auf solchen Flächen, denen eine sehr vollkommene Spaltbarkeit oder lamellare Zusammensetzung entspricht, zumal bei geringeren Graden der Durchsichtigkeit; er ist die Folge von Totalreflexion des Lichtes an zarten, mit Luft erfüllten Blätterdurchgängen. Eine glasglänzende Glimmertafel wird durch Biegung perlmutterglänzend, wenn dabei eine Aufblätterung feiner Theilchen erfolgt. Bisweilen nähert sich, falls das Mineral eine Farbe trägt, dieser Glanz dem Metallglanz und erscheint dann als metallartiger Perlmutterglanz; Hypersthen, Glimmer.

6) Seidenglanz; eine wenig intensive, oft nur schimmernde Abart des Glanzes, welche begründet ist in der Reflexion oder Beugung des Lichtes an vielen parallelen Fasern oder an zwei sich durchschneidenden Spaltungsrichtungen; Amiant, Fasergyps.

Nach *Haidinger* wird der Grad des Glanzes durch die mehr oder weniger vollkommene Ebenheit und Politur der Oberfläche, die Art des Glanzes durch die Strahlenbrechung und Polarisation bestimmt, welche die Körper ausüben. Glatte Krystallflächen sollen nur drei Arten des Glanzes, nämlich Glasglanz, Diamantglanz und Metallglanz zeigen, indem der Fettglanz und Perlmutterglanz bei vollkommen glatten Flächen homogener Krystalle gar nicht vorkommt. Fettglanz ist stets ein schwächerer, mit geringer Pellucidität, mit Zurücktreten einer Spaltbarkeit sowie mit kleinmuscheligem Bruch verbundener Glanz, welcher sich an den Glasglanz und Diamantglanz anschliesst. Der

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Perlmutterglanz aber ist nicht die reine Spiegelung von der Oberfläche, sondern das Resultat der Spiegelung vieler über einander liegender Lamellen eines durchsichtigen Körpers. Die Art des Glanzes ist aber auch eine Function des Refractionsvermögens; daher zeigen Körper mit geringem Brechungsquotienten (1,3—1,8) Glasglanz, solche von stärkerer Brechung (1,9—2,5) Diamantglanz, endlich solche von sehr starkem Brechungsvermögen (2,5 und darüber) Metallglanz.

Krystallographisch gleichwerthige Flächen verhalten sich rücksichtlich der Stärke und Art des Glanzes meistentheils gleich; wie anderseits bei der nämlichen Substanz der Glanz ungleichwerthiger Flächen verschieden ist, zeigen z. B. Apophyllit und Kalkspath, deren basische Endflächen Perlmutterglanz, deren Prismen Glasglanz besitzen. Diese charakteristische Differenz des Glanzes erleichtert oft nicht nur die Deutung der Flächen, sondern auch die Erkennung des Minerals. Theoretisch dürfte der Glanz aller ungleichwerthigen Flächen eine Verschiedenheit besitzen, deren verschwindende Feinheit aber meistens unserer Wahrnehmung entgeht.

§ 124. **Unterschied der farbigen und der gefärbten Mineralien.** Die sämmtlichen Mineralien zerfallen rücksichtlich der Fähigkeit, das Licht farbig zu reflectiren oder zu transmittiren, in folgende drei Abtheilungen:

1) Farbige oder idiochromatische Mineralien; es sind solche, die in allen Formen ihres Vorkommens eine sehr bestimmte Farbe zeigen, welche ihrer Substanz wesentlich angehört, davon untrennbar ist, und daher für alle Varietäten als eine charakteristische Eigenschaft zu betrachten ist; Metalle, Kiese, Glanze, viele Metalloxyde und metallische Salze.

2) Farblose Mineralien; solche, die in der reinsten Form ihres Vorkommens, oder in ihrer normalen Ausbildung ohne alle Farbe, also wasserhell oder weiss sind; Eis, Steinsalz, Kalkspath, Quarz, Adular, überhaupt viele Haloidsalze und Sauerstoffsalze mit nicht schwermetallischen Basen.

3) Gefärbte oder allochromatische Mineralien; solche Varietäten farbloser Mineralien, welche theils durch chemisch aufgelöste oder mechanisch beigemengte Pigmente (z. B. Metalloxyde, Kohlenstoff, bituminöse Substanzen, Partikel farbiger Mineralien), theils durch die Zumischung isomorpher farbiger Substanzen eine Färbung erhalten haben[1]). Ihre Farbe kann daher eine sehr verschiedene sein und wird niemals das Mineral überhaupt, sondern nur gewisse Varietäten desselben charakterisiren. So sind z. B. durch zufällige Pigmente gefärbt alle nicht-farblosen Varietäten von Quarz, Kalkspath, Flussspath, Gyps, Feldspath; durch das Eintreten isomorpher farbiger Bestandtheile entstehen die zahlreichen grünen, braunen, rothen, schwarzen Varietäten vieler Silicate, welche in anderen Varietäten farblos sind: Pyroxen, Amphibol, Granat.

Der Malachit ist als solcher grün-farbig, der Smaragd (durch Chromgehalt) grüngefärbt. — Ist die färbende Substanz in bedeutender Menge zugegen, so kann sie

---

1) Die gefärbten Krystalle, die trotz der Färbung völlig homogen sind, indem auch bei stärkster Vergrösserung keine körperlichen pigmentirenden Einschlüsse in farbloser Substanz hervortreten, werden von *van't Hoff* zu den »festen Lösungen« gezählt. So gelten auch die gefärbten Krystalle von Rutil und Zinnstein, welche Eisenoxyd enthalten, als feste Lösungen von Fe^2O^3 in TiO^2 und SnO^2.

Ueber die Ursachen der Färbung, insbesondere ob dieselbe auf organische oder unorganische Substanzen zurückzuführen, herrscht zur Zeit für manche Mineralien noch Unsicherheit; vgl. z. B. die entgegenstehenden Angaben von *Weinschenk* (Z. d. geol. Ges. XXXXVIII. 1896. 704; Min. u. petr. Mitth. XIX. 1900. 144), sowie von *v. Kraatz-Koschlau* u. *Wöhler*, ebendas. XVIII. 1899. 304. 447, von *Koenigsberger* ebendas. 148, von *Nabl* ebendas. 273.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

andere physikalische und chemische Eigenschaften, z. B. specifisches Gewicht, Härte, Löthrohrverhalten, beeinflussen. Freilich reicht oft eine höchst spurenhafte Quantität derselben hin, eine recht intensive Färbung hervorzubringen, deren Ursache nachzuweisen dann der chemischen Analyse schwer fällt. So z. B. werden die prachtvoll rothen, gelben, grünen, blauen Farben des Flussspaths durch die Gegenwart weniger hundertstel Procent eines dilut vorhandenen Kohlenwasserstoffs hervorgebracht. Die braunen Desmine und Chabasite von Arendal und Striegau in Schlesien sind nach *Websky* ebenfalls durch organische Substanz gefärbt; die Chabasite des letzteren Fundorts färben sich beim Erhitzen im geschlossenen Rohr schwärzlich und lassen eine kleine Menge einer Theersubstanz überdestilliren.

Liegt ein Pigment vor, welches durch Erhitzen zur Verflüchtigung gelangt, so kann dadurch einem gefärbten Mineral seine Färbung benommen werden. Anderseits färbt sich z. B. farbloses, eine Spur von Eisen haltendes Steinsalz beim Erhitzen in *K*- oder *Na*-Dämpfen blau (*Kreutz* und *Giesel*). Auch Kathodenstrahlen färben das Steinsalz, aber nur oberflächlich, blau. Die Glieder der Haüyngruppe werden durch einfaches Erhitzen (*H. Vogelsang*) oder durch Erhitzen in Schwefeldampf (*A. Knop*) schön blau gefärbt.

§ 125. **Arten der metallischen und nicht-metallischen Farben.** Von metallischen Farben werden folgende unterschieden:

Rothe: kupferroth; gelbe: bronzegelb, messinggelb, goldgelb, speisgelb; braune: tombakbraun; weisse: silberweiss, zinnweiss; graue: bleigrau (und zwar rein, weisslich, röthlich, schwärzlich bleigrau), stahlgrau; schwarze: eisenschwarz.

Die nicht-metallischen Farben lassen sich mit *Werner* unter die acht Hauptfarben weiss, grau, schwarz, blau, grün, gelb, roth und braun bringen, deren jede durch eine Varietät, als die reinste Charakterfarbe repräsentirt wird, während die übrigen Varietäten eine Beimischung anderer Farben zeigen. Die von *Werner* hervorgehobenen Varietäten sind folgende[1]):

a) weisse Farben: schneeweiss, röthlichweiss, gelblichweiss, grünlichweiss, bläulichweiss, graulichweiss;
b) graue Farben: aschgrau, grünlichgrau, bläulichgrau, röthlichgrau, gelblichgrau, rauchgrau (bräunlichgrau), schwärzlichgrau;
c) schwarze Farben: graulichschwarz, sammtschwarz, bräunlichschwarz (pechschwarz), röthlichschwarz, grünlichschwarz (rabenschwarz), bläulichschwarz;
d) blaue Farben; schwärzlichblau, lasurblau, violblau, lavendelblau, pflaumenblau, berlinerblau, smalteblau, indigblau, himmelblau;
e) grüne Farben: spangrün, seladongrün, berggrün, lauchgrün, smaragdgrün, apfelgrün, pistaziengrün, schwärzlichgrün, olivengrün, grasgrün, spargelgrün, ölgrün, zeisiggrün;
f) gelbe Farben: schwefelgelb, strohgelb, wachsgelb, honiggelb, citrongelb, ockergelb, weingelb, isabellgelb, erbsengelb, pomeranzengelb;
g) rothe Farben: morgenroth, hyacinthroth, ziegelroth, scharlachroth, blutroth, fleischroth, carminroth, cochenillroth, rosenroth, carmoisinroth, pfirsichblüthroth, colombinroth, kirschroth, bräunlichroth;
h) braune Farben: röthlichbraun, nelkenbraun, haarbraun, kastanienbraun, gelblichbraun, holzbraun, lederbraun, schwärzlichbraun.

Jede besondere Farbe ist verschiedener Intensitäten oder Abstufungen fähig, zu deren Bezeichnung die Beiworte hoch, tief, licht, dunkel, blass gebraucht werden, und welche zum Theil Uebergänge aus einer Farbe in eine andere verwandte

1) Die Charakterfarbe ist jedesmal gesperrt gedruckt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

vermitteln. Neuerdings bezieht man sich vielfach auf die »Internationale Farbenscala von *Radde* in Hamburg«, welche sehr scharfe Bezeichnungen gestattet.

§ 126. **Mehrfache Färbung und Farbenzeichnung.** Bei den gefärbten Mineralien ist auch die, zuweilen vorkommende zweifache oder mehrfache Färbung sowie die sogenannte Farbenzeichnung zu berücksichtigen. Gewöhnlich zeigt zwar ein und dasselbe Individuum in seiner ganzen Ausdehnung auch nur eine und dieselbe Farbe; bisweilen jedoch kommen nicht nur verschiedene Nüancen einer und derselben Hauptfarbe, sondern sogar verschiedene Hauptfarben an einem und demselben Krystall vor. Dabei verschwimmen die beiden Farben entweder unregelmässig in einander, oder ihre Grenze hat einen regelmässigen Verlauf und geht dann gewissen äusserlich auftretenden oder möglichen Krystallflächen parallel. Im letzteren Falle fand die Ablagerung der verschiedenen färbenden Stoffe durch die Krystallisationskraft in einer besonderen Richtung statt, oder sie steht mit dem successiven schalenförmigen Wachsthum der Krystalle im Zusammenhang (vgl. § 68).

So sind Bergkrystalle an einem Ende wasserhell, am anderen gefärbt, Diopside, Berylle, Turmaline, Pyromorphite an beiden Enden anders gefärbt; Flussspathe bestehen aus abwechselnden weissen und blauen, Schwerspathe aus weissen und rothen umhüllenden Schalen.

Weit häufiger findet sich diese mehrfache Färbung an Aggregaten, zumal von mikro- und kryptokrystallinischer Ausbildung, indem verschiedentlich gefärbte Partieen eines und desselben feinkörnigen, faserigen oder dichten Minerals durch einander gemengt sind, oder lagenweise mit einander abwechseln. Nach der Figur, Grösse und Anordnung der verschiedentlich gefärbten Theile bestimmen sich die mancherlei Arten von Farbenzeichnung, welche man als punktirte, gefleckte, gewolkte, geflammte, geaderte, gestreifte, gebänderte, wellenförmige, ringförmige, wurmförmige, festungsartige, breccienähnliche und ruinenähnliche Farbenzeichnung unterschieden hat. Andere Zeichnungen werden durch Einmengung von organischen Formen bedingt.

Einige pellucide Mineralien besitzen die Eigenschaft, im transmittirten Licht eine andere Farbe zu zeigen, als im reflectirten Licht; wie z. B. mancher Flussspath, Glimmer, Opal. Manches Rothgültigerz sieht von aussen metallisch bleigrau, im durchfallenden Licht nicht-metallisch cochenillroth aus.

§ 127. **Farbe und Glanz des Striches.** Viele Mineralien zeigen im fein zertheilten oder pulverisirten Zustand eine ganz andere Farbe als in compacten Massen; z. B. Eisenkies, Eisenglanz, Chromeisenerz, Manganblende. Ja, es scheint, dass, mit Ausnahme der gediegenen Metalle, die meisten Mineralien von metallischem Habitus diese Eigenschaft besitzen. Da sich nun die Farbe des Pulvers am leichtesten dadurch prüfen lässt, dass man das Mineral auf einer weissen Platte von Porzellanbiscuit oder auf einer Feile streicht, so pflegt man auch die Farbe des Pulvers schlechthin den Strich der Mineralien zu nennen. Die Strichfarbe ist ein sehr wichtiges Merkmal nicht nur für die leichte Erkennung vieler Mineralarten, sondern auch für die Unterscheidung des farbigen und gefärbten Zustandes bei Mineralien von nicht-metallischem Habitus. Es lässt sich nämlich bei diesen gewöhnlich als ein Merkmal der Farbigkeit betrachten, wenn Strich und Masse

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

dieselbe oder doch eine sehr ähnliche Farbe besitzen, während der Strich der gefärbten Mineralien in der Regel schmutzig-weiss oder lichtgrau zu sein pflegt, welche Farbe auch das Mineral in Masse zeigen mag.

Verreibt man das auf einem Biscuittäfelchen erhaltene Strichpulver noch mit der Ecke eines anderen solchen Täfelchens weiter, so kann man die meisten anfangs schwarz erschienenen Striche in farbige verwandeln (*Schroeder v. d. Kolk*, Centralbl. f. Mineral. 1901. 75). — Manche Mineralien, welche an und für sich wenig glänzend, schimmernd oder matt sind, erlangen einen stärkeren Glanz, wenn sie mit einer stumpfen Stahlspitze geritzt, oder auf einer feinen Feile gestrichen werden; bei sehr niedrigen Härtegraden reicht oft der Druck des Fingernagels hin, um diesen Strichglanz hervorzubringen; man sagt dann, das Mineral werde im Strich glänzend.

§ 128. **Veränderung der Farbe.** Einige Mineralien zeigen eine allmähliche Veränderung ihrer Farbe, wenn sie der Einwirkung des Lichtes, der Luft und der Feuchtigkeit ausgesetzt sind. Dieser Vorgang betrifft entweder nur die Oberfläche, oder ergreift die Masse des Minerals mehr oder weniger tief einwärts, ist aber wohl in beiden Fällen gewöhnlich als die Folge einer chemischen Einwirkung zu betrachten. Bei einer blos oberflächlichen Farbenänderung sagt man, das Mineral sei angelaufen, weil es gleichsam nur mit einem farbigen Hauch überzogen ist, unter welchem die ursprüngliche Farbe durch den Strich sogleich zum Vorschein gebracht wird; es hat sich an der Oberfläche eine äusserst zarte Schicht von fremder Zusammensetzung (z. B. von Eisenoxydhydrat) ausgebildet, welche oft in den Farben dünner Blättchen spielt. Man unterscheidet hierbei, ob das Mineral einfarbig, wie z. B. Silber, Arsen, Wismut, Magnetkies, oder bunt (regenbogenfarbig, pfauenschweifig, taubenhälsig) angelaufen ist, wie Kupferkies, Buntkupferkies, Eisenglanz, Antimonglanz, Steinkohle. — Die in das Innere eindringende Farbenänderung gibt sich gewöhnlich entweder als eine Verbleichung, wie am Chrysopras, Rosenquarz, Topas, Cölestin, oder als eine Verdunkelung der ursprünglichen Farbe zu erkennen, wie am Braunspath, Eisenspath und Manganspath; in diesem letzteren Falle findet endlich eine gänzliche Verfärbung des Minerals statt, welche mit einer chemischen Veränderung desselben verbunden ist.

Vgl. über die mancherlei Modalitäten und Ursachen des Anlaufens der Mineralien *Hausmann* im N. Jahrb. f. Min. 1848. 326. Interessant ist die zuweilen vorkommende Erscheinung, dass bei krystallisirten Mineralien nur die Flächen gewisser Krystallformen bunt angelaufen sind, während sich auf den Flächen der übrigen Formen die Farbe unverändert erhalten hat. So gibt es z. B. Bleiglanzkrystalle (Cubo-Oktaëder) mit stahlblau angelaufenen Oktaëderflächen und frischen Würfelflächen. Ueberhaupt scheint das Anlaufen auf den der Spaltbarkeit entsprechenden Flächen weniger leicht als auf solchen zu erfolgen, welche die Ebene der Spaltbarkeit durchschneiden (wie ein schieferiges Gestein senkrecht gegen die Schieferung am leichtesten verwittert). — Eine eigenthümliche, in sehr bestimmten kreisförmigen oder elliptischen Figuren eintretende Farbenveränderung oder mehlähnliche Trübung ist von *Pape* an mehren wasserhaltigen Salzen, in Folge ihres beginnenden Wasserverlustes, beobachtet und nach ihrer krystallonomischen Gesetzmässigkeit erkannt worden (Ueber das Verwitterungsellipsoid und die chemischen Axen der Krystalle, in Ann. d. Phys. u. Ch. Bd. 124, 125, 133 und 135); doch stellt die Propagationsform der Verwitterung innerhalb der rhomboëdrischen Krystalle, nicht, wie angegeben, eine Kugel, sondern zufolge *Sohncke* ein Rotationsellipsoid dar. *Tschermak* zieht vor, die Erscheinung nicht als Verwitterung, sondern als Verstäubung zu bezeichnen. (Vgl. auch S. 197.) — *Blasius* wies nach, dass unter gewissen Versuchsbedingungen

bei der Behandlung wasserhaltiger Krystalle mit starkem Alkohol nicht nur kreisförmige oder ellipsoidische Figuren entstehen, sondern auch eckige, welche, den Aetzfiguren analog, der Symmetrie der Krystalle gehorchen (Z. f. Kryst. X. 1885. 221).

§ 129. **Verschiedene Grade der Pellucidität.** Die Pellucidität kann sich in sehr verschiedenen Graden kund geben, weshalb man sich hüten muss, um nicht durch schwache Grade derselben zu einer Verneinung ihres Vorhandenseins überhaupt verleitet zu werden. Dunkle Färbung und vielfache Aggregation wirken nothwendig dahin, die höheren Grade der Pellucidität herabzudrücken, und daher kommt es, dass ein und dasselbe Mineral in hellfarbigen und krystallisirten Varietäten klar und durchsichtig erscheint, während es in dunkelfarbigen und feinkörnig zusammengesetzten Varietäten ganz trübe und undurchsichtig sein kann; Kalkspath und Kalkstein, Bergkrystall und Eisenkiesel. Durch zahlreiche Risse und Sprünge oder Poren können selbst die klarsten und durchsichtigsten Mineralien getrübt werden. Die verschiedenen Abstufungen der Pellucidität sind:

1) Durchsichtig; das Mineral ist so pellucid, dass man durch dasselbe die Gegenstände deutlich sehen und z. B. eine Schrift lesen kann; ist es zugleich farblos, so heisst es wasserhell.
2) Halbdurchsichtig; das Mineral lässt zwar noch die Gegenstände, jedoch nicht mehr in deutlich unterscheidbaren Umrissen erkennen.
3) Durchscheinend; das Mineral lässt noch in grösseren Stücken einen allgemeinen und unbestimmten Lichtschein wahrnehmen.
4) Kantendurchscheinend; das Mineral lässt nur in Splittern oder in den scharfen Kanten grösserer Stücke einen Lichtschein durchschimmern.
5) Undurchsichtig; das Mineral lässt selbst in Splittern und scharfen Kanten keinen Lichtschein erkennen.

Das Undurchsichtige darf wohl nicht mit dem Opaken verwechselt werden, denn ein und dasselbe Mineral kann in verschiedenen Varietäten zwar alle Grade der Pellucidität besitzen (z. B. Pyroxen, Amphibol), aber wohl nicht zugleich pellucid und opak sein. Die Dicke spielt übrigens eigentlich eine zu bedeutende Rolle, als dass die vorstehenden Unterscheidungen von besonderer Schärfe und grossem Gewicht sein könnten. So ist manches Mineral in dickeren Stücken nur durchscheinend, in dünneren halbdurchsichtig, als ganz dünnes Blättchen vielleicht vollkommen durchsichtig. Dünne Blättchen des als undurchsichtig geltenden Eisenglanzes erweisen sich als blutroth durchscheinend. Der echte splitterige Bruch liefert allemal einen Beweis, dass noch Pellucidität vorhanden ist, wenn auch das betreffende Mineral undurchsichtig erscheinen sollte. — Dass sogar die Metalle in sehr dünnen Lamellen pellucid sind, scheint nach den Untersuchungen von *Faraday* ausser allem Zweifel zu stehen, indem er sich überzeugte, dass die feinsten Membranen von Gold unter dem Mikroskop vollkommen stetig ausgedehnt erscheinen und dennoch ein grünes Licht durchlassen; ähnlich verhielten sich dünne Membranen von Silber. Schon früher hatte *Dupasquier* gezeigt, dass Gold, Silber, Kupfer und andere Metalle in sehr dünn geschlagenen Blättchen ein blaues Licht transmittiren. Nach *Melsens* wird Quecksilber, wenn man es wie Seifenwasser zu dünnen Blasen auftreibt, ebenfalls durchscheinend. Anderseits sind indessen die feinsten mikroskopischen Partikelchen des Magneteisens von 0,001 Mm. Durchmesser völlig impellucid. — Im Allgemeinen dürfte bei den Mineralien Pellucidität und specifisches Gewicht im umgekehrten Verhältniss stehen, indem die meisten undurchsichtigen auch die specifisch schwereren sind, und umgekehrt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

An einem und demselben Individuum sind manchmal mehre Pelluciditätsgrade ausgebildet, eine Erscheinung, welche den in § 126 erwähnten Farbenverschiedenheiten auch mit Bezug auf Vertheilung und Ursache sehr ähnlich ist.

Von *Doelter* wurde das Verhalten der Mineralien gegenüber den *Röntgen*'schen X-Strahlen geprüft (N. Jahrb. f. Min. 1896. II. 87; 1897. I. 256). Die Durchlässigkeit der verschiedenen Mineralien für dieselben ist sehr abweichend; als vollkommen durchlässig ergaben sich z. B.: Borsäure, Bernstein, Graphit, Diamant, Phenakit; stark durchlässig: Korund, Kaolin, Kryolith; halbdurchlässig: Albit, Quarz, Enstatit, Topas, Diopsid; wenig durchlässig: Leucit, Muscovit, Steinsalz, Flussspath; fast undurchlässig: Gyps, Turmalin, Kalkspath, Apatit, Zinkblende, Titanit, Zoisit; undurchlässig: Almandin, Beryll, Epidot, Magneteisen, Schwefel, Pyrit, Zirkon, Zinnober; ganz undurchlässig: Baryt, Senarmontit, Auripigment, Realgar. Daraus ergibt sich, dass die Durchlässigkeit im Allgemeinen weder von dem spec. Gewicht noch von der chemischen Zusammensetzung abhängt. Edelsteine und ihre Nachahmungen können auf Grund ihrer ganz abweichenden Durchlässigkeit unterschieden werden. Eine ungleiche Absorption der Strahlen in doppeltbrechenden Krystallen nach verschiedenen Richtungen konnte von *Röntgen*, *Arnold*, *B. Walther* u. A. bis jetzt nicht constatirt werden.

§ 130. **Phosphorescenz der Mineralien.** Anhangsweise sei hier noch die Phosphorescenz, oder die unter gewissen Umständen bei relativ niedriger Temperatur eintretende, von einer Substanzveränderung unabhängige Lichtentwickelung der Mineralien erwähnt. Dieselbe lässt sich hervorrufen:

1) Durch Insolation oder Bestrahlung. Viele Mineralien leuchten im Dunkeln, nachdem sie vorher eine Zeit lang dem Sonnenlicht, oder auch wohl nur dem gewöhnlichen Tageslicht ausgesetzt worden sind. Die meisten Diamanten und der gebrannte Baryt sind in dieser Hinsicht vorzüglich ausgezeichnet; doch leuchten auch Strontianit, Aragonit, Kalkspath und Kreide, desgleichen Steinsalz, Fasergyps, Flussspath; wogegen Quarz und die meisten Silicate dieser Eigenschaft ermangeln. — Unter der Einwirkung von Röntgenstrahlen zeigen viele Mineralvorkommnisse ein Aufleuchten (Luminescenz), besonders intensiv gewisse Flussspathe (grünes Licht ausstrahlend), Diamanten und Scheelite (blaues), Apatit (gelbes), einige Zirkone, Autunit (*Keilhack*, Z. geol. Ges. L. 1898. 131).
2) Durch Erwärmung. Die meisten durch Insolation phosphorescirenden Mineralien werden durch Erwärmung gleichfalls leuchtend; doch haben diese Fähigkeit noch viele andere Mineralien, auf welche die Bestrahlung allein ohne Einfluss ist. Die dazu erforderliche Temperatur ist verschieden. Bei manchen Topasen, Diamanten und Flussspathen reicht schon die Wärme der Hand hin; andere Varietäten von Flussspath erfordern 60 bis 100°, der Phosphorit 100°, der Kalkspath und viele Silicate 200 bis 370°. Gewisse faserige Wollastonitvarietäten phosphoresciren beim Erhitzen stark mit grüngelbem Licht.
3) Durch Elektricität. Manche Mineralien (z. B. grüner Flussspath und gebrannter Baryt) gelangen dadurch zur Phosphorescenz, dass man mehre elektrische Funken durch sie schlagen lässt.
4) Durch mechanische Einwirkung. Viele Mineralien entwickeln Licht, wenn sie gestossen, gerieben, gespalten oder zerbrochen werden. So

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

leuchten schon manche Varietäten der Zinkblende und des Dolomits, wenn man sie nur mit einer Schreibfeder kratzt, oder mit dem Messer schabt, Quarzstücke, wenn man sie an einander reibt, Glimmertafeln, wenn man sie nach der Spaltungsrichtung rasch auseinander reisst.

Der grüne Flussspath (Chlorophan) bleibt nach der Insolation oft wochenlang selbstleuchtend. Merkwürdigerweise haben die rothen (die durch rothes Glas auffallenden) Strahlen die Eigenschaft, die durch Bestrahlung mit weissem Sonnenlicht z. B. am Diamant erregte Phosphorescenzfähigkeit zu schwächen oder ganz auszulöschen. — Die Phosphorescenz durch Erwärmung ist zuerst an dem sog. Bologneserspath, einem strahlig-faserigen Baryt erkannt worden, welcher durch künstliche Umwandlung in Schwefelbaryum diese Eigenschaft erhält. — *Nöggerath* beschrieb die prachtvoll rothe Lichterscheinung, welche harte, zumal durchscheinende Mineralien während der Bearbeitung in den Achatschleifereien von Oberstein und Idar zeigen (Ann. d. Phys. u. Chem. Bd. 150, S. 325). — *B. Stürtz* untersuchte mit vielem Erfolg die Phosphorescenzerscheinungen, welche eine Reihe von Mineralien im hohen Vacuum erkennen lassen, ebendas., Neue Folge Bd. VIII. 1879.

7. Thermische Eigenschaften der Krystalle.

§ 131. **Wärmestrahlung.** Die in einen Körper eindringenden Wärmestrahlen, welche ebenfalls als Wellenbewegungen des Aethers zu betrachten sind, werden bekanntlich, wie die Lichtstrahlen, theils reflectirt, theils absorbirt, theils transmittirt. Solche Körper, welche die Wärmestrahlen möglichst vollkommen hindurchlassen, sich also gegen sie verhalten wie die durchsichtigen Körper gegen die Lichtstrahlen, nennt man diatherman, solche, welche keine Wärmestrahlen transmittiren, atherman. Mit diesen Beziehungen hängt die Pellucidität oder Impellucidität gar nicht zusammen: dunkle, fast undurchsichtige Bergkrystalle erweisen sich z. B. diatherman, durchsichtige Alaunplättchen nahezu ganz atherman.

Steinsalz ist, soweit bekannt, das diathermanste Mineral. Die meisten Metalle sind atherman; *Knoblauch* hat indessen gezeigt, dass ganz dünne Blättchen von Gold, Silber und Platin, welche Lichtstrahlen von bestimmter Farbe durchlassen, auch Wärmestrahlen den Durchgang gestatten. — Uebrigens gibt es wie beim Licht Wärmestrahlen von verschiedener Brechbarkeit (sog. Wärmefarben), welche auch eine ungleiche Absorption erleiden. Das Steinsalz ist es wieder, welches fast alle Wärmefarben mit gleicher Intensität durchlässt, sich also hierin wie ein nahezu farbloses Mineral gegen das Licht verhält, während z. B. der fast ganz athermane Alaun nur gewisse Wärmefarben transmittirt, die anderen absorbirt und mit Bezug auf diese letzteren daher wärmefarbig ist.

Wie die Lichtstrahlen, so unterliegen auch die Wärmestrahlen in allen Krystallen, mit Ausnahme der regulären, einer Doppelbrechung, welche indessen in der Richtung der optischen Axen ebenfalls nicht erfolgt. Damit hängt auch die erkannte Polarisation der Wärmestrahlen zusammen.

Die beiden Wärmestrahlen sind wie die Lichtstrahlen rechtwinkelig auf einander polarisirt. Wenn durch eine Steinsalzlinse parallele Wärmestrahlen auf zwei Glimmerblättchen auffallen, so geht, wenn die Polarisationsebenen der letzteren gekreuzt sind, ein Minimum, wenn sie parallel sind, ein Maximum von Wärme hindurch.

§ 132. **Ausdehnung der Krystalle durch Erwärmung.** Die Mineralien werden durch Wärme bedeutend weniger ausgedehnt als die Flüssigkeiten; dehnt sich das Wasser bei der Erwärmung von 0° auf 100° um den 23ten, das Quecksilber

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

um den 55ten Theil seines Volumens aus, so beträgt diese Ausdehnung beim Steinsalz nur den 247ten, beim Diamant nur den 8480ten Theil.

Nach *Mitscherlich*'s grundlegenden Beobachtungen dehnen sich die Krystalle des regulären Systems durch Erwärmung nach allen Richtungen gleichmässig aus, wogegen die Krystalle der übrigen Systeme nach verschiedenen Richtungen eine ungleichmässige Ausdehnung erfahren, und folglich einer theilweisen oder allseitigen Veränderung ihrer Kantenwinkel unterworfen sind, deren Grösse von der Temperatur abhängig ist. Mit alleiniger Ausnahme der regulären bleiben demnach die Krystallgestalten bei einer Aenderung der Temperatur sich selbst nicht geometrisch ähnlich.

So fand *Mitscherlich*, dass die Polkante der rhomboëdrischen Spaltungsstücke des Kalkspaths, welche bei 10° C. 105° 4′ misst, nach einer Temperaturerhöhung um 100° nur noch 104° 56′ gross, also um 8′ schärfer geworden ist; das Rhomboëder wird sonach etwas spitzer, woraus denn folgt, dass sich der Kalkspath in der Richtung seiner Hauptaxe stärker ausdehnt, als in der Richtung der Nebenaxen[1]). Dasselbe Verhältniss, wenn auch in geringerem Grade, erkannte *Mitscherlich* für die Rhomboëder des Eisenspaths und des Magnesits. — Quarz dehnt sich bei der Erwärmung um 100° parallel der Hauptaxe um 0,000781, senkrecht dazu um 0,001419 seiner Länge aus. — Dagegen zeigten die Krystalle des Aragonits, welche dem rhombischen System angehören, nach allen drei Axen eine ungleichmässige Ausdehnung; ebenso die monoklinen Krystalle des Gypses, welche sich besonders stark in der Richtung der Orthodiagonale ausdehnen, weshalb denn die klinodiagonalen Seitenkanten aller Prismen, und die klinodiagonalen Polkanten aller Hemipyramiden mit steigender Temperatur immer stumpfer werden.

Aehnliche Beobachtungen sind später von Anderen an anderen Krystallen angestellt worden, und liessen auf ähnliche Resultate gelangen[2]), so dass man die folgenden, von *Fizeau* aufgestellten Gesetze als allgemein gültig betrachten kann:

1) In den Krystallen des regulären Systems ist die lineare Ausdehnung nach allen drei Hauptaxen gleich gross; die Winkel, welche von den Flächen gebildet werden, sind also hier unabhängig von der Temperatur.
2) In den Krystallen des tetragonalen und hexagonalen Systems ist die lineare Ausdehnung nach der Richtung der Hauptaxe verschieden von jener nach der Richtung der Nebenaxen, welche dagegen ihrerseits eine gleich grosse Ausdehnung erfahren; dabei braucht jedoch die Axe der grössten Ausdehnung durch die Wärme nicht mit der Axe der grössten optischen Elasticität zusammenzufallen.
3) In den Krystallen der übrigen Systeme ist die lineare Ausdehnung nach allen drei Axen ungleich.

---

1) In welcher letzteren Richtung er sich nach *Fizeau* sogar contrahirt, was nach demselben Beobachter für den Beryll in der Richtung der Hauptaxe stattfindet.

Eisenglanz dehnt sich bei Temperaturen über −5,7° am meisten in der Richtung der Nebenaxen, bei solchen unter −5,7° am meisten in der Richtung der Hauptaxe aus. Von zwei Eisenglanzstäben, der eine parallel, der andere senkrecht auf *c* geschnitten, die bei 0° gleich lang sind, würde beim Sinken der Temperatur der letztere zunächst kürzer werden, bei −11,4° sind beide Stäbe wieder gleich lang. Ein Eisenglanzkrystall würde bei +18° und bei −29,4° dieselben Winkelwerthe zeigen (*H. Bäckström*).

2) Compt. rend., T. 62, S. 1101, und Ann. d. Phys. u. Ch. Bd. 135, 1868. 372; vgl. auch *Pfaff*, ebendas., Bd. 104, S. 171 u. Bd. 107, S. 151; *Beckenkamp* (Adular, Anorthit, Axinit), Z. f. Kryst. V. 1881. 436 und VI. 1882. 450; *Fletcher*, Z. f. Kryst. IV. 1880. 337; VIII. 1884. 455; *E. Blasius*, Ann. d. Phys. u. Chemie, N. F. XXII. 528; *Schrauf* (Schwefel), Z. f. Kryst. XII. 1887. 321.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Richtung der stärksten Ausdehnung, diejenige der schwächsten und eine zu beiden senkrechte Richtung von mittlerer Ausdehnung liefern die drei thermischen Axen. Im rhombischen System fallen dieselben mit den krystallographischen zusammen, sind also bei jeder Temperatur dieselben. Im monoklinen entspricht wenigstens eine derselben der orthodiagonalen Normale auf die Symmetrieebene, die zwei anderen liegen irgendwo in der Symmetrieebene; im triklinen ist die Lage ganz unbestimmt.

Bei den tetragonalen und hexagonalen Krystallen ändern sich die Winkel aller zur Hauptaxe geneigten Formen, der Pyramiden, der Rhomboëder, dagegen bleiben constant die Winkel der Prismenzone sowie die rechten Winkel zwischen dieser letzteren und der Basis. Im rhombischen System verändern sich alle Winkel mit Ausnahme der rechten zwischen je zwei Pinakoiden sowie der rechten zwischen einem Pinakoid und einer prismatischen oder domatischen Zone. Im monoklinen bleiben nur die rechten Winkel, welche andere Flächen mit der Symmetrieebene bilden; im triklinen, wo es keine rechten Winkel gibt, verändern sich alle Winkel. Die Aenderungen der Krystallwinkel finden bei stetiger Aenderung der Temperatur auch stetig statt.

Eine Kugel, aus regulärem Steinsalz geschliffen, wird daher bei Temperaturerhöhung zwar einen grösseren Durchmesser erhalten, aber stets eine Kugel bleiben. Eine solche aus einem tetragonalen oder hexagonalen Krystall gestaltet sich dabei zu einem Rotationsellipsoid mit zwei Axenwerthen um, dessen Drehungsaxe die Hauptaxe ist; beim Quarz ist es ein nach der letzteren abgeplattetes, beim Kalkspath ein darnach verlängertes Rotationsellipsoid. Eine Kugel aus rhombischem Aragonit oder monoklinem Feldspath formt sich zu einem dreiaxigen Ellipsoid um.

Wie sich aus Vorstehendem ergibt, und von *Grailich* und *v. Lang* durch theoretische Untersuchungen gezeigt wurde, finden die durch stetige und bedeutende Steigerung oder Verminderung der Temperatur bedingten Dimensionsänderungen der Krystalle immer in der Weise statt, dass dabei sowohl die Zonen, als auch das Krystallsystem unverändert bleiben. Sie nennen dies das Gesetz der Erhaltung der Zonen und des Krystallsystems. Die Rationalität der Parameterverhältnisse ist ebenfalls unabhängig von der Temperatur.

§ 133. **Wärmeleitung der Krystalle.** Die Wärmeleitungsfähigkeit ist für verschiedene Mineralien sehr abweichend; setzt man dieselbe beim Silber = 100, so beträgt sie beim Kupfer nur 73,6, beim Gold 53,2, Zink 19, Zinn 14,5, Eisen 11,9, Blei 8,5, Platin 8,4, Wismut 1,8 (*Wiedemann* und *Franz*); Marmor leitet die Wärme noch minder gut als Wismut; zu den schlechtesten Wärmeleitern, welche sich sehr warm anfühlen, gehören gewisse organische Substanzen wie Bernstein.

Mit den vorher beschriebenen Ausdehnungsverhältnissen der Krystalle stimmen die von *Duhamel*, *Sénarmont*[1]) u. A. über die Wärmeleitung derselben

1) *Sénarmont* steckte durch das Centrum mit Wachs überzogener Krystallplatten einen Draht, dessen Ende erwärmt wurde; das Schmelzen des Wachses stellte graphisch die Fortpflanzung der Wärme dar und zeichnete in jedem Augenblick auf der Platte eine isotherme Curve, welche z. B. auf den Flächen regulärer Krystalle ein Kreis, bei einem tetragonalen Krystall auf 0P ebenfalls ein Kreis, dagegen auf ∞P eine Ellipse ist. Die Curven der Ausbreitung einer gleichen Temperatur auf Krystallflächen sind eben allgemein Ellipsen, welche sich als Durchschnitte der Fläche mit einem für den ganzen Krystall vorhandenen Ellipsoid ergeben. Beim Quarz ist das Verhältniss der Ellipsenaxen auf ∞P senkrecht und parallel zu $c = 10 : 13$. Zur Darstellung sehr scharfer und feiner Isothermen nimmt man nach *W. Voigt* am besten Elaïdinsäure mit einem geeigneten Zusatz von Wachs und Terpentin. — *Röntgen* (Z. f. Kryst. III. 1879. 17) erhielt dieselben Curven auf ähnliche Weise, indem er behauchte Krystallplatten vom Mittelpunkt aus durch eine heisse Metallspitze erwärmte (wobei die Hauchschicht um die Spitze herum in einer scharfbegrenzten kreisrunden oder ellipsenähnlichen Figur zuerst verdunstete), und die Grenze, bis wohin die Abtrocknung nicht vorgedrungen war, durch dann aufgestreuten

angestellten Beobachtungen sehr gut überein, welche das Resultat ergaben, dass die Propagationsform der Wärmewellen (oder die Gestalt der isothermen Fläche) in den regulären Krystallen wie in den amorphen Medien durch eine Kugelfläche, in den tetragonalen und hexagonalen Krystallen durch ein verlängertes oder abgeplattetes Rotationsellipsoid dargestellt wird, dessen Axe mit der krystallographischen Hauptaxe zusammenfällt, während solche in den rhombischen, monoklinen und triklinen Krystallen (wie es scheint stets) durch ein dreiaxiges Ellipsoid bestimmt wird; und zwar fallen im rhombischen System die drei abweichenden Werthe der Leitungsfähigkeit mit den krystallographischen Axen zusammen, wogegen sie im monoklinen System zwar auch noch rechtwinkelig stehen, aber hier nur eine Ellipsoidaxe mit einer krystallographischen, nämlich mit der Orthodiagonale coincidirt (vgl. die Analogie mit der Form und Lage der optischen Elasticitätsfläche § 101, 103, 104).

Die Richtung der grössten Wärmeleitungsfähigkeit braucht natürlich nicht mit derjenigen der grössten Ausdehnung durch die Wärme zusammenzufallen. *Jannettaz* befand mit nur sehr wenigen Ausnahmen die Wärmeleitung grösser in der Richtung der Spaltbarkeit, als senkrecht dazu; eine durch schalige Zusammensetzung herbeigeführte Theilbarkeit ist dagegen ohne Einfluss auf die Wärmeleitung.

8. Elektricität der Mineralien.

§ 134. **Elektricität durch Reibung und Druck.** Die Elektricität kann in den Mineralien entweder durch Reibung, oder durch Druck, oder durch Erwärmung erregt werden. Dabei ist jedoch immer zu berücksichtigen, ob das Mineral ein Leiter oder ein Nichtleiter der Elektricität ist, weil es im ersteren Falle einer vorherigen Isolirung bedarf, wenn sich die Erscheinung offenbaren soll. Zur Wahrnehmung derselben dienen kleine, sehr empfindliche Elektroskope, wie z. B. das von *Haüy* vorgeschlagene, welches aus einer leichten, beiderseits in eine kleine Kugel endigenden, und mittels eines Karneolhütchens auf einer Stahlspitze horizontal ruhenden Metallnadel besteht. Bei feineren Untersuchungen muss man andere Elektroskope, wie z. B. das von *Bohnenberger* oder *Behrens* oder das Elektrometer von *Thomson* anwenden.

Alle Mineralien werden durch Reibung elektrisch; die erlangte Elektricität ist aber bald positiv (wie die am geriebenen Glas), bald negativ (wie die am geriebenen Harz), nach Umständen, welche zum Theil sehr zufällig sind, wie denn z. B. die meisten Edelsteine positiv oder negativ elektrisch werden, je nachdem ihre Oberfläche glatt oder rauh ist. Auch durch Schaben, Zerreissen, Spalten wird Elektricität erregt; spaltet man Glimmer, Gyps, so erweist sich die eine Spaltungsfläche positiv, die andere negativ. — Ferner werden auch durch Druck manche Mineralien elektrisch; am stärksten der, durch seine doppelte Strahlenbrechung ausgezeichnete wasserhelle Kalkspath, dessen Spaltungsstücke schon durch einen

Bärlappsamen noch bemerkbarer machte. *Jannettaz* hat für das *Sénarmont*'sche Verfahren einen verbesserten complicirten Apparat construirt (Bull. soc. minéral. I. 1878. 19). Ueber eine fernere Methode zur Untersuchung der Wärmeleitung s. *W. Voigt*, Wiedem. Annalen Bd. 60. 1897. 350. — In gepresstem amorphem Glas (oder Porzellan) vergrössert sich, wie *Sénarmont* zeigte, die Wärmeleitung in der Druckrichtung, weshalb denn hier auf den Flächen ebenfalls elliptische Isothermenlinien erscheinen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

schwachen Druck zwischen den Fingern eine sehr merkliche und stets positive Elektricität entwickeln. Auch Topas, Aragonit, Flussspath, Bleicarbonat, Quarz u. a. besitzen diese Eigenschaft, jedoch in weit geringerem Grade.

§ 135. **Elektricität durch Erwärmung.** Durch Erwärmung oder überhaupt durch Temperaturänderung wird die Elektricität in den Krystallen schlecht leitender Mineralien erregt, von welchen man daher sagt, dass sie pyroëlektrisch sind. Die Erscheinung zeigt sich nur während eines Wechsels der Temperatur und nicht während dieselbe constant bleibt. Dabei sind beiderlei Elektricitäten auf der Oberfläche in verschiedener Weise vertheilt, immer aber steht die elektrische Erregung derart mit der Symmetrie des Krystalls in Beziehung, dass die gleichen Flächen, Kanten und Ecken sich auch unter einander übereinstimmend verhalten[1]). Es treten jedoch an jeder einzelnen Stelle successive beide Elektricitäten auf, die eine bei der Erwärmung, die andere, nachdem auf kurze Zeit unelektrischer Zustand geherrscht hat, bei der darauf folgenden Erkaltung. Für die Bezeichnung pflegt man diejenige Elektricität namhaft zu machen, welche sich bei der Abkühlung kund gibt. Doch ist die Vertheilung der Elektricität nicht bei allen Vorkommnissen desselben Minerals übereinstimmend, auch kann das Verhalten durch unvollständige Ausbildung oder durch bedeutende Verletzung der äusseren Gestalt mehr oder weniger modificirt werden.

Aus *Hankel*'s grossen Untersuchungsreihen[2]) müssen einige Beispiele hervorgehoben werden, wobei sich die Angaben auf diejenige Elektricität beziehen, welche an den vorher erwärmten Krystallen während der Abkühlung auftritt.

Holoëdrische reguläre Krystalle zeigen überhaupt keine Pyroëlektricität. — In den tetragonalen und hexagonalen Krystallen bedingt der Gegensatz zwischen Hauptaxe und Nebenaxen die Art der Vertheilung der entgegengesetzten Elektricitäten; an beiden Enden der Hauptaxe wird sich die eine, und ringsum rechtwinkelig von ihr die andere Elektricität entwickeln. So zeigen die vollständig ausgebildeten Vesuviankrystalle vom Wilui auf den Flächen 0P und P positive, auf den Prismenflächen negative Elektricität; ähnliches ergaben die Krystalle des Apophyllits von Andreasberg, Poonah, Bergenhill u. a. O., sowie die sibirischen Berylle und Smaragde; bei den kurzen Beryllkrystallen von Elba und bei den aufgewachsenen Vesuvianen von Ala verhielt es sich dagegen umgekehrt. Auch die meisten untersuchten Kalkspathkrystalle bieten an den Enden der Hauptaxe positive, auf den prismatischen Seitenflächen negative Elektricität dar; die eigenthümlich gestalteten Krystalle von Derbyshire

1) *Kundt* schlug in sinnreicher Weise vor, in dem Moment, in welchem die durch Temperaturveränderung (oder durch Druck) auf einem Krystall hervorgerufene elektrische Vertheilung bestimmt werden soll, denselben mit einem Gemenge von Schwefel und Mennige zu bestäuben, welches durch ein engmaschiges Sieb von Baumwolle hindurchgesiebt oder vermittels eines besonderen Apparats als eine von einem Luftstrom hervorgebrachte Wolke zugeführt wird. Bei diesem Vorgang wird bekanntlich das Schwefelpulver negativ, die Mennige positiv elektrisch, und ebenso wie bei den *Lichtenberg*'schen Figuren setzt sich nun der negative gelbe Schwefel auf die positiven, die positive rothe Mennige auf die negativen Theile der Krystalloberfläche, wobei die Vertheilung der beiden Pulver ein sehr anschauliches Bild von der elektrischen Anordnung auf der Oberfläche gibt. Je stärker die elektrische Spannung auf den Oberflächenstellen ist, desto reichlicher häuft sich das rothe oder gelbe Pulver auf ihnen an.

2) *Hankel* hat bis 1896 nicht weniger als zwanzig umfangreiche Abhandlungen unter dem Titel »Elektrische Untersuchungen« in den Abh. der k. sächs. Ges. d. Wissensch. veröffentlicht, von denen sich die meisten auf die Pyroëlektricität der Krystalle, insbesondere auf die polare, beziehen. Vgl. ferner die Untersuchungen von *F. Beijerinck* über das Leitungsvermögen der Mineralien für Elektricität, ihre Unterscheidung in Leiter und Isolatoren, N. Jahrb. f. Min., Beilageb. XI. 403.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

weisen indessen eine umgekehrte Vertheilung der Elektricität auf. Bei den meisten Apatitkrystallen sind ebenfalls die Endflächen positiv, die Seitenflächen negativ, doch gibt es auch hier abweichende Beispiele eines entgegengesetzten Verhaltens. — An vollständig ausgebildeten Topaskrystallen erweisen sich z. B. die Enden der Verticalaxe und die brachydiagonalen Seitenkanten nebst den angrenzenden Flächentheilen positiv, dagegen die makrodiagonalen Seitenkanten und deren Angrenzungen negativ. Sind aber die Krystalle, wie dies ja gewöhnlich der Fall ist, abgebrochen und an dem einen Ende durch eine Spaltungsfläche begrenzt, so zeigt sich diese Spaltungsfläche gleichwie die makrodiagonalen Seitenkanten negativ, während das entgegengesetzte Ende der Verticalaxe und beide brachydiagonalen Seitenkanten positiv bleiben. — Beim Baryt sind, wenn das Spaltungsprisma als ∞P aufgefasst wird, die Enden der Verticalaxe positiv, die Enden der beiden Horizontalaxen negativ, und die Enden der in der Basis liegenden Zwischenaxen wieder positiv. Doch wird die elektrische Spannung nebenbei noch von der verschiedenen Ausbildung der Krystalle beeinflusst: nach den Enden derjenigen Diagonale hin, nach welcher das Wachsthum des Krystalls stattgefunden hat, nimmt sie stets in negativem Sinne zu oder in positivem ab. — Am Aragonit, welcher fast immer in Zwillingen ausgebildet ist, erscheinen die Flächen des Prismas ∞P längs den brachydiagonalen Seitenkanten positiv, diejenigen des Brachypinakoids $\infty \breve{P}\infty$ negativ, die des Brachydomas $\breve{P}\infty$ theils negativ, theils positiv, theils unelektrisch. — Der Gyps ist auf $\infty \breve{P}\infty$ stets negativ, auf den verticalen Prismen ∞P und $\infty \breve{P}2$, sowie auf der Hemipyramide P positiv. Beim Adular sind im Allgemeinen die Flächen an beiden Enden der Verticalaxe ($0P$ und $\breve{P}\infty$), sowie die orthodiagonalen Seitenkanten oder das Klinopinakoid ($\infty \breve{P}\infty$) positiv, die verticalen Prismenflächen ∞P negativ; ganz analog verhält sich der Albit. Bei den Diopsiden waltet indessen der Unterschied ob, dass die piemontesischen Krystalle auf $\infty \breve{P}\infty$ positiv, auf $\infty \breve{P}\infty$ negativ elektrisch sind, während die äusserlich gleichgestalteten Individuen aus Tirol gerade umgekehrte Vertheilung zeigen.

Sehr beachtenswerth ist es nun, dass in gewissen Mineralien während einer Temperaturänderung die beiden entgegengesetzten Elektricitäten zugleich an zwei oder mehren einander gegenüberliegenden bestimmten Stellen des Krystalls erregt werden, welche Modification der Erscheinung mit dem Namen der polaren Pyro- (oder Thermo-) Elektricität bezeichnet wird. Diese Stellen nennt man die elektrischen Pole und es treten auch hier an jedem Pol successiv beide Elektricitäten auf. Um dies Verhältniss auszudrücken, haben *G. Rose* und *Riess* vorgeschlagen, die Pole als analog- oder antilog-elektrische Pole zu bezeichnen, je nachdem sie durch Erwärmung positiv oder negativ elektrisch werden; bezogen auf die Erscheinungen während der Abkühlung würde daher der negative Pol der analoge, der positive der antiloge sein. — Dazu gesellt sich nun die weitere Thatsache, dass, wie dieses polare Verhalten gleichsam einen Ausnahmefall im Bereich der Pyroëlektricität darbietet, so auch die dasselbe aufweisenden Krystalle auf diejenigen Krystallgruppen beschränkt sind, in denen eine Hemimorphie zur Geltung kommt, oder welche sonst in Folge der Theilflächigkeit eines Symmetriecentrums entbehren. Krystallographisch an ihren Enden ungleichwerthige Axen sind es hier, welche gleichzeitig an ihren Enden ungleichnamige Elektricität entwickeln und somit auch als elektrische Axen bezeichnet werden. Die elektrischen Spannungen an den beiden Enden dieser Axe sind von gleicher Stärke und unabhängig von der Länge der Krystalle, aber proportional dem Querschnitt und dem Maass der Temperaturänderung; nach dem Zerbrechen erscheinen sie auch auf den Trennungsflächen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Es war ein Zufall, dass gerade zuerst die polare Pyroëlektricität an ausgezeichneten Beispielen untersucht wurde und ein Verdienst *Hankel*'s, gezeigt zu haben, dass die Pyroëlektricität als solche gar nicht an jene hemimorphen Krystalle allein gebunden, sondern, wie hervorgehoben, sehr wahrscheinlich eine allgemeine Eigenschaft der Krystalle sei. Die interessante Erscheinung der polaren Pyroëlektricität ist zuerst und schon seit längerer Zeit am Turmalin beobachtet worden. Bei der Abkühlung erscheint positive Elektricität da, wo die Polkanten, negative da, wo die Flächen des Hauptrhomboëders auf die Flächen des senkrechten dreiseitigen Prismas aufgesetzt sind; im Allgemeinen findet sich am flächenreicheren Ende des Turmalins positive, am flächenärmeren Ende negative Elektricität, in der Mitte der Krystalle eine elektrisch-neutrale horizontale Zone. Fig. 322 zeigt den nach der Anm. auf S. 273 bestäubten

Fig. 322.

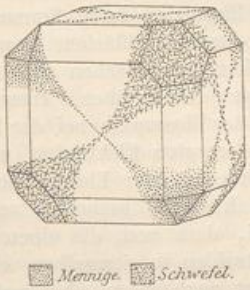


Fig. 323.

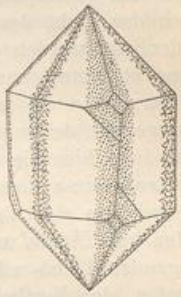


Fig. 324.

Krystall. *Gaugain* fand, dass der Turmalin über eine gewisse Temperatur hinaus so leitend wird, dass die sich ausgleichenden Elektricitäten gar nicht mehr zu beobachten sind. — Bei den aufgewachsenen Krystallen des Kieselzinks (Fig. 12, S. 31) ist stets das obere durch Domen und basisches Pinakoid charakterisirte Ende negativ, die untere Pyramidenspitze positiv elektrisch (vgl. auch *Bauer* und *Brauns*, N. Jahrb. f. Min. 1889. I. 1). Der rhombisch-hemimorphe Struvit besitzt ebenfalls eine stark polar-elektrische Axe in der Richtung seiner Verticalaxe. — Der Boracit hat 8 Pole, welche den Ecken des Hexaëders entsprechen; seine Krystallformen sind durch den Gegensatz der positiven und negativen Tetraëder u. s. w., überhaupt durch die mit der Hemiëdrie verbundene Entzweiung der trigonalen Zwischenaxen gewissermassen hemimorphisch in der Richtung dieser Axen; die Ecken mit den grösseren glatten Tetraëderflächen werden beim Abkühlen positiv, die mit den kleineren matteren negativ (*Hankel* a. a. O. VI. 1857; *Mack* in Z. f. Kryst. VIII. 1884. 503); vgl. Fig. 323. Auch die Zinkblende besitzt 4 elektrische Axen in den Richtungen der 4 dreizähligen Symmetrieaxen. — Ein einfacher Quarzkrystall wird an den Prismen- und Pyramidenkanten, an welchen die Trapez- und Rhombenflächen auftreten, negativ, an den abwechselnden positiv elektrisch (Fig. 324); seine trapezoëdrische Tetartoëdrie lässt sich, wie *Hankel* hervorhob, auch als ein Hemimorphismus in der Richtung der drei Nebenaxen deuten, welche dadurch in je zwei ungleichwerthige Hälften zerfallen. Der häufige Aufbau scheinbar einfacher Krystalle aus mehren Individuen complicirt diese Erscheinungen (vgl. auch *v. Kolenko* in Z. f. Kryst. IX. 1884. 1). Andere hemimorphe und polar-elektrische Krystalle sind Prehnit und Spangolith.

Wenn bei Substanzen, welche sich z. B. durch die Aetzeindrücke als zweifellos hemimorph erweisen, dennoch Krystalle vorkommen, die scheinbar nicht hemimorph ausgebildet sind, so ist dies durch Zwillingsbildung nach einer auf der Axe der Hemimorphie senkrecht stehenden Fläche zu erklären und solche Krystalle werden dann auch an beiden Enden dieser Axe gleichnamige Elektricität entwickeln.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ebenso wie durch Temperaturveränderung werden nach *J.* und *P. Curie* die an beiden Enden einer Symmetrieaxe verschiedenartig entwickelten Krystalle auch durch einen in der Richtung dieser Axe wirkenden Druck entgegengesetzt polarelektrisch (Comptes rendus Bd. 91. 294. 383; Bd. 92. 186. 350; Bd. 93. 204). Diese durch Pressung hervorgerufene Erscheinung wurde Piëzoëlektricität genannt und da eine Compression wie eine Temperaturverminderung, eine Dilatation wie eine Temperaturerhöhung wirkt, so entsprechen auch bei beiden Vorgängen die erregten gleichnamigen Elektricitäten einander. Turmalinkrystalle zeigen bei der Pressung senkrecht zu 0R an beiden Enden abweichende Elektricität und zwar wird das Ende, welches bei der Abkühlung positiv wurde, alsdann ebenfalls positiv, beim Nachlassen des Druckes wird es negativ, wie beim Erwärmen. Quarz verhält sich ganz übereinstimmend.

Elektricität durch Belichtung oder Bestrahlung (Aktinoëlektricität) hat *Hankel* zuerst am Flussspath, namentlich an den grünen Krystallen von Weardale constatirt; durch das Licht des bedeckten Himmels, durch Sonnenbestrahlung oder elektrisches Kohlenlicht werden die Mitten der Würfelflächen negativ elektrisch, die elektrische Intensität nimmt nach den Rändern der Flächen zu ab, und geht dann dort, sowie an den Ecken oft in eine geringe positive über. Diese Vertheilung sei gerade entgegengesetzt derjenigen, welche der Flussspath bei der Erwärmung aufweist; daher ist denn auch hier die Qualität der erregten Elektricität nach der Belichtung und bei der Erwärmung dieselbe. Die Erregung der Elektricität erfolge durch einen Vorgang, bei welchem der Farbstoff der Krystalle betheiligt sei (a. a. O. XII. 1879. 203) Später hat *Hankel* nachgewiesen, dass auch die einen einfachen Bergkrystall durch dringenden Licht- oder Wärmestrahlen in demselben eine elektrische Spannung hervorrufen, der Vertheilung und Art nach genau übereinstimmend mit der bei der Abkühlung entstehenden pyroëlektrischen (ebendas. XII. 1881. 459). Die Erregung ist proportional der Intensität der Strahlung und wesentlich abhängig von der Strahlengattung[1]).

§ 136. **Leitungsfähigkeit der Elektricität.** Ueber die Leitungsfähigkeit der Krystalle hat *G. Wiedemann* sinnreiche Untersuchungen angestellt; er bestreute die Flächen mit einem feinen, schlechtleitenden Pulver (Mennige, Lycopodium-Samen) und leitete durch eine Nähnadelspitze die positive Elektricität einer Leidener Flasche auf den Krystall; alsdann wird das Pulver von der Spitze aus nach allen Richtungen mit einer der Leitungsfähigkeit entsprechenden Intensität fortgestossen. Auf den Flächen isotroper Körper (z. B. von Glas, regulärem Alaun, Fluorit u. s. w.) wurde dadurch eine kreisförmige Stelle entblösst, zum Beweise, dass sich in solchen Medien die Elektricität nach allen Directionen gleichmässig fortpflanzt. Ein Kreis erscheint auch auf den basischen Pinakoiden der tetragonalen und hexagonalen Krystalle, wogegen auf den Prismenflächen derselben elliptische Figuren freigelegt werden, welche auch auf allen Flächen der rhombischen, monoklinen und triklinen Krystalle resultiren. Die Analogie mit der Fortpflanzung der Wärme und des Lichtes leuchtet von selbst ein; nach *Wiedemann* scheint auch speciell die Richtung, in welcher sich die Elektricität am schnellsten verbreitet, mit jener der schnellsten Lichttransmission zusammenzufallen.

---

1) *C. Friedel* und *J. Curie* geben an, dass durch Bestrahlung und durch directe Wärmeleitung im Quarz die gleiche elektrische Vertheilung hervorgebracht werde und sind der Ansicht, dass die auftretende Elektricität in beiden Fällen nur die Folge einer ungleichmässigen Erwärmung resp. Abkühlung und einer damit verbundenen ungleichmässigen Dilatation resp. Compression sei, es sich also nur um eine piëzoëlektrische Erscheinung handle. *Hankel* hat dagegen nochmals darauf hingewiesen, dass nach seinen Beobachtungen sowohl bei Erwärmung als bei Abkühlung die Aktinoëlektricität der Pyroëlektricität entgegengesetzt sei, und dass auch die aktinoëlektrischen Spannungen nicht durch ungleiche Erwärmung entstehen können.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Zu denselben Resultaten ist auch *Sénarmont* gelangt, welcher die Krystallfläche mit Zinnfolie belegte und den Lichtschein, welcher sich auf ihr rings um die zuleitende Spitze bildete, im luftverdünnten Raum oder im Dunkeln beobachtete. Vgl. auch die Versuche *v. Kobell*'s (Münch. Gel. Anzeigen, 1850, Nr. 89 und 90).

Thermoëlektricität. Wenn man zwei sehr gute mineralische Leiter der Elektricität, z. B. Kupfer, Eisenkies, Kupferkies, Bleiglanz, Magnetit mit einander in Berührung bringt und die entgegengesetzten freien Enden durch einen Metalldraht verbindet, alsdann die Stelle, wo die beiden Mineralien sich berühren, erwärmt, so erhält man einen elektrischen Strom (Thermostrom), dessen Vorhandensein an einem in den Draht eingeschalteten Galvanometer durch Ablenkung einer Magnetnadel controllirt werden kann (Thermoëlektricität). Diejenige der beiden Substanzen, nach welcher sich der Strom alsdann hinbewegt, heisst positiv mit Bezug auf die andere; bei der Abkühlung der Contactstelle fliesst der Strom in umgekehrter Richtung von der positiven zur negativen. Je nach der Stärke des bei gleich grosser Erwärmung der Contactstelle entstehenden Stromes werden die metallischen Substanzen in eine Reihe geordnet, an deren einem positiven Ende Antimon, an deren anderem negativen Ende Wismut steht; beide liefern also einen sehr starken, bei der Erwärmung vom Wismut zum Antimon gehenden Strom. Bei anderen Mineralien ist der Strom um so stärker, je mehr das positive dem Antimon, und das negative dem Wismut genähert ist. Krystallographisch differente Flächen verhalten sich dabei abweichend: erhitztes Kupfer liefert einen stärkeren Strom, wenn es mit ∞R als wenn es mit 0R eines Eisenglanzkrystalls berührt wird. Die thermoëlektrische Kraft hängt aber auch bei ganz demselben Mineral in sofern von der Richtung ab, als Stäbchen, die aus einem einzigen, sehr gut leitenden Krystall in verschiedenen Richtungen herausgeschnitten sind, schon unter sich einen Thermostrom hervorbringen können, indem sie sich wie zwei abweichende Substanzen verhalten, wie dies von *Svanberg*, *Franz* und *Bäckström* (Z. f. Kryst. XVII. 1890. 424) nachgewiesen wurde. Bei einem holoëdrisch regulären Krystall sind aber alle Richtungen gleich, er liefert durch Gegenübersetzung derselben keinen Thermostrom.

Sehr merkwürdig aber verhält sich dagegen der dodekaëdrisch-hemiëdrisch reguläre Eisenkies, indem ein Theil seiner Krystalle noch positiver ist als Antimon, ein anderer Theil noch negativer als Wismut, so dass die Berührung zweier so verschiedener Krystalle einen noch stärkeren Thermostrom erzeugt, als Antimon mit Wismut; bei den positiven Krystallen zeigt das Pentagondodekaëder $\frac{\infty O 2}{2}$ eine Streifung parallel den ungleichlangen Würfelkanten und ist $\infty O \infty$ sowie $\frac{30\frac{3}{2}}{2}$ insbesondere entwickelt; bei den negativen Krystallen verläuft jene Streifung parallel den Höhenlinien der Pentagone und pflegt das Ikositetraëder 202 häufig aufzutreten.

9. Magnetismus.

§ 137. Die Fähigkeit, auf die Magnetnadel einzuwirken, findet sich zwar nur bei wenigen Mineralien, wird aber gerade für diese ein sehr charakteristisches Merkmal. Sie ist jedenfalls in einem Gehalt von Eisen begründet und hat dadurch auch insofern einigen Werth, wiefern sie uns über die Anwesenheit dieses Metalls belehrt. Es äussert sich aber diese Wirkung auf die Magnetnadel entweder als einfacher, oder als polarer Magnetismus, je nachdem der Körper auf beide Pole der Nadel durchaus nur anziehend, oder stellenweise nur auf einen Pol anziehend, auf den anderen dagegen abstossend wirkt. Meteoreisen, Magneteisen, Magnetkies, Almandin u. a. Mineralien mit bedeutendem Gehalt von Eisenoxydul zeigen den einfachen Magnetismus mehr oder weniger lebhaft; dasselbe gilt von verschiedenen

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

anderen eisenhaltigen Mineralien, nachdem man sie geglüht hat. Das Magneteisen zeigt aber auch bisweilen polaren Magnetismus, und verhält sich dann wie ein wirklicher Magnet; nach *v. Kokscharow* besitzt auch das Platin von Nischne-Tagilsk oft sehr intensiven polaren Magnetismus.

Man unterscheidet auch die magnetischen Körper als retractorische und attractorische, je nachdem sie nur vom Magnet angezogen werden, oder selbst Eisen (als Feilspäne) anziehen. Die meisten magnetischen Mineralien verhalten sich nur retractorisch, was manche erst dann erkennen lassen, wenn man ihr Pulver mit einem Magnetstab in Berührung bringt. Zur Entdeckung sehr schwacher magnetischer Reactionen dient die von *Haüy* angegebene Methode des doppelten Magnetismus.

Sehr wichtig wird der Gegensatz zwischen magnetischen und unmagnetischen Substanzen bei der Trennung von Mineralgemengen, wie sie in den Gesteinen vorliegen. Mit grossem Vortheil bediente sich *Fouqué* zuerst dabei des Elektromagneten, mittels dessen es z. B. vortrefflich gelingt, eisenhaltige Mineralien, wie Magnetit, Augit, Olivin von den eisenfreien, z. B. Feldspathen, Quarz zu separiren [1]).

Faraday hat bekanntlich zuerst solche Körper, welche, frei zwischen den Polen eines Magneten schwebend, ihre längste Dimension in die Verbindungslinie dieser Pole bringen, sich also axial stellen, als paramagnetische, diejenigen, welche ihre längste Dimension darauf senkrecht richten, also eine äquatoriale, transversale Stellung einnehmen, als diamagnetische bezeichnet; vom Magneten werden daher die ersteren (z. B. Stäbchen von eisenhaltigem Glas) angezogen, die letzteren (z. B. Stäbchen von eisenfreiem Glas) abgestossen. In den Krystallen ist nun auch die Stärke des Para- oder Diamagnetismus von der Richtung innerhalb derselben abhängig und zwar ergibt sich nach den Untersuchungen zuerst von *Plücker*, dann von *Grailich* und *v. Lang* Folgendes, in genauer Uebereinstimmung mit den optischen und thermischen Verhältnissen:

1) die regulären Krystalle (wie die amorphen Körper) zeigen nach allen Richtungen hin gleichen Grad dieser Eigenschaft, mögen sie nun para- oder diamagnetisch sein.

So ist das Magneteisen nach allen Richtungen gleich paramagnetisch. Eine Kugel aus solchen magnetisch isotropen Substanzen nimmt daher zwischen den Polen keine bestimmte Stellung an. — Wie amorphe Substanzen durch Druck Doppelbrechung erlangen, so können durch denselben auch diese hier in Rede stehenden Eigenschaften bei ihnen eine bestimmte Orientirung gewinnen.

2) die tetragonalen und hexagonalen Krystalle besitzen in der Richtung der Hauptaxe entweder den stärksten oder schwächsten Para- oder Diamagnetismus; in allen darauf senkrechten Richtungen herrscht dann umgekehrt das Minimum oder Maximum dieser Eigenschaften.

Daher stellt sich die Richtung der optischen Axe a) wenn der Krystall paramagnetisch ist: axial, sobald sie dem Maximum, äquatorial, sobald sie dem Minimum des Magnetismus entspricht; b) wenn der Krystall diamagnetisch ist: axial, sobald sie mit dem Minimum, äquatorial, sobald sie mit dem Maximum des Diamagnetismus

1) Namentlich wenn man sich des von *Paul Mann* construirten Apparats bedient: aus dem unteren Glashahn einer oben trichterförmig erweiterten verstellbaren Bürette fliesst ein ruhiger Strom von Wasser mit den darin suspendirten Gesteinspartikelchen über die messerschneideartig zugeschärften Pole eines hufeisenförmigen Elektromagneten in ein daruntergestelltes Becherglas (N. Jahrb. f. Min. 1884. II. 182).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

zusammenfällt. — Eisenspath, Turmalin und Vesuvian, alle einaxig, sind paramagnetisch, doch stellt sich die Hauptaxe bei dem ersten axial, bei den beiden anderen äquatorial. Der diamagnetische Kalkspath stellt die Hauptaxe axial, das ebenfalls rhomboëdrische und diamagnetische Wismut dieselbe äquatorial.

3) die Krystalle der übrigen Systeme zeigen eine dreifach verschiedene Richtung des stärksten, mittleren und schwächsten Para- und Diamagnetismus.

Beim rhombischen Aragonit, welcher drei nach senkrechten Richtungen verschiedene Hauptmagnetisirungscoëfficienten besitzt, wirkt die Verticalaxe *c* am stärksten, die Brachydiagonale *a* am schwächsten abstossend diamagnetisch.

§ 138. **Schlussbemerkung.** Aus den vorstehenden Erläuterungen ist es ersichtlich, in welchem genauen und gesetzmässig-nothwendigen Zusammenhang die verschiedenen physikalischen Beziehungen der Krystalle sowohl unter einander, als mit deren morphologischen Eigenschaften stehen. Licht, Wärme, Elektricität pflanzen sich auf völlig übereinstimmende Weise in den Krystallen fort, und die Krystallsysteme ordnen sich in ganz dieselben Abtheilungen, mag man nun als Argument der Gruppirung die optischen oder die thermischen, magnetischen u. s. w. Verschiedenheiten zu Grunde legen. Damit steht es alsdann auch in Verbindung, dass, wenn für einen Krystall z. B. die optischen Eigenschaften bekannt sind, man im Voraus allgemein bestimmen kann, wie derselbe z. B. die Wärme in sich fortpflanzen, oder auf welche Weise er sich durch die Wärme ausdehnen wird. Es ergibt sich ferner, dass jede geometrische Symmetrieebene eines Krystalls zugleich eine physikalische ist, dass zwei krystallographisch gleichwerthige Richtungen desselben dies auch in physikalischer Beziehung sind.

10. Physiologische Merkmale der Mineralien.

§ 139. **Geschmack, Geruch und Gefühl, welche manche Mineralien verursachen.** Unter dem Ausdruck physiologische Merkmale pflegt man diejenigen Eigenschaften zu begreifen, welche gewisse Mineralien durch den Geschmacksinn, den Geruchsinn, oder das Gemeingefühl erkennen lassen. Die zu ihrer Bezeichnung dienenden Ausdrücke werden der Sprache des täglichen Lebens entlehnt und bedürfen kaum einer besonderen Erwähnung.

So zeigen die meisten im Wasser sehr auflöslichen Mineralien auf der Zunge einen mehr oder weniger auffallenden Geschmack, welcher als salzig, süsslich, bitter, scharf u. s. w. unterschieden wird. — Einige Mineralien hauchen schon an und für sich einen eigenthümlichen Geruch aus, wie z. B. der Asphalt und der Schwefel. Andere lassen einen solchen Geruch erst verspüren, nachdem sie mit dem Hammer geschlagen oder auch stark gerieben worden sind; wie z. B. der Pyrit, das gediegene Arsen und der Stinkstein. Noch andere zeichnen sich durch einen thonigen oder bitterlichen Geruch aus, wenn sie angehaucht oder befeuchtet werden; wie z. B. die Thone, und überhaupt viele pelitische Mineralien, auch manche Hornblende u. a.; dieser Geruch der thonigen Mineralien wird von darin enthaltenen ammoniakalischen Stoffen hergeleitet. — Bei der Betastung mit den Fingern lassen manche Mineralien ein eigenthümliches Gefühl erkennen, indem sich einige fettig (z. B. Talk, Graphit), andere dagegen rauh oder mager anfühlen (z. B. Tripel, Kreide). Auch die in der specifischen Wärme und dem Wärmeleitungsvermögen begründete Verschiedenheit des mehr oder weniger kalten Anfühlens ist bisweilen beachtet worden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Endlich zeigen mehre amorphe und pelitische Mineralien die Eigenthümlichkeit, an der feuchten Zunge mehr oder weniger fest zu haften oder zu adhäriren, was in der hygroskopischen Eigenschaft derselben begründet ist; so z. B. die den Namen Hydrophan tragende Varietät des Opals, viele Varietäten von Bol und Steinmark.

Dritter Abschnitt.

Von den chemischen Eigenschaften der Mineralien.

§ 140. **Wichtigkeit derselben.** Da die chemischen Eigenschaften sich lediglich auf die Substanz der Mineralien beziehen, und gänzlich unabhängig von der Form derselben sind, so kommt auch bei der Betrachtung dieser Eigenschaften der Unterschied des krystallisirten, aggregirten und amorphen Zustandes gar nicht in Rücksicht. Indessen pflegt bei krystallinischen Mineralien das eigentliche Wesen ihrer Substanz in den frei auskrystallisirten Varietäten am reinsten ausgeprägt zu sein, so dass man die Gesetzmässigkeit der chemischen Zusammensetzung eines solchen Minerals gewöhnlich sicherer aus seinen krystallisirten, als aus seinen aggregirten Varietäten erkennen wird.

Aber auch die krystallisirten Varietäten werden der chemischen Analyse nicht immer das vollkommen reine Bild ihrer Substanz gewähren, weil die mikroskopischen Untersuchungen gelehrt haben, dass die Individuen vieler Mineralarten mit Mikrolithen anderer Mineralien, oder mit kleinen Partikeln der umgebenden Gesteinsmasse oder anderen verunreinigenden Gebilden erfüllt sind. Wenn dergleichen Einschlüsse in grosser Menge vorhanden sind, dann müssen sie nothwendig das Resultat der Analyse der sie einschliessenden Krystalle mehr oder weniger alteriren.

Die Mineralogie hat es bei der Betrachtung der chemischen Natur der Mineralien besonders mit zwei Gegenständen zu thun, mit ihrer chemischen Constitution und mit ihren chemischen Reactionen. In der ersteren lernen wir das chemische Wesen der Mineralien, in den Reactionen aber die, in solchem Wesen begründeten chemischen Eigenschaften derselben kennen, welche zugleich sehr werthvolle Merkmale zur Bestimmung und Unterscheidung der Mineralien darbieten. Die chemische Constitution eines Minerals kann blos durch eine genaue quantitative Analyse erkannt werden, deren Ausführung dem Chemiker als solchem anheimfällt. Die chemischen Reactionen führen nur mehr oder weniger genau auf die Kenntniss der qualitativen Zusammensetzung.

Die Mineralogie muss die Resultate der chemischen Untersuchung der Mineralien benutzen, wenn sie die Physiographie ihres Objects vollständig geben will. Denn wenn irgend etwas zur Charakterisirung der Natur eines anorganischen Körpers gehört, so sind es seine chemische Zusammensetzung und seine wichtigeren chemischen Reactionen; die Mineralogie, als Naturgeschichte der Mineralien, hat eben eine Darstellung derselben nach allen ihren Eigenschaften zu liefern. Die gegentheilige Ansicht früherer Zeit beruhte entweder auf einer unrichtigen Vorstellung von der Aufgabe der Naturgeschichte, oder auf einer keineswegs naturgemässen Parallelisirung der Mineralien mit den lebenden Organismen. Auf der anderen Seite darf man aber nicht

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

vergessen, dass es die Mineralogie mit den Körpern, und nicht lediglich mit der Substanz derselben zu thun hat, dass also eine blose chemische Kenntniss der Mineralien nicht das ist, was der Mineralogie genügen kann. Wer in dem Mineral nur eine Substanz anerkennt, der ist Demjenigen zu vergleichen, welcher in einer Marmorstatue nur kohlensauren Kalk sieht.

I. Abtheilung. Von der chemischen Constitution der Mineralien.

1. Elemente, ihre Zeichen und Atomgewichte.

§ 141. Man kennt gegenwärtig ca. 70 Elemente oder bisher unzerlegte Stoffe, welche sich, soweit sie genauer bekannt sind, nach gewissen Eigenschaften in folgende Abtheilungen bringen lassen:

I. Nicht-metallische Elemente (sogenannte Metalloide); meist gasige oder feste Körper, welche letztere nur selten metalloidischen Habitus besitzen, und schlechte Leiter der Elektricität und Wärme sind;
   1) gewöhnlich gasig: Sauerstoff, Wasserstoff, Stickstoff, Helium, Argon, Chlor, Fluor;
   2) gewöhnlich flüssig: Brom;
   3) gewöhnlich fest: Kohlenstoff, Phosphor, Schwefel, Bor, Selen, Jod, Silicium.

II. Metallische Elemente; bei gewöhnlicher Temperatur feste Körper (mit Ausnahme des Quecksilbers); in der Regel von metallischem Habitus und von grossem Leitungsvermögen für Elektricität und Wärme.

A. Leichte Metalle; sie haben ein specifisches Gewicht unter 5, und grosse Affinität zum Sauerstoff.
   a) Alkalimetalle; Kalium, Natrium, Lithium, Cäsium, Rubidium, Baryum, Strontium, Calcium.
   b) Erdmetalle; Magnesium, Lanthan, Yttrium, Erbium, Scandium, Beryllium, Aluminium, Zirkonium.

B. Schwere Metalle; sie haben ein specifisches Gewicht über 5, und lassen sich folgendermassen eintheilen:
   a) unedle, oder für sich nicht reducirbare Metalle:
      α) spröde und schwer schmelzbar: Thorium, Titan, Tantal, Niobium, Wolfram, Molybdän, Vanadium, Chrom, Uran, Mangan, Cerium, Didymium;
      β) spröde und leicht schmelzbar oder verdampfbar: Arsen, Antimon, Tellur, Wismut, Thallium, Germanium;
      γ) dehnbare unedle Metalle: Zink, Cadmium, Gallium, Zinn, Blei, Eisen, Kobalt, Nickel, Kupfer, Indium, Ruthenium;
   b) edle, oder für sich reducirbare Metalle: Quecksilber, Silber, Gold, Platin, Palladium, Rhodium, Iridium, Osmium.

Obgleich sich die Eintheilung der Elemente in nicht-metallische und metallische Elemente, und die der letzteren in leichte und schwere Metalle nicht ganz scharf und

consequent durchführen lässt, und obgleich sie, wie *Rammelsberg* sagt, für die Chemie unbrauchbar ist, weil der Begriff Metall ein rein physikalischer sei, so ist und bleibt sie doch für die Mineralogie, Metallurgie und die ganze berg- und hüttenmännische Praxis von der grössten Wichtigkeit.

Die Elemente pflegt man auch einfache Radicale zu nennen.

§ 142. **Atomgewichte und Zeichen der Elemente.** Wie alles in der Natur, so sind auch die mancherlei Verbindungen der Elemente mathematischen Gesetzen unterworfen, indem eine wahrhaft chemische Verbindung zweier Elemente keineswegs in unbestimmt schwankenden, sondern nur in bestimmt abgemessenen Gewichtsverhältnissen derselben erfolgt. Zwar können sich je zwei Elemente meistentheils in verschiedenen Verhältnissen mit einander verbinden, aber jedenfalls findet das Gesetz statt, dass, wenn das Gewichtsverhältniss auf einer ihrer Verbindungsstufen $= m : n$ ist, für gleiches Gewicht m des einen Elements die den übrigen Verbindungsstufen entsprechenden Gewichtsgrössen des anderen Elements Multipla oder Submultipla von n nach rationalen und sehr einfachen Zahlen sind.

Diese empirisch ermittelte Gesetzmässigkeit ist eine nothwendige Folge der atomistischen Constitution der Materie. Alle physikalischen und chemischen Erscheinungen nöthigen zu der theoretischen Annahme, dass die verschiedenen einfachen und zusammengesetzten Körper zunächst aus sehr kleinen Theilen bestehen, welche sich nicht unmittelbar berühren, und Molecüle genannt werden. Ein Molecül ist also die kleinste physikalisch untheilbare Menge eines Körpers, welche überhaupt selbständig gedacht werden kann. Die absolute Grösse der Krystallmolecüle ist unbekannt, aber gewisse Schlussfolgerungen gestatten bei dimorphen Körpern wenigstens Vermuthungen über die relative Moleculargrösse derselben. Diese Molecüle betrachtet man aber wiederum zusammengesetzt aus den kleinsten Theilchen der Elemente, welche man Atome nennt, indem man unter dem Atom eines Elements die kleinste Menge desselben versteht, welche zur Bildung eines Molecüls beitragen kann. Das Molecül einer Verbindung kann daher durch chemische Mittel weiter gespalten werden.

Jedem Molecül und jedem Atom muss ein bestimmtes, unabänderliches Gewicht eigen sein. Verbindet sich ein Element mit einem anderen in mehr als einem Verhältniss, so muss in den Molecülen der verschiedenen Verbindungen die Anzahl der Atome jedes Elements in einem bestimmten, aber von einander verschiedenen Verhältniss stehen; das Gesammtgewicht der einzelnen Elemente aber muss in allen Fällen ein Multiplum der Gewichte der einzelnen Atome sein.

Indem man nun zunächst die im gas- oder dampfförmigen Zustand bekannten Körper berücksichtigt, und die theoretische Voraussetzung einführt, dass solche in diesem Zustand bei gleich grossem Volumen, gleichem Druck und gleicher Temperatur gleich viele Molecüle enthalten, so gelangt man auf die Folgerung, dass die bei demselben Druck und derselben Temperatur bestimmten specifischen Gewichte der gas- und dampfförmigen Körper auch die relativen Gewichte ihrer Molecüle oder ihre Moleculargewichte sind.

Bestimmt man ferner diese Moleculargewichte verschiedener gasförmiger Körper und zugleich die elementare Zusammensetzung derselben, d. h. die

Gewichtsmengen der in dem Molecül enthaltenen einzelnen Elemente, so gelangt man durch Vergleichung dieser letzteren Gewichtsmengen zur Kenntniss der Atomgewichte der Elemente. Unter dem Atomgewicht eines Elements versteht man nämlich die kleinste relative Gewichtsmenge desselben, welche zur Bildung des Molecüls einer es selbst enthaltenden Verbindung beitragen kann.

Auf diese Weise fand man z. B., dass einem Gewichtstheil Wasserstoff

für das Chlor	35,37	Gewichtstheile
für den Sauerstoff	15,88	»
für den Kohlenstoff	11,97	»
für den Stickstoff	14,01	»

als die relativen Atomgewichte dieser Elemente entsprechen.

Da nun aber sehr viele Elemente im gasförmigen Zustand oder auch in dergleichen Verbindungen gar nicht bekannt sind, und folglich direct nicht auf ihre Molecular- und Atomgewichte untersucht werden können, so sind deren Atomgewichte mittelbar, theils aus der sehr wahrscheinlichen Voraussetzung, dass sich isomorphe Elemente in ihren isomorphen Verbindungen im Verhältniss ihrer Atomgewichte vertreten, theils aus dem annähernd gesetzmässigen Verhältniss zwischen specifischer Wärme und Atomgewicht erschlossen worden.

Es ist in mancher Hinsicht gleichgültig, welches Elementes Atomgewicht zur Grundlage für den Werth der übrigen gewählt wird. Früher nahm man den Wasserstoff mit dem kleinsten Atomgewicht als 1 an, in neuerer Zeit ist es üblich geworden, von dem Sauerstoff mit der Zahl 16 auszugehen, wodurch das Atomgewicht des Wasserstoffs = 1,01 wird. Um nun aber die Zusammensetzung eines aus zweien oder mehren Elementen bestehenden Körpers kurz und bestimmt auszudrücken, dazu dient die stöchiometrische Bezeichnung der Elemente.

Jedes Element erhält nämlich ein Zeichen, welches entweder der Anfangsbuchstabe seines lateinischen Namens, oder derselbe, mit noch einem anderen verbundene Buchstabe ist; so wird z. B. O das Zeichen des Sauerstoffs oder Oxygens, H das Zeichen des Wasserstoffs oder Hydrogens, P das Zeichen des Phosphors, Pb das Zeichen des Bleies. — Diese Zeichen haben aber auch zugleich eine stöchiometrische Bedeutung, indem sie das einfache oder ein Mal gesetzte Atomgewicht des betreffenden Elements ausdrücken; es bedeutet also O ein Atom Sauerstoff, Pb ein Atom Blei u. s. w. In den Verbindungen wird durch Ziffern, welche dem Zeichen des Elements hinzugefügt werden, die Anzahl der Atome ausgedrückt, mit denen es sich an dem Molecül betheiligt. So gibt die Formel des Wassers H^2O an, dass darin 2 Atome (2,02 Gewichtstheile) Wasserstoff mit 1 Atom (16 Gewichtstheilen) Sauerstoff zu einem Molecül (18,02 Gewichtstheilen) Wasser verbunden sind.

Die Zeichen und Atomgewichte der Elemente sind nun folgende[1]):

Aluminium	Al	27,1	Baryum	Ba	137,4
Antimon	Sb (Stibium) .	120	Beryllium	Be	9,1
Argon	Ar	39,9	Blei	Pb (Plumbum) .	206,9
Arsen	As	75	Bor	B	11

1) Die Zahlen beruhen auf den 1899 gefassten Beschlüssen der Deutschen chemischen Gesellschaft.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Brom	Br	. . . . .	79,96	Palladium	Pd	. . . . .	106
Cadmium	Cd	. . . . .	112	Phosphor	P	. . . . .	31
Cäsium	Cs	. . . . .	133	Platin	Pt	. . . . .	194,8
Calcium	Ca	. . . . .	40	Quecksilber	Hg	(Hydrargyrum)	200,3
Cer	Ce	. . . . .	140	Rhodium	Rh	. . . . .	103
Chlor	Cl	. . . . .	35,45	Rubidium	Rb	. . . . .	85,4
Chrom	Cr	. . . . .	52,1	Ruthenium	Ru	. . . . .	101,7
Didym	Di	. . . . .	142	Samarium	Sa	. . . . .	150
Eisen	Fe	(Ferrum) .	56	Sauerstoff	O	(Oxygenium)	16
Erbium	Er	. . . . .	166	Scandium	Sc	. . . . .	44,1
Fluor	F	. . . . .	19	Schwefel	S	(Sulphur) . .	32,06
Gallium	G	. . . . .	70	Selen	Se	. . . . .	79,1
Germanium	Ge	. . . . .	72	Silber	Ag	(Argentum)	107,93
Gold	Au	(Aurum) .	197,2	Silicium	Si	. . . . .	28,4
Helium	He	. . . . .	4	Stickstoff	N	(Nitrogenium)	14,04
Indium	In	. . . . .	114	Strontium	Sr	. . . . .	87,6
Iridium	Ir	. . . . .	193	Tantal	Ta	. . . . .	183
Jod	J	. . . . .	126,85	Tellur	Te	. . . . .	127
Kalium	K	. . . . .	39,15	Thallium	Tl	. . . . .	204,1
Kobalt	Co	. . . . .	59	Thorium	Th	. . . . .	232
Kohlenstoff	C	(Carbonium) .	12	Titan	Ti	. . . . .	48,1
Kupfer	Cu	(Cuprum) .	63,6	Uran	U	. . . . .	239,5
Lanthan	La	. . . . .	138	Vanadin	V	. . . . .	51,2
Lithium	Li	. . . . .	7,03	Wasserstoff	H	(Hydrogenium)	1,01
Magnesium	Mg	. . . . .	24,36	Wismut	Bi	(Bismuthum)	208,5
Mangan	Mn	. . . . .	55	Wolfram	W	. . . . .	184
Molybdän	Mo	. . . . .	96	Yttrium	Y	. . . . .	89
Natrium	Na	. . . . .	23,05	Zink	Zn	. . . . .	65,4
Nickel	Ni	. . .	58,7	Zinn	Sn	(Stannum) .	118,5
Niobium	Nb	. . . . .	94	Zirkonium	Zr	. . . . .	90,6
Osmium	Os	. . . . .	191				

§ 143. **Valenz der Elemente.** Unter der Valenz oder chemischen Werthigkeit der Elemente versteht man das bestimmte Bindungsvermögen, welches die Atome jedes Elements anderen Atomen gegenüber zeigen; man nennt die Elemente ein-, zwei-, drei- und vierwerthig, je nachdem ein Atom derselben 1, 2, 3 oder 4 Atome des Wasserstoffs als des zum Maass genommenen Normalelements zu binden oder zu ersetzen vermag. So verbindet sich ein Atom Cl mit 1 Atom H, ebenso auch ein Atom F oder Br mit 1 Atom H, und man bezeichnet diese Elemente daher als einwerthige.

Einwerthige Elemente sind H, K, Na, Li, Rb, Cs, J, Br, Cl, F, Ag. Dieselben verbinden oder ersetzen sich gegenseitig auch stets zu einem Atom.

1 Atom Sauerstoff bindet aber nicht 1, sondern 2 Atome Wasserstoff, ebenso 2 Atome K, überhaupt 2 Atome eines einwerthigen Elements; der chemische Werth des Sauerstoffatoms ist also doppelt so gross, wie der des Wasserstoffatoms, und man nennt daher den Sauerstoff und diejenigen Elemente, welche sich hierin ebenso verhalten, zweiwerthige. Solche sind: Ba, Ca, Sr, Mg, Mn, Fe, Cu, Pb, Zn, Cd, Hg, Te, Se, S. Die einzelnen Atome der Elemente dieser Reihe sind untereinander äquivalent, gleichwerthig: $O = 2Cl = 2H = Ca = 2Na$.

Die Werthigkeit eines Elements wird gewöhnlich aus seinen Verbindungen mit Chlor oder Wasserstoff ermittelt. B, Au, Ce, Y, N, P, As, Sb, Bi werden gewöhnlich

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

als dreiwerthige Elemente bezeichnet, weil die wichtigen Verbindungen derselben (NH^3, PH^3, PCl^3, $AsCl^3$, $BiCl^3$ u.s.w.) einer solchen Werthigkeit entsprechen[1]); demgemäss ist $Sb = 3H$; $2Sb = 3S$. Vierwerthige Elemente sind C, Si, Sn, Ti, Pt, weil sie in z. B. $SiCl^4$, $TiCl^4$, CH^4 vier Atome Cl oder H binden. Auch fünfwerthige Elemente hat man erkannt.

Es ist indessen zu bemerken, dass diese Verhältnisse nicht immer sofort klar erkannt werden können, weil 1) wahrscheinlich die Werthigkeit keine constante, den Elementen an und für sich zukommende Eigenschaft, sondern eine wechselnde Grösse ist[2], und 2) mehre Atome desselben Elements sich miteinander zu einem Molecül verbinden können, welches bei einigen Elementen dieselbe Werthigkeit wie das Atom, bei anderen eine von dieser verschiedene besitzt.

Die Werthigkeit der Elemente pflegt man wohl auch durch römische Ziffern auszudrücken, welche man über das Zeichen derselben setzt, z. B. $\overset{I}{Cl}$, $\overset{II}{O}$, $\overset{III}{Bi}$, $\overset{IV}{Si}$. — Die gegenseitige Bindung der Atome stellt man durch Striche dar, von denen jeder eine Valenzeinheit bedeutet.

R ist das allgemeine Zeichen für ein Element. Nach dem Obigen vertreten sich, um in dem Molecül den chemischen Gleichgewichtszustand zu erhalten, in Verbindungen nur solche Gruppen, deren Product aus Atomzahl und Werthigkeit gleich ist, also $\overset{I}{2R} = \overset{II}{R}$, $\overset{I}{4R} = \overset{IV}{R} = \overset{II}{2R}$ u. s. w.

Zwei Elemente von verschiedener Werthigkeit können sich aber auch in Verbindungen zu einer festeren Atomgruppe vereinigen, die dann als solche mit derjenigen Werthigkeit fungirt, welche jener Differenz entspricht; so ist die Gruppe $\overset{II\ I}{[OH]}$ (Hydroxyl) einwerthig und kann z. B. Cl oder F ersetzen; ebenso die Gruppe $\overset{V\ I}{[NH^4]}$ einwerthig, wie dieselbe in dem Chlorammonium $[NH^4]Cl$ dieselbe einwerthige Rolle spielt, wie Na allein im Chlornatrium NaCl. Andere Beispiele sind die ebenfalls einwerthigen $\overset{II\ I}{[MgF]}$ im Wagnerit, $\overset{III\ II}{[AlO]}$ in vielen basischen Silicaten, die zweiwerthige $\overset{III\ I}{[AlF]}$ im Amblygonit. Man nennt derartige Gruppen, in welchen die vorhandenen Verwandtschaftseinheiten nicht befriedigt sind, und welche also den Elementen gleich wirken, zusammengesetzte Radicale; sie sind im Folgenden mit einer eckigen Klammer umfasst.

Eisen, Mangan, Aluminium, Chrom treten vielfach in Verbindungen auf, in denen zwei ihrer Atome sechs Valenzen besitzen, z. B. Fe^2Cl^6, Al^2O^3, Cr^2O^3. Man hat diese zwei eng zusammengehörigen Atome wohl Doppelatome genannt, und kann ihr Vorhandensein durch eine Umschliessung mittels einer gerundeten Klammer (Al^2), (Fe^2) ausdrücken. — Ausserdem tritt besonders das Eisen in anderen Verbindungen auf, in denen es zweiwerthig erscheint.

Vielfach werden die Verbindungen der Metalle von wechselnder Valenz gegenseitig durch eine charakteristische Silbe unterschieden: so heissen Verbindungen des einwerthigen Kupfers Cuproverbindungen, z. B. CuCl Cuprochlorid, die des zweiwerthigen

1) N, P, As, Sb, Bi gelten auch als fünfwerthig, wobei dann die Verbindungen NH^3, PCl^3 als ungesättigt erscheinen. So wird unter Valenz mitunter das Maximum der Valenz verstanden.

2) So ist auch das Kupfer in der Verbindung CuCl einwerthig, in $CuCl^2$ zweiwerthig, das Eisen in $FeCl^2$ zweiwerthig, in $FeCl^3$ dreiwerthig.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Cupriverbindungen, z. B. $CuCl^2$ Cuprichlorid; ebenso Cu^2O (Kupferoxydul) Cuprooxyd, CuO (Kupferoxyd) Cuprioxyd. Das zweiwerthige Eisen liefert Ferroverbindungen, z. B. $FeCl^2$ Ferrochlorid, oder FeO, das höher dreiwerthige Ferriverbindungen, z. B. $FeCl^3$ Ferrichlorid, oder Fe^2O^3.

2. Chemische Constitution der Mineralien.

§ 144. **Unorganische Verbindungen.** Unter der chemischen Constitution eines Minerals versteht man die gesetzmässige Zusammensetzung desselben aus bestimmten Elementen nach bestimmten Proportionen. Einige wenige Mineralien sind ihrer chemischen Constitution nach als einfache Körper, als blose Elemente zu betrachten, wenn sie auch kleine Beimengungen anderer Substanzen enthalten; dahin gehören z. B. der Schwefel, der Diamant, der Graphit und mehre gediegene Metalle, wie Gold, Silber, Kupfer, Antimon, Arsen, Wismut, Quecksilber, Platin. Bei weitem die meisten Mineralien sind jedoch zusammengesetzte Körper oder chemische Verbindungen von Elementen. Schon aus der Definition von Mineral (§ 1) folgt, dass die eigentlichen Mineralien unorganische Verbindungen sein werden, während organische Verbindungen nur im Gebiet der Fossilien und als mancherlei Zersetzungsproducte derselben zu erwarten sind, wie z. B. in den Kohlen, Harzen und organisch-sauren Salzen.

Obgleich die Mineralien unorganische Verbindungen sind, so können sie doch oft kleine Quantitäten von Stoffen organischer Herkunft enthalten, welche in ihrer Masse ganz gleichmässig diffundirt sind. Wenn man dergleichen Mineralien im Glasrohr erhitzt, so verspürt man einen empyreumatischen Geruch, und erhält sogar bisweilen bituminöse Destillate, welche meist Ammoniak enthalten, das sich aus dem Stickstoff der organischen Substanz bildet. Etliche Mineralien verdanken ihre Farbe solchen Beimengungen organischer Stoffe (S. 264). Aus den Untersuchungen von *Delesse* geht hervor, dass gewisse Varietäten von Fluorit, Quarz, Opal, Chalcedon, Topas, Baryt, Calcit, Gyps u. a. Mineralien mehr oder weniger Stickstoff enthalten, welcher den von diesen Mineralien aufgenommenen organischen Substanzen angehört (*De l'Azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre*, Paris 1861). Nach *H. Erdmann* beträgt der Stickstoffgehalt procentarisch im Yttrotitanit 0,018, im Orthit 0,014, im Columbit und Ytterspath ca. 0,006, im Fergusonit, Monazit, Aeschynit ca. 0,005. — Helium und Argon finden sich namentlich im Cleveït (aus welchem das erstere um 110° entwickelt wird), auch im Malakon; Helium noch im Fergusonit, Monazit, Samarskit (in diesen bis 1,5 ccm per Gramm), Columbit, Tantalit, Polykras.

§ 145. **Säuren, Basen, Salze.** Für die vorliegenden Zwecke mag es, um zu einem allgemeinen Verständniss der Mineralzusammensetzung zu gelangen, genügen, folgende Sätze und Entwickelungen der Chemie hervorzuheben.

Man unterscheidet zwei Hauptarten von chemischen Verbindungen des Wasserstoffs: die Säuren (Hydrosäuren) und die Basen (Hydrobasen), von welchen die ersteren blaues Lackmuspapier röthen, die letzteren das rothe bläuen.

Eine Säure ist eine wasserstoffhaltige Verbindung, deren Wasserstoff leicht ganz oder theilweise durch Metalle ersetzt werden kann. Der mit diesem Wasserstoff verbundene Rest, den man Radical nennt, enthält ein elektronegatives Element, nämlich entweder ein Halogen (Cl, Br, J, F), oder Sauerstoff oder Schwefel. Ist R das Zeichen eines (elektronegativen) Elements, so ist die allgemeine Formel

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

für die so hervorgehenden drei Classen von Säuren, diejenigen mit einem Halogen allein, die Oxysäuren und die Sulfosäuren:

Wasserstoffsäuren = HR, Oxysäuren = H^mRO^n, Sulfosäuren = H^mRS^n.

Die Wasserstoffsäuren sind die Verbindungen von H mit Cl, Br, J und F; selten sind die Sulfosäuren; Beispiele der sehr zahlreichen Oxysäuren sind: HNO^3 Salpetersäure, H^2SO^4 Schwefelsäure, H^2CO^3 Kohlensäure, H^3PO^4 Phosphorsäure, H^4SiO^4 Kieselsäure. Die Säuren werden je nach der Anzahl ihrer ersetzbaren Wasserstoffatome ein-, zwei-, drei-, vierbasische (mono-, di-, tri-, tetrahydrische) genannt. Man stellt sich die Constitution der Oxysäuren so vor, dass man in ihnen Verbindungen sieht, in welchen 1 oder 2 oder 3 Sauerstoffatome zur Hälfte durch ebensoviel Atome Wasserstoff, zur Hälfte durch eine Atomgruppe (Säureradical) gebunden sind, welche 1 oder 2 oder 3 Atomen eines einwerthigen Elements äquivalent ist.

Wenn aus einer Oxysäure der Wasserstoff in Verbindung mit Sauerstoff als Wasser ausgeschieden wird, so entsteht ein Säure-Anhydrid[1]). Bei ein- und dreibasischen Säuren sind zu diesem Vorgang zwei Molecüle erforderlich; z. B.

$2(HNO^3) - H^2O = N^2O^5$, Salpetersäure-Anhydrid,
$H^2SO^4 - H^2O = SO^3$, Schwefelsäure-Anhydrid,
$2(H^3PO^4) - 3H^2O = P^2O^5$, Phosphorsäure-Anhydrid,
$H^4SiO^4 - 2H^2O = SiO^2$, Kieselsäure-Anhydrid.

Die Säure-Anhydride stellen demzufolge Sauerstoffverbindungen (Oxyde) von Elementen dar.

Ebenso gehen aus den Sulfosäuren durch Ausscheidung von Schwefelwasserstoff H^2S die Anhydride hervor, welche Schwefelverbindungen der Elemente sind; z. B. $2(H^3AsS^4) - 3H^2S = As^2S^5$.

Im Mineralreich sind sowohl Anhydride von Oxysäuren bekannt, z. B. das der Kieselsäure (SiO^2) als Quarz, das der Titansäure (TiO^2) als Rutil, als auch Anhydride von Sulfosäuren, z. B. As^2S^3 (Auripigment), Sb^2S^3 (Antimonglanz).

Eine Basis, z. B. Na[OH], ist eine einwerthiges Hydroxyl (OH)-haltige Verbindung, deren Hydroxylrest eines Austausches gegen Säureradicale fähig ist; das daneben vorhandene Element ist ein Metall, also elektropositiv. Von diesen eigentlichen sauerstoffhaltigen (Oxy-) Basen unterscheidet man wohl die sog. Sulfobasen, welche aus einem Metall, Schwefel und Wasserstoff bestehen. Meist ist in den Basen die Anzahl der Wasserstoffatome gleich der Anzahl der Sauerstoffatome oder Schwefelatome. Bezeichnet R ein elektropositives Element, so ist die allgemeine Formel für die Glieder der beiden Classen: $R[OH]^n$ und $R[SH]^n$.

Betreffs der Constitution der Oxybasen (und Sulfobasen) gilt die Vorstellung, dass 1, 2 oder 3 Atome Sauerstoff (oder Schwefel) zur Hälfte durch ebensoviel Atome Wasserstoff, zur Hälfte durch ein denselben gleichwerthiges Metallatom gebunden sind; nach der Valenz desselben unterscheidet man ein-, zwei-, drei-, vierwerthige (-hydrische) u. s. w. Basen (Hydroxyde und Hydrosulfüre); z. B.:

---

1) Vormals wurde dies als die eigentliche Säure bezeichnet.

Natriumhydroxyd $= \overset{I}{Na}[OH]$, monohydrisch,
Baryumhydroxyd $= \overset{II}{Ba}[OH]^2$, dihydrisch,
Wismuthydroxyd $= \overset{III}{Bi}[OH]^3$, trihydrisch,
Baryumhydrosulfür $= \overset{II}{Ba}[SH]^2$, dihydrisch.

Hydroxyde kommen im Mineralreich in etlicher Anzahl vor, z. B. Brucit $Mg[OH]^2$, Hydrargillit $Al[OH]^3$, Sassolin $B[OH]^3$. Auch andere, welche man aus den vorstehenden als durch theilweisen Wasserverlust hervorgegangen sich vorstellen kann, z. B. Diaspor $AlO[OH]$, entstanden aus $Al[OH]^3$ durch Abspaltung von 1 Mol. H^2O; ebenso Goethit $FeO[OH]$. — Wasserstoffhaltige Sulfobasen (Hydrosulfüre), welche den Hydroxyden entsprächen, kommen in der Natur nicht vor.

Wenn aus einer Oxybasis der Wasserstoff in Verbindung mit Sauerstoff als Wasser (H^2O) gänzlich ausgeschieden wird, so nennt man die restirende Verbindung ein Basisanhydrid[1]; sie ist das Oxyd eines Metalls, z. B.

Natriumhydroxyd $2Na[OH] - H^2O = Na^2O$, Natriumoxyd, Natron,
Zinkhydroxyd $Zn[OH]^2 - H^2O = ZnO$, Zinkoxyd,
Wismuthydroxyd $2Bi[OH]^3 - 3H^2O = Bi^2O^3$, Wismutoxyd.

Die Oxyde, die Verbindungen eines Elements mit Sauerstoff, werden, nach der geringeren oder grösseren Menge Sauerstoff, als Suboxyd, Oxydul, Oxyduloxyd, Oxyd, Super- oder Hyperoxyd unterschieden; z. B. Pb^2O Bleisuboxyd, MnO Manganoxydul, Mn^2O^3 Manganoxyd, MnO^2 Mangansuperoxyd, $Fe^3O^4 = FeO.(Fe^2)O^3$ Eisenoxyduloxyd.

Analog geht so aus einer Sulfobasis durch Ausscheidung von H^2S als Anhydrid ein Schwefelmetall hervor, z. B.

$2Na[SH] - H^2S = Na^2S$, Schwefelnatrium,
$Ba[SH]^2 - H^2S = BaS$, Schwefelbaryum.

Oxyde, und zwar sowohl der leichten als der schweren Metalle, spielen eine grosse Rolle im Mineralreich, z. B. Rothkupfererz Cu^2O, Periklas MgO, Bleioxyd PbO, Rothzinkerz ZnO, Korund Al^2O^3, Eisenglanz Fe^2O^3. — Auch basische Schwefelmetalle sind weit verbreitet, z. B. Bleiglanz PbS, Kupferglanz Cu^2S, Silberglanz Ag^2S, Zinnober HgS, Zinkblende ZnS, Rothnickelkies $NiAs$.

Ein Salz ist eine Verbindung, welche bei gegenseitiger Einwirkung einer Säure und Basis dadurch entsteht, dass an die Stelle des (ersetzbaren) Wasserstoffs in der Säure ein (elektropositives) Metall von derselben Werthigkeit tritt. Ebenso viel Wasserstoffatome wie in der Säure ersetzt werden, treten aus der Basis mit der entsprechenden Menge Sauerstoff als Wasser dabei aus.

Demzufolge verlangt 1 Mol. einer zweibasischen Säure entweder 1 Mol. einer zweiwerthigen Basis, oder 2 Mol. einer einwerthigen Basis; 1 Mol. einer vierbasischen Säure erfordert entweder 4 Mol. einer einwerthigen, oder 2 einer zweiwerthigen, oder 1 Mol. einer vierwerthigen Basis. So werden in der Schwefelsäure H^2SO^4 die 2 Atome Wasserstoff entweder durch 2 Atome des einwerthigen Kaliums, oder durch 1 Atom des zweiwerthigen Zinks ersetzt, und es bildet sich K^2SO^4 oder $ZnSO^4$.

---

1) Die Basisanhydride oder Anhydroxyde sind das, was man früher Basis nannte.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Je nach den erwähnten drei Arten von Säuren bezeichnet man die daraus hervorgehenden Salze als Haloidsalze, Oxysalze (Sauerstoffsalze) und Sulfosalze.

Ein Haloidsalz ist das Salz einer Säure von einfachem Radical, z. B. NaCl, AgJ, CaF^2 (entstanden aus HCl, HJ, 2(HF). Beispiele von Haloidsalzen (Chloride, Bromide, Jodide, Fluoride) aus dem Mineralreich sind die häufigen Kochsalz und Flussspath, die seltenen Chlorsilber, Chlorquecksilber, Fluormagnesium.

Die Oxysalze stellen die zahlreichste Classe der Mineralverbindungen dar. Man bezeichnet sie nach dem Säureradical als Carbonate (z. B. $CaCO^3$, $FeCO^3$), Sulfate (z. B. $BaSO^4$, $PbSO^4$), Nitrate (z. B. KNO^3), Borate, Phosphate, Arsenate, Chromate, Tantalate, Molybdate ($PbMoO^4$), Silicate (z. B. Mg^2SiO^4). Die Anzahl der natürlich vorkommenden Silicate allein ist grösser, als die aller übrigen Oxysalze zusammengenommen.

Für mehre Oxysalze sind die betreffenden Säuren (Hydrosäuren) unbekannt; so kennen wir zwar die Schwefelsäure H^2SO^4, aber nicht die Kohlensäure H^2CO^3, sondern blos ihr Anhydrid (vgl. S. 287) CO^2; ebenfalls nicht die arsenige Säure H^3AsO^3, sondern nur ihr Anhydrid As^2O^3.

Früher ging man von der Ansicht aus, dass die Oxysalze binäre Verbindungen seien, zusammengesetzt aus zwei sauerstoffhaltigen Körpern: der Basis und der Säure; so fasste man den Kalkspath ($CaCO^3$) auf als bestehend aus der Basis CaO und der Säure CO^2, den Schwerspath ($BaSO^4$) als bestehend aus BaO und SO^3. Diejenigen Verbindungen, welche man jetzt als Säureanhydride betrachtet (CO^2 und SO^3), wurden für die eigentlichen Säuren, die jetzigen Basisanhydride (CaO und BaO) für die eigentlichen Basen gehalten. Für die Bezeichnung der Salze bildete man aus dem Namen der Säure ein Adjectivum, welches man dem Namen der Basis vorsetzte, sprach also von kohlensaurem Kalk und von schwefelsaurem Baryt.

Die Sulfosalze (Schwefelsalze) gehen ebenso, wie die Oxysalze aus den Oxysäuren, aus den Sulfosäuren hervor. Die natürlich im Mineralreich vorkommenden bestehen aus Schwefel, aus Antimon (Arsen oder Wismut) und einem elektropositiven Metall (Silber, Kupfer, Blei, seltener Eisen oder einem anderen); z. B. Miargyrit, $AgSbS^2$, dunkles Rothgültigerz Ag^3SbS^3, Zinckenit $PbSb^2S^4$, Dufrenoysit $Pb^2As^2S^5$, Klaprothit $Cu^6Bi^4S^9$. Die entsprechenden Sulfosäuren (z. B. $HSbS^2$, H^3SbS^3, $H^6Bi^4S^9$) und Sulfobasen indessen, deren Vorhandensein diese Salze voraussetzen, sind unbekannt; wir kennen nur deren Anhydride, die einfachen Schwefelverbindungen oder Sulfide, z. B. As^2S^3, Sb^2S^3, Ag^2S, Cu^2S, PbS.

Diese Anhydride sind es, in welchen man auch hier früher die eigentlichen Sulfobasen und Sulfosäuren sah; die Sulfosalze erachtete man demzufolge gemäss der dualistischen Auffassung ebenfalls als aus einer elektropositiven sog. Sulfobasis und einer elektronegativen Sulfosäure gebildet; so z. B. wurde $PbSb^2S^4$ aufgefasst als zusammengesetzt aus $PbS + Sb^2S^3$; ferner Ag^3SbS^3 als bestehend aus $3Ag^2S + Sb^2S^3$; oder $Pb^2As^2S^5$ als $2PbS + As^2S^3$. In jeder dieser älteren Formeln ist das erste Glied die sog. Sulfobasis, das zweite die sog. Sulfosäure. Diese frühere Schreibweise ist indessen auch jetzt noch immer von praktischem Nutzen und sie mag nebenher beibehalten werden, sofern man sich nur erinnert, dass sie nicht theoretisch begründet ist.

Werden in einer Säure alle Wasserstoffatome durch Metallatome ersetzt, so bildet sie mit diesen ein neutrales oder normales Salz; z. B. unter den Oxysalzen K^2SO^4, gebildet vermittels Ersetzung des H^2 in H^2SO^4 durch K^2; ebenso $CaCO^3$, oder KNO^3. Ein solches Salz geht aus äquivalenten Mengen von Säure und Basis

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

hervor; es kann auch aufgefasst werden als eine Basis (normales Hydroxyd), in welcher die sämmtlichen Hydroxyle durch Säureradicale vertreten sind.

Entspricht die Werthigkeit des Metalls nicht direct derjenigen der Wasserstoffatome in der Säure, so müssen von der letzteren mehre Molecüle zur Ableitung des neutralen Salzes in Anspruch genommen werden; um z. B. aus der Phosphorsäure H^3PO^4 ein neutrales Salz des zweiwerthigen Calciums zu erhalten, sind 2 Mol. derselben erforderlich: $H^6[PO^4]^2$ liefern dann $Ca^3[PO^4]^2$; $PbCl^2$ ist ein neutrales Haloidsalz aus 2(HCl). — Ein neutrales Sulfosalz ist z. B. Rothgültigerz Ag^3AsS^3, abgeleitet aus H^3AsS^3; oder Boulangerit $Pb^3Sb^2S^6$, abgeleitet aus 2 Mol. der Sulfosäure H^3SbS^3 durch Ersatz von H^6 durch Pb^3.

Ist aber in der Säure nur ein Theil des Wasserstoffs durch Metallatome ersetzt, so heisst die Verbindung ein saures Salz, welches also noch durch Metall vertretbaren Wasserstoff enthält. Empirisch ist dasselbe mithin neutrales Salz + 1 oder n Molecülen Säure. So ist z. B. saures Kaliumsulfat: $(K^2SO^4 + H^2SO^4) = HKSO^4$, entstanden aus H^2SO^4, in welchem nur 1 Atom H durch 1 Atom K ersetzt ist; die Phosphorsäure $H^3[PO^4]$ liefert das saure Calciumphosphat $HCa[PO^4]$; die Kohlensäure H^2CO^3 das saure Calciumcarbonat (Bicarbonat) $H^2CaC^2O^6$. Dioptas H^2CuSiO^4 ist das saure Kupfersalz der Kieselsäure H^4SiO^4. Einbasische Säuren und einwerthige Basen können miteinander keine sauren, sondern nur neutrale Salze liefern. Die Lösungen der sauren Salze röthen gewöhnlich blaues Lackmuspapier.

Wird umgekehrt eine Basis mit einer Säure unvollständig gesättigt, oder wird zu dem neutralen Salz noch Basis hinzugefügt, so dass nicht nur alle Wasserstoffatome der Säure durch Metall ersetzt werden, sondern dies noch Hydroxylreste mit sich bringt, so entsteht ein basisches Salz; empirisch ist ein solches eine Verbindung eines neutralen Salzes mit 1 oder n Molecülen Basis.

Ein Beispiel eines basischen Haloidsalzes, in welchem das Hydroxyl einer Basis nur zum Theil durch einen Säurerest ersetzt ist, gibt der Laurionit $Pb[OH]Cl$, dadurch entstanden zu denken, dass in $Pb[OH]^2$ nur 1[OH] durch Cl vertreten wird (die Formel kann auch als Verbindung des neutralen Haloidsalzes mit Basis, $PbCl^2.Pb[OH]^2$ geschrieben werden.

Eine Gruppe von basischen Salzen kann auch von einer Säure abgeleitet werden, in welcher der Wasserstoff nicht durch Metall, sondern durch basische Atomgruppen, wie die einwerthigen [Mg.OH], [Zn.OH], [AlO], [Al.OH^2], die zweiwerthigen [Pb^2O], [Al.OH] ersetzt ist.

Beispiele sind: Malachit (darstellbar durch $CuCO^3.Cu[OH]^2$ oder auch) $[Cu.OH]^2CO^3$, indem in H^2CO^3 die 2 Wasserstoff durch 2 des einwerthigen [Cu.OH] ersetzt sind. — Adamin ($= Zn^3[AsO^4]^2.Zn[OH]^2$ oder) $Zn[Zn.OH]AsO^4$, indem in H^3AsO^4 von den 3 Wasserstoff 2 durch 1 Zn, 1 durch das einwerthige [Zn.OH] ersetzt werden. — Lanarkit ($= PbSO^4.PbO$ oder) $[Pb^2O]SO^4$, abgeleitet von H^2SO^4 durch Ersatz von 2H durch das zweiwerthige [Pb^2O]. — Andalusit (Al^2SiO^5) ist so in der Schreibweise $Al[AlO]SiO^4$ das basische Salz der Orthokieselsäure H^4SiO^4.

Hierher gehören auch die wasserstofffreien basischen Haloidsalze (Oxychloride), z. B. Matlockit ($= PbCl^2.PbO$ oder) $[Pb^2O]Cl^2$, abgeleitet von $2HCl$ durch Ersatz von 2H durch das zweiwerthige [Pb^2O].

Ein Beispiel eines basischen Sulfosalzes wäre der Jordanit, $Pb^4As^2S^7$, deutbar als $Pb^3As^2S^6.PbS$; das erste Glied ist neutrales Salz der Sulfosäure H^3AsS^3.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Doppelsalze sind moleculare, nach festen Verhältnissen erfolgende Verbindungen von zwei oder mehren verschiedenartigen Salzen, die keine freien Valenzen darbieten. Dieselben erscheinen, meist wasserhaltig, im Mineralreich als:

1) Verbindungen von zwei Sauerstoffsalzen, z. B. Glauberit $Na^2SO^4.CaSO^4$; Syngenit $K^2SO^4.CaSO^4 + H^2O$; Kali-Alaun $K^2SO^4.Al^2S^3O^{12} + 24H^2O$; oder das dreifache Salz Polyhalit $K^2SO^4.MgSO^4.2CaSO^4 + 2H^2O$.
2) Verbindungen von einem Sauerstoffsalz und einem Haloidsalz, z. B. Kainit $MgSO^4.KCl + 3H^2O$.
3) Verbindungen von zwei Haloidsalzen, z. B. Kryolith $6NaF.Al^2F^6$; Carnallit $KCl.MgCl^2 + 6H^2O$.
4) Verbindungen von zwei Sulfosalzen, z. B. Bournonit.

In den Doppelsalzen pflegen die einzelnen nur durch schwache Anziehungen mit einander verbunden zu sein, z. B. beim Glauberit, welcher in Wasser zu Natriumsulfat und Gyps zerfällt. Für die wahren Doppelsalze ist es wahrscheinlich, dass die einzelnen darin enthaltenen Verbindungen für sich in einer Lösung bestanden, und dann erst im Augenblick der Krystallisation, mit oder ohne Wasseraufnahme, sich vereinigt haben. Da aber in den meisten Fällen hierfür der wirkliche Beweis noch fehlt, so werden dergleichen Substanzen vielfach mit demselben Recht auch als chemische Verbindungen betrachtet. Für den Alaun ist allerdings die Doppelsalznatur deshalb wahrscheinlich, weil zufolge *Thomsen* beim Zusammentreffen einer Lösung mit Gehalt von $Al^2[SO^4]^3$ und einer solchen mit K^2SO^4 keine merkliche Wärmeentwicklung erfolgt, wie dies bei jeder wirklichen chemischen Verbindung stattfindet. Uebereinstimmend verhält es sich beim Carnallit. — Uebrigens werden die Doppelsalze noch dadurch charakterisirt, dass sich die physikalischen Eigenschaften derselben (im Gegensatz zu den isomorphen Mischungen) aus denjenigen der betreffenden Componenten nicht ableiten lassen.

Die eigentlichen Doppelsalze müssen übrigens von den isomorphen Mischungen getrennt gehalten werden; dies sind Vereinigungen von Salzen, bei welchen die einzelnen Glieder untereinander isomorph sind und sich in beliebigen Verhältnissen gegenseitig vertreten können, z. B. Olivin $xMg^2SiO^4 + yFe^2SiO^4$; Wolframit $xMnWO^4 + yFeWO^4$.

Sehr selten sind im Mineralreich die Verbindungen von einem schwefel- und einem sauerstoffhaltigen Glied, z. B. Rothspiessglanz oder Antimonblende Sb^2S^2O, welches eine Verbindung von 2 Mol. Schwefelantimon und 1 Mol. Antimonoxyd ($2Sb^2S^3.Sb^2O^3$) ist; oder der Voltzin Zn^5S^4O, eine Verbindung von 4 Mol. Schwefelzink und 1 Mol. Zinkoxyd ($4ZnS.ZnO$).

§ 146. **Bedeutung des Wassers in den Mineralien.** Sehr viele Mineralien liefern beim schwächeren oder stärkeren Erhitzen Wasser; der Grund davon ist nach den jetzigen Vorstellungen ein dreifacher, indem nämlich 1) das Mineral mechanisch zwischen seinen Partikeln Wasser eingeschlossen enthält (vgl. Flüssigkeitseinschlüsse § 69); 2) das Wasser als solches in Krystallen molecular eingelagert ist, und 3) das Wasser überhaupt nicht als solches ursprünglich in den Krystallen vorhanden ist, sondern erst in starker Hitze durch den Zusammentritt von atomistisch gebundenem Wasserstoff und Sauerstoff darin entsteht.

Solche Körper, welche den Wasserdampf aus der Luft anziehen, z. B. das Kochsalz mit einem Gehalt an Chlormagnesium, heissen hygroskopische. Dies

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mechanisch aufgenommene Wasser nennt man auch Decrepitationswasser, weil in Folge seiner Ausdehnung beim Erwärmen die Krystalle decrepitiren.

Grösseres Interesse verdient das in den Krystallen vorhandene Krystallwasser, von welchem man gewöhnlich annimmt, dass es als H^2O vermöge der Wirksamkeit molecularer (d. h. Krystallisations-) Kräfte in verdichtetem Zustand gesetzmässig zwischen den Molecülen der Substanz gelagert ist; es gilt die Vorstellung, dass es nur durch schwache Anziehung angefügt, nicht aber durch Valenzen angekettet sei. Sehr viele Oxysalze (unter den Mineralien z. B. Glaubersalz, Soda, Tinkal, Alaun, Gyps, Haarsalz, Vitriole) nehmen nämlich bei ihrem Uebergang aus dem gelösten Zustand in den krystallinischen eine gewisse Menge Wasser auf, welches zum Bestehen ihrer Krystallgestalt unentbehrlich ist. Seine Menge beträgt ein oder mehre Molecüle, und hängt im Allgemeinen, wie namentlich künstliche Salze zeigen, oft von der Temperatur ab, bei welcher die Substanz krystallisirt.

1 Mol. Krystallwasser wird auch mit aq. (aqua) bezeichnet. So ist Gyps $CaSO^4 + 2H^2O$, ganz anders krystallisirend, als das wasserfreie Kalksulfat; Bittersalz $MgSO^4 + 7H^2O$; Glaubersalz $Na^2SO^4 + 10H^2O$; Natrolith $Na^2Al^2Si^3O^{10} + 2H^2O$. — Das Natriumsulfat (schwefelsaures Natron) schiesst künstlich aus derselben Auflösung wasserfrei und als Hydrat mit verschiedenen Molecülen Krystallwasser an, je nachdem die Temperatur höher oder niedriger ist. — Aus einer gesättigten Lösung von Chlornatrium entstehen bei gewöhnlicher Temperatur wasserfreie Kochsalzwürfel $NaCl$, bei Temperaturen unter 0° C. monokline Krystalle von der Zusammensetzung $NaCl + 2H^2O$. — Verdampfen einer heissen Lösung des rhombischen Bittersalzes $MgSO^4 + 7H^2O$ liefert monokline Krystalle der Substanz $MgSO^4 + 6H^2O$.

Das Krystallwasser wird aus den dasselbe enthaltenden Körpern meistens leicht getrennt, sei es durch bloses Liegen an trockener Luft (z. B. Kupfervitriol, Eisenvitriol), oder durch mässiges Erhitzen. Die wasserfrei gewordenen Substanzen nehmen dasselbe aber gern unter geeigneten Umständen, bei Berührung mit Wasser oder feuchter Luft wieder auf.

Der Gyps nimmt zwar diejenigen Quantitäten Wasser, welche bei einer Erhitzung zwischen 100° und 200° ausgetrieben sind, beim Befeuchten wieder auf und regenerirt sich wieder zu Gyps. Ist aber durch stärkeres Erhitzen auch die letzte Wassermenge verloren gegangen, so hat er sich »todtgebrannt«, d. h. er nimmt nun beim Befeuchten überhaupt kein Wasser mehr auf, bleibt blos Calciumsulfat.

Manche Salze, welche reich an Krystallwasser sind, besitzen für die einzelnen Molecüle desselben verschiedene Anziehung und lassen dasselbe so beim Erhitzen ruckweise oder in Pausen entweichen. Der Eisenvitriol $FeSO^4 + 7H^2O$ verliert beim ersten Erhitzen 3 Mol. Wasser, bei der ferneren Temperatursteigerung stockt die Wasserabgabe, dann entweichen 3 weitere Mol., und erst nach einer abermaligen Pause verschwindet beim stärksten Erhitzen das letzte Mol. Wasser. Dies Verhalten würde durch die Formel $FeSO^4 + H^2O + 3H^2O + 3H^2O$ ausgedrückt. Diejenige für das Bittersalz mit ebenfalls 7 Mol. Wasser wäre darnach $MgSO^4 + H^2O + 5H^2O + H^2O$, die abermals abweichende für den Zinkvitriol $ZnSO^4 + H^2O + H^2O + 5H^2O$ (zufolge *Müller-Erzbach*). Der Kupfervitriol verliert von seinen 5 Mol. Wasser bei 100° vier, das fünfte geht erst bei 200° weg.

Ganz anders verhält es sich nun mit demjenigen Wasser, welches zwar auch beim Erhitzen einer Substanz zum Vorschein kommt, aber nach aller Wahrscheinlichkeit nicht fertig gebildet als solches darin präexistirte, sondern ein Product des Erhitzens ist, indem es erst in Folge einer inneren Umsetzung entsteht,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

welche in einer wasserstoff- und sauerstoffhaltigen Verbindung erfolgt. Man stellt sich vor, dass seine beiden Bestandtheile in unmittelbarer chemischer, d. h. atomistischer Verbindung mit den Atomen der Substanz vorhanden sind, welche H und O als Hydroxyl [OH] enthält. Im Allgemeinen wird dieses Wasser erst in der Glühhitze frei und von der desselben beraubten Substanz nicht wieder direct aufgenommen; es heisst auch Hydratwasser, Constitutionswasser, basisches oder chemisch gebundenes Wasser.

Zu solchen Verbindungen gehören die Basen oder Hydroxyde (S. 287) mit den allgemeinen Formeln $\overset{I}{R}[OH]$, $\overset{II}{R}[OH]^2$, $\overset{III}{R}[OH]^3$ u. s. w., welche, indem sie durch Verbindung von H^2 mit O Wasser austreten lassen, zu Basisanhydriden oder Metalloxyden werden. Das natürlich und krystallisirt als Hydrargillit vorkommende Aluminiumhydroxyd (die Basis der Thonerdesalze) $Al[OH]^3$ verliert erst bei 200° Wasser und zwar zunächst nur 2 Molecüle, wodurch es sich in $AlO[OH]$ verwandelt, eine Verbindung, welche auch als Diaspor natürlich vorkommt. Diese fängt dann ihrerseits erst bei einer Erhitzung auf mehr denn 450° an sich zu zersetzen, und erst in starker Glühhitze entweicht das letzte Mol. Wasser, nach dessen Abgabe sie zu Al^2O^3, dem Thonerdeanhydrid (sog. Thonerde) wird. Auch der mit dem Diaspor isomorphe Manganit $MnO[OH]$ gibt erst in starker Glühhitze das durch Zusammentritt gebildete Wasser ab; ebenso verhält sich der Goethit $FeO[OH]$.

Früher war man der Ansicht, dass das Wasser in derartigen H und O enthaltenden Mineralien als solches, als Krystallwasser präexistire, und schrieb daher die Formel des Hydrargillits $(Al^2)O^3 + 3H^2O$; die des Diaspors $(Al^2)O^3 + H^2O$; die des Goethits $(Fe^2)O^3 + H^2O$.

Das Wasser entweicht also auch als Product beim Erhitzen derjenigen Mineralien, welche als basische Salze Verbindungen von neutralen Carbonaten, Sulfaten, Phosphaten, Arsenaten mit Hydroxyden sind (vgl. S. 290); z. B. Malachit $CuCO^3.Cu[OH]^2$; Zinkblüthe $ZnCO^3.2Zn[OH]^2$; Libethenit $Cu^3[PO^4]^2.Cu[OH]^2$. Hierher gehört auch der sehr belehrende Brochantit, $CuSO^4.3Cu[OH]^2$, welcher erst bei 300° Wasser verliert und dann nach *Ludwig* in der That ein Gemenge von Kupfersulfat und Kupferoxyd zurücklässt.

Vormals hielt man auch dies hier entstehende Wasser für als solches präexistirendes Krystallwasser und schrieb demzufolge die Formel des Malachits $2CuO.CO^2 + H^2O$; die der Zinkblüthe $3ZnO.CO^2 + 2H^2O$.

Sehr bemerkenswerth ist das Wasser, welches aus gewissen Silicaten erst in starker Glühhitze frei wird; *Damour* zeigte zuerst, dass der stets als wasserfrei erachtete Euklas alsdann 6 pCt. Wasser verliert; ferner ist dies der Fall beim Turmalin, Epidot, Vesuvian, Staurolith, Talk u. s. w. Dieses Verhalten geleitet auf die Vorstellung wasserstoffhaltiger Silicate. Doch ist es nicht exact festzustellen, ob jene Mineralien das Wasser nicht etwa als solches enthalten.

Immerhin ist es in vielen Fällen schwer zu entscheiden, ob das entweichende Wasser Krystallwasser oder ein Product ist, so dass mancherlei Zweifel und Unsicherheit betreffs der von ihm gespielten Rolle bestehen. Im Allgemeinen hält man, wie schon angeführt, daran fest, das erst in der Glühhitze entweichende Wasser als ein Product zu betrachten, obschon einerseits mitunter ein Theil unzweifelhaften Krystallwassers noch in grosser Hitze hartnäckig gebunden bleibt,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

und es anderseits auch hydroxylhaltige Verbindungen gibt, welche schon in verhältnissmässig niedriger Temperatur sich zu zersetzen und Wasser zu liefern anfangen. Eine allgültige experimentelle feste Grenze zwischen Krystallwasser und sog. chemisch gebundenem Wasser kann vorläufig nicht gezogen werden.

Die Annahme eines bestimmten Temperaturgrades als Grenzscheide zwischen beiden, unterhalb deren das Krystallwasser, oberhalb deren das Constitutionswasser entweichen soll, ist ziemlich willkürlich. Auch das chemisch gebundene Wasser wird als solches erst allmählich, nicht sämmtlich bei einer bestimmten Minimaltemperatur abgegeben. Eine wichtigere Unterscheidung würde die Wiederaufnahmefähigkeit eines Theiles des Wassers sein, welches dann wohl als Krystallwasser zu betrachten wäre, obgleich es nicht als ausgeschlossen gelten kann, dass auch chemisch gebundenes Wasser wieder aufnahmefähig ist.

Die sehr verschiedenen Temperaturen, in welchen bei gewissen Mineralien erst der eine und dann der andere Theil Wasser frei wird, haben die Schlussfolgerung erzeugt, dass hier das Wasser theilweise als Krystallwasser vorhanden sei, theilweise als Product erst entstehe. So entweicht aus dem Serpentin, welcher im Ganzen 2 Mol. Wasser enthält, die Hälfte desselben schon bei schwachem Glühen, die andere Hälfte erst nach längerem und starkem Glühen. *Rammelsberg* zog daher vor, seine Formel nicht $Mg^3Si^2O^7 + 2H^2O$, sondern $H^2Mg^3Si^2O^8 + H^2O$ zu schreiben. Eine ähnliche Vorstellung verbindet man auch z. B. mit der Constitution des Wavellits, wenn man seine Formel nicht $(Al^2)^3P^4O^{19} + 12H^2O$, sondern $4Al[PO^4].2Al[OH]^3 + 9H^2O$ schreibt, ihn also als bestehend auffasst aus Aluminiumphosphat, Aluminiumhydroxyd und 9 Mol. Krystallwasser.

Namentlich gilt das Vorstehende noch bezüglich mancher wasserhaltiger Zeolithe; der Stilbit z. B. führt auf die Zusammensetzung $CaAl^2Si^6O^{16} + 6H^2O$; von seinen ca. 16 pCt. Wasser (6 Mol.) werden bei 200° Temperatur erst 14,5 pCt. (5 Mol.) ausgetrieben, und nur diese, welche von dem Mineral auch wieder aufgenommen werden können, erachtet man als Krystallwasser; die letzten Procente des Wassers (1 Mol.) entweichen erst in der Glühhitze als Product, und darnach gestaltet sich die Formel des Stilbits zu $H^2CaAl^2Si^6O^{17} + 5H^2O$. Uebereinstimmend damit beobachtete *Mallard*, dass der Verlust der ersten Mol. Wasser von ganz graduellen Aenderungen in der Orientirung und dem Winkel der optischen Axen begleitet ist, unter Erhaltung der krystallinischen Structur; die nach der Erhitzung der freien Luft ausgesetzte Stilbitplatte nimmt nach 24 Stunden wieder den ursprünglichen optischen Zustand an, während sie den durch Erhitzung hervorgebrachten behält, wenn man sie in Canadabalsam einkittet und so die Wasseraufnahme durch den Luftzutritt verhindert.

Uebrigens ist es nicht zu leugnen, dass durch die Vorstellung von wasserstoffhaltigen Silicaten manche früher (als man Wasser als solches darin voraussetzte) unerklärliche Beziehungen des Isomorphismus leicht begreiflich werden, und dass in vielen Fällen die Constitution der betreffenden Mineralien sich vereinfacht, indem z. B. der Wasserstoff als Vertreter von Alkali- oder alkalischen Erdmetallen aufgefasst wird.

§ 147. **Ableitung der Formel.** Die quantitative Analyse gewährt Aufschluss über die Gewichtsverhältnisse der in einem Mineral vorhandenen Stoffe, indem man das Mineral entweder direct in seine Bestandtheile zerlegt und diese gewogen werden, oder indem es zwar auch zerlegt, aber jeder Stoff in eine neue Verbindung übergeführt wird, welche alsdann zur Gewichtsbestimmung gelangt. Nach Ausführung dieser Analyse ist es die Aufgabe, die Zusammensetzung des Minerals durch eine Formel auszudrücken. Wenn man die aus der Analyse sich ergebenden procentarischen Gewichtsmengen der einzelnen Elemente durch die Atomgewichte der betreffenden dividirt, so erhält man die relative Anzahl der

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Atome, mit welcher das Element an der Mineralverbindung betheiligt ist. Gibt die Analyse die Oxyde, so werden deren Procente durch die Moleculargewichte dividirt, z. B. diejenigen der Kieselsäure SiO^2 durch $28{,}4 + (2 \times 16) = 60{,}4$; die der Thonerde Al^2O^3 durch $(2 \times 17{,}1) + (3 \times 16) = 102{,}2$. Abweichungen von der hier erforderlichen Einfachheit der Verhältnisszahlen können ihren Grund in einer Verunreinigung des untersuchten Minerals durch beigemengte fremde Substanzen, oder in einer bereits eingetretenen theilweisen Umwandlung desselben, oder in Fehlern und Versäumnissen bei der chemischen Analyse, oder in der nicht absolut richtigen Bestimmung der Atomgewichte selbst besitzen. Da die Mineralformel nur die wesentlichen Bestandtheile enthalten soll, so werden mitanalysirte unzweifelhafte mechanische Beimengungen und Verunreinigungen, sowie augenscheinlich blos zufällig vorhandene fremde Stoffe in der Regel abgezogen und die Zahlen der Analyse dann wieder auf 100 Procent berechnet.

Sind gewisse Elemente nur in sehr kleinen Quantitäten vorhanden, so werden sie bei der Berechnung der Formel mit denjenigen vorwaltenden vereinigt, welche sie als gleichwerthig gewissermassen ersetzen; so werden sehr geringe Mengen von K^2O zu Na^2O, von Fe^2O^3 zu Al^2O^3, von Fe zu Co, von As^2O^5 zu P^2O^5 gezählt und umgekehrt.

Ein Eisenkies von der Grube Heinrichssegen bei Müsen lieferte nach *Schnabel* 46,5 pCt. Eisen und 53,5 pCt. Schwefel; da nun das Atomgewicht von Fe = 56, dasjenige von S = 32,06, so verhalten sich die Atome von Fe und S wie $\frac{46{,}5}{56} : \frac{53{,}5}{32{,}06}$ = 0,8304 : 1,669, oder wie 1 : 2,01, wofür man unbedenklich 1 : 2 setzen kann. Es ist daher der Eisenkies Doppeltschwefeleisen, FeS^2. Umgekehrt lässt sich nun hieraus die procentarische Zusammensetzung des normalen oder idealen Eisenkieses berechnen, welche 46,70 pCt. Eisen und 53,30 Schwefel ergibt; jene Analyse hatte also 0,20 pCt. Eisen zu wenig, und 0,20 Schwefel zu viel geliefert.

Kupferglanz, von *Scheerer* analysirt, ergab an Procenten: 79,12 Kupfer, 20,36 Schwefel (und 0,28 Eisen, von welchem bei der auszuführenden Berechnung abgesehen wird). Das Atomverhältniss von Cu (Atg. 63,6) und S ist daher $\frac{79{,}12}{63{,}6} : \frac{20{,}36}{32{,}06}$ = 1,244 : 0,635 oder 2 : 1,021; der Kupferglanz daher Halbschwefelkupfer Cu^2S.

Bei der Analyse des Weissbleierzes vom Griesberg in der Eifel erhielt *Bergemann*: 83,51 pCt. Bleioxyd und 16,36 Kohlensäure; das Erz besteht daher in Procenten aus 77,52 Blei, 4,46 Kohlenstoff, 17,89 Sauerstoff; und diese drei Stoffe stehen vermöge ihrer Atg.e in dem Atomverhältniss $\frac{77{,}52}{206{,}9} : \frac{4{,}46}{12} : \frac{17{,}89}{16} = 0{,}374 :$ 0,372 : 1,117, oder 1 : 1 : 3, weshalb das Weissbleierz $PbCO^3$ ist. Auf dieselbe Formel gelangt man auch, wenn die in der Analyse angegebenen Sauerstoffverbindungen zu Grunde gelegt werden; alsdann ist 83,51 durch das Verbindungsgewicht des Bleioxyds ($PbO = 206{,}9 + 16$) = 222,9, sowie 16,36 durch das der Kohlensäure ($CO^2 = 12 + 32$) = 44 zu dividiren. Da das Verhältniss der Quotienten 0,374 : 0,372 = 1 : 1, so ist das Weissbleierz nach älterer Schreibweise $PbO.CO^2$.

Während bei den vorstehenden Substanzen die berechnete Formel keine weitere Deutung zulässt oder bedarf, erscheint eine solche bei anderen Verbindungen möglich oder angemessen.

Dunkles Rothgültigerz aus Mexico besteht nach *Wöhler* in Procenten aus 60,2 Silber, 21,8 Antimon, 18,0 Schwefel. Das Atomverhältniss der drei Stoffe ist

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

demnach $\frac{60,2}{107,93} : \frac{21,8}{120} : \frac{18,0}{32,06} = 0,558 : 0,182 : 0,560$, oder $3 : 1 : 3$; es ist somit das Rothgültigerz Ag^3SbS^3 und sein Moleculargewicht nach dieser Formel $(3 \times 107,93) + 120 + (3 \times 32,06) = 539,97$. — Man sieht hier schon, dass es das Silbersalz einer Sulfosäure und zwar der sulfantimonigen Säure H^3SbS^3 (3Ag statt 3H) ist; jedoch kann man dasselbe auch nach etwas älterer Auffassung (S. 289) als eine Verbindung von Schwefelsilber (der Sulfobasis) mit Schwefelantimon (der Sulfosäure) betrachten; da nun das erstere Ag^2S, das letztere Sb^2S^3 ist, so würde dann die Formel des Erzes (durch Multiplication sämmtlicher Atomquotienten mit 2) als $Ag^6Sb^2S^6$ gedacht werden, welche sich darauf in $3Ag^2S.Sb^2S^3$ auseinanderlöst; bei dieser Deutung ist aber auch sein Moleculargewicht $2 \times 539,97 = 1079,94$.

Berthier untersuchte einen Feldspath (Adular) vom St. Gotthard; die angegebene Zusammensetzung und die daraus berechneten Elemente sind in Procenten folgende:

				Atomgew.	Quot.
Kieselsäure	64,49 =	Silicium	30,32	28,4	1,069
Thonerde	18,48 =	Aluminium	9,80	27,1	0,362
Kali	17,03 =	Kalium	14,14	39,15	0,362
		(Sauerstoff	45,74)	16	2,859

Da sich also die Atome von Kalium, Aluminium, Silicium und Sauerstoff wie $0,362 : 0,362 : 1,069 : 2,859$, oder wie $1 : 1 : 3 : 8$ verhalten, so wäre der Adular, indem nichts über die Moleculargrösse bekannt ist, $KAlSi^3O^8$. Unter der Annahme aber, dass eine Aluminium-Verbindung 2 Atome $Al = (Al^2)$ oder ein Multiplum davon enthält, ergäbe sich durch Verdoppelung der Atomzahlen der Adular als $K^2(Al^2)Si^6O^{16}$.

Ob in der Formel eines Salzes die Basis oder die Säure vorangestellt wird, ob man schreibt $BaSO^4$ oder SO^4Ba, ist an sich gleichgültig; hier ist dem z. Z. noch viel weiter verbreiteten ersteren Verfahren der Vorzug gegeben.

Formeln dieser Art, welche blos die in der Verbindung enthaltenen Elemente einfach nach deren gegenseitigem Atomverhältniss aufzählen, heissen empirische Formeln. Sie sind es, welche bei einer grossen Reihe von Mineralsubstanzen (z. B. bei den meisten Silicaten) das einzig sicher Festgestellte ergeben. Da eine solche Formel aber nur ein gegenseitiges Verhältniss der Stoffe darstellt, so kann sie an sich in allen ihren Gliedern mit jeder beliebigen Zahl multiplicirt (oder vermittels Division durch eine gemeinsame Zahl vereinfacht) werden. Während man gewöhnlich den Ausdruck mit den kleinsten Coëfficienten schreibt, pflegt man in anderen Fällen — wenn man eine wahrscheinliche, die Grösse des Molecüls berücksichtigende Molecularformel zu geben beabsichtigt, oder wenn die Molecularformel verwandter natürlicher oder künstlicher Verbindungen dazu auffordert, oder wenn man der Gruppirungsweise der Stoffe gerecht zu werden gedenkt — höhere Atomverhältnisszahlen anzunehmen. So gibt man wohl dem Rutil den Ausdruck Ti^2O^4 (nicht TiO^2), weil er mit dem Zirkon $ZrSiO^4$ isomorph ist, zieht vor, den Kupferkies $Cu^2Fe^2S^4$ (nicht $CuFeS^2$) zu schreiben, weil er als die Verbindung $Cu^2S.Fe^2S^3$ gedeutet wird. Doch muss bedacht werden, dass die directe Ermittelung der thatsächlichen Molecularformel unzweifelhaft nur auf Grund der Bestimmung der Dampfdichte gelingt und daher für Mineralien sozusagen ausgeschlossen ist.

Da die empirischen Formeln namentlich bei der Betheiligung zahlreicher Elemente oft keinen raschen und rechten Ueberblick über die Zusammensetzung einer Verbindung gewähren, so ist manchmal eine andere Formulirung bequemer, welche das nähere Analysenresultat zum Ausdruck bringt und die gefundenen Anhydride

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

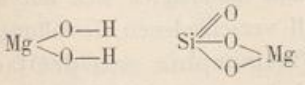
der Basen und Säuren als solche aufführt. So würde die obige Formel des Feldspaths $K^2(Al^2)Si^6O^{16}$ nach letzterer Schreibweise zu K^2O, $(Al^2)O^3$, $6SiO^2$, d. h. er ergibt bei der Analyse 1 Mol. Kali, 1 Mol. Thonerde, 6 Mol. Kieselsäure[1]).

Ausserdem hat sich noch hin und wieder die frühere dualistische Schreibweise erhalten (S. 289), welche auf der elektrochemischen Theorie von *Berzelius* beruht und auch in der Nomenclatur noch vielfach zur Geltung kommt. Zwar als solche theoretisch unberechtigt, bringt sie ebenfalls das Analysenresultat zum Ausdruck und prägt sich in vielen Fällen besonders leicht dem Gedächtniss ein.

Die Constitutionsformeln oder Structurformeln sind solche, welche zugleich die Gruppirung der in einer Verbindung enthaltenen Atome ausdrücken, indem sie nebenbei ein Bild davon geben, in welcher Weise die einzelnen Atome oder Atomgruppen im Molecül aneinander gelagert und gebunden sind.

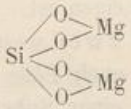
Die empirische Formel des Calciumcarbonats $CaCO^3$ besagt nur, dass im Molecül dieser Verbindung 1 At. Calcium, 1 At. Kohlenstoff, 3 At. Sauerstoff vorhanden sind; die Constitutionsformel $O=C\begin{smallmatrix}O\\O\end{smallmatrix}>Ca$ drückt aber ausserdem noch aus, dass das Kohlenstoffatom mit den Sauerstoffatomen direct, mit dem Calciumatom indess nur durch Vermittelung zweier Sauerstoffatome verbunden ist. Jeder der Striche drückt eine Valenzeinheit aus. Die Constitutionsformeln für Brucit (H^2MgO^2), Enstatit ($MgSiO^3$), Olivin (Mg^2SiO^4), Leucit ($KAlSi^2O^6$), Boulangerit ($Pb^3Sb^2S^6$) würden sein:

Brucit

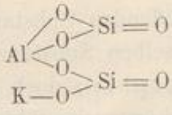


Enstatit

Olivin



Leucit



Boulangerit

Zwar bei manchen Mineralien, aber nur bei verhältnissmässig wenigen Silicaten ist es bis jetzt möglich gewesen, eine befriedigende Constitutionsformel (oder rationelle Formel) zu gestalten, und selbst wo dies bei den letzteren der Fall ist, kann der stricte Beweis für ihre Richtigkeit nach unseren bisherigen Kenntnissen keineswegs immer erbracht werden[2]); sehr häufig sind verschiedene Arten der Verkettung möglich, z. B. schon viererlei bei dem einfachen Aluminiumsilicat Al^2SiO^5. Die Unsicherheit wird dadurch gesteigert, dass in den meisten Fällen nicht bekannt ist, ob einer Verbindung das einfachste oder ein höheres Moleculargewicht zukommt, z. B. im letzteren Falle $Al^4Si^2O^{10}$ zu setzen ist. — *Tschermak* hat für mehre Silicate darauf hingewiesen, wie der ganz allmähliche Verlauf der natürlichen Umwandlungsprocesse zu einem Einblick in die Constitution dieser Verbindungen verhelfen

1) Es ist einleuchtend, dass solche Formeln mit noch grösserem Recht empirische genannt werden können. Selbstredend schliesst jene obige Formulirung keineswegs die Behauptung ein, dass Kaliumoxyd, Aluminiumoxyd u. s. w. als solche in dem Feldspath zugegen seien. Formeln dieser Art geben auch mehr Aufschluss zur Beurtheilung der chemischen Reactionen.

2) Die Schwierigkeit, die chemische Structur dieser complicirter zusammengesetzten Substanzen zu erforschen, ist vor Allem in deren grosser Beständigkeit begründet: im Gegensatz zu den organischen, einen allmählichen Abbau des Molecüls gestattenden Verbindungen sind die Veränderungen, welche man auf chemischem Wege künstlich an diesen Mineralien hervorbringen kann, sofort und lediglich derart energisch, dass dieselben dadurch völlig zerstört, und in Endproducte zerfällt werden, welche bei den verschiedenen gleichartig sind.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

kann[1]) und *K. Haushofer* hat, in dieser Richtung weitergehend, ein besonderes Werk über die Constitution der natürlichen Silicate veröffentlicht[2]).

§ 148. **Heteromorphie.** Ein paar, mit der chemischen Constitution der Mineralien innigst verbundene und für die Beurtheilung ihres Wesens äusserst wichtige Erscheinungen sind die Heteromorphie und Isomorphie.

Heteromorphie (oder Heteromorphismus, Polymorphie, Pleomorphie) ist die Fähigkeit einer und derselben (einfachen oder zusammengesetzten) Substanz, trotz gleicher procentarischer Zusammensetzung in wesentlich verschiedenen Formencomplexen zu krystallisiren. Mit dieser Verschiedenheit des morphologischen Charakters und der damit verknüpften Abweichung auch des inneren Aufbaus tritt aber zugleich eine Verschiedenheit der physischen Eigenschaften ein, und zwar nicht nur jener, welche wie z. B. die optischen blos Consequenzen der abweichenden Krystallisation sind, sondern auch des specifischen Gewichts, der Löslichkeit, der Härte und des Schmelzpunkts (wenn auch die Gegensätze hinsichtlich der letztgenannten drei Verhaltungsweisen, ebenso wie diejenigen bezüglich der Oxydations- und Lösungswärme, nur selten dargethan werden können). So zeigt, obschon die Analyse dieselben Resultate ergibt, das ganze Wesen ein durchaus verschiedenes Gepräge, und man könnte noch besser sagen, die Heteromorphie sei die Fähigkeit einer und derselben Substanz, wesentlich verschiedene Körper darzustellen, wodurch die amorphen Vorkommnisse zugleich mit erfasst werden. Streng genommen ist es also nicht blos eine Heteromorphie, sondern ein Heterosomatismus, welcher den betreffenden Substanzen eigen ist. Meistens handelt es sich nur um die Fähigkeit derselben Substanz, in zwei wesentlich verschiedenen Gestaltungen aufzutreten (Dimorphie); doch sind auch Fälle von Trimorphie, von dreifach abweichender Verkörperungsfähigkeit einer Substanz bekannt. — Uebrigens ist es für den Begriff der Heteromorphie nicht erforderlich, dass die verschiedenen Gestalten auch verschiedenen Krystallsystemen angehören: selbst in einem und demselben Krystallsystem ist die Heteromorphie erfüllt, sofern nur die beiden oder mehren Formencomplexe Grunddimensionen besitzen, welche abweichend und — weil sonst das Gesetz der rationalen Axenschnitte verletzt würde — nicht aufeinander zurückzuführen sind, sowie in physikalischer Hinsicht, z. B. im spec. Gewicht differiren.

In mehren Fällen lässt sich die Erscheinung durch das Experiment künstlich hervorrufen, indem ein und dieselbe Substanz unter verschiedenen Umständen zur Krystallisation in den abweichenden Formencomplexen gebracht werden kann.

Die erste entschiedene Hinweisung auf diese merkwürdige Erscheinung gab *Mitscherlich*, indem er zeigte, dass der Schwefel, wenn er aus dem geschmolzenen Zustand herauskrystallisirt, monokline Krystallformen von brauner Farbe und spec. Gew. 1,97 habe, während er, wie der natürlich vorkommende, rhombisch mit gelber Farbe und spec. Gew. 2,1 krystallisirt, sobald er sich auf dem Wege der Sublimation bildet oder durch Verdunsten seiner Lösung in Schwefelkohlenstoff erhalten wird[3]).

1) Mineral. Mittheilungen, ges. v. *Tschermak*, 1871. 93.

2) Die Constitution der natürl. Silicate auf Grundlage ihrer geologischen Beziehungen. Braunschweig 1874. — Vgl. auch *W. Vernadsky*, Zur Theorie d. Silicate, Z. f. Kryst. XXXIV. 1901. 37.

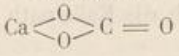
3) Nach *Pasteur* kann übrigens der Schwefel auch aus Schwefelkohlenstoff in gewöhnlicher Temperatur als monokline Prismen krystallisiren. *Barilari* erhielt durch Verdunstenlassen

Eine der frühesten Beobachtungen der Dimorphie ist sodann diejenige des kohlensauren Kalks, welcher rhomboëdrisch als Kalkspath, rhombisch als Aragonit krystallisirt, ferner diejenige des Eisenbisulfids als Eisenkies und Markasit.

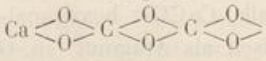
Die als Heteromorphie bezeichnete Erscheinung, die Verschiedenheit der Krystallformen bei den empirisch gleich zusammengesetzten Körpern, kann nach unseren heutigen Vorstellungen zur Erklärung allgemein auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden; bei Atomverbindungen auf: a) verschiedene Anordnung einer gleichen Zahl von gleichartigen Atomen im chemischen Molecül (chemische Isomerie, Metamerie); b) verschiedene Zahl gleichartiger Atome im chemischen Molecül (chemische Polymerie); sodann bei Molecülverbindungen auf: a) verschiedene Lage der chemischen Molecüle im physikalischen Molecül (physikalische Isomerie, Metamerie); b) verschiedene Zahl der chemischen Molecüle im physikalischen Molecül (physikalische Polymerie).

Der Umstand, dass bei der Umwandlung der monoklinen Schwefelmodification in die rhombische eine ganz bestimmte Wärmemenge frei wird, macht es wahrscheinlich, dass es zweierlei Krystallmolecüle dieses Elementes gibt, welche aus einer verschieden grossen Anzahl von Atomen zusammengesetzt sind und zwar die des rhombischen Schwefels vermuthlich aus einer grösseren Anzahl als die des monoklinen, zuerst aus dem Schmelzfluss festgewordenen. — So hat man auch vorgeschlagen, das Molecül des Aragonits doppelt so gross anzunehmen ($Ca^2C^2O^6$) als das des Kalkspaths ($CaCO^3$) und die beiden Structurformeln zu schreiben:

Kalkspath



Aragonit



Folgendes sind die bis jetzt unmittelbar bekannt gewordenen Fälle der Heteromorphie im Mineralreich; wo sie im Gebiet desselben Krystallsystems erfolgt, ist das abweichende Axenverhältniss der Grundformen angegeben.

Kohlenstoff, C: regulär als Diamant (spec. Gew. = 3,52); hexagonal als Graphit (spec. Gew. = 2,25)[1]).

Schwefelzink, ZnS: regulär als Zinkblende (sp. G. = 4,0); hexagonal als Wurtzit (sp. G. = 3,98).

---

einer Mischung von Alkohol und Schwefelammonium monokline Krystalle von Schwefel, welche sich bald trübten und in die rhombische Modification übergingen. Umgekehrt berichtet *vom Rath* über bis 5 Mm. grosse rhombische Schwefelkrystalle ($P.\breve{P}\infty$), welche durch *Jacob* aus dem Schmelzfluss dargestellt wurden, sowie über die von *Silvestri* beobachteten gleichfalls rhombischen Krystalle, welche bei einem Brande der Grube Floristella durch Schmelzung entstanden. *Gernez* erhielt aus übersättigter Lösung in Toluol oder Benzol durch Eintauchen eines Krystalls der einen oder der anderen Modification die ganze Masse in demselben Krystallsystem. — *J. Reicher* wies nach, dass es für die beiden Schwefelmodificationen eine dem Schmelzpunkt analoge Umwandlungstemperatur gibt, oberhalb welcher sich der rhombische Schwefel in monoklinen, unterhalb welcher sich umgekehrt der monokline in rhombischen umwandelt; diese Temperatur ist bei einem Druck von 4 Atmosphären nicht weit von 95,6° entfernt.

1) Diamant und Graphit nehmen auf dem Gebiete der Dimorphie insofern eine besondere Stellung ein, als bei ihnen diejenige vollständige und durchgängige Verschiedenheit vorliegt, welche man bei den Elementen Allotropie nennt und hier durch die verschiedene Menge von Atomen im Molecül erklärt. Abgesehen von der Differenz der Krystallform und des spec. Gewichts ist der Diamant durchsichtig, nicht metallisch, von Härte 10, ein Nichtleiter der Elektricität; der opake Graphit hat metallischen Habitus, Härte 1 und leitet die Elektricität. Beide ergeben auch selbst abweichende Reactionen, indem nach *Brodie* Graphit, aber nicht Diamant, mit Kaliumchlorat und Salpetersäure zu Graphitsäure oxydirbar ist. — Ausserdem bildet der Kohlenstoff noch eine dritte amorphe Modification, wie sie in der Holzkohle vorliegt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Eisenbisulfid, FeS^2: regulär als Eisenkies (sp. G. = 5,1); rhombisch als Markasit (sp. G. = 4,86).

Doppelarsennickel, $NiAs^2$: regulär als Chloanthit (sp. G. = 6,6); rhombisch (nach *Breithaupt*) als Weissnickelkies (sp. G. = 7,14).

Schwefelarsenkupfer, Cu^3AsS^4: rhombisch als Enargit; monoklin als Luzonit.

Schwefelantimonsilber, Ag^3SbS^3: hemimorph-rhomboëdrisch als Antimonsilberblende (sp. G. = 5,8); monoklin als Feuerblende (sp. G. = 4,2).

Schwefelantimonblei(-silber), $(Pb, Ag^2)^5Sb^4S^{11}$: monoklin als Freieslebenit (sp. G. = 6,53); rhombisch als Diaphorit (sp. G. = 5,90).

Jodsilber, AgJ: hexagonal als Jodit; regulär-tetraëdrisch als Miersit.

Kieselsäure, SiO^2: hexagonal als Quarz (sp. G. = 2,66)[1]; rhombisch (hexagonal, s. S. 250) als Tridymit (sp. G. = 2,3); vgl. auch Cristobalit.

Titansäure, TiO^2: tetragonal als Rutil ($a : c = 1 : 0{,}6442$; sp. G. = 4,25); ferner tetragonal als Anatas ($a : c = 1 : 1{,}7784$; sp. G. = 3,9); rhombisch als Brookit (sp. G. = 4,05). Beispiel von Trimorphie[2].

Antimontrioxyd, Sb^2O^3: regulär als Senarmontit (sp. G. = 5,3); rhombisch als Weissspiessglanz (sp. G. = 5,6).

Arsentrioxyd (arsenige Säure), As^2O^3; regulär als Arsenikblüthe (sp. G. = 3,7); monoklin als Claudetit (sp. G. = 3,85).

Eisensulfat, $FeSO^4 + 7H^2O$: monoklin als Eisenvitriol; rhombisch als Tauriscit (nach *Volger*).

Kohlensaurer Kalk, $CaCO^3$: hexagonal-rhomboëdrisch als Kalkspath (sp. G. = 2,7); rhombisch als Aragonit (sp. G. = 2,9)[3].

Thonerdesilicat, Al^2SiO^5: rhombisch als Andalusit ($a : b = 0{,}9861 : 1$; sp. G. = 3,16); ausserdem in anderer rhombischer Form als Sillimanit ($a : b = 0{,}6873 : 1$; sp. G. = 3,24); triklin als Disthen (sp. G. = 3,66).

Kalithonerdesilicat, $KAlSi^3O^8$: monoklin als Orthoklas (vgl. den speciellen Theil); triklin als Mikroklin.

Wismutsilicat, $Bi^4Si^3O^{12}$: regulär als Eulytin; monoklin als Agricolit.

Niobsaures Eisen, $FeNb^2O^6$: tetragonal als Mossit; rhombisch als Columbit.

Tantalsaures Eisen, $FeTa^2O^6$: tetragonal als Tapiolit; rhombisch als Tantalit.

Vgl. ausserdem noch im systematischen Theil: Kobaltglanz (regulär) und Glaukodot (rhombisch). — Speiskobalt (regulär) und Spathiopyrit (rhombisch). — Zinnober (trapezoëdrisch-tetartoëdrisch hexagonal) und Metacinnabarit (tetraëdrisch regulär). — Korynit (regulär) und Wolfachit (rhombisch). — Pachnolith und Thomsenolith (beide verschieden monoklin). — Laurionit (rhombisch) und Paralaurionit (monoklin). —

1) Unter dem krystallinisch-faserigen Chalcedon, dem Quarzin und Lutecit verbergen sich noch andere Ausbildungsweisen der Kieselsäure.

2) Die verwandte Zinnsäure ist sogar tetramorph: die als Zinnstein natürlich vorkommende entspricht blos dem Rutil; *Wunder* aber hat Krystalle derselben von der Form des Anatases, *Daubrée* solche von der Form des Brookits (Comptes rendus, T. 29. 227) künstlich dargestellt; *Michel Lévy* und *Bourgeois* gelang die Darstellung von hexagonaler Zinnsäure in starkglänzenden bis 1 Mm. grossen Tafeln, als Rückstand der mit heissem Wasser ausgelaugten Schmelze von Zinnsäure und Natriumcarbonat. Auf ähnliche Weise erzeugten sie auch Zirkonsäure in hexagonalen tridymitähnlichen Lamellen, nachdem *Nordenskiöld* aus Borax auskrystallisirte tetragonale Zirkonsäure erhalten hatte. Der in Brasilien und Ceylon vorkommende Baddeleyit ist nach *Hussak* und *Fletcher* monokline Zirkonsäure.

3) Ueber noch zwei andere neuerdings aufgeführte Modificationen des Calciumcarbonats, Conchit und Ktypeït, s. den Anhang.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bleivitriol (rhombisch) und (?) Sardinian (nach *Breithaupt* monoklin). — Scheelbleierz (tetragonal) und Raspit (monoklin). — Granat (regulär) und Partschin (monoklin). — Zoisit (rhombisch) und Epidot (monoklin). — Enstatit (rhombisch mit $\infty P = 87^{\circ}$) und Anthophyllit (rhombisch mit $\infty P = 124\frac{1}{2}^{\circ}$). — Analcim (regulär) und Eudnophit (rhombisch?).

Unter den künstlich dargestellten Verbindungen ist die Heteromorphie noch weiter verbreitet; so z. B. bei dem salpetersauren Kali, dem traubensauren Lithion u. s. w. — Ein Beispiel dafür, dass von einer dimorphen Substanz nur die eine Modification in dem Mineralreich auftritt, die andere blos künstlich dargestellt worden ist, liefert das Halbschwefelkupfer Cu^2S, welches als natürlicher Kupferglanz rhombische, bei der künstlichen Erzeugung auch reguläre Krystalle bildet. Solcher Fälle liegen recht zahlreiche vor; vgl. z. B. noch Natronsalpeter und Kalisalpeter.

Die verschiedenen Modificationen einer heteromorphen Substanz unterscheiden sich im Allgemeinen:

1. durch die Krystallform und die damit unmittelbar zusammenhängenden physikalischen Eigenschaften (optisches Verhalten, Spaltbarkeit u. s. w.);
2. durch nicht mit der Form direct zusammenhängende physikalische Eigenschaften, wozu als mehr oder weniger bekannt gehören können: a) specifisches Gewicht (vgl. S. 299 und 300); b) Härte; z. B. der Gegensatz von Diamant und Graphit; Aragonit ist merkbar härter als Calcit; geringfügige Unterschiede treten wegen der unvollkommenen Methoden für die Härtebestimmung nicht so deutlich hervor. c) Leitung der Elektricität; reguläres Cu^2S leitet dieselbe weit weniger gut als rhombisches (Kupferglanz); Graphit ist ein Leiter, Diamant nicht; d) Schmelzpunkt, wenn auch hier nur selten Gegensätze nachweisbar sind; rhombischer Schwefel schmilzt bei 113°, monokliner bei 120°; e) Oxydations- und Lösungswärme; die Lösungswärme des regulären Antimonoxyds in Flusssäure beträgt 9,5, die des rhombischen 10,1 Calorieen;
3. durch das chemische Verhalten (ebenfalls nicht überall nachzuweisen): bei Aragonit und Calcit verhalten sich die Zeiten, in denen gleiche Mengen beider Mineralien von Salzsäure gelöst werden, wie 16 : 25; Kieselsäure ist als Quarz unlöslich in Kalilauge, als Tridymit darin löslich; Diamant wird von Oxydationsmitteln nicht merklich angegriffen, Graphit von ihnen zerstört; Wurtzit wird von kalter conc. Salzsäure viel rascher zersetzt als Zinkblende; Andalusit verwittert auf natürlichem Wege leicht, Disthen schwer (doch zeigen die beiden nach ihrem sonstigen Verhalten gegenüber künstlichen Reagentien nur ganz unerhebliche Unterschiede); Markasit fällt viel rascher der Oxydation und Vitriolescirung anheim, als Eisenkies;
4. durch die Umstände, unter denen sie entstehen; hier können von Belang sein: Temperatur, Druck, Concentration des Mediums, anderweitige Beschaffenheit des Mediums (z. B. Reinheit desselben oder gleichzeitige Gegenwart von fremden Substanzen, sog. Lösungsgenossen), unbewegter oder bewegter Zustand des Mediums, Geschwindigkeit der Bildung. Nach *G. Rose*, *H. Credner*, *M. Bauer* und *H. Vater* scheidet sich $CaCO^3$ aus kohlensäurehaltigem Wasser als Kalkspath ab: a) aus reiner kalter Lösung (als R); b) durch Diffusion aus Lösungen eines Kalksalzes ($CaCl^2$) und Carbonats ($KHCO^3$) sogar wenn ein Sulfat oder Baryumsalz als Lösungsgenosse vorhanden ist; c) aus alkalisilicathaltigen Lösungen (flächenreiche Krystalle). Dagegen als Aragonit: a) aus reiner heisser Lösung (langprismatische spiessige Krystalle); b) durch Verdunsten einer Lösung, die Strontiumcarbonat, ein Blei- oder Baryumsalz oder Gyps enthält[1]). — Antimonoxyd bildet aus Lösungen bei hoher

1) Da man Kalksinter findet, die aus abwechselnden Lagen von Kalkspath und Aragonit bestehen, und wohl bei derselben Temperatur gebildet worden sind, so kann nicht immer eine

Temperatur rhombische, bei niedriger reguläre Krystalle; bei der Oxydation antimonhaltiger Mineralien vor dem Löthrohr entstehen nach *H. Fischer* beide Formen gleichzeitig und zwar die reguläre an den kühleren, die rhombische an den heisseren Stellen. Wird Titansäure in der Phosphorsalz-Löthrohrperle gelöst, so kann man in höherer Temperatur mikroskopische Formen von Rutil, in niedrigerer solche von Anatas herauskrystallisiren lassen. Aus $MgSiO^3$-reichen Schmelzen entsteht bei langsamer Abkühlung rhombischer Enstatit, bei schneller ein monoklines oder triklines Magnesiumsilicat von derselben chemischen Zusammensetzung. In geschmolzenem Eisen gelöster Kohlenstoff krystallisirt daraus unter gewöhnlichem Atmosphärendruck als Graphit, unter hohem als Diamant.

Recht merkwürdig ist, dass sich die Heteromorphieen einer und derselben Substanz bisweilen unter anscheinend ganz übereinstimmenden Verhältnissen neben einander ausgebildet haben; so kommt an der Vorderen Eichamspitze in Tirol auf Gängen in einem stark zersetzten Chloritschiefer Brookit, Anatas und Rutil zusammen vor, ja nach *Weinschenk* finden sich diese drei Modificationen der Titansäure hin und wieder neben einander in demselben Quarzkrystall eingeschlossen. Auch zu Magnet Cove in Arkansas erscheinen alle drei vereinigt.

Die verschiedenen Verkörperungen einer und derselben Substanz zeigen bisweilen die Fähigkeit und Neigung, auch unter Erhaltung der äusseren Form innerlich in einander umzustehen, eine Paramorphose (S. 180) zu bilden. Mitunter ist man im Stande, künstlich die eine Modification in die andere überzuführen: wird z. B. Quarz scharf geglüht, so verwandelt er sich nach *G. Rose* in ein Aggregat von Tridymit, unter Erniedrigung seines spec. Gew. von 2,66 auf 2,3; Aragonit (sp. G. = 2,94) wird durch Erhitzen auf etwa 300° zu Kalkspath (sp. G. = 2,72); dabei beträgt die Umwandlungswärme 0,3 Calorieen. Anatas, längere Zeit erhitzt, gewinnt das spec. Gew. des Brookits, beide noch stärker geglüht, nehmen das des Rutils an; bei dem Abkühlen bleibt Rutil bestehen. Andalusit und Cyanit gehen bei 1320° bis 1380° in Sillimanit über.

Ein ähnliches Verhalten zeigt das rhombische Kalisulfat, welches, wie *Mallard* erkannte, oberhalb 650° für alle Farben (negativ) einaxig wird, sonach in die hexagonale Modification übergeht; auch das hexagonale Jodsilber verwandelt sich nach ihm und *Le Chatelier* bei 146° in die reguläre Modification, wie das dann eintretende isotrope Verhalten zeigt; dabei ändert sich die Farbe von Gelb in Roth.

Bemerkenswerth ist die bisweilen wahrgenommene Erscheinung, dass die Krystallformen dimorpher Substanzen, wenn sie auch verschiedenen Systemen angehören, doch in gewissen Zonen grosse Aehnlichkeit der Winkel zeigen.

Dies findet z. B. in auffallender Weise bei dem monoklinen und triklinen Kalifeldspath, bei den rhombischen und monoklinen Pyroxenen, bei rhombischen und monoklinen Gliedern der Vitriolgruppe statt. Der rhombische Zoisit ist vorwiegend entwickelt nach einem Prisma von 116° 26′, während an dem heteromorphen monoklinen Epidot 0P und $P\infty$, unter 116° 18′ gegeneinander geneigt, vorherrschen.

Von einer weiteren Ausdehnung der Heteromorphie auf Grund von Verhältnissen der Isomorphie kann erst im folgenden Paragraph die Rede sein. Erfahrungen aber, welche man beim Studium der optischen Structur von Krystallen gemacht hat, sind

---

Verschiedenheit der Temperatur als Ursache der verschiedenen Verkörperung der Substanz Calciumcarbonat angenommen werden. Dass die Aragonitform nicht oder nicht lediglich auf die Anwesenheit von Strontiumcarbonat in der Lösung zu schieben ist, zeigt die Thatsache, dass Kalkspath mit Strontiangehalt analysirt wurde.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

ferner ebenfalls geeignet, den Kreis heteromorpher Substanzen in eigenthümlicher Weise zu erweitern: nach S. 250 wird angenommen werden müssen, dass die Boracitsubstanz gleichfalls dimorph ist; die eine Modification bildet bei gewöhnlicher Temperatur einen genau würfelförmigen Complex doppeltbrechender (rhombischer) Zwillingslamellen, die andere ist jene isotrope reguläre, in welche bei höherer Temperatur der Krystall versetzt wird. Aehnlich verhält sich Tridymit, Leucit, Cristobalit.

§ 149. **Isomorphie.** So bezeichnet man die Fähigkeit zweier oder mehrer (einfacher oder zusammengesetzter) verschiedener Substanzen von ähnlicher chemischer Constitution, in den Formen eines und desselben Formencomplexes zu krystallisiren oder ähnliche, und in ihren Grunddimensionen sehr nahe stehende Krystallformen zu bilden. Mit dieser Identität oder Aehnlichkeit der morphologischen Verhältnisse pflegt nun auch zugleich eine Aehnlichkeit derjenigen physischen Eigenschaften gegeben zu sein, welche von der Krystallform abhängen. *Mitscherlich* war es, welcher 1819 durch seine Beobachtungen an phosphorsauren und arsensauren Salzen die Lehre von der Isomorphie oder vom Isomorphismus zuerst begründete und den Satz aufstellte, dass analog zusammengesetzte Substanzen gleiche Krystallform besitzen. Die Zusammengehörigkeit ähnlicher Mineralien wird dadurch anschaulich gemacht und in ihren Ursachen erfasst.

Die Isomorphie findet zuvörderst für sehr viele regulär krystallisirende Substanzen statt, welche unter Erfüllung der übrigen Bedingungen in der That als isomorph gelten können, sobald nur der Charakter des Krystallsystems derselbe ist, d. h. sobald sie entweder holoëdrisch, oder in gleicher Weise hemiëdrisch ausgebildet sind (z. B. viele gediegene Metalle; Spinell, Chromit und Magnetit; Pyrit und Glanzkobalt). Da jedoch für alle regulären Mineralien die Dimensionen der Grundformen identisch sind, so ist die Isomorphie zwar vollständig vorhanden, aber grossentheils von geringerem Interesse. — Weit wichtiger wird die Erscheinung in den übrigen Krystallsystemen, deren Formencomplexe durch eine Dimensionsverschiedenheit der Grundform getrennt werden, und nur dann als wirklich isomorph (im engeren Sinne) zu betrachten sind, wenn die Grunddimensionen, wo nicht völlig, so doch sehr nahe dasselbe Verhältniss zeigen. In diesen Systemen findet nämlich grösstentheils keine wirkliche Isomorphie, d. h. keine absolute Identität der Form mit völlig gleichen Dimensionen, sondern nur Homöomorphie, d. h. eine sehr grosse Aehnlichkeit der Form mit beinahe gleichen Dimensionen statt.

Die wichtigsten Fälle der Isomorphie bei den nicht-regulären Mineralien bilden folgende Gruppen, deren einzelne Glieder analog zusammengesetzt sind:

Zirkon, Rutil, Polianit, Zinnstein; tetragonal, holoëdrisch;

Zirkon	$ZrSiO^4$	$a : c = 1 : 0{,}6404$	Spaltb. nach ∞P mehr oder weniger vollkommen.
Rutil	$TiTiO^4$	» $= 1 : 0{,}6442$	
Polianit	$MnMnO^4$	» $= 1 : 0{,}6647$	
Zinnstein	$SnSnO^4$	» $= 1 : 0{,}6724$	

Scheelit, Scheelbleierz, Wulfenit; tetragonal, pyram.-hemiëdr.; hemim.
Kupferuranit und Zeunerit; tetragonal.
Wurtzit und Greenockit; hexagonal.
Arsennickel und Antimonnickel; hexagonal.
Korund und Eisenglanz (auch künstliches Cr^2O^3); hexagonal, rhomboëdr.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Kalkspath[1]), Manganspath, Eisenspath, Magnesitspath, Zinkspath; hexagonal, rhomboëdrisch;

Kalkspath	$CaCO^3$	Polkantenw.	von R	$= 105^\circ\ 5'$	Spaltb. nach R.
Manganspath	$MnCO^3$	»	»	$= 106^\circ\ 56'$	
Eisenspath	$FeCO^3$	»	»	$= 107^\circ\ 0'$	
Magnesitspath	$MgCO^3$	»	»	$= 107^\circ\ 22'$	
Zinkspath	$ZnCO^3$	»	»	$= 107^\circ\ 40'$	

Apatit, Pyromorphit, Mimetesit, Vanadinit; hexagonal, pyramidal-hemiëdrisch.
Arsen, Tellur, Antimon, Wismut; hexagonal, rhomboëdrisch.
Willemit, Phenakit und Troostit; hexagonal, rhomboëdrisch.
Antimonsilberblende und Arsensilberblende; hexagonal, rhomboëdrisch; hemim.
Alunit und Jarosit; hexagonal, rhomboëdrisch.
Antimonglanz, Wismutglanz und Selenwismut; rhombisch.
Skleroklas, Zinckenit, Emplektit und Wolfsbergit; rhombisch.
Arsenkies und Wolfachit; rhombisch.
Enargit und Famatinit; rhombisch.
Aragonit, Cerussit, Strontianit, Witherit; rhombisch mit Zwillingsbildung.

		$\infty P : \infty P$	$\breve{P}\infty : \breve{P}\infty$	Spaltb.
Aragonit	$CaCO^3$	$116^\circ\ 12'$	$108^\circ\ 26'$	$\infty\breve{P}\infty$ deutl., ∞P unvollk.
Cerussit	$PbCO^3$	$117^\circ\ 14'$	$108^\circ\ 16'$	∞P zieml. deutl.
Strontianit	$SrCO^3$	$117^\circ\ 19'$	$108^\circ\ 12'$	∞P deutl.
Witherit	$BaCO^3$	$117^\circ\ 48'$	$107^\circ\ 44'$	∞P deutl., $\infty\breve{P}\infty$ unvollk.

Schwerspath, Cölestin und Bleivitriol; rhombisch ohne Zwillingsbildung.
Manganit, Goethit und Diaspor; rhombisch.
Olivin, Forsterit, Fayalit, Tephroit, Monticellit, Glaukochroit; rhombisch.
Skorodit, Strengit und Reddingit; rhombisch.
Olivenit, Libethenit, Adamin; rhombisch.
Bittersalz und Zinkvitriol; rhombisch (hierher auch der künstliche Nickelvitriol).
Glaserit und Mascagnin; rhombisch.
Eisenvitriol und Kobaltvitriol; monoklin (hierher auch der künstliche Manganvitriol).
Vivianit und Kobaltblüthe (Hörnesit, Symplesit, Cabrerit); monoklin.
Pikromerit und Cyanochrom; monoklin.

Vgl. noch: Jamesonit, Dufrenoysit und Cosalit. — Parisit und Cordylit. — Mossit und Tapiolit. — Tantalit und Columbit. — Childrenit und Eosphorit. — Erinit, Dihydrit und Mottramit. — Wagnerit und Triploidit. — Kalkuranit, Uranocircit und Uranospinit. — Epidot, Piemontit, Hancockit und Orthit. — Harmotom, Desmin und Phillipsit. — Datolith, Homilit (Euklas) und Gadolinit. — Kentrolith und Melanotekit.

Von künstlichen Salzen sei als Beispiel aufgeführt die monokline Gruppe:

	$a : b : c$	$< \beta$
$K^2Mg[SO^4]^2 + 6H^2O$	0,7420 : 1 : 0,5003	$104^\circ\ 55'$
$K^2Zn[SO^4]^2 +$ »	0,7446 : 1 : 0,5098	$105^\circ\ 27'$
$K^2Fe[SO^4]^2 +$ »	0,7512 : 1 : 0,5111	$104^\circ\ 16'$
$K^2Ni[SO^4]^2 +$ »	0,7374 : 1 : 0,4965	$105^\circ\ 3'$

1) Wie insbesondere *Tschermak* hervorhob, ist der Kalkspath mit den übrigen rhomboëdrischen Carbonaten eigentlich blos in der Krystallform und in der groben Spaltbarkeit ähnlich, während sich in allen übrigen Cohäsionserscheinungen, wie in den Aetzeindrücken, der Hervorbringung von Gleitflächen und Schlagfiguren ein durchgreifender Unterschied geltend macht.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

	$a : b : c$	$< \beta$
$K^2Co[SO^4]^2 + 6H^2O$	0,7327 : 1 : 0,4705	104° 43′
$K^2Cu[SO^4]^2 +$ »	0,7701 : 1 : 0,4932	108° 4′
$[NH^4]^2Mg[SO^4]^2 +$ »	0,7376 : 1 : 0,4891	107° 6′
$Tl^2Mg[SO^4]^2 +$ »	0,7422 : 1 : 0,5002	105° 52′

Es gibt Elemente, mit deren Vorhandensein in bestimmten Verbindungen sehr häufig eine Isomorphie der letzteren Hand in Hand geht, wenn auch diese Elemente als solche untereinander keineswegs sämmtlich isomorph sind. Reihen solcher Elemente sind:

Einwerthig: Cl, Br, J, auch F; ferner K, Na, Li; in einfachen Verbindungen auch $[NH^4]$ und K. — Zweiwerthig: S, Se, auch Te; weiterhin Be, Mg, Zn, Fe, Mn, Co, Ni; sodann Sr, Ba, Pb, bisweilen auch Ca. — Dreiwerthig: Al, Fe, Mn, Cr. — Vierwerthig: Zr, Ti, Sn, auch Si. — Fünfwerthig: P, As, V, Sb, auch Bi. — Sechswerthig: Mo, W, Cr. — Einwerthig und zweiwerthig: Ag und Cu, Na und Ca. — Dreiwerthig und vierwerthig: Al und Si in mehren Silicaten.

Innerhalb eines und desselben (nicht-regulären) Krystallsystems können hemiëdrische und tetartoëdrische Substanzen isomorph sein, wie das Beispiel des rhomboëdrisch-hemiëdrischen Eisenglanzes (Polkantenwinkel von $R = 86°$) und des die rhomboëdrische Tetartoëdrie zeigenden Titaneisens ($R = 85° 55'$) erweist, deren Substanzen auch zweifellose Mischkrystalle bilden.

Bei der Abgrenzung der Erscheinungen der Isomorphie sind, da es sich nicht um Identitäten, sondern nur um Aehnlichkeiten handelt, zwei Fragen zu beantworten, erstens wie weit der Begriff der morphologischen Aehnlichkeit, zweitens wie weit derjenige der chemischen Analogie gefasst werden soll.

Die morphologische Aehnlichkeit wird zunächst überall da zugegeben werden, wo Formen vorliegen, welche demselben Krystallsystem angehören und direct einander sehr nahekommende Winkeldimensionen besitzen. Wie gross in letzterer Hinsicht die Differenzen sein können, um noch das Vorhandensein einer Isomorphie anzuerkennen, muss von der speciellen Beurtheilung, namentlich der sonstigen übereinstimmenden Formentwickelung, von dem Gewicht der vorhandenen chemischen Analogie, von der Fähigkeit, sich an isomorphen Mischungen zu betheiligen, von der Auffassung verwandter Erscheinungen abhängen. So gelten Goethit und Manganit (rhombisch) noch als isomorph, obschon bei dem ersteren ∞P 94° 53′ und $\breve{P}\infty$ 117° 30′, bei dem letzteren ∞P 90° 40′ und $\breve{P}\infty$ 122° 50′ misst (demnach nicht unbeträchtliche Abweichungen vorliegen), weil der erstere $FeO[OH]$, der letztere entsprechend $MnO[OH]$ ist, und Eisen- und Manganverbindungen sonst so oft zweifellos isomorph sind; ebenso werden Markasit (FeS^2) und Arsenkies ($FeSAs$) als isomorph betrachtet, trotzdem die Winkel der Grundprismen bei beiden um 5° 7′ differiren.

Anderseits hat man aber auch innerhalb desselben Krystallsystems Mineralien von analoger Zusammensetzung dann noch als isomorph bezeichnet, wenn sie zwar ganz verschiedene Formen besitzen, aber diese Formen, indem auch sonst der allgemeine Habitus ähnlich ist, wenigstens noch nach rationalen und einfachen Verhältnissen aus einander ableitbar sind. Von diesem Gesichtspunkt aus galten z. B. die nach der allgemeinen Formel $RSiO^3$ zusammengesetzten monoklinen Mineralien Augit und Hornblende als isomorph, weil das Axenverhältniss $a : b : c$ bei dem ersteren 1,090 : 1 : 0,589, bei der zweiten 0,532 : 1 : 0,294 ist, somit sowohl die Axen a als auch die Axen c sich bei Augit und Hornblende wie ca. 2 : 1 verhalten. Das Hornblendeprisma (124° 30′) würde, am Augitprisma (87° 6′) auftretend, den einfachen Ausdruck $\infty \breve{P}2$ gewinnen, das Augitprisma in Combination mit dem Hornblendeprisma als $\infty \breve{P}2$ erscheinen; auch in den anderen Zonen sind so Hornblendeflächen an

Augitkrystallen krystallonomisch möglich und umgekehrt. — Ja *Rammelsberg* nannte Topas (Axen-Verh. nach ihm 0,528 : 1 : 0,954) und Andalusit (A.-V. = 0,998 : 1 : 0,701), beide rhombisch krystallisirend, isomorph, weil die Axen *a* im Verhältniss 1 : 1,9, die *c* im Verhältniss 4 : 3 stehen. *G. Linck* geht auf diesem Gebiet noch weiter und setzt Eisenspath und Titaneisen mit gänzlich abweichender Spaltbarkeit und Grundform als isomorph, indem bei dem ersteren der Winkel $8R : 0R = 82^{\circ}\ 28'$, bei letzterem der Winkel $5R : 0R = 82^{\circ}\ 52'$, auch 4R des einen und $\frac{5}{2}R$ des anderen beinahe gleiche Neigung zu 0R haben. Bei solchen gezwungenen Zusammenstellungen erhebt sich natürlich die Frage, weshalb die betreffenden Substanzen ihren Isomorphismus, sofern dieser factisch und begründet existiren sollte, nicht in einer augenscheinlicheren Weise zum Ausdruck bringen, sondern ihn nur in solchen Winkelverhältnissen gewissermassen latent besitzen, die an den Formen selbst kaum je verkörpert erscheinen. In der Krystallreihe jeder Substanz wird sich am Ende ein Winkel finden oder als möglich berechnen lassen, der mit irgend einem anderen bei einer zweiten Substanz sich nahezu deckt. Die Rolle, welche die aus guten Gründen gewählte Grundform spielt, darf bei diesen Vergleichungen nicht aus dem Auge verloren werden.

Endlich aber hat man noch den Begriff der Isomorphie dahin zu erweitern versucht, dass dieselbe überhaupt nicht nothwendig eine Identität des Krystallsystems, sondern nur eine Gleichheit oder Annäherung der Dimensionen (gewisser Kantenwinkel) erfordere, wie dies zuerst 1843 von *Laurent* ausgesprochen wurde. Bei dieser Auffassung würden also die Schranken zwischen den Krystallsystemen kein Hinderniss für die Anerkennung der »Isomorphie« bilden. Sofern aber die eigentliche Isomorphie eine Gleichheit oder Aehnlichkeit des Krystallaufbaus in sich schliesst, müssen solche Fälle, wo bei chemisch mehr oder weniger analog constituirten Substanzen blos eine sehr grosse Aehnlichkeit der Kantenwinkel ohne Uebereinstimmung des Krystallsystems vorliegt, als aus ihrem Rahmen ausgeschlossen gelten. Letztere Erscheinung ist daher auch mit dem besonderen Namen des Isogonismus bezeichnet worden. Ein Beispiel desselben gibt sich darin kund, dass Substanzen, welche der allgemeinen Formel $\overset{II}{R}Si O^3$ entsprechen, mit einem Prismenwinkel von 86°—87° in drei verschiedenen Systemen krystallisiren, als Enstatit und Hypersthen rhombisch, als Augit und seine Abarten monoklin, als Rhodonit triklin, und dass auch sonst, trotz der Abweichung des Systems gewisse einzelne Zonen überraschend ähnliche Winkelverhältnisse aufweisen[1]).

Es fragt sich aber nicht nur, wie weit der Begriff der morphologischen Zusammengehörigkeit, sondern auch, wie weit derjenige der Constitutions-Analogie im chemischen Sinne gefasst werden soll. Zunächst wird eine Verbindung mit einer anderen als analog constituirt gelten müssen, in welcher ein oder mehre Elemente durch ein oder mehre gleichwerthige völlig übereinstimmend ersetzt werden, so dass auch die Atomzahl beider Verbindungen dieselbe ist; z. B. Al^2O^3 (Korund) und Fe^2O^3 (Eisenglanz); $FeCO^3$ (Eisenspath) und $MnCO^3$ (Manganspath); SnO^2 (Zinnstein) und TiO^2 (Rutil); auch $Ca^5P^3O^{12}Cl$ (Apatit) und $Pb^5As^3O^{12}Cl$ (Mimetesit); in der That sind die betreffenden Mineralien vollkommen isomorph. Mit Recht wird aber eine Analogie in der chemischen Zusammensetzung auch da noch erblickt, wo ungleichwerthige Elemente sich z. B. in der Weise vertreten, dass in der einen Verbindung 1 Atom eines zweiwerthigen Elements an der Stelle von 2 Atomen eines einwerthigen

---

1) Ein anderes ausgezeichnetes Beispiel dieser Erscheinung liefern die beiden künstlichen Salze jodsaures Kalium KJO^3 und jodsaures Ammonium $[NH^4]JO^3$, beide analog constituirt; das erstere krystallisirt im Oktaëder des regulären Systems, welches Kantenwinkel von 109°28′ besitzt; das letztere weist als Grundform eine tetragonale Pyramide auf, deren Polkantenwinkel 109°7′, deren Randkantenwinkel 110°12′ messen, also nur ausserordentlich wenig von jenem ersteren Werth abweichen. In einem ähnlichen Verhältniss stehen das wirklich hexagonale schwefelsaure Kali-Lithion ($K, Li.SO^4$) und das analog constituirte, geometrisch beinahe hexagonale ($\infty P = 119°57'$) rhombische schwefelsaure Ammoniak-Lithion ($NH^4, Li.SO^4$).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Elements in der anderen steht, überhaupt sich so ersetzen, dass, unabhängig von der Atomzahl, der chemische Wirkungswerth derselbe bleibt; demnach wäre z. B. $\overset{II}{Pb}S$ (Bleiglanz) analog constituirt mit $\overset{I}{Ag^2}S$ (Silberglanz); ferner $Be\overset{II}{(Al)^2}O^4$ (Chrysoberyll) mit $\overset{I}{H^2}\overset{II}{(Al^2)}O^4$ (Diaspor); das Mol. hat zwar bei ersterem 7, bei letzterem 8 Atome, die Summe der chemischen Werthe (16) ist aber bei beiden gleich. Ein anderes Beispiel einer unmittelbaren Isomorphie, wie sie bei atomistisch ungleichartigen und nur vermöge der Aequivalenz relativ-analog zusammengesetzten Verbindungen zu Stande kommt, bietet diejenige zwischen KCl und $[NH^4]Cl$ (worin die Gruppe $[NH^4]$ einwerthig wie K ist), oder die zwischen den künstlichen Salzen $K^2Mg.2SO^4 + 6H^2O$ und $[NH^4]^2Mg.2SO^4 + 6H^2O$. Eine Analogie derselben Art existirt ferner z. B. zwischen dem Salz zwei- und vierwerthiger Elemente und einem Sesquioxyd, z. B. zwischen den beiden vollkommen isomorphen $\overset{II}{Fe}\overset{IV}{Ti}O^3$ (Titaneisen) und $\overset{VI}{(Fe^2)}O^3$ (Eisenglanz); oder zwischen $\overset{II}{Be}\overset{VI}{(Al^2)}O^4$ (Chrysoberyll) und $\overset{II}{R^2}\overset{IV}{Si}O^4$ (Olivin). — $CaWO^4$ (Scheelit, tetragonal mit dem Axenverhältniss $a : c = 1 : 1{,}537$) ist absolut isomorph mit der künstlich dargestellten Verbindung $\overset{I}{[NH^4]}\overset{VII}{J}O^4$ (tetragonal, A.-V. = 1 : 1,537). — Hierher gehört auch die vollkommene Isomorphie der beiden triklinen Feldspathe Albit $(\overset{I}{Na}\overset{III}{Al}\overset{IV}{Si^3}O^8)$ und Anorthit $(\overset{II}{Ca}\overset{III}{Al^2}\overset{IV}{Si^2}O^8)$; die Valenzensumme für $Na + Al + 3Si = 16$, die für $Ca + 2Al + 2Si$ ebenfalls 16. In ähnlicher Weise kann wohl in Verbindungen Na^2 durch die zweiwerthige Gruppe [AlCl] gewissermassen ersetzt werden[1]).

Einige Beispiele im Mineralreich lassen die Möglichkeit einer isomorphen Vertretung von Fluor (und Chlor) durch Hydroxyl erkennen und erst durch diese Annahme haben sich einfache Formeln ergeben; so sind isomorph $Mg[MgF]PO^4$ Wagnerit und $(Mn,Fe)[(Mn,Fe)OH]PO^4$ Triploidit; dieselbe Ersetzung zeigt sich auch bei Topas, Apatit, Prosopit, der Gruppe des Humits. Sie kommt zum Ausdruck sowohl in chemischer Hinsicht durch das wechselnde Quantitätsverhältniss von F, Cl und OH, als in krystallographischer durch das sich demgemäss ändernde Axenverhältniss[2]).

Sehr bemerkenswerth ist es übrigens, dass es auch gewisse Mineralien gibt, welche zu zweien oder dreien in ihrer ganzen Formentwickelung überaus nahe übereinstimmen, ohne dass bei ihnen weder die engere noch die weitere, weder die

1) Hier mag auch das vielbesprochene Verhältniss von $CaCO^3$ (Kalkspath) und $NaNO^3$ (Natronsalpeter) erwähnt werden. Die beiden Mineralien sind überaus genähert in der rhomboëdrischen Form (R = 105°5′ und 106°33′), beide mit starker negativer Doppelbrechung, spaltbar nach R; auch die übrigen Cohäsionsverhältnisse des Natronsalpeters stimmen zufolge *Tschermak* ganz mit denen des Kalkspaths überein: durch Pressung entstehen Gleitflächen nach $-\frac{1}{2}R$, durch Eindrücken einer Messerklinge Zwillinge nach $-\frac{1}{2}R$, ferner sind die Schlagfiguren und Aetzeindrücke ganz ident. Ausserdem erkannten *G. Rose* und *Sénarmont*, dass ein rhomboëdrisches Spaltungsstück von Kalkspath innerhalb einer gesättigten Lösung von Natronsalpeter wie in seiner eigenen Substanz rhomboëdrisch fortwächst. Alle diese Beziehungen sprechen für die Thatsächlichkeit einer Isomorphie. Doch ist dieselbe auch bezweifelt worden. *Groth* will dieselbe nicht anerkennen, da von der Möglichkeit, dass salpetersaure und kohlensaure Salze isomorphe Mischungen bilden würden, keine Rede sein könne; *Frankenheim* betrachtete jenes Fortwachsen nur als ein scheinbares, da es sich in Wirklichkeit blos um eine anfängliche gesetzmässige und dann weiter fortgesetzte Verwachsung verschiedener Mineralien handle, wie etwa zwischen Staurolith und Cyanit. Nimmt man übrigens den Stickstoff mit *Kopp* als fünfwerthig an, so besitzen $\overset{II\,IV\,II}{CaCO^3}$ und $\overset{I\,V\,II}{NaNO^3}$ nicht nur gleiche Atomzahl (5) sondern auch gleiche Summe der Werthigkeiten (12). Nicht ohne Belang für die Wirklichkeit einer Isomorphie wären die beiden ferneren Thatsachen, dass der künstliche Natronsalpeter auch eine rhombische Form hat, welche mit dem anderen Calciumcarbonat, dem rhombischen Aragonit, gleiche Gestalt besitzt und dass nach *G. Rose* ein Aragonitkrystall in einer Lösung rhombischen Kalisalpeters weiterwächst.

2) Bei den künstlich krystallisirten Benzolderivaten konnte jedoch *G. Fels* eine wirklich isomorphe Ersetzung wenigstens von Cl, Br oder J durch OH nicht constatiren (Z. f. Kryst. XXXII. 1900. 359).

absolute noch die relative Analogie in der Constitution vorläge. So wären z. B. ihrer Form nach isomorph: Aragonit, Bournonit und Kalisalpeter; Augit, Borax und Glaubersalz; Anatas und Chlorquecksilber; Schwefel und Skorodit — alles Mineralien, deren chemische Natur gar keinen gegenseitigen Vergleich gestattet. Hier ist daher mit analoger Krystallform keine chemische Beziehung verknüpft, also auch keine Isomorphie vorhanden.

Das entscheidende Merkmal für die wirkliche Isomorphie zweier analog zusammengesetzter Substanzen besteht darin, dass sie die Fähigkeit besitzen, zusammen zu krystallisiren, und sowohl (als »isomorphe Mischungen«) gemeinschaftlich in variirenden Verhältnissen einen homogenen Krystall aufzubauen, welcher nicht etwa ein mechanisches Gemenge ist, als auch anderseits einzeln aus der gegentheiligen Lösung wie aus der eigenen weiter zu wachsen.

Kopp definirt daher isomorphe Verbindungen als »solche, deren Substanzen in der Art mit gleichem Krystallbildungsvermögen ausgestattet sind, dass sie in gleicher Weise, eine an Stelle einer anderen, mit gleichem Erfolg zu der Bildung eines Krystalls beitragen können«. *Retgers* stellt an die wirkliche Isomorphie noch das Erforderniss, dass die physikalischen Eigenschaften der Mischkrystalle continuirliche Functionen ihrer chemischen Zusammensetzung bilden (vgl. S. 313 f.)[1].

So mischen sich $CaCO^3$ und $MgCO^3$ in variabeln Proportionen und erzeugen homogene Individuen. — Hängt man einen Krystall von dunkel weinrothem Chromalaun in eine gesättigte Lösung von farblosem Kalialaun, so wächst er darin, wie in seiner eigenen Substanz fort. Doch hat *Klocke* darauf aufmerksam gemacht, dass ein Alaun in isomorpher Lösung anfänglich niemals direct so weiterwächst, wie in seiner eigenen Lösung, indem er sich zunächst mit einzelnen getrennten, scharf begrenzten Fortwachsungen bedeckt, und erst wenn diese seitlich an einander geschlossen sind, der Krystall sich also nun in seiner eigenen Lösung befindet, geht der Weiterabsatz geschlossen und glattflächig vor sich.

Für die Auffassung der Isomorphie ist die Thatsache bemerkenswerth, dass in einer übersättigten Salzlösung hineingebrachte Krystalle eines isomorphen Salzes, aber auch nur diese, eine sofortige Krystallisation hervorbringen; so z. B. krystallisirt aus einer übersättigten Lösung von $MgSO^4 + 7H^2O$ das Salz heraus durch Einbringen fester Theile von $ZnSO^4 + 7H^2O$, oder $NiSO^4 + 7H^2O$; inactiv, d. h. die Ausscheidung nicht bewirkend, verhalten sich z. B. $Na^2SO^4 + 10H^2O$. Das letztere Salz wird alsdann seinerseits zum Krystallisiren gebracht durch $Na^2SeO^4 + 10H^2O$, nicht durch $MgSO^4 + 7H^2O$. Gewöhnlicher Alaun gelangt unter solchen Umständen zum Krystallisiren durch Chromalaun, Eisenalaun, nicht aber durch andere reguläre Krystalle, wie Chlornatrium, ein Hinweis darauf, dass es, abgesehen von der Form, auch auf die Aehnlichkeit der Constitution ankommt.

Die nähere Ursache der Isomorphie muss in dem analogen Aufbau des Krystallmolecüls, in der völligen oder doch nahezu völligen Congruenz der Structurformen erblickt werden.

---

1) Bei Annahme dieses Satzes würde allerdings für das Mineralreich die Anzahl der als isomorph wirklich nachweisbaren Substanzen sehr gering bleiben, theils weil natürlich vorkommende Mischkrystalle nicht bekannt sind, oder wo sie auftreten, die Mischungsreihe für solche Feststellungen zu klein ist, theils weil die Untersuchung der physikalischen Eigenschaften auf Schwierigkeiten stösst (z. B. des spec. Gewichts wegen vorhandener Verunreinigungen, der optischen wegen Impellucidität). — Es ist sehr fraglich, ob es gerechtfertigt ist, dann die Isomorphie zu bezweifeln, wenn trotz aller sonstigen Uebereinstimmung von Substanzen keine Mischungen derselben vorzukommen pflegen. So kennt man allerdings bis jetzt keine Mischungen der Substanzen von Rutil, Zinnstein, Zirkon, obschon für diese durchaus analog zusammengesetzte Gruppe Axenverhältniss, Formausbildung, Zwillingsverwachsung auf die vollendete Isomorphie hinweisen. Eine sehr geringe Neigung zur Mischung ist auch bei den offenbar isomorphen beiden Rothgültigerzen vorhanden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Verschieden beantwortet wird die namentlich bei den regulären Mineralien zur Geltung kommende Frage, ob auch Identität der Spaltbarkeit zu den Erfordernissen der Isomorphie gehört; bei der Bejahung derselben könnte dann Steinsalz und Flussspath, oder Chlorsilber und Steinsalz nicht als isomorph betrachtet werden, was allerdings in beiden Fällen annehmbar erscheint; anderseits spricht aber für die Verneinung jener Frage, dass es unangemessen wäre, die Isomorphie von Spinell (mit mangelnder) und Automolit (mit vollkommener oktaëdrischer Spaltbarkeit) oder diejenige der tetraëdrischen Zinkblende ZnS (mit dodekaëdrischer) und der tetraëdrischen Manganblende MnS (mit hexaëdrischer Spaltbarkeit) läugnen zu müssen. Vgl. auch die S. 304 aufgeführten Unterschiede in der Spaltbarkeit bei den zweifellos isomorphen Witherit, Aragonit, Cerussit.

Isomorphe Körper pflegen hinsichtlich der auf ihren Flächen hervorgerufenen Aetzfiguren nahe übereinzustimmen, doch können sie aber auch Verschiedenheiten zeigen, wenigstens was die Lage der Aetzeindrücke betrifft. So lässt der Kalkspath nach dem Aetzen mit Salzsäure auf seinen Spaltungsrhomboëderflächen deutliche dreiseitige gleichschenkelige Vertiefungen erkennen, welche ihre Spitze der Polecke des Rhomboëders zuwenden. Umgekehrt (mit der Basis nach der Polecke) liegen die durch Aetzen mit kochender Salzsäure auf den Spaltungsflächen des isomorphen Eisenspaths erzeugten, etwas langgedehnten dreiseitigen gleichschenkeligen Vertiefungen. Dies lässt auf eine entsprechende Aehnlichkeit oder Verschiedenheit der Structur und der Molecularformen dieser Körper schliessen (vgl. dazu die Anmerk. auf S. 304). — Aehnliche Abweichungen kommen nach *Jannettax* bezüglich des thermischen Verhaltens isomorpher Krystalle vor; beim Kalkspath fällt das Maximum der Wärmeleitung mit der Hauptaxe zusammen, während es beim Dolomit und Magnesitspath normal zur Hauptaxe geht; beim Baryt und Cölestin ist das Wärmeleitungs-Minimum zwar normal zur Hauptspaltungsfläche $\infty\breve{P}\infty$, die beiden anderen Axen sind aber mit einander vertauscht, indem das Maximum beim Baryt die Brachydiagonale, beim Cölestin die verticale Axe ist. — Aragonit und Strontianit einerseits, Cerussit und Witherit anderseits, alle formell isomorph, optisch negativ und die spitze Bisectrix parallel der Verticalaxe besitzend, unterscheiden sich dadurch, dass in den beiden ersten die optische Axenebene parallel $\infty\bar{P}\infty$ und $\rho < \upsilon$, in den letzteren jene Ebene parallel $\infty\breve{P}\infty$ und $\rho > \upsilon$ ist. Künstliches Kaliumchromat K^2CrO^4 hat positiven und Kaliumsulfat K^2SO^4 negativen Charakter der Doppelbrechung.

Isodimorphie herrscht zwischen zwei oder mehren Substanzen, wenn von ihnen eine jede zwei dimorphe Modificationen aufweist, und diese wiederum unter sich zu je zwei in gleicher Weise isomorph sind: die eine Substanz besitzt die beiden Dimorphieen A und B, die andere diejenigen A′ und B′, und A ist dann mit A′, B mit B′ isomorph. So sind Kalisalpeter und Natronsalpeter isomorph sowohl im Bereich des hexagonal-rhomboëdrischen als des rhombischen Systems; die Sulfate von Mg, Zn, Ni, Co, Fe, je mit 7 Mol. H^2O (entweder natürlich vorkommend oder künstlich dargestellt) sämmtlich einerseits rhombisch-, anderseits monoklinisomorph. Eine isodimorphe Gruppe bilden auch TiO^2 (tetragonal als Rutil, rhombisch als Brookit) und SnO^2 (tetragonal als Zinnstein, rhombisch künstlich erhalten). Ferner das Eisenmetaniobat $FeNb^2O^6$ (tetragonal als Mossit, rhombisch als Columbit) und das Eisenmetatantalat $FeTa^2O^6$ (tetragonal als Tapiolit, rhombisch als Tantalit).

Die Verhältnisse der Isomorphie sind dazu angethan, allerhand Schlussfolgerungen betreffs der Heteromorphie aufzustellen, wodurch dem Kreise der heteromorphen Substanzen eine wesentliche Erweiterung zu Theil werden würde. Die rhomboëdrischen Carbonate von Mg, Fe, Mn, Zn sind mehr oder weniger isomorph mit $CaCO^3$ als Kalkspath; die rhombischen Carbonate von Ba, Sr, Pb sind isomorph mit $CaCO^3$ als Aragonit; wegen der Dimorphie von $CaCO^3$ ist es daher an sich wahrscheinlich, dass

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

die übrigen als rhomboëdrisch bekannten Carbonate auch in der rhombischen Aragonitform, und umgekehrt die bis jetzt nur als rhombisch bekannten auch in der rhomboëdrischen Kalkspathform krystallisiren können, wenngleich die wirkliche Zweigestaltigkeit bis jetzt sicher blos bei dem Kalkcarbonat angetroffen wurde. In der That hat auch der Plumbocalcit, eine Mischung von $CaCO^3$ und $PbCO^3$, die Form des Kalkspaths, zur Unterstützung jener Folgerung, dass das Bleicarbonat als solches rhomboëdrisch krystallisiren könne; auch gibt es rhomboëdrische Kalkspathe mit einem Gehalt an $SrCO^3$ oder an $BaCO^3$. In solchem Falle, wo es sich nicht um eine offenbare Dimorphie reiner krystallisirter Substanzen handelt, sondern die Dimorphie nur durch eine Betheiligung an Mischkrystallen realisirt und zu erschliessen wäre, redet *Brauns* von Kryptodimorphie; $PbCO^3$, $SrCO^3$, $BaCO^3$ wären also kryptodimorph, $CaCO^3$ offen dimorph. — Die Silicate Mg^2SiO^4, Fe^2SiO^4, Mn^2SiO^4 und deren Mischungen sind isomorph rhombisch (Forsterit, Fayalit, Olivin, Tephroit); die entsprechenden Zn^2SiO^4 (Willemit), Be^2SiO^4 (Phenakit) isomorph rhomboëdrisch. Da nun im Tephroit auch Zn^2SiO^4 vorkommt, und da es umgekehrt ein rhomboëdrisches, dem Willemit isomorphes Mineral gibt, der Troostit, in welchem neben Zn^2SiO^4 stets Mn^2SiO^4 (oft auch Mg^2SiO^4 und Fe^2SiO^4) vorkommt, so darf man glauben, die neutralen Silicate von Mg, Fe, Mn auch in der rhomboëdrischen Willemitform, diejenigen von Be, Zn auch in der rhombischen Olivinform zu finden. — Das Kupfer krystallisirt regulär, das Zink künstlich hexagonal, gleichwohl sind die künstlichen Legirungen Cu^mZn^n (Messing, Rothguss) regulär; daraus würde folgen, dass auch das Zink regulär krystallisiren könne. Zinn ist nur tetragonal, Eisen nur regulär bekannt; dennoch sind die Legirungen Fe^mSn^n tetragonal. Sehr sonderbar ist, dass Goldamalgam Au^2Hg^3 tetragonal ist, da doch sowohl Gold als Quecksilber nur regulär krystallisiren und auch das Silberamalgam dem regulären System angehört.

Wenn überhaupt, wie dies häufig der Fall ist, analog constituirte Verbindungen wider Erwarten nicht isomorph sind, so liegt die begründete Vermuthung nahe, dass dies eine Folge ihrer Hetermorphie ist, und wir von den zwei Gestalten bis jetzt nur bei der einen Verbindung die eine, bei der anderen die andere kennen.

Mitunter hat sich die Richtigkeit derartiger Speculationen bestätigt. Ag^2S war bekannt als regulärer Silberglanz, das analog constituirte Cu^2S als rhombischer Kupferglanz, und ausserdem war Cu^2S künstlich in regulärer Form erhalten sowie im regulären Jalpait mit Ag^2S zusammenkrystallisirt gefunden worden; der Schluss lag somit nahe, dass auch umgekehrt Ag^2S rhombisch krystallisiren könne, wie es in der That bei dem rhombischen Silberkupferglanz $Cu^2S + Ag^2S$ der Fall ist. — Schwefelzink ZnS krystallisirt gewöhnlich regulär als Zinkblende, das so ähnliche Schwefelcadmium CdS hexagonal als Greenockit; diese Differenz musste Wunder nehmen, bis man ZnS auch in hexagonalen Krystallen künstlich darzustellen vermochte und natürlich als Wurtzit fand; es ist darnach kaum zweifelhaft, dass es auch umgekehrt reguläres CdS gibt. — Der für sich anfangs nur rhombisch bekannte Zinkvitriol krystallisirt mit monoklinem Eisenvitriol in monoklinen Mischkrystallen; schien er deshalb auch selbst monokliner Form fähig zu sein (wie der analog zusammengesetzte Magnesiavitriol thatsächlich rhombisch und monoklin dimorph war), so wurde er später in monokliner Gestalt künstlich dargestellt.

Dass bei einer durch solche Folgerungen supponirten Hetermorphie eine Substanz dennoch bis jetzt blos in der einen Form gefunden wurde, dies liegt möglicherweise daran, dass diese es ist, welche der stabileren Gleichgewichtslage der Molecüle entspricht, während die andere, bis jetzt nur vorauszusetzende Modification mit unbeständigerem Molecularzustande verknüpft ist (wie z. B. die monokline Form des Schwefels) und sie sich deshalb nur in Mischungen kundgibt, wo sie sich an eine andere stabile und eminent krystallisationsfähige isomorphe Substanz anlehnen kann. So scheint das Bleicarbonat nur da rhomboëdrisch krystallisiren zu können, wo es sich mit Kalkspathsubstanz an dem Aufbau eines Individuums betheiligt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Anm. 1. Als Morphotropie bezeichnete *Groth* diejenige Einwirkung auf die Form, welche bei einer krystallisirbaren Substanz vermöge der Substitution des Wasserstoffs durch andere Atome oder Atomgruppen in gesetzmässiger Weise hervorgerufen werde. Bei den von ihm zunächst an organischen Substanzen darüber angestellten Untersuchungen hat sich die Aenderung theilweise derart herausgestellt, dass bei rhombisch krystallisirten Substanzen zwei Axen fast ihre Werthe behalten, und nur die dritte sich stärker verändert. Mit der Substitution von Cl gegen H im rhombischen Benzol stellt sich das monokline System ein; in der Derivatenreihe des Naphthalins bringen Br und Cl gleiche morphotropische Wirkung hervor, sind isomorphotrop.

Betrachtet man die Morphotropie als die aus der partiellen Aenderung der Zusammensetzung resultirende gesetzmässige Aenderung der Form, so würde dieselbe gewissermassen einen speciellen Fall der Isomorphie darstellen. Sie würde abhängen von der Art des neu eintretenden Atoms oder Atomcomplexes, von der Disposition der zum Ausgang gewählten Substanz, solche Veränderungen an sich zu erfahren, von dem Maass der Symmetrie-Eigenschaften, welche sie besitzt, wohl auch von der Grösse des Molecüls. Die morphotropische Wirkung könnte über die Schranken hinwegsetzen, welche die geometrischen und physikalischen Eigenschaften zwischen den einzelnen Krystallsystemen aufrichten. — Hauptsächlich haben diese Betrachtungen Bedeutung für die Krystallisation der organischen Kohlenstoffverbindungen und anderer künstlich erzeugter Substanzen. Immerhin hat sich herausgestellt, dass vielfach in den homologen Derivaten sich die morphotropische Kraft der eintretenden Gruppen nicht in derselben gleichsinnigen Weise geltend macht, also die Beziehungen nicht constant sind[1]).

Anm. 2. Eine Untersuchung der monoklinen Doppelsalze von der allgemeinen Form $\overset{I\,II}{R}\overset{I}{R}[SO^4]^2 + 6H^2O$, wobei $\overset{I}{R} = K$, Rb, Cs und $\overset{II}{R} = Mg$, Zn, Cd, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, sowie der neutralen Sulfate und der Selenate von K, Rb, Cs, hat *Tutton* zu dem wichtigen Schluss geführt, dass hier die morphologischen und physikalischen Eigenschaften dieser isomorphen Substanzen Functionen des Atomgewichts der unter einander vertauschbaren, derselben Gruppe des periodischen Systems angehörigen Elemente sind (Z. f. Kryst. XXI. 1893. 491; XXIV. 1895. 1; XXVII. 1897. 113; XXIX. 1898. 63; vgl. auch *Muthmann* über die Permanganate jener Alkalimetalle, ebendas. XXII. 1894. 527). Nach *G. Linck*'s Annahme ist dies eine allgemein gesetzliche Thatsache, welche er als katamere Eutropie oder Eutropie schlechthin bezeichnet (ebendas. XXVI. 1896. 280).

§ 150. **Isomorphe Mischungen.** Eine für die Chemie wie für die Mineralogie äusserst wichtige (auch schon im vorigen Paragraph angedeutete) Thatsache ist es, dass isomorphe Elemente oder Verbindungen in schwankenden und unbestimmten (d. h. stöchiometrisch nicht abgemessenen) Verhältnissen zu einem homogen erscheinenden Individuum zusammenkrystallisiren können, welches dann vermöge seiner Form mit in die isomorphe Gruppe hineingehört. Hier finden

---

1) Auffallend ist das gegensätzliche Verhalten von Ca einerseits, Mg, Fe, Mn, Zn anderseits. Die Form der Carbonate, Sulfate, Silicate ändert sich oft nur in ganz geringfügiger Weise, wenn statt des Mg die entsprechenden Mengen von Fe, Mn, Zn eintreten. So sind z. B. $MgSiO^3$ und $FeSiO^3$ im rhombischen Enstatit und Hypersthen völlig isomorph. Dagegen verändert sich die Krystallform ganz erheblich, wenn anstatt des Mg das Ca in die Verbindung eintritt: das analoge $CaSiO^3$ ist als Wollastonit monoklin und auch sonst mit den vorigen formell nicht zu vergleichen. Ebenso sind Magnesitspath $MgCO^3$ und Eisenspath $FeCO^3$ durchaus isomorph, während Kalkspath $CaCO^3$ zwar auch morphologisch und in der Spaltbarkeit übereinstimmt, aber in anderen Cohäsionsverhältnissen (Schlagfigur, Aetzfigur) abweicht. Der Gegensatz zeigt sich auch darin, dass in der Spinellgruppe $\overset{II\,III}{R}R^2O^4$ das zweiwerthige R aus Mg, Fe, Mn, Zn bestehen kann, aber Ca nie in diese Verbindungen eintritt. — Die Carbonate von Ca, Ba, Sr, Pb sind zwar alle völlig isomorph, aber das Sulfat von Ca (Anhydrit) kann nicht als isomorph mit den Sulfaten von Ba, Sr, Pb gelten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

also übereinstimmend constituirte und struirte Krystallmolecüle einer wie einer anderen Substanz beim Wachsthum des Krystalls als Bausteine gleichmässig Verwendung. Der frühere Sprachgebrauch drückte dies auch so aus, dass in einer und derselben chemischen Verbindung isomorphe Bestandtheile sich gegenseitig vertreten oder für einander vicariiren können, ohne dass dadurch die Krystallform und die von dieser abhängigen physischen Eigenschaften eine wesentliche Veränderung erleiden.

Ein Beispiel einer solchen isomorphen Mischung ist ein rhombischer Olivinkrystall, welcher aus den isomorphen Silicaten Mg^2SiO^4 (der Substanz des Forsterits) und Fe^2SiO^4 (derjenigen des Fayalits) besteht (vgl. S. 310). Oder ein aus einer Lösung von Bittersalz, Zinkvitriol und Manganvitriol gewachsener Krystall, welcher alle drei isomorphen Sulfate gleichzeitig enthält und die rhombische Form der letzteren selbst darbietet; bei der Analyse würde derselbe daher die Zusammensetzung $x(MgSO^4 + 7H^2O) + y(ZnSO^4 + 7H^2O) + z(MnSO^4 + 7H^2O)$ liefern. — Die Mischkrystalle sind von ganz homogener Beschaffenheit und das Vorhandensein einer Mischung tritt erst durch die chemische Analyse und deren Vergleichung mit der Zusammensetzung anderer isomorpher Substanzen hervor[1]). Das Verhältniss der Componenten ändert sich stetig mit der Zusammensetzung der Lösung, aus welcher sich die Mischkrystalle absetzen. — Das schwankende Mischungsverhältniss und die Isomorphie der zusammensetzenden Glieder unterscheidet die isomorphen Mischungen von den constanten Molecularverbindungen der Doppelsalze, welche auch nach allen Erfahrungen niemals mit einem ihrer Componenten isomorph sind und einen Schmelzpunkt besitzen, der in gar keiner Beziehung zu den Schmelzpunkten der letzteren steht. — *Nepomuk Fuchs* hat bereits 1815 vor der Entdeckung der Isomorphie auf das Verhältniss der sog. vicariirenden Bestandtheile aufmerksam gemacht.

Die Formeln der isomorphen Mischungen werden oft so geschrieben, dass das den einzelnen zusammenkrystallisirten Gliedern Gemeinsame nur einmal gesetzt wird; so bedeutet z. B. $(Ca, Mg, Fe)CO^3$ eine isomorphe Mischung von $CaCO^3$, $MgCO^3$ und $FeCO^3$. Bei der Ableitung der Formel werden die aus den Analysenresultaten und den Atomgewichten sich ergebenden Verhältnisszahlen (S. 294) für alle sich gleichsam isomorph vertretenden Elemente oder Verbindungen zusammengefasst und dann als gemeinsamer Quotient betrachtet.

Sehr viele Mineralien sind als isomorphe Mischungen zu deuten, z. B. die Fahlerze, zahlreiche andere Schwefelmetalle, Glieder der Spinell-, der Kalkspathgruppe, die meisten Granaten, Turmaline, Amphibole, Pyroxene, Plagioklase u. s. w. Die Erkenntniss ihrer Zusammensetzung gelingt nur von dem Gesichtspunkt aus, dass sie eben isomorphe Mischungen von Grundverbindungen darstellen. Die spärliche Gegenwart mancher anscheinend fremder Stoffe, die früher wohl als Verunreinigungen galten, erklärt sich durch das Zugemischtsein isomorpher Substanz, z. B. die geringen Quantitäten von Mg im Kalkspath, von Ca im Albit, von Na im Anorthit, von Sr im Baryt u. s. w. — Für manche isomorphe Mischungen sind

1) Die Erscheinung, dass ein Krystall aus schalenförmig sich umhüllenden Schichten von etwas abweichender chemischer Zusammensetzung und gewöhnlich auch verschiedener Farbe besteht (§ 68), kann nicht als isomorphe Mischung aufgefasst werden; die einzelnen Schichten desselben stellen allerdings gewöhnlich als solche isomorphe Mischungen in verschiedenen Verhältnissen dar.

Die Mischungsfähigkeit zweifellos isomorpher Substanzen scheint übrigens manchmal nicht in ganz beliebiger Weise, sondern nur innerhalb gewisser Grenzen stattzufinden; so hebt *Weinschenk* hervor, dass Eisenoxydulgranaten mit wenig Kalk, und Kalkgranaten mit wenig Eisenoxydul vorhanden sind, während solche, in denen FeO und CaO in annähernd gleicher Menge auftreten, bisher völlig unbekannt sind.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

übrigens die Grundverbindungen als solche isolirt noch nicht aufgefunden worden, z. B. die Verbindung $FeSiO^3$, welche sich mit Enstatit-Substanz ($MgSiO^3$) in den Mineralien Bronzit und Hypersthen mischt. Namentlich in der so zahlreichen Gruppe der Silicate übt das gleichzeitige Vorhandensein verschiedener isomorpher Verbindungen vorzüglich dann einen sehr wesentlichen Einfluss auf den Habitus derselben aus, wenn anscheinend die Oxyde schwerer Metalle für Erden und Alkalien eintreten. In diesem Falle müssen nämlich die übrigen, von der Krystallform nicht unmittelbar abhängigen physischen Eigenschaften, wie z. B. Härte, specifisches Gewicht, Farbe, Glanz und Pellucidität grösseren oder geringeren Veränderungen unterliegen; wofür u. A. der Pyroxen, Amphibol, Granat, Epidot sehr auffallende Belege liefern, indem ihre Varietäten z. Th. ausserordentlich abweichend erscheinen. Diese Verschiedenheiten des Habitus können jedoch nicht zu einer specifischen Trennung berechtigen, so lange sie für die morphologischen Eigenschaften gar nicht, für die physischen und chemischen aber nur innerhalb solcher Grenzen stattfinden, dass die durch sie bedingten verschiedenen Varietäten durch allmähliche Uebergänge mit einander verknüpft werden.

Wenn zwei Verbindungen von analoger chemischer Constitution sich in verschiedenen Verhältnissen mischen und dabei doch Krystalle von übereinstimmender Form erzeugen, so darf man daraus umgekehrt auf die Isomorphie dieser Verbindungen schliessen. Vgl. auch S. 308.

Merkwürdig ist es, dass, während in gewissen Silicaten die Zumischung von isomorphen Metallsilicaten zur Regel gehört, in anderen Silicaten fast gar keine Spur oder doch nur sehr selten etwas von diesem Verhältniss zu finden ist (Feldspathe, Zeolithe).

Was die Molecularstruktur eines isomorphen Mischkrystalls anbelangt, so ist die Vorstellung, denselben als aus den Molecülen der beiden isomorphen Substanzen aufgebaut zu betrachten, wohl berechtigter als diejenige, dass er aus gleichartigen Molecülen bestehe, von denen jedes schon die betreffende Mischung darstellt.

Wenn *van't Hoff* die isomorphen Mischkrystalle zu den »festen Lösungen« rechnet, in welchem Falle schon die einzelnen Molecüle als gemischt gelten müssten, so werden die bisherigen Beobachtungen vielfach als nicht genügend zu einem exacten Beweis dieser Anschauung betrachtet. Während nämlich die Eigenschaften der festen Lösungen im Allgemeinen nicht additiv sind, erweisen sich diejenigen der isomorphen Mischkrystalle auf vielen Gebieten gerade als rein additiv. Doch sind diese Fragen zur Zeit noch nicht erledigt, wie denn nach *Bodländer* bei den letzteren der Gang der Schmelzpunkte ein anderer ist, als er sich aus den Gesetzen für feste Lösungen ergeben würde, dagegen nach *Sommerfeldt* Löslichkeit und Lösungswärme, als nicht additive Eigenschaften zu Gunsten der Auffassung von *van't Hoff* sprechen.

Von vielem Interesse sind die Fragen, wie sich die Krystallform der isomorphen Mischung zu derjenigen ihrer Grundverbindungen im Specielleren verhält und in welchem Einklang die physikalischen Eigenschaften der ersteren mit denen der letzteren stehen.

Da die Grundverbindungen immer kleine Differenzen ihrer Dimensionsverhältnisse aufweisen, so sollte man wohl in formeller Hinsicht erwarten, dass die Krystalle der Mischungen sich nicht nur innerhalb dieser Grenzunterschiede halten, sondern auch der Form derjenigen Grundverbindung am nächsten anschliessen, welche am reichlichsten bei der Mischung betheiligt ist. Nur in sehr wenigen Fällen zeigt sich diese

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Voraussetzung einer geometrischen Continuität erfüllt; anderseits kennt man manche Belege dafür, dass das Verhältniss zweier isomorpher Verbindungen in einer Mischung mit der krystallographischen Entwickelung nicht im Einklang steht. So gibt es rhomboëdrische Mischungen von $MgCO^3$ und $FeCO^3$, welche, obschon der Polkantenwinkel der ersten Grundverbindung stumpfer ist ($107^o\ 30'$) als der der zweiten ($107^o\ 0'$), dennoch einen um so schärferen Polkantenwinkel besitzen, je grösser das Verhältniss des Mg ist. *Groth* hat sogar gefunden, dass bei den rhombischen isomorphen Mischungen von überchlorsaurem Kali ($KClO^4$) und übermangansaurem Kali ($KMnO^4$) die Kantenwinkel zum Theil gar nicht innerhalb derjenigen Differenzen fallen, welche die beiden Grundverbindungen aufweisen. *Neminar* that auch für den Baryto-Cölestin dar, dass seine Winkel keineswegs zwischen denen seiner Grundverbindungen (Baryt und Cölestin) schwanken. Nach *M. Bauer* liegen ebenso bei den Gliedern der Olivinreihe die Winkelwerthe der eisenreichen Mischungen nicht zwischen denen des Fayalits und Forsterits, sondern ausserhalb derselben (N. Jahrb. f. Min. 1887. I. 35). — Isomorphe Mischungen können auch gebildet werden von Substanzen, welche hinsichtlich der Theilflächigkeit abweichen, z. B. von dem rhomboëdrisch-hemiëdrischen Eisenglanz und dem rhomboëdrisch-tetartoëdrischen Titaneisen.

Die optische Beschaffenheit der isomorphen Mischungen erweist sich häufig geregelt nach derjenigen der zusammengetretenen Verbindungen. Doch ist zum Zusammenkrystallisiren isomorpher Substanzen eine völlige Uebereinstimmung der optischen Charaktere nicht unbedingt erforderlich. — Bei den optisch einaxigen Mineralien besitzen die vereinigten Componenten gewöhnlich gleichartigen Charakter; wäre dies nicht der Fall, so würde theoretisch eine gleichmässige Mischung eines optisch positiven und eines optisch negativen Gliedes isotrop ausfallen (vgl. unten), und mit dann wachsender Betheiligung eines abweichend beschaffenen Gliedes die Doppelbrechung zunehmen. — Auch bei rhombischen isomorphen Mischungen haben die einzelnen Componenten in der Regel gleichartige optische Orientirung und die Differenz beschränkt sich blos auf die Grösse des Axenwinkels; *Penfield* erwies z. B. auf diesem Gebiet beim Topas einen Zusammenhang zwischen dem Werth des optischen Axenwinkels und dem Maass des gegenseitigen Ersatzes von Fluor und Hydroxyl. — Beim Variiren des Axenwinkels kann es vorkommen, dass z. B. die Verticalaxe c in der einen Mischung die spitze Bisectrix, in der anderen, bei der Aufstellung ebenso gerichteten und die Elasticitätsaxen in gleicher Orientirung besitzenden Mischung die stumpfe Bisectrix darstellt, daher der optische Charakter der Doppelbrechung verschieden ist und auch das Symbol $\rho : \upsilon$ sich gegensätzlich verhält. In diesem Falle zeigt sich wohl eine Abhängigkeit des optischen Axenwinkels von dem Verhältniss der Mischung. So fand *Tschermak*, dass in der Bronzitreihe, welche Mischungen von $MgSiO^3$ und $FeSiO^3$ darstellt, mit der Zunahme der zweiten Verbindung, also dem Wachsen des Eisengehalts, auch der positive Axenwinkel sich vergrössert, so dass hier theils positiv (eisenarme), theils negativ (eisenreiche) sich verhaltende Exemplare vorkommen. Bei ungleichförmiger Mischung könnte dann der Krystall an einer Stelle positives, an einer anderen negatives Verhalten zeigen. — Es kann aber auch der seltene Fall eintreten, dass die Axenebene in den beiden Componenten ihrer Lage nach nicht übereinstimmt. Die beiden isomorphen Salze rechtsweinsaures Natrium-Kalium (Seignettesalz) und rechtsweinsaures Natrium-Ammonium (Ammonium-Seignettesalz) besitzen zwar gleiche Axenwinkel und $\rho > \upsilon$, aber die optische Axenebene ist in dem ersteren $\infty\breve{P}\infty$, in dem letzteren $\infty\bar{P}\infty$; dennoch mischen sich die beiden und nach *Sénarmont* zeigen die Mischkrystalle bei wachsendem Gehalt an dem Ammoniumsalz immer kleinere Axenwinkel, bis bei einem bestimmten Gehalt zuerst der Axenwinkel für Roth, dann derjenige für Violett $= 0$ wird und bei noch steigendem Gehalt die Axen wiederum und zwar in einer zu der anfänglichen senkrechten Ebene ($\infty\bar{P}\infty$) auseinandergehen. — Ferner zeigt auch die Aragonitgruppe (s. S. 309), dass entschiedene Isomorphie vorkommen kann — und auch isomorphe Mischungen möglich sind — selbst wenn die optischen Eigenschaften sich nicht alle genau decken.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Ein Beispiel hierher gehöriger Beziehungen liefert folgende Tabelle über die Glieder der Olivingruppe, Mischungen von Fe^2SiO^4 und Mg^2SiO^4 (nach *Penfield* und *Forbes*):

	FeO in %	$2V$, gemessen über $a = b$	β für gelb
Fayalit, Rockport	68,1	49° 50′	1,864
Hortonolith, Monroe	47,3	69° 24′	1,791
Olivin, Auvergne	13,0	89° 36′	1,692
» Vesuv	12,6	89° 42′	?
» Hawaii	10,3	91° 2′	?
» Aegypten	9,2	91° 19′	1,678
» Neu-Mexico	8,6	91° 24′	?
» Unbekannt	?	92° 14′	1,678
» Ostindien	?	92° 45′	1,670
Forsterit, Vesuv	2	93° 50′	1,657

Mit der Abnahme des Eisengehalts nimmt der opt. Axenwinkel $2V$ constant zu und zwar erfolgen die Aenderungen viel schneller am Fe-reichen als am Mg-reichen Ende der Reihe. Mit der Verminderung von Fe nimmt der mittlere Brechungsquotient β ab, sowie auch die Stärke der Doppelbrechung. Bei einem FeO-Gehalt von ca. 12 pCt. wird $2V$ etwa 90° für gelbes Licht. Olivine mit einem grösseren FeO-Gehalt als 12 pCt. haben $a = b$ zur spitzen Bisectrix und sind negativ, solche mit geringerem FeO-Gehalt haben $c = a$ zur spitzen Bisectrix und sind positiv.

Aehnlich verhält es sich bei den isomorphen Mischungen des monoklinen Systems. Hier braucht sich bei den Componenten nur zu decken, dass eine Elasticitätsaxe die Orthodiagonale ist und die beiden anderen in der Symmetrieebene liegen. Ein Beispiel von der Beeinflussung der specielleren optischen Beschaffenheit durch das Mischungsverhältniss liefern die der Diopsidreihe angehörigen Silicate $CaMgSi^2O^6$ und $CaFeSi^2O^6$. In beiden geht die optische Axenebene parallel dem Klinopinakoid, aber der Winkel $c : a$ ist in der ersteren Substanz 51° 6′, in der letzteren 44° 4′. In den Mischkrystallen ist nun, wie abermals *Tschermak* zeigte, dieser Winkel kleiner als 51° 6′ und nähert er sich um so mehr dem Werthe von 44°, je mehr von der zweiten eisenhaltigen Substanz darin vorhanden ist; zugleich wird auch hier, wie beim Bronzit (s. oben) mit dem Eisengehalt der positive Axenwinkel grösser (Min. Mittheil. 1871. 17). — Im triklinen System können die sich mischenden Substanzen im Allgemeinen optisch ganz verschieden sein. Für die Plagioklase, welche Mischungen von Albit und Anorthit sind, hat aber *Schuster* nachgewiesen, dass sich Orientirung, Dispersion und Axenwinkel entsprechend dem Mischungsverhältniss ändert (vgl. den speciellen Theil); hier ist es z. B. möglich, aus der regelmässigen Aenderung des auf den Spaltflächen abzumessenden Auslöschungswinkels direct das Mischungsverhältniss und damit die chemische Zusammensetzung zu bestimmen.

Wird durch isomorphe Mischung eine innere Spannung erzeugt, so kann der Mischkrystall sich optisch anders verhalten als die beiden Componenten: zwei als solche einfachbrechende Alaune liefern doppeltbrechende Mischkrystalle (S. 248).

Dufet stellte mehre Mischungen von isomorphem Nickel- und Magnesiavitriol dar und fand, dass der mittlere Brechungsquotient mit Zunahme des einen höheren Brechungsquotienten besitzenden Nickelsalzes fortwährend proportional wächst; nach ihm verhalten sich die Differenzen zwischen den Brechungsquotienten einer Mischung zweier isomorpher Salze und denjenigen der reinen Salze selbst umgekehrt wie die Anzahl der in der Mischung enthaltenen Aequivalente beider Salze. Auch *Soret* zeigte, dass bei Mischungen von Kalium- und Ammonium-Alaun eine Proportionalität der Brechungsquotienten vorliegt; vgl. auch die obigen Angaben über die Olivingruppe; die Brechungsquotienten des Alstonits $(Ba, Ca)CO^3$ liegen allerdings nicht zwischen denen des Witherits und Aragonits. — *Mallet* betrachtet es als in der That erwiesen, dass die optischen Eigenschaften der isomorphen Mischungen durch einfache Summation der Einzelwirkungen der sich mischenden Körper zu Stande kommen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Bodländer untersuchte isomorphe Gemische zweier circularpolarisirender Substanzen (unterschwefelsaures Blei und Strontium) und fand das optische Drehungsvermögen proportional mit der chemischen Zusammensetzung der Salzgemische.

Bei den wirklich isomorphen Mischungen scheint sich das spec. Gewicht gemäss dem procentarischen Verhältniss der Componenten zu regeln. In der Plagioklasgruppe variirt es so genau mit dem Mischungsverhältniss, dass bei reinen und frischen Substanzen direct aus dem einen auf das andere ein Schluss gezogen werden kann. Dasselbe ist zufolge *Retgers* an Mischkrystallen von Kaliumsulfat und Ammoniumsulfat sowie an solchen von Kaliumalaun und Thalliumalaun, ferner von Magnesiumvitriol und Eisenvitriol der Fall. — *Fr. W. Küster* befand den Schmelzpunkt isomorpher Mischungen zwischen den Schmelzpunkten der reinen Componenten liegend und aus diesen berechenbar nach der Mischungsregel unter Zugrundelegung des molecularen Verhältnisses (Z. f. phys. Chem. V. 1890. 605; VIII. 1891. 577).

Anm. Ob eine moleculare Mischung zweier chemisch und krystallographisch einander völlig fernstehender Substanzen zu einem homogenen Krystall möglich sei, ist noch Gegenstand der Controverse. Vorkommnisse, welche hierher zu gehören scheinen und wegen der vollständigen gegenseitigen Abweichung der Componenten nicht als isomorphe Mischungen im gewöhnlichen Sinne gelten können, selbst wenn dieser Begriff die weiteste Ausdehnung erfährt, hat man Mischungsanomalieen genannt. So bildet der farblose reguläre Salmiak mit sonst monoklinem Eisenchlorid ($FeCl^3 + 7H^2O$) braune doppeltbrechende Würfel. Ob sich hier eine unbekannte reguläre Form des Eisenchlorids trotz des Constitutionsgegensatzes mit Salmiak mischt, oder ob es sich um »feste Lösungen« von doppeltbrechendem Eisenchlorid in Salmiak handelt, oder ob im Salmiak intramoleculare Hohlräume, die mit Eisenchlorid gefüllt sind, vorliegen, oder ob die beiden nicht isomorphen Substanzen dennoch eine der isomorphen gleiche wirkliche Mischfähigkeit besitzen — diese Fragen sind zur Zeit noch nicht endgültig erledigt. Nach *Doss* können auch rhomboëdrische Calcitindividuen eine moleculare Beimischung von Gyps führen, indem in den gypshaltigen Calciten weder eingewachsene Gypspartikel noch flüssige Einschlüsse von Gypslösung erkennbar sind.

II. Abtheilung. Von den chemischen Reactionen der Mineralien.

§ 151. **Wichtigkeit derselben.** Unter dem Namen der chemischen Reactionen der Mineralien sind alle diejenigen Erscheinungen und Veränderungen begriffen, welche die Mineralien zeigen, wenn sie entweder auf dem trockenen oder auf dem nassen Wege auf ihre qualitative Zusammensetzung geprüft werden. Dazu bedarf es nur solcher Operationen, welche mit sehr kleinen Quantitäten des Minerals sowie mittels kleiner und einfacher Apparate ausgeführt werden. Es liefern aber diese chemischen Reactionen äusserst wichtige Merkmale zur Bestimmung und Unterscheidung der Mineralien; Merkmale, welche einen um so grösseren Werth besitzen, weil sie von der besonderen Ausbildungsform der Mineralien gänzlich unabhängig sind, und an jedem kleinen Splitter oder Korn zu einer Erkennung derselben gelangen lassen. — Da nun bei verbreiteteren Mineralien die wichtigeren Reactionen besonders angegeben werden sollen, und die Erscheinungen, durch welche sich diese letzteren kund geben, wesentlich auf den Reactionen der einzelnen Bestandtheile der Mineralien beruhen, so kann sich die folgende allgemeine Betrachtung zunächst nur auf die Reactionen der wichtigeren Bestandtheile beziehen, wobei vorzugsweise die Prüfung vor dem Löthrohr berücksichtigt werden soll.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Kleine Stücke von der Grösse eines Hanfkorns, feine Splitter von einem halben cm Länge sind gewöhnlich vollkommen ausreichend, wenigstens für die Prüfungen auf dem trockenen Wege, bei welchen in der Regel die Anwendung grösserer Stücke nicht einmal rathsam ist. — Auf welche Weise die quantitative Analyse der Mineralien, die Trennung und die Quantitätsbestimmung der einzelnen Bestandtheile vorgenommen wird, darüber können sich die vorliegenden »Elemente« nicht verbreiten.

3. Prüfung der Mineralien auf dem trockenen Wege.

§ 152. **Prüfung auf Schmelzbarkeit und flüchtige Bestandtheile.** Zur Prüfung der Mineralien auf dem trockenen Wege dient das Löthrohr, mittels dessen die Hitze einer Lampenflamme auf einen kleinen Raum concentrirt und folglich bedeutend erhöht werden kann. Indem die Einrichtung und Manipulation des Löthrohrs sowie der übrigen Apparate als bekannt vorausgesetzt wird, mag nur in Erinnerung kommen, dass man die Probe (d. h. einen Splitter oder ein kleines Körnchen des zu prüfenden Minerals) der Flamme entweder mit einer Platinzange, oder auch auf einer Unterlage von Holzkohle oder Platindraht darbietet, und dass die Flamme selbst eine chemisch verschiedene Wirkung ausübt, je nachdem sie hauptsächlich als gelbe oder als blaue Flamme hervorgebracht wird, und je nachdem man nur die Spitze derselben auf die Probe richtet, oder diese letztere ganz in die Flamme eintaucht (Oxydations- und Reductionsfeuer)[1]. Uebrigens behandelt man die zu prüfende Substanz theils für sich, theils mit verschiedenen Reagentien, und schliesst aus den Erscheinungen, welche sich in beiden Fällen zu erkennen geben, auf ihre qualitative chemische Zusammensetzung.

Für sich erhitzt man die Probe:

a) im Kolben (oder in einer an einem Ende zugeschmolzenen Glasröhre) über der Flamme einer Spirituslampe oder eines Bunsen'schen Brenners, um zu sehen, ob sich etwas auch ohne Zutritt der Luft verflüchtigt und an den kühleren Stellen condensirt.

Hierbei entweicht das vorhandene Wasser und setzt sich im Halse des Röhrchens wieder ab; flüchtige Säuren (arsenige, antimonige Säure) entweichen und röthen ein in die Mündung gehaltenes Streifchen von blauem Lackmuspapier; Schwefel, Arsen, Quecksilber sublimiren; Antimon- und Tellur-Verbindungen geben einen weissen Rauch, u. s. w. Weiterhin kann sich hierbei zeigen: Phosphorescenz, ein Aufglühen (z. B. beim Gadolinit), eine Farbenveränderung (Limonit), eine eintretende Schmelzung.

b) im beiderseits offenen, etwas geneigt gehaltenen Glasrohr, um zu sehen, ob etwa beim Durchströmen der Luft flüchtige Oxyde oder Säuren sich bilden.

Auf diese Weise erkennt man durch das Reagenspapier, durch den Geruch oder die Beschaffenheit des Sublimats die meisten Schwefel-, Selen-, Tellur-, Antimon-, Arsen- und Wismut- sowie Quecksilber-Verbindungen; Kohle verbrennt beim Glühen an der Luft, alle organischen Verbindungen zersetzen sich beim Erhitzen, die meisten unter Abscheidung von Kohle.

---

1) Der nicht leuchtende heissere Flammentheil am Ende der Löthrohrflamme hat wegen des directen Zuströmens der Luft einen Ueberschuss von Sauerstoff und wirkt daher oxydirend; man erzeugt ihn am besten, wenn die Spitze des Löthrohrs ein wenig in die Flamme eingeführt wird. In dem leuchtenden Flammentheil bringen die vorhandenen glühenden Kohletheilchen und der Mangel an Sauerstoff eine Reduction hervor, welche am besten vermittelt wird, wenn man die Löthrohrspitze in geringer Entfernung von der Flamme hält.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

c) auf Kohle, um die Gegenwart von Arsen (im Reductionsfeuer), oder von Selen und Schwefel (im Oxydationsfeuer) zu entdecken, welche sich durch den Geruch zu erkennen geben; Antimon, Zink, Blei und Wismut werden durch den Sublimatbeschlag erkannt, mit welchem sich die Kohle durch die Wirkung der äusseren Flamme in der Umgebung der Probe bedeckt[1]); aus manchen Metalloxyden und Schwefelmetallen lässt sich in der inneren Flamme das Metall (Blei, Kupfer, Zinn) regulinisch darstellen.

d) in der Platinzange, im Oehre eines Platindrahts oder auf Kohle, um ihre unmittelbare Schmelzbarkeit zu prüfen, wobei jedoch alle ausserdem stattfindenden Erscheinungen (Aufschäumen, Anschwellen, Aufblähen, Leuchten, Funkensprühen, Färbung der Flamme) mit zu berücksichtigen sind.

Rücksichtlich ihrer Schmelzbarkeit verhalten sich die Mineralien sehr verschieden; einige schmelzen selbst in grösseren Körnern leicht, andere schwieriger, noch andere nur in feinen Splittern oder scharfen Kanten, und manche sind vor dem Löthrohr ganz unschmelzbar. Bei diesen Versuchen hat man auch besonders darauf zu achten, ob die Löthrohrflamme während der Erhitzung und Schmelzung der Probe eine auffallende Färbung zeigt, welche für manche Substanzen sehr charakteristisch ist. — Die Beschaffenheit des Schmelzungsproducts ist ebenfalls zu bemerken: ob dasselbe als Glas (klares oder blasiges), als Email, oder als Schlacke erscheint u. s. w. Sehr viele, und zumal krystallisirte Mineralien, zerknistern oder decrepitiren mehr oder weniger heftig in der Hitze, weshalb es rathsam ist, sie zuvörderst im Kolben zu erhitzen, um die kleinen Splitter nicht zu verlieren, welche dann weiter auf geeignete Art zu prüfen sind.

Um die Schmelzbarkeit etwas genauer zu bestimmen, dazu schlug *v. Kobell* eine Scala der Schmelzbarkeit vor, deren sechs Grade durch folgende Mineralien dargestellt werden: Antimonglanz (schmilzt schon an der blosen Lichtflamme); Natrolith (schmilzt nur in feinen Nadeln an der Lichtflamme); Almandin (schmilzt nicht mehr an der Lichtflamme, aber recht gut vor dem Löthrohr zu einem Kügelchen); Strahlstein (schmilzt noch in feinen Splittern vor dem Löthrohr ziemlich gut zu rundem Köpfchen); Orthoklas (schmilzt dann schon recht schwer); Bronzit (rundet sich dann nur an den schärfsten Kanten etwas ab). Quarz ist so völlig unschmelzbar. Der Gebrauch dieser Scala setzt voraus, dass man einen Splitter der Probe zugleich mit dem Splitter eines der genannten Mineralien in der Zange fasst und der Flamme darbietet. *Plattner* unterscheidet folgende fünf Abstufungen der Schmelzbarkeit: 1) leicht zur Kugel schmelzend; 2) schwer zur Kugel schmelzend; 3) leicht in Kanten schmelzbar; 4) schwer in Kanten schmelzbar; 5) unschmelzbar.

Nach *Ralph Cussak* beträgt der Schmelzpunkt bei: Bleiglanz 727°, Axinit und auch Zoisit 995°, Cyanit 1090°, Staurolith 1115°, Zinnstein 1127°, Adular 1168°, Albit 1172°, Augit und Hornblende 1190°, Andalusit 1209°, Apatit 1227°, Vesuvian 1230°, Almandin 1265°, Strahlstein 1280°, Enstatit 1295°, Leucit 1298°, Olivin 1378°, Quarz 1425°, Rutil 1560°. — In der Knallgasflamme schmilzt Bronzit mit Leichtigkeit; auch schmilzt Platin, dessen Schmelztemperatur zu 2500° angenommen wird. — *Spezia* verstärkte die Wirkung des gewöhnlichen Leuchtgas-Löthrohrs durch einen unter 25 Mm. Quecksilberdruck stehenden Sauerstoffstrom; eine ganze Menge von Mineralien, welche bei dem gewöhnlichen Verfahren unschmelzbar sind, wird dadurch

1) Diese und andere Sublimationsproducte können, auf einem Objectträger aufgefangen, mikroskopisch und mikrochemisch untersucht werden; vgl. *V. Goldschmidt*, Z. f. Kryst. XXI. 1893. 329.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

geschmolzen, z. B. Korund, Quarz, Spinell, Chrysoberyll, Cyanit, Sillimanit, Olivin, Phenakit, Perowskit, Molybdänglanz.

Sehr interessant und sogar wichtig für die Diagnose mancher Mineralien sind die von *G. Rose* ausgeführten Untersuchungen über die Bildung mikroskopischer Krystalle gewisser Bestandtheile der Mineralien, wenn solche vor dem Löthrohr in Borax oder Phosphorsalz geschmolzen oder aufgelöst worden sind. Während der Erkaltung der Schmelzprobe scheiden sich dann gewisse Bestandtheile in vollkommen ausgebildeten Krystallen aus, welche in der vorher platt gedrückten Perle unter dem Mikroskop genau zu erkennen sind. Auf diese Weise erhielt *G. Rose* 1867 z. B. in der Boraxperle die Oxyde des Eisens in den Formen des Eisenglanzes oder Magneteisens und die Titansäure nach Maassgabe der Temperatur in der Form des Rutils; die von *G. Rose* als Anatas bestimmten Kryställchen sind indessen nach *Wunder* Rhomboëder des Titannatriumphosphats $Ti^2Na[PO^4]^3$; doch ist es später *Doss* gelungen, auch wirklichen Anatas in der Phosphorsalzperle darzustellen, und zwar in nicht allzuhoher Temperatur durch relative Erniedrigung des P^2O^5-Gehalts, indem z. B. wiederholt oxydirt und reducirt, sowie von neuem Titansäure zugesetzt wird. Vor allem wichtig ist auf diesem Gebiete der Aufsatz von *W. Florence* »Darstellung mikroskopischer Krystalle in Löthrohrperlen« (N. Jahrb. f. Miner. 1898. II. 112), welcher eine grosse Menge praktischer Handgriffe mittheilt und für die Diagnose der Ausscheidungsproducte viel Neues bietet.

Bestimmte Färbungen der äusseren Flamme, bei Erhitzung der Probe in der Spitze der inneren Flamme, bringen folgende Substanzen hervor:

carminroth: Lithium; purpurroth: Strontium; orangeroth: Calcium;

röthlichgelb: Natrium; violett: Kalium;

gelblichgrün: Baryum; zeisiggrün: Borsäure; bläulichgrün: Phosphorsäure; smaragdgrün: Kupferoxyd; rein grün: Thallium;

hellblau: Arsen; grünlichblau: Antimon; azurblau: Chlorkupfer, Selen.

In manchen Fällen wird die Färbung der Flamme durch Befeuchtung der Probe mit Salzsäure oder Schwefelsäure (bisweilen auch durch einen Zusatz von Chlorsilber) gesteigert oder doch nachhaltiger gemacht.

Sind Natron und Kali neben einander vorhanden, so verdeckt die gelbe Färbung die violette; um die letztere dennoch hervortreten zu lassen, blickt man nach *Bunsen*'s Vorschlag durch ein blaues Kobaltglas oder durch eine parallelwandige mit Kupferoxydammoniak-Lösung gefüllte Flasche; in beiden »Lichtfiltern« werden die gelben Strahlen zurückgehalten, während die violetten durchgehen.

Die bei Verbrennung gewisser Stoffe entstehenden Färbungen der Flamme haben bekanntlich durch die Spectralanalyse eine ganz ausserordentliche Bedeutung gewonnen. Die Analyse der Flammenfarbe wird mittels eines Spectroskops unternommen, nachdem man das Mineralpulver mit etwas Salzsäure oder Schwefelsäure (oder bei schwieriger Zersetzbarkeit mit etwas Fluorammonium und Schwefelsäure) auf einem Platinblech angemacht, von dem Gemisch etwas in das Oehr eines Platindrahtes aufgenommen und in den Saum eines *Bunsen*'schen Brenners gebracht hat. — Wenn man den elektrischen Funken eines durch einen starken Inductionsapparat geladenen Condensators zwischen zwei kleinen, von Pincetten mit Platinspitzen gehaltenen Stückchen eines Minerals, welches metallisch leitet oder auch nur im Funken flüchtig ist, überspringen lässt, so sind im Spectrum des Funkens durch ein gewöhnliches Spectroskop mit einem Prisma die charakteristischen Linien der einzelnen Bestandtheile des Minerals, nicht nur der Metalle, sondern auch der Metalloide, direct sichtbar. Bei nichtleitenden Mineralien wird eine kleine feingepulverte Probe in einem Platinlöffelchen mit Li^2CO^3 zum Schmelzen erhitz und auf diese lässt man den elektrischen

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Funken überspringen (*de Gramont*, vgl. Z. f. Kryst. XXVII. 1897. 622; XXXII. 1900. 637).

§ 153. **Reagentien.** Die wichtigsten Reagentien, welche bei der Prüfung der Mineralien vor dem Löthrohr ihre Anwendung finden, sind folgende:

1) Soda (doppelt-kohlensaures Natron oder Natriumbicarbonat). Dieses Salz dient zur Auflösung des Baryts, der Kieselsäure und vieler Silicate, ganz besonders aber zur Reduction der Metalloxyde. Für diesen letzteren Zweck wird die Probe pulverisirt, mit feuchter Soda zu einem Teig geknetet und dieser auf Kohle im Reductionsfeuer behandelt. Meist zieht sich das Natron in die Kohle, weshalb nach beendigter Operation die mit ihm erfüllte Kohlemasse höchst fein pulverisirt und das Kohlepulver durch Wasser sorgfältig fortgespült werden muss, worauf das Metall am Boden des Mörsers sichtbar wird. Als Reductionsmittel sind das neutrale oxalsaure Kali und das Cyankalium noch vorzuziehen.

2) Borax (zweifach-borsaures Natron); diese Substanz, welche selbst zu klarem Glas (Perle) schmilzt, hat, wie die folgende, die Eigenschaft, in der Schmelzhitze Metalloxyde aufzulösen, welche ihr eine besondere, als Kennzeichen dienende Färbung mittheilen[1]). Die Substanzen werden im Oehr eines dünnen Platindrahts geschmolzen, die Mineralien als kleine Splitter oder als Pulver zugesetzt. Man beobachtet, ob letztere sich leicht oder schwer, ob mit oder ohne Brausen lösen, ob eine, und welche Farbe in dem Schmelzproduct zum Vorschein kommt, wobei das Verhalten sowohl im Oxydationsfeuer als im Reductionsfeuer, auch das Aussehen in der Hitze oder Kälte zu berücksichtigen ist.

3) Phosphorsalz (phosphorsaures Natron-Ammoniak); ist vorzüglich wichtig zur Unterscheidung der Metalloxyde, deren Farben mit ihm weit bestimmter hervorzutreten pflegen, als mit Borax[2]). Auch ist es ein gutes Reagens zur Erkennung der Silicate, deren Kieselsäure von den Basen abgeschieden wird und in dem geschmolzenen Phosphorsalz in Form eines sog. Skeletts ungelöst bleibt.

Zu bemerken ist, dass die Schwefelmetalle und Arsenmetalle vor der Prüfung mit Borax, Phosphorsalz oder Soda erst auf Kohle geröstet werden müssen, um ihren Schwefel- oder Arsengehalt zu entfernen, und sie selbst zu oxydiren. Ist wegen allzu reichlichen Zusatzes der Probe die Borax- oder Phosphorsalzperle zu opak ausgefallen, um die charakteristische Farbe zu zeigen, so kann man sie im heissen Zustande mit dem Hammer ausplätten, oder zu einem Faden ausziehen, oder sie kalt zerkleinern und einen Theil mit neuem Flussmittel behandeln.

Andere nur in besonderen Fällen zur Anwendung kommende Reagentien sind:

1) Verglaste Borsäure (Anhydrid der Borsäure), ist unentbehrlich zur Entdeckung der Phosphorsäure.

2) Saures schwefelsaures Kali, im wasserfreien Zustande, dient zur Entdeckung von Lithion, Borsäure, Fluor, Brom und Jod, sowie zur Zerlegung titansaurer, tantalsaurer und wolframsaurer Verbindungen. *Websky* empfiehlt es auch als Reagens und Aufschliessungsmittel für geschwefelte Erze und analoge Verbindungen.

---

1) Borax ($Na^2B^4O^7 + 10H^2O$) entwässert sich beim Schmelzen unter Aufblähen; die Borsäure treibt in der Gluthhitze andere Säuren aus und gibt mit Metallen schmelzbare Verbindungen, welche mit borsaurem Natrium besonders leicht schmelzbare Doppelsalze der Metaborate liefern; z. B. $Na^2B^4O^7 + CuO = Cu[BO^2]^2 + 2NaBO^2$.

2) Phosphorsalz ($H[NH^4]NaPO^4$) verliert in der Hitze Wasser und Ammoniak und wird zu metaphosphorsaurem Natrium ($NaPO^3$), welches Metalloxyde klar löst; z. B. $NaPO^3 + CuO = NaCuPO^4$.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

3) Kobaltsolution (verdünnte Auflösung von salpetersaurem Kobaltoxydul) oder auch trockenes oxalsaures Kobaltoxyd, dient besonders zur Erkennung der Thonerde, Magnesia und des Zinkoxyds, jedoch nur bei weissen oder bei solchen Mineralien, welche nach dem Glühen im Oxydationsfeuer noch weiss sind, indem beim Glühen mit der Solution charakteristische Farben auftreten.

4) Oxalsaures Nickeloxydul, führt zur Entdeckung von Kali in Salzen, welche zugleich Natron und Lithion enthalten.

5) Zinn, in Form von Stanniolstreifen, dient zur Beförderung vollkommener Reduction der Metalloxyde; besser wirkt noch ein Körnchen Zinnchlorür.

6) Eisen, in Form von Claviersaiten, zur Erkennung von Phosphorsäure.

7) Silber, als Silberblech, zur Erkennung von löslichen Schwefelmetallen.

8) Kupferoxyd, zur Erkennung von Chlor und Jod.

9) Lackmus- und Fernambuk-Papier.

4. Prüfung der Mineralien auf nassem Wege.

§ 154. **Eintheilung der Mineralien nach ihrer Auflöslichkeit.** Die Prüfung der Mineralien auf dem nassen Wege gründet sich auf die Wechselwirkung der verschiedenen Säuren und Basen, wenn solche im Zustand der wässerigen Flüssigkeit mit einander in Conflict treten. Daher ist es auch die erste Bedingung, die zu untersuchenden Mineralien dieses Zustandes fähig zu machen, wenn sie nicht schon an und für sich im Wasser auflöslich sind. Hieraus ergibt sich folgende Eintheilung: 1) im Wasser auflösliche Mineralien, Hydrolyte; 2) in Salzsäure oder Salpetersäure auflösliche oder zersetzbare Mineralien; 3) weder im Wasser noch in den genannten Säuren auflösliche Mineralien.

Was man im gewöhnlichen Sprachgebrauch Auflösung nennt, besteht bekanntlich aus zwei verschiedenen Vorgängen. Wird Steinsalz NaCl durch Behandlung mit Wasser entfernt, so entsteht eben eine Lösung von NaCl in Wasser; deshalb kann ein in die gesättigte Lösung gebrachter Steinsalzkrystall darin weiterwachsen, und beim Verdunsten der Lösung scheidet sich wieder NaCl ab. Wenn dagegen Eisenoxyd Fe^2O^3 durch Behandlung mit Salzsäure als solches verschwindet, so ist dies nur eine scheinbare Lösung desselben: thatsächlich wird nicht Fe^2O^3 in Salzsäure gelöst, sondern es wird durch letztere zersetzt, und so entsteht eine neue Verbindung, das Eisenchlorid Fe^2Cl^6, welches nun seinerseits in Wasser gelöst erscheint. Dies erhellt auch daraus, dass in jener Lösung ein Krystall von Eisenoxyd nicht weiterwachsen kann und die Lösung beim Verdunsten nicht etwa wieder Eisenoxyd, sondern Eisenchlorid abscheidet.

Die im Wasser leicht auflöslichen sind nicht sehr zahlreich; es sind Säuren (Sassolin, arsenige Säure), einige Sauerstoffsalze (Soda, Glaubersalz, Thonerdesulfate, Eisensulfate, Alaune, Vitriole, Salpeter), sowie einige Haloidsalze, namentlich Chloride (Steinsalz, Sylvin, Salmiak); sie finden sich nur da, wo sie vor Zutritt des Wassers geschützt sind. Andere wenige Mineralien sind schwer im Wasser löslich, z. B. Gyps, andere langsam, wie Kieserit.

Die im Wasser leicht löslichen Mineralien zeichnen sich durch starken Geschmack auf der Zunge aus. Die Löslichkeit im Wasser wird befördert durch Pulvern der Substanz, meist auch durch Erhöhung der Temperatur, durch Anwendung von Druck[1]).

1) Doch darf die Einwirkung des Drucks nicht überschätzt werden. Nach den Versuchen von *Spezia* scheint bei geringer Temperatur ein selbst sehr hoher Druck die Löslichkeit in Wasser nicht zu befördern; nur bei der Anwendung auch von hoher Temperatur kommt hoher Druck zur Geltung, indem er die Lösung einigermassen unterstützt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

— Uebrigens sind wohl die meisten, wenn nicht alle anderen Mineralien in überaus geringen Spuren im Wasser löslich. So haben die Gebrüder *W. B.* und *R. E. Rogers* dargethan, dass eine ganze Menge von Mineralien, wie Feldspath, Chalcedon, Glimmer, Augit, Hornblende, Turmalin, Axinit, Olivin die ihnen beigelegte absolute Unlöslichkeit im Wasser nicht besitzt; namentlich tritt dies hervor, wenn die Mineralien im sehr fein gepulverten Zustand vom Wasser angegriffen werden. Darauf beruht auch die alkalische Reaction, welche das mit Wasser befeuchtete Pulver vieler als unlöslich geltender Mineralien auch schon ohne vorhergegangenes Glühen auf rothem Lackmuspapier erkennen lässt (*Kenngott*, N. Jahrb. f. Miner. 1867. 77 u. 302). Besonders stark reagiren Apophyllit, Pektolith, Natrolith, Sodalith, auch Epidot, Serpentin. Man kann auch die alkalische Reaction durch die Färbung ersichtlich machen, welche eine Mineralprobe auf einem Uhrglas wenigen Tropfen von destillirtem Wasser ertheilt, die mit einem Tropfen von Phenolphtaleïnlösung versetzt sind.

Aus Doppelsalzen kann wohl ein Theil als im Wasser löslich herausgezogen werden, während ein darin unlöslicher oder schwerlöslicher Rest zurückbleibt; so wird aus Glauberit Na^2SO^4 gelöst und $CaSO^4$ bleibt als Gyps zurück.

Diejenigen Mineralien, welche nicht im Wasser auflöslich sind, prüft man zunächst auf ihr Verhalten gegen Säuren. Dadurch werden sehr viele derselben entweder gänzlich aufgelöst, oder so zersetzt, dass die Abscheidung gewisser Bestandtheile oder Producte erfolgt. Man bedient sich dabei der Chlorwasserstoffsäure oder auch der Salpetersäure, welche letztere z. B. vorzuziehen ist, wenn der äussere Habitus des Minerals vermuthen, oder eine vorläufige Prüfung vor dem Löthrohr erkennen lässt, dass man es mit einer Metall-Legirung, einem Schwefelmetall oder Arsenmetall zu thun hat. Auf diese Weise werden die Carbonate, Phosphate, Arsenate, Chromate, sehr viele wasserhaltige, sowie auch manche wasserfreie Silicate, viele Schwefelmetalle, Arsenmetalle und andere Metallverbindungen auflöslich gemacht.

Die in Säuren vollständig auflöslichen Mineralien lösen sich entweder ohne Gasentwickelung (z. B. Eisenglanz, Brauneisenerz, Atacamit, etliche Sulfate, viele Arsenate und Phosphate), oder mit Gasentwickelung, wenn bei dem Lösungsprocess ein gasförmiger Bestandtheil entweder entweicht (Kohlensäure) oder erzeugt wird (Chlor, Schwefelwasserstoff, Stickstoffoxyde).

Was die letztere Erscheinung betrifft, so lösen sich in Chlorwasserstoffsäure unter Entwickelung von

Kohlensäure (also mit Brausen) alle Carbonate, z. B. Kalkspath, Eisenspath;

Chlor alle Manganerze, ferner Chromate (Rothbleierz) und Vanadinate;

Schwefelwasserstoff manche Schwefelmetalle (Zinkblende, Antimonglanz, Magnetkies); das Gas bräunt feuchtes Bleipapier (mit einer Lösung von essigsaurem Blei getränktes Filtrirpapier); über andere Schwefelmetalle vgl. unten.

Wasserstoff gediegene Metalle, Eisen, Kupfer.

In Salpetersäure sind unter Entwickelung von Stickstoffoxyd NO (welches an der Luft rothe Dämpfe von Stickstoffdioxyd NO^2 oder Untersalpetersäure erzeugt) löslich viele Elemente, namentlich Metalle und deren Legirungen, ferner niedere Oxyde, wie Magneteisen, Rothkupfererz. — Gold, Platin, Zinnober sind nur in Königswasser löslich. — In Ammoniak lösen sich mit blauer Farbe die Carbonate, Sulfate, Arsenate, Phosphate des Kupfers, der Atacamit. — Eine wässerige Lösung von Kalilauge löst Schwefel, Realgar, Auripigment, Antimonglanz, Antimon- und Arsentrioxyd, Carbonate von Blei und Zink. Ueber die Löslichkeit metallhaltiger Verbindungen in siedender Cyankalium-Lösung s. *Lemberg*, Z. geol. Ges. LII. 1900. 488.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Viele Mineralien sind nun aber in Säuren nicht vollständig, sondern durch eine erfolgende Zersetzung nur theilweise löslich, wobei dann gewisse Körper als unlösliche Bestandtheile oder Erzeugnisse abgeschieden werden.

So verhalten sich die Schwefelmetalle gegen Salpetersäure, indem aus ihnen das Metall in Lösung geht, dagegen ein Theil des Schwefels abgeschieden wird, während ein anderer Theil sich in Schwefelsäure verwandelt; dabei bilden sich rothe Dämpfe von Stickstoffdioxyd. Bei Gegenwart von Schwefelantimon scheidet sich antimonige Säure, oder deren Verbindung mit Antimonsäure ab.

Hierher gehört ferner die Zersetzung von Silicaten, Titanaten, Wolframaten durch Chlorwasserstoffsäure, wobei das Anhydrid der Kieselsäure, Titansäure, Wolframsäure abgeschieden wird. Namentlich ist dies Verhalten wichtig bei manchen weit verbreiteten Silicaten; bei ihnen wird die Kieselsäure entweder im gallertartigen Zustand (z. B. bei Nephelin, Sodalith, Analcim, Kieselzinkerz, Cerit — die sog. gelatinirenden Silicate) oder im mehr pulverigen Zustand ausgeschieden (z. B. bei Leucit, Apophyllit, Stilbit, Harmotom, Natrolith); alle Basen gehen dabei als Chlorverbindungen in Lösung. Bisweilen bleibt auch die Kieselsäure in der Form des ursprünglichen Minerals zurück, z. B. als Fasern bei der Zersetzung von faserigem Serpentin.

Zu denjenigen Mineralien endlich, welche weder im Wasser, noch in den genannten Säuren auflöslich oder dadurch direct zersetzbar sind, gehören Schwefel, Diamant, Graphit, Oxyde von leichten und schweren Metallen (Korund, Diaspor, Spinell, Chromeisen, Quarz, Zinnstein, Rutil, Zirkon), einige Fluor- und Chlorverbindungen (z. B. Flussspath), einige Sulfate (Schwerspath, Cölestin, Bleivitriol) und Phosphate (z. B. Amblygonit), Boracit, ganz besonders aber zahlreiche Silicate, z. B. die meisten Feldspathe, die Augite, Hornblenden, Glimmer, Granaten, Turmaline; ferner Topas, Andalusit, Epidot, Vesuvian, Cyanit, Chlorit u. s. w.

Derlei unzersetzbare Verbindungen werden namentlich aufgeschlossen, d. h. ganz oder theilweise in Chlorwasserstoffsäure und Wasser löslich gemacht:

Durch Zusammenschmelzen mit kohlensauren Alkalien im Platintiegel und Zersetzung des Schmelzproducts vermittels Chlorwasserstoffsäure (Quarz, Silicate, Schwerspath).

Durch Zusammenschmelzen mit Aetzalkalien im Silbertiegel und Behandlung der Masse mit Wasser (Zinnstein, Spinell, Korund).

Durch Zusammenschmelzen mit saurem schwefelsaurem Kali im Platintiegel (Korund, Spinell, Titanate, Tantalate, Niobate).

Durch Zusammenschmelzen mit Borax oder Borsäure (Silicate).

Durch Erhitzen mit Fluorwasserstoffsäure oder Fluorammonium und Behandlung mit Schwefelsäure (Silicate).

Durch Schmelzen mit saurem Fluorkalium (Titanate, Tantalate, Niobate).

Mehre dieser Mineralien werden auch aufgelöst oder zersetzt, wenn man sie mit Chlorwasserstoffsäure oder Schwefelsäure in Röhren einschliesst und sie alsdann längere Zeit auf 200°—300° erhitzt.

Auch gibt es Silicate, z. B. Granat, Vesuvian, Epidot, Axinit, welche, im natürlichen Zustand von Säuren ganz unangreifbar, dadurch unter Abscheidung von Kieselsäuregallert leicht zersetzt werden, wenn man sie stark geglüht oder geschmolzen hat. Das amorphe glasige Schmelzproduct ist eben eine ganz andere Modification derselben Substanz, als ihr krystallinischer Zustand, wie sich dies auch durch das abweichende specifische Gewicht derselben gegenüber demjenigen der krystallinischen Ausbildungsweise zu erkennen gibt (vgl. S. 208).

Der Umstand, dass die Anzahl derjenigen Felsarten-Gemengtheile, welche der Einwirkung von Chlorwasserstoffsäure und Fluorwasserstoffsäure Widerstand leisten, eine sehr geringe ist (z. B. Zirkon, Spinell, Rutil, Turmalin, Andalusit), wird bei

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

petrographischen Untersuchungen mit Vortheil dazu angewandt, solche Mineralien durch eine Behandlung des zerkleinerten Gesteins mit jenen Säuren von den dadurch zur Lösung oder Zersetzung gelangenden getrennt zu erhalten.

Wegen der Aufzählung und Beschreibung der einzelnen Reagentien sowohl als auch der Reactionen der Bestandtheile der Mineralien muss auf die Werke über qualitative chemische Analyse verwiesen werden.

5. Prüfung der Mineralien auf ihre wichtigsten Elemente.

§ 155. Prüfung auf nicht-metallische Elemente und deren Sauerstoff-Verbindungen[1].

Wasser; dasselbe wird ganz oder theilweise durch Erhitzen der Probe im Kolben ausgetrieben, in dessen oberem Theile es sich niederschlägt; wo es jedoch als Product entsteht (S. 293), da entweicht es nur durch starkes Glühen.

Salpetersäure; die salpetersauren Salze verpuffen auf glühender Kohle; ausserdem geben sie, beim Erhitzen mit saurem schwefelsaurem Kali, salpetrige Säure, die an Farbe und Geruch zu erkennen ist.

Schwefel und **Schwefel-Verbindungen** entwickeln auf Kohle oder im offenen Glasrohr schwefelige Säure; Schwefelarsen und Schwefelquecksilber sublimiren im Kolben; einige Schwefelmetalle, wie z. B. Eisenkies, verflüchtigen einen Theil ihres Schwefels, wenn sie im Kolben erhitzt werden. Alle Schwefelmetalle geben nach dem Erhitzen mit Eisenpulver im Kölbchen Schwefelwasserstoff, welcher ein mit Bleilösung getränktes Papier schwarz färbt.

Schwefelsäure und jeder noch so geringe Schwefelgehalt werden entdeckt, wenn man ein ganz kleines Fragment des Minerals mit 2 Th. Soda und 1 Th. Borax auf Kohle im Reductionsfeuer schmilzt, die geschmolzene Masse auf ein blankes Silberblech legt und mit etwas Wasser befeuchtet, wodurch das Silber braun oder schwarz gefärbt wird. Indessen verhält sich Selen und Tellur auf ähnliche Weise.

Aeusserst empfindlich ist die von *Dana* vorgeschlagene Methode. Man schmilzt nämlich die Probe auf Kohle mit Soda im Reductionsfeuer, bringt sie auf ein Uhrglas mit einem Tropfen Wasser, und setzt ein kleines Körnchen von Nitroprussidnatrium hinzu, worauf die von *Playfair* beobachtete Purpurfärbung eintritt. Auf nassem Wege, oder in Solutionen ist die Schwefelsäure am sichersten durch Chlorbaryum zu erkennen, welches einen schweren, weissen, in Salzsäure und Salpetersäure unauflöslichen Niederschlag bildet. Einen ähnlichen Niederschlag bewirkt essigsaures Blei, doch wird derselbe in heisser concentrirter Salzsäure aufgelöst.

Um zu entscheiden, ob das Mineral Schwefel oder Schwefelsäure hält, dazu dient folgendes von *v. Kobell* vorgeschlagene Verfahren. Man kocht die pulverisirte Probe in Kalilauge ein, erhitzt bis zur beginnenden Schmelzung des Kalis, löst auf, filtrirt, und steckt in das Filtrat ein Stück blankes Silber, welches sich schwärzt, wenn der Schwefel als solcher vorhanden war. Auf diese Weise lässt sich der Schwefelgehalt im Haüyn, Helvin und Lasurstein nachweisen.

Phosphorsäure. Die meisten phosphorsauren Verbindungen färben, nachdem ein etwa vorhandener Wassergehalt durch Glühen entfernt worden, die Löthrohrflamme für sich blaugrün, zumal nach vorheriger Befeuchtung mit Schwefelsäure; nur muss der Versuch im Dunkeln angestellt werden; die Reaction ist noch bei einem Gehalt von 3 Procent erkennbar. Bei grösserem Gehalt wird die Probe mit Borsäure auf Kohle im Oxydationsfeuer geschmolzen, in die glühende Perle ein Stückchen Eisendraht gesteckt und darauf das Ganze im Reductionsfeuer behandelt. Dadurch bildet

1) Obgleich in diesen Elementen zunächst nur das Löthrohrverhalten der Mineralien berücksichtigt werden soll, so mögen doch bei den wichtigeren Bestandtheilen einige Reactionen zu ihrer Erkennung auf nassem Wege in Erinnerung gebracht werden. — Für dieses Kapitel schien es zweckmässiger, sich theilweise noch der älteren Bezeichnungsweise zu bedienen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

sich Phosphoreisen, welches nach Abkühlung der Perle als eisenschwarzes, dem Magnet folgsames Korn herausgeschlagen werden kann. Diese Reaction gilt jedoch nur bei Abwesenheit von Schwefelsäure, Arsensäure oder durch Eisen reducirbarer Metalloxyde.

Um ganz geringe Mengen Phosphorsäure nachzuweisen, wird die durch Erhitzen vollständig entwässerte Substanz mit einem Stückchen Magnesiumdraht oder auch mit einem Stückchen Natrium in einem Glasröhrchen erhitzt. Bei Anwesenheit von Phosphorsäure entsteht unter lebhafter Feuererscheinung Phosphor-Magnesium resp. -Natrium, welche dann beim Befeuchten mit Wasser und Zerdrücken den höchst charakteristischen Geruch des Phosphorwasserstoffgases entwickeln (*Bunsen*). — Auf nassem Wege ist die Phosphorsäure dadurch nachzuweisen, dass sie mit schwefelsaurer Magnesia bei Zusatz von Chlorammonium und überschüssigem Ammoniak einen weissen, krystallinischen, in Säuren, aber nicht in Ammoniak, sehr wenig in Salmiak auflöslichen Niederschlag gibt, und dass der durch essigsaures Blei bewirkte Niederschlag, vor dem Löthrohr geschmolzen, zu einem krystallisirten Korn erstarrt. Schneller und sicherer ist sie an dem gelben Präcipitat durch überschüssiges molybdänsaures Ammoniak zu erkennen, welche Reaction freilich nur bei der einen Modification der Phosphorsäure eintrifft, übrigens aber auch mit der Kieselsäure und in der Hitze mit der Arsensäure sich einstellt. Bei Gegenwart der Kieselsäure wird man behufs deren Abscheidung die zu prüfende Lösung unter Zusatz von Salzsäure oder Salpetersäure bis zur Trockniss verdampfen, den Rückstand mit dem Molybdat im Ueberschuss versetzen.

Selen und **Selensäure** verrathen sich sogleich durch den höchst auffallenden faulen Rettiggeruch (auch durch eine schön blaue Flamme) im Oxydationsfeuer, und durch den grauen, metallisch glänzenden Beschlag auf Kohle; auch kann man das Selen durch Röstung der Probe im Glasrohr leicht als rothes Sublimat ausscheiden.

Chlor und **Chloride.** Man schmilzt Phosphorsalz mit so viel Kupferoxyd, dass die Perle sehr dunkelgrün wird; mit dieser Perle wird die Probe zusammengeschmolzen, worauf sich die Flamme röthlichblau färbt, bis alles Chlor ausgetrieben ist. Einige andere Kupfersalze zeigen zwar für sich, aber nie mit Phosphorsalz eine ähnliche Reaction. Ist nur sehr wenig Chlor vorhanden, so muss die Probe in Salpetersäure aufgelöst (und zu dem Ende, wenn sie nicht schon auflöslich ist, vorher mit Soda auf Platindraht geschmolzen) werden; die mit Wasser verdünnte Solution gibt dann mit Silbernitrat Niederschlag von Chlorsilber. — Ueberhaupt ist das Chlor in Solutionen am sichersten durch diesen Niederschlag zu erkennen, welcher erst weiss ist, sich aber am Licht allmählich bräunt und schwärzt, übrigens leicht in Ammoniak, aber nicht in Salpetersäure auflöst.

Jod und **Jodide** ertheilen, auf dieselbe Art mit Phosphorsalz und Kupferoxyd behandelt, der Flamme eine sehr schöne und stark grüne Farbe; auch geben sie im Kolben mit saurem schwefelsaurem Kali geschmolzen violette Dämpfe. — In Solutionen gibt Jod mit salpetersaurem Silber zwar einen ähnlichen Niederschlag wie Chlor, derselbe ist jedoch gelblich gefärbt und in Ammoniak sehr schwer auflöslich. Die blaue Farbe des Jod-Amylums ist bekanntlich das sicherste Erkennungsmittel, und am leichtesten dadurch nachzuweisen, dass man das Mineral in einem Probirglas mit concentrirter Schwefelsäure übergiesst und im oberen Ende des Glases einen mit Stärkekleister bestrichenen Streifen Papier befestigt, der dann durch die Joddämpfe gefärbt wird.

Brom und **Bromide** färben, ebenso mit Phosphorsalz und Kupferoxyd geschmolzen, die Flamme grünlichblau. Mit saurem schwefelsaurem Kali im Kolben geschmolzen geben sie Bromdämpfe, welche an der rothgelben Farbe und dem eigenthümlichen Geruch erkennbar sind. Wird ein bromhaltiges Mineral mit conc. Schwefelsäure behandelt und Stärkekleister darüber gebracht, so färbt sich derselbe nach einigen Stunden pomeranzgelb.

Fluor; ist es in geringer Menge und blos accessorisch in einem wasserhaltigen Mineral vorhanden, so braucht man die Probe nur für sich im Kolben zu erhitzen, in

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

dessen offenes Ende ein Streifen feuchtes Fernambukpapier gesteckt worden ist; das Glas wird angegriffen und das Papier strohgelb gefärbt. Wenn aber das Fluor reichlicher zugegen ist, so kann dieselbe Reaction nur dadurch erhalten werden, dass man die Probe mit geschmolzenem Phosphorsalz im offenen Glasrohr erhitzt, und dabei einen Theil der Flamme in das Rohr streichen lässt.

Auf nassem Wege ist das Fluor am sichersten dadurch nachzuweisen, dass man die pulverisirte Probe mit concentrirter Schwefelsäure in einem kleinen Platintiegel erwärmt, welcher mit einer Glasplatte bedeckt wird, die vorher mit einer dünnen Wachsschicht überzogen wurde, in welche man mit einer Holzspitze Linien einzeichnete, um den Glasgrund stellenweise zu entblössen. Nach einiger Zeit findet man das Glas an diesen Stellen geätzt. Nach *Nicklès* ist es jedoch besser, eine Platte von Bergkrystall anzuwenden, weil die Schwefelsäuredämpfe für sich allein auf das Glas wirken.

Borsäure; man mengt die pulverisirte Probe mit 1 Th. Flussspath und 4½ Th. saurem schwefelsaurem Kali und schmilzt das Gemeng; im Augenblick der Schmelzung färbt sich die Flamme vorübergehend gelblichgrün (durch Fluorbor). Dieselbe Färbung der Flamme geben fast alle borsäurehaltigen Mineralien, wenn ihr mit Schwefelsäure befeuchtetes Pulver in der blauen Flamme erhitzt wird. — Auf nassem Wege ist die Borsäure dadurch nachzuweisen, dass man die Probe mit Schwefelsäure erhitzt, dann Alkohol hinzufügt und diesen anzündet; die Flamme wird durch die mit dem Alkohol verdampfende Borsäure sehr deutlich grün gefärbt.

Kohle; pulverisirt und mit Salpeter erhitzt verpufft sie und hinterlässt kohlensaures Kali. Die Kohlensäure ist auf trockenem Wege nicht wohl nachzuweisen, weshalb zu ihrer Erkennung die Probe mit Salzsäure behandelt wird, wobei die Kohlensäure unter Aufbrausen als farbloses Gas entweicht, welches Lackmus vorübergehend röthet und Kalk- oder Barytwasser trübt. Ist Kohlensäure in Solutionen vorhanden, so erkennt man sie daran, dass Kalkwasser und Barytwasser Niederschläge geben, welche sich in Säuren unter Aufbrausen auflösen.

Kieselsäure; bleibt für sich unverändert; wird von Borax sehr langsam, von Phosphorsalz sehr wenig, dagegen von Soda unter starkem Aufbrausen ganz zu klarem Glas aufgelöst; mit Kobaltsolution geglüht erhält sie schwache bläuliche Färbung. Die Silicate werden vom Phosphorsalz mit Hinterlassung der Kieselsäure zersetzt, welche als Pulver oder als Skelett in der Perle schwimmt; ausserdem schmelzen sie grossentheils mit Soda zu klarem Glas.

Die Kieselsäure findet sich in zwei Modificationen, von welchen die eine (amorphe) in Wasser und Säuren löslich ist, während die andere (krystallinische) nur von Flusssäure angegriffen wird. Jene wird auch in kochender Kalilauge leicht, diese nur sehr schwierig aufgelöst. Was die Silicate betrifft, so werden viele derselben von Salzsäure zersetzt, und zwar um so leichter, je stärker die Basis, je geringer der Gehalt an Kieselsäure, und je grösser der Wassergehalt ist. Dabei zieht die Salzsäure entweder nur die Basis aus, indem die Kieselsäure als Gallert oder als Pulver zurückbleibt, oder sie löst auch die Kieselsäure mit auf, welche dann erst bei dem Abdampfen der Solution eine Gallert bildet. Sehr viele Silicate sind aber unauflöslich in Säuren, und müssen daher durch Schmelzen mit kohlensauren Alkalien aufgeschlossen werden, wobei sich die Kieselsäure mit dem Alkali verbindet. Die hierauf gebildete Lösung gibt bei dem Abdampfen erst eine Gallert und endlich einen trockenen Rückstand, dessen in kochender Salzsäure unauflöslicher Theil sich wie Kieselsäure verhält.

§ 156. Prüfung auf Alkalien und Erden.

Ammoniak verräth sich sogleich durch seinen Geruch, wenn die Probe mit Soda im Kolben erhitzt wird. Reibt man ammoniakhaltige Salze mit Kalkhydrat zusammen, oder erwärmt man solche mit Kalilauge, so wird das Ammoniak gleichfalls ausgetrieben, und gibt sich sowohl durch seinen Geruch, als auch durch seine Reaction auf feuchtes Curcumapapier, sowie durch die weissen Nebel zu erkennen, welche entstehen, wenn man ein mit Salzsäure befeuchtetes Glasstäbchen über die Probe hält.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Natron ist in den Mineralien daran zu erkennen, dass die Probe während des Schmelzens oder starken Glühens die äussere Flamme röthlichgelb färbt und auffallend vergrössert. Spectroskopisch leicht erkennbar. — In den Solutionen, welche Natron enthalten, gibt dasselbe mit Platinchlorid und schwefelsaurer Thonerde und Weinsäure keinen Niederschlag. Das Natron wird überhaupt auf nassem Wege mehr durch negative als durch positive Merkmale charakterisirt, und seine Anwesenheit ist, ebenso wie die des Lithions, leichter vor dem Löthrohr zu erkennen.

Lithion wird, wenn es nicht in zu geringer Menge vorhanden ist, durch die schöne carminrothe Färbung der Flamme erkannt, welche die Probe während des Schmelzens hervorbringt; bei geringem Lithiongehalt tritt nach *Turner* dieselbe Färbung ein, wenn man die pulverisirte Probe mit einem Gemeng von 1 Th. Flussspath und 1½ Th. schwefelsaurem Kali schmilzt. Doch wird diese Reaction durch die Anwesenheit von Natron gestört; der 7 pCt. Lithion haltende Amblygonit zeigt daher nur die gelbe Färbung der Flamme. Spectroskopisch auch in Spuren nachweisbar. — Lithion gibt in Solutionen mit Platinchlorid, schwefelsaurer Thonerde und Weinsäure keinen Niederschlag; wohl aber, wenn die Lösung nicht zu sehr verdünnt ist, mit kohlensaurem Natron, noch leichter mit phosphorsaurem Natron.

Kali; wenn es allein, d. h. ohne Natron oder Lithion vorhanden ist, lässt es sich dadurch erkennen, dass die Probe, in der Spitze der blauen Flamme erhitzt, eine violette Färbung der äusseren Flamme bewirkt. Diese Reaction wird bei gleichzeitiger Anwesenheit von Natron oder Lithion gestört, tritt jedoch hervor, wenn man die Flamme durch ein Kobaltglas betrachtet (vgl. S. 319). Gleichfalls ist das Kali noch nachzuweisen, wenn man die Probe in einem durch Nickeloxydul braun gefärbten Boraxglas schmilzt, welches durch Kali bläulich wird. — In den concentrirten Auflösungen der Kalisalze erkennt man das Kali daran, dass es mit Platinchlorid einen citrongelben, krystallinischen schweren Niederschlag von Kaliumplatinchlorid, mit Weinsäure einen weissen, krystallinisch-körnigen Niederschlag von saurem, weinsaurem Kali, mit schwefelsaurer Thonerde nach einiger Zeit einen Niederschlag von Alaunkrystallen bildet. Sollte auch Ammoniak vorhanden sein, so muss dies vorher ausgetrieben werden. Das Kali ist sehr häufig nur auf nassem Wege nachzuweisen, weil seine Reactionen vor dem Löthrohr durch Natron unscheinbar werden. Vermuthet man also in einem Silicat ausser Natron auch Kali, so mengt man die feinpulverisirte Probe mit dem doppelten Volumen Soda, schmilzt das Gemeng auf Kohle (in einer Vertiefung), pulverisirt die geschmolzene Masse, löst sie in Salzsäure, dampft ein, löst den Rückstand in wenig Wasser, und versetzt dann die Lösung mit den oben genannten Reagentien.

Baryt; der kohlensaure Baryt schmilzt leicht zu einem klaren, nach dem Erkalten milchweissen Glas; der schwefelsaure Baryt ist sehr schwer schmelzbar, reducirt sich aber auf Kohle im Reductionsfeuer zu Schwefelbaryum. In seinen Verbindungen mit Kieselsäure kann der Baryt nicht wohl auf trockenem Wege erkannt werden. Spectroskopisch leicht erkennbar. — Die Auflösungen eines Barytsalzes geben mit Schwefelsäure und mit Gypssolution sogleich einen feinen, weissen, in Säuren und Alkalien unauflöslichen Niederschlag; ebenso mit Kieselfluorwasserstoffsäure einen farblosen krystallinischen Niederschlag.

Strontian; der kohlensaure schmilzt nur in den äussersten Kanten, und bildet dabei staudenförmige, hell leuchtende Ausläufer; der schwefelsaure schmilzt ziemlich leicht im Oxydationsfeuer, und verwandelt sich im Reductionsfeuer in Schwefelstrontium, welches in Salzsäure aufgelöst, eingetrocknet und mit Alkohol übergossen, die Flamme des letzteren schön roth färbt. In anderen Verbindungen muss die Prüfung auf nassem Wege erfolgen. Spectroskopisch leicht erkennbar. — Solutionen, welche Strontian enthalten, geben zwar mit Schwefelsäure und mit Gypssolution ein Präcipitat, jedoch nicht sogleich, sondern erst nach einiger Zeit; dagegen wird der Strontian durch Kieselfluorwasserstoffsäure gar nicht gefällt. Die salzsaure Lösung des Strontians ertheilt auf die angegebene Weise der Alkoholflamme eine carminrothe Farbe. Sind

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

in einem Mineral Baryt und Strontian zugleich vorhanden, so stellt man eine salzsaure Solution derselben her, dampft ein, glüht den Rückstand, pulverisirt und digerirt ihn mit Alkohol, welcher das Chlorstrontium auflöst, das Chlorbaryum dagegen unaufgelöst zurücklässt.

Kalk findet sich in so manchfaltigen Verbindungen, dass kein allgemeines Verfahren zu seiner Nachweisung auf trockenem Wege angegeben werden kann; der kohlensaure Kalk wird für sich kaustisch, und reagirt dann alkalisch; schwefelsaurer Kalk verwandelt sich auf Kohle im Reductionsfeuer in Schwefelcalcium, welches ebenfalls alkalisch reagirt. — Kalk präcipitirt mit Schwefelsäure nur aus concentrirten Solutionen, mit Oxalsäure oder oxalsaurem Ammoniak aber auch bei sehr starker Verdünnung, mit Kieselfluorwasserstoffsäure gar nicht. Weil jedoch Baryt und Strontian mit Oxalsäure gleichfalls ein Präcipitat geben, so muss man solche, wenn sie zugleich mit Kalk vorhanden sind, vorher durch schwefelsaures Kali trennen. Uebrigens färbt Chlorcalcium die Flamme des Alkohols gelblichroth. Spectroskopisch leicht erkennbar.

Enthält ein Magnesiasalz nur sehr wenig Kalk, so ist solcher nach *Scheerer* durch oxalsaures Ammoniak nicht mehr nachzuweisen; wohl aber gelingt ihre Trennung sehr gut, wenn man das Salz in ein neutrales schwefelsaures Salz verwandelt, im Wasser auflöst, und dann vorsichtig unter stetem Umrühren Alkohol zusetzt, bis eine schwache Trübung entsteht; nach einiger Zeit hat sich aller Kalk als Gyps abgeschieden. Nach *Sonstadt* wird aus einer Solution, welche Kalk und Magnesia zugleich enthält, der erstere durch wolframsaures Natron gefällt, wenn die Mischung bis 42° erwärmt wird, während die Magnesia gelöst bleibt; diese Reaction erfolgt noch deutlich, wenn 1000 Theile Magnesiasalz gegen 1 Theil Kalksalz vorhanden sind.

Magnesia ist für sich, als Hydrat, als Carbonat und in einigen anderen Verbindungen dadurch zu erkennen, dass die Probe mit Kobaltsolution oder oxalsaurem Kobalt geglüht lichtroth wird. — Magnesia wird weder durch Schwefelsäure noch durch Oxalsäure oder Kieselfluorwasserstoffsäure gefällt; dagegen gibt sie durch phosphorsaures Natron mit Zusatz von Chlorammonium und überschüssigem Ammoniak einen weissen krystallinischen Niederschlag von phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia, der in Säuren löslich ist.

Thonerde, welche für sich ganz unveränderlich ist, kann in vielen ihrer Verbindungen daran erkannt werden, dass die erhitzte Probe mit Kobaltsolution befeuchtet und abermals stark erhitzt eine schöne blaue Farbe erhält. — Thonerde wird durch Kali als ein weisser voluminöser Niederschlag gefällt, welcher sich in einem Uebermaass von Kali leicht und vollständig auflöst, aus dieser Auflösung aber durch Salmiak wiederum gefällt wird. Kohlensaures Ammoniak bewirkt gleichfalls ein Präcipitat, welches jedoch im Uebermaass nicht löslich ist.

Beryllerde und **Yttererde** lassen sich in ihren Verbindungen vor dem Löthrohr nicht füglich erkennen und erfordern daher die Anwendung des nassen Weges; dasselbe gilt von der Zirkonsäure und dem Thoroxyd, obgleich die Mineralien, in welchen diese Substanzen vorkommen, z. Th. durch ihr Verhalten vor dem Löthrohr recht gut charakterisirt sind. — Beryllerde verhält sich gegen Kali wie Thonerde; dagegen ist ihr Verhalten zu kohlensaurem Ammoniak insofern verschieden, wiefern im Ueberschuss desselben das gebildete Präcipitat löslich ist, wodurch sich die Beryllerde von der Thonerde unterscheiden und trennen lässt. — Yttererde wird durch Kali gefällt, ohne im Uebermaass desselben wieder aufgelöst zu werden, während sie sich gegen kohlensaures Ammoniak wie Beryllerde verhält. — Zirkonsäure verhält sich gegen Kali wie Yttererde, und gegen kohlensaures Ammoniak wie Beryllerde; durch concentrirtes schwefelsaures Kali wird aus ihren Lösungen ein Doppelsalz von Zirkonsäure und Kali gefällt, welches in reinem Wasser sehr wenig auflöslich ist. Nach *Bailey* schlägt concentrirtes Wasserstoffsuperoxyd das Zirkon aus einer Lösung von Zirkonsäure in überschüssiger Schwefelsäure sogleich und völlig in Form einer höheren Oxydationsstufe Zr^2O^5 nieder; da Wasserstoffsuperoxyd weder Eisen und

Thonerde noch Titan fällt, so gestattet diese Reaction, kleine Mengen von ZrO^2 in den Mineralien unmittelbar von den genannten Elementen zu trennen.

§ 157. Prüfung auf Arsen, Antimon, Tellur, Wismut und Quecksilber.

Die schweren Metalle und deren Oxyde sind als Bestandtheile der Mineralien vor dem Löthrohr grossentheils leicht zu erkennen. Es seien daher für die wichtigsten dieser Metalle in aller Kürze die Reactionen angegeben, welche für sie besonders charakteristisch sind.

Gediegen **Arsen** verflüchtigt sich auf der Kohle zu Dämpfen von Suboxyd, die an ihrem knoblauchähnlichen Geruch zu erkennen sind; auch sublimirt es im Glaskolben. Schwefelarsen verhält sich ähnlich. Die meisten Arsenmetalle geben auf Kohle im Reductionsfeuer einen von der Probe weit entfernten weissen, durch erneutes Anblasen leicht zu vertreibenden Beschlag, oder auch (bei grösserem Arsengehalt) graulichweisse Dämpfe von knoblauchähnlichem Geruch; einige Arsenmetalle sublimiren im Kolben metallisches Arsen. Sämmtliche Arsenmetalle aber entwickeln im offenen Glasrohr arsenige Säure, die Arsen- und Schwefel-Metalle zugleich schwefelige Dämpfe. — Viele arsensaure Salze geben mit Soda auf Kohle im Reductionsfeuer sehr deutlich den Geruch nach Arsen-Suboxyd, auch färben sie in der Zange erhitzt die äussere Flamme hellblau; die arsensauren Erdsalze sublimiren z. Th. metallisches Arsen, wenn sie mit Kohlepulver im Kolben erhitzt werden.

Manche Arsenverbindungen und arsensaure Salze erfordern zur Nachweisung des Arsens eine Behandlung auf nassem Wege, welche dadurch vorbereitet wird, dass man die pulverisirte Probe mit dem drei- bis sechsfachen Volumen Salpeter im Platinlöffel schmilzt, wobei arsensaures Kali entsteht. Die geschmolzene Masse wird mit Wasser digerirt, die Auflösung in einem Probirglas concentrirt, mit einigen Tropfen Schwefelammonium versetzt, geschüttelt, und das gebildete Schwefelarsen durch verdünnte Salzsäure gefällt, das Präcipitat abfiltrirt, getrocknet und mit einem Gemeng von Cyankalium und Soda im Kolben geglüht, wobei sich metallisches Arsen sublimirt. — Eine sehr empfindliche Reaction auf Arsen besteht darin, dass dasselbe in salzsaurer Lösung einer Wasserstoffentwickelung ausgesetzt, auf Filtrirpapier, welches mit concentrirter Silbernitratlösung getränkt ist, einen gelben Fleck gibt.

Antimon schmilzt leicht auf Kohle, verdampft dann und umgibt sich dabei mit weissem, krystallinischem Antimonoxyd (antimoniger Säure); der Beschlag ist dick, bildet sich in der Nähe der Probe und kann nicht so leicht wie der Arsenbeschlag durch erneutes Anblasen vertrieben werden; über Schwefelammonium gehalten, wird der weisse Beschlag orangeroth. Im Kolben sublimirt Antimon nicht. Im offenen Glasrohr verbrennt es langsam mit weissem Rauch, der am Glas ein Sublimat bildet, das von einer Stelle zur anderen verflüchtigt werden kann (doch nicht so leicht wie der Arsenbeschlag). Dieselbe Reaction geben die meisten Mineralien, in welchen Antimon mit Schwefel und mit Metallen verbunden ist. Antimonoxyd schmilzt leicht, verdampft, wird auf Kohle reducirt, und färbt dabei die Flamme schwach grünlichblau. — Ist das Antimon als Oxyd oder als Säure vorhanden, so ist es bisweilen gut, die Probe mit Soda zu mengen und auf Kohle im Reductionsfeuer zu behandeln, worauf dann der charakteristische Beschlag sichtbar wird.

Wismut schmilzt sehr leicht, verdampft dann, und beschlägt die Kohle mit gelbem Oxyd. Im Kolben sublimirt es nicht. Im Glasrohr gibt es keinen Dampf, umgibt sich aber mit geschmolzenem Oxyd, welches warm dunkelbraun, kalt hellgelb erscheint. Dieses Verhalten und die sehr leichte Reducirbarkeit des Oxyds lassen das Wismut auch in seinen Verbindungen leicht erkennen. — In Solutionen bildet Wismutoxyd mit Schwefelwasserstoff einen schwarzen Niederschlag, und wird durch Kali oder Ammoniak als weisses Hydrat gefällt, das im Uebermaass des Fällungsmittels nicht gelöst wird; reichlicher Zusatz von Wasser bewirkt einen weissen Niederschlag von schwer löslichem basischem Salz. Schwefelwismut gibt nach *v. Kobell* mit Jodkalium auf Kohle erhitzt einen rothen Beschlag.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Tellur schmilzt sehr leicht, verdampft auf Kohle und umgibt sich mit einem weissen, rothgesäumten Beschlag, welcher in der Reductionsflamme mit blaugrünem Licht verschwindet; im Kolben sublimirt es metallisch; im Glasrohr gibt es dicke Dämpfe und einen weissen Anflug von telluriger Säure, der sich zu kleinen klaren Tropfen schmelzen lässt. — Zur Erkennung des Tellurs auf nassem Wege gibt *v. Kobell* folgende Methode an. Man übergiesst das Erzpulver in einem Probirglas, von 4 bis 5 Linien Durchmesser und 6 Zoll Länge, einen Zoll hoch mit concentrirter Schwefelsäure und erwärmt über der Spiritusflamme; bei der ersten Einwirkung der Wärme wird die Säure von Tellur, Sylvanit und Tetradymit roth gefärbt; bei stärkerer Erhitzung verschwindet die Farbe wieder. Setzt man zu der rothen Flüssigkeit Wasser, so bildet sich ein schwärzlichgraues Präcipitat von Tellur, und die Flüssigkeit wird farblos. Der Nagyagit gibt eine trübe, bräunliche Flüssigkeit, welche, sich selbst überlassen, hyacinthroth wird, mit Wasser aber dasselbe Verhalten zeigt, wie vorher angegeben wurde.

Quecksilber; alle Quecksilberverbindungen sublimiren metallisches Quecksilber, wenn sie mit einem Zusatz von Zinn oder Soda im Kolben erhitzt werden.

§ 158. Prüfung auf Zink, Blei, Zinn und Cadmium.

Zink; man behandelt die Probe mit Soda auf Kohle, wodurch das Zink metallisch ausgetrieben, aber zugleich wieder (und zwar bei grösserem Gehalt mit bläulichgrüner Flamme) zu Oxyd verbrannt wird, welches die Kohle beschlägt; der Beschlag erscheint in der Wärme gelb, nach dem Erkalten weiss, wird aber mit Kobaltsolution geglüht schön grün gefärbt, und lässt sich im Oxydationsfeuer nicht weiter verflüchtigen. — In Solutionen ist das Zinkoxyd am sichersten daran zu erkennen, dass es durch Kali als weisses gelatinöses Hydrat gefällt wird, welches im Uebermaass des Kali leicht wieder aufgelöst, aus dieser Auflösung aber durch Schwefelwasserstoff als weisses Schwefelzink gefällt werden kann.

Blei. In seinen Verbindungen mit Schwefel und anderen Metallen wird es an dem in der Wärme dunkelcitrongelben, erkaltet schwefelgelben Beschlag von Bleioxyd erkannt, welcher sich im Oxydationsfeuer auf der Kohle absetzt. In den Bleisalzen verräth sich das Blei, bei Behandlung mit Soda auf Kohle im Reductionsfeuer, sowohl durch den Beschlag von Bleioxyd, als auch durch Reduction von metallischem Blei. — Die Solutionen der Bleisalze sind farblos, und geben mit Schwefelwasserstoff ein schwarzes Präcipitat. Durch Salzsäure wird weisses Chlorblei gefällt, welches von Ammoniak keine Veränderung erleidet, in vielem heissen Wasser aber auflöslich ist. Mit Schwefelsäure erfolgt ein weisser, mit chromsaurem Kali ein gelber Niederschlag.

Zinn; dasselbe findet sich wesentlich nur im Zinnkies und Zinnstein; es gibt sich durch den weissen Beschlag von Zinnoxyd zu erkennen, welcher auf der Kohle dicht hinter der Probe abgesetzt wird, und sich weder im Oxydations- noch im Reductionsfeuer vertreiben lässt. Dieser Beschlag nimmt durch Kobaltsolution eine bläulichgrüne Farbe an, welche jedoch von der des Zinkoxyds sehr verschieden ist. Das Oxyd kann übrigens mit Soda zu kleinen metallischen dehnbaren Kügelchen reducirt werden, was selbst dann gelingt, wenn das Zinn nur in sehr kleinen Quantitäten, als accessorischer Bestandtheil, vorhanden ist. — Schmilzt man ganz minimale Mengen von Zinnstein in der Reductionsflamme mit einer Kupferperle zusammen, so nimmt dieselbe eine rubinrothe Färbung an; Rutil und Zirkon bewirken dies nicht.

Cadmium. Dieses in manchen Varietäten der Zinkblende und des Galmei, sowie im Greenockit vorkommende Metall ist daran zu erkennen, dass sich die Kohle im Reductionsfeuer (nach Befinden unter Zusatz von Soda) mit einem rothbraunen bis pomeranzgelben Beschlag bedeckt. Die saure Lösung gibt mit Schwefelwasserstoff citrongelben, in Schwefelammonium unlöslichen Niederschlag.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

§ 159. Prüfung auf Mangan, Kobalt, Nickel und Kupfer.

Mangan. Dasselbe ist in solchen Mineralien, welche kein anderes, die Flüsse färbendes Metall enthalten, sehr leicht nachzuweisen, indem die mit Borax oder Phosphorsalz auf Platindraht im Oxydationsfeuer behandelte Probe ein durch Manganoxyd schön amethystfarbiges Glas liefert, welches im Reductionsfeuer farblos wird; diese Reaction erfolgt im Allgemeinen leichter mit Borax, als mit Phosphorsalz. Sind jedoch andere Metalle vorhanden, so mengt man die fein pulverisirte Probe mit 2 bis 3 Mal so viel Soda, und schmilzt das Gemeng auf Platinblech im Oxydationsfeuer, wodurch es eine blaugrüne Farbe (von mangansaurem Natron) erhält. Diese letztere Reaction ist überhaupt das sicherste Erkennungsmittel des Mangans, und gewährt den Nachweis auch eines sehr kleinen Mangangehalts, wenn man der Probe etwas Salpeter zusetzt. — Aus den Auflösungen seiner Salze wird das Manganoxydul durch Kali (oder Ammoniak) als weisses Hydrat gefällt, welches an der Luft allmählich schwarzbraun, und durch kohlensaures Ammoniak nicht wieder aufgelöst wird. Die Reaction mit Soda ist übrigens immer entscheidend. — In der Phosphorsäure hat *v. Kobell* ein sehr gutes Reagens auf Mangan erkannt; alle Manganerze und manganhaltige Verbindungen geben nämlich, wenn sie mit concentrirter Phosphorsäure in einer Platinschale bis zur Syrupsdicke eingekocht werden, entweder unmittelbar (wie die eigentlichen Manganerze, der Franklinit und Manganepidot) oder nach Zusatz von Salpetersäure (wie fast die sämmtlichen übrigen manganhaltigen Mineralien) eine violette Farbe.

Kobalt ist gewöhnlich sehr leicht nachzuweisen. Hat das betreffende Mineral metallischen Habitus, so wird die Probe erst auf Kohle geröstet, und dann mit Borax im Oxydationsfeuer behandelt, wodurch ein Glas von sehr schöner blauer Farbe erhalten wird, welche von Kobaltoxydul herrührt. Kobalthaltige Mineralien von nichtmetallischem Habitus schmilzt man sofort mit Borax. In manchen Fällen (wenn nämlich zugleich Mangan, Eisen, Kupfer oder Nickel vorhanden ist) tritt die blaue Farbe erst dann deutlich hervor, wenn das Glas eine Zeit lang im Reductionsfeuer erhitzt worden ist. — Die Salze des Kobaltoxyduls geben eine hellrothe Solution, aus welcher Kali ein blaues flockiges Präcipitat niederschlägt, welches an der Luft olivengrün wird, und durch kohlensaures Ammoniak wieder aufgelöst werden kann. Ausserdem geben neutrale Lösungen von Kobaltoxydul nach Zusatz von etwas Essigsäure mit salpetrigsaurem Kali einen charakteristischen gelben Niederschlag von salpetrigsaurem Kobaltoxyd-Kali (Unterschied von Nickel).

Nickel. Gewöhnlich ist die Gegenwart dieses Metalls sehr leicht daran zu erkennen, dass die im Glasrohr oder auf Kohle geröstete Probe mit Borax im Oxydationsfeuer ein Glas gibt, welches heiss röthlich- bis violettbraun, kalt gelblich bis dunkelroth ist (von Nickeloxydul); ein Zusatz von Salpeter verändert die Farbe in blau, wodurch sich das Nickeloxyd vom Eisenoxyd unterscheidet. Im Reductionsfeuer verschwindet die Farbe, und das Glas wird graulich von fein zertheiltem Nickelmetall, besonders leicht bei Zusatz von etwas Zinn. Die Reactionen mit Phosphorsalz sind ähnlich, doch verschwindet die Farbe des Glases nach der Abkühlung fast gänzlich. — Die Solutionen der Nickeloxydsalze haben eine hellgrüne Farbe und geben mit Kali ein hellgrünes Präcipitat von Nickeloxydhydrat, welches an der Luft unveränderlich ist, von kohlensaurem Ammoniak aber wiederum aufgelöst wird.

Kupfer. Dasselbe ist in den meisten Fällen dadurch zu erkennen, dass die (bei metallischem Habitus des Minerals vorher geröstete) Probe mit Borax oder Phosphorsalz im Reductionsfeuer ein undurchsichtiges braunrothes Glas liefert, was nöthigenfalls durch einen kleinen Zusatz von Zinn befördert wird. Bei sehr geringen Mengen von Kupfer wird die Perle hoch purpurroth. Im Oxydationsfeuer behandelt erscheint das Glas heiss grün, kalt blau. Mit Soda erhält man metallisches Kupfer. — Oft lässt sich ein kleiner Gehalt an Kupfer dadurch entdecken, dass man die Probe mit Salzsäure befeuchtet und in der Oxydationsflamme erhitzt, wobei die äussere Flamme schön grünlichblau gefärbt wird. — Die Solutionen der Kupferoxydsalze sind blau

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

oder grün und geben mit Schwefelwasserstoff einen bräunlichschwarzen Niederschlag; Ammoniak bewirkt anfangs einen blassgrünen oder blauen Niederschlag, der sich im Uebermaass desselben mit prächtiger blauer Farbe auflöst. Cyaneisenkalium gibt, auch bei grosser Verdünnung, einen dunkelbraunen Niederschlag, und Eisen fällt das Kupfer metallisch.

§ 160. Prüfung auf Silber, Gold, Platin und dessen Begleiter.

Silber ist als gediegenes Silber sogleich zu erkennen, und lässt sich aus vielen seiner Verbindungen auf Kohle leicht darstellen. Andere Verbindungen und solche Schwefelmetalle, in denen das Silber nur als accessorischer Bestandtheil vorhanden ist, untersucht man folgendermassen. Die pulverisirte Probe wird mit Boraxglas und Probirblei gemengt, und auf Kohle in einer Vertiefung derselben erst im Reductionsfeuer geschmolzen, dann aber eine Zeit lang im Oxydationsfeuer behandelt, wodurch zunächst ein silberhaltiges Bleikorn (Werkblei) erhalten wird. Dieses Werkblei wird nun in einer kleinen, vorher ausgeglühten Capelle aus Knochenasche im Oxydationsfeuer geschmolzen und abgetrieben (d. h. zumeist in Glätte PbO verwandelt), und endlich das so erhaltene silberreiche Bleikorn in einer zweiten Capelle feingetrieben, wobei sich die Glätte in die Capelle zieht und das Silberkorn rein zurücklässt. Einige Mineralien geben bei diesem Verfahren ein kupferhaltiges oder goldhaltiges Silberkorn. — Aus seiner salpetersauren Solution wird Silber durch Salzsäure als weisses käsiges Chlorsilber niedergeschlagen, welches am Licht allmählich schwarz wird, sich in Ammoniak löst, und aus der Lösung wieder als Chlorsilber gefällt werden kann.

Gold ist als gediegenes Gold hinreichend charakterisirt, und kann aus seinen Tellurverbindungen (auf Kohle) leicht ausgeschieden werden. Ist das so erhaltene Metallkorn weiss, so hält es mehr Silber als Gold und muss dann in einem Porzellanschälchen mit etwas Salpetersäure erwärmt werden, in welcher sich das Korn schwarz färbt und das Silber allmählich auflöst, sobald das Gold nur den vierten Theil oder noch weniger beträgt. Ist der Goldgehalt grösser, so wendet man Salpetersalzsäure an, durch welche das Gold ausgezogen wird. — Aus der Solution des Goldes in Salpetersalzsäure wird durch Zinnchlorür, mit etwas Zinnchlorid versetzt, Goldpurpur, durch Eisenvitriol metallisches Gold gefällt.

Platin und die mit ihm vorkommenden Metalle lassen sich auf trockenem Wege nicht von einander trennen. Nur das Osmiridium wird zerlegt, wenn man dasselbe mit Salpeter im Kolben stark erhitzt, wodurch sich Osmiumsäure entwickelt, welche an ihrem äusserst stechenden Geruch erkannt wird. — Das gewöhnliche Platinkörnergemeng löst sich in erhitzter Salpetersalzsäure auf, mit Hinterlassung der Osmiridiumkörner; aus der Solution wird das Platin durch Salmiak als Zweifach-Chlorplatin-Ammonium gefällt, worauf die abgedampfte und wieder verdünnte Lösung durch Cyanquecksilber das Palladium als gelbweisses Cyanpalladium ausscheidet, während Jodkalium einen braunschwarzen Niederschlag von Jodpalladium erzeugt. Die Trennung des Rhodiums beruht darauf, dass sich dasselbe in schmelzendem saurem schwefelsaurem Kali auflöst, was mit Platin und Iridium nicht der Fall ist.

§ 161. Prüfung auf Cerium, Eisen, Chrom, Vanadium und Uran.

Cerium lässt sich in solchen Mineralien, welche kein anderes die Flüsse färbendes Metall (namentlich kein Eisenoxyd) enthalten, leicht dadurch erkennen, dass die Probe im Oxydationsfeuer mit Borax und Phosphorsalz ein rothes oder dunkelgelbes Glas gibt, dessen Farbe jedoch bei der Abkühlung sehr licht wird und im Reductionsfeuer verschwindet. Ceroxyd ist oft mit Lanthanoxyd und Didymoxyd verbunden.

Eisen; das Oxyd und Oxydhydrat wird vor dem Löthrohr schwarz und magnetisch. Uebrigens ist das Verhalten zu den Flüssen sehr entscheidend, indem die eisenhaltigen Mineralien mit Borax im Oxydationsfeuer ein dunkelrothes, nach dem Erkalten hellgelbes, im Reductionsfeuer ein olivengrünes bis berggrünes Glas liefern, welche letztere Reaction durch einen Zusatz von Zinn befördert wird. Doch

sind hierbei noch einige Rücksichten zu nehmen, wenn zugleich Kobalt, Kupfer, Nickel, Chrom, Uran oder Wolfram vorhanden sein sollte. Die Reactionen mit Phosphorsalz sind ähnlich. Ist das Eisen mit Schwefel oder Arsen verbunden, so muss die Probe vorher geröstet werden.

Die Eisenoxydulsalze geben eine grünliche Solution, aus welcher das Oxydul durch Kali (oder Ammoniak) als Hydrat gefällt wird, welches erst weiss ist, bald aber schmutziggrün und zuletzt gelblichbraun wird; kohlensaurer Kalk bringt keine Fällung hervor. Ferrocyankalium (Kaliumeisencyanür) bewirkt einen voluminösen bläulichweissen Niederschlag, der sich an der Luft blau färbt, während Ferridcyankalium (Kaliumeisencyanid) einen sehr schönen blauen Niederschlag gibt. — Die Eisenoxydsalze dagegen geben gelbe Solutionen, aus welchen das Oxyd durch Kali (oder Ammoniak) als flockiges braunes Hydrat gefällt wird; kohlensaurer Kalk veranlasst gleichfalls ein Präcipitat. Ferrocyankalium bewirkt einen sehr schönen blauen, Ferridcyankalium dagegen gar keinen Niederschlag.

Chrom. Die meisten chromhaltigen Mineralien zeigen die sehr entscheidende Reaction, dass sie, mit Borax oder Phosphorsalz geschmolzen, ein Glas liefern, welches nach dem Erkalten schön smaragdgrün erscheint, obgleich es warm gelblich oder röthlich zu sein pflegt. Gewöhnlich zeigt sich diese Reaction am besten im Reductionsfeuer; wenn jedoch Blei oder Kupferoxyd vorhanden ist, im Oxydationsfeuer. Bei einem geringen Chromgehalt ist man oft genöthigt, das Verfahren auf dem nassen Wege zu Hülfe zu nehmen. — In Solutionen ist das Chromoxyd gewöhnlich schon durch die grüne Farbe angezeigt: durch Kali wird dasselbe als bläulichgrünes Hydrat gefällt, welches sich im Uebermaass des Fällungsmittels wieder auflöst. Sehr sicher wird der Chromgehalt mancher Mineralien dadurch erkannt, das man die Probe mit dem dreifachen Volumen Salpeter schmilzt, wodurch chromsaures Kali gebildet wird, welches, durch Wasser ausgezogen, mit essigsaurem Blei ein gelbes Präcipitat von chromsaurem Blei liefert.

Vanadium, als Vanadinsäure, gibt mit Borax oder Phosphorsalz auf Platindraht geschmolzen ein Glas, das im Oxydationsfeuer gelb oder braun, im Reductionsfeuer schön grün ist; das Verhalten im Oxydationsfeuer lässt das Vanadium vom Chrom unterscheiden.

Uran. In den meisten uranhaltigen Mineralien wird dieses Metall an dem Verhalten der Probe mit Phosphorsalz erkannt, welches im Oxydationsfeuer ein klares, gelbes, im Reductionsfeuer ein schönes grünes Glas liefert. Mit Borax sind die Reactionen dieselben wie des Eisens. — Nach der Methode von *Bunsen* werden die Uranverbindungen mit zweifach schwefelsaurem Kali am Platindraht geschmolzen, die Schmelze dann mit einigen Körnchen krystallisirten kohlensauren Natrons zerrieben und befeuchtet, darauf mit Filtrirpapier aufgesogen; auf diesem entsteht nach dem Befeuchten mit Essigsäure durch Blutlaugensalz ein brauner Fleck.

§ 162. Prüfung auf Molybdän, Wolfram, Tantal und Titan.

Molybdän; dieses, nur in wenigen Mineralien vorkommende Metall gibt sich dadurch zu erkennen, dass die Probe im Reductionsfeuer mit Phosphorsalz ein grünes, mit Borax dagegen ein braunes Glas liefert, wodurch es sich von anderen Metallen unterscheidet, welche mit Borax gleichfalls ein grünes Glas geben. Der Molybdänbeschlag ist weiss, wird aber bei der Berührung mit der Reductionsflamme blau. — *Bunsen* gibt als Probe auf Molybdän folgendes Verfahren an: Man schmilzt die fein zerriebene Probe mit Soda am Platindraht zusammen, digerirt diese Masse mit ein paar Tropfen Wasser in der Wärme und saugt dann die Flüssigkeit mit Filtrirpapier auf. Wird ein Theilchen dieses Papiers mit Salzsäure und einem Tropfen Blutlaugensalz befeuchtet, so erhält es rothbraune Farbe. Ein anderes Papierstückchen wird mit Zinnchlorür befeuchtet in der Wärme blau (wird es gelb, so muss noch etwas von der ursprünglichen Lösung zugesetzt werden). Ein drittes Papierstückchen wird durch Schwefelammonium gebräunt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Wolfram; kommt im Mineralreich wohl nur als Wolframsäure vor, welche in einigen Fällen daran zu erkennen ist, dass die Probe mit Phosphorsalz im Oxydationsfeuer ein farbloses oder gelbliches, im Reductionsfeuer dagegen ein sehr schönes blaues Glas liefert, welches, so lange es warm ist, grün erscheint. Ist jedoch Eisen vorhanden, so wird das Glas nicht blau, sondern blutroth. — Auch gilt folgendes Verfahren: Man schmilzt die Probe mit 5mal soviel Soda im Platinlöffel, löst in Wasser auf, filtrirt und versetzt das Filtrat mit Salzsäure, wodurch die Wolframsäure gefällt wird, welche kalt weiss, erwärmt citrongelb erscheint. — Wolframitpulver löst sich in siedender concentrirter Schwefelsäure zu klarer Flüssigkeit, welche beim Erkalten schön blau wird, und aus dieser Lösung scheidet sich durch Zusatz von Wasser Wolframsäurehydrat als voluminöse weisse Masse ab, welche bei längerem Stehen oder Kochen in gelbe Wolframsäure übergeht.

Tantal, als Tantalsäure, ist vor dem Löthrohr schwierig zu erkennen; sie wird von Phosphorsalz leicht und in grosser Menge zu einem farblosen Glas aufgelöst, welches bei der Abkühlung nicht unklar wird, und färbt sich mit Kobaltsolution nicht blau. Dieses Verfahren lässt allerdings die Tantalsäure von der Beryllerde, Yttererde, Zirkonerde und Thonerde unterscheiden; zu ihrer wirklichen Erkennung gelangt man jedoch am besten auf folgende Art: Man schmilzt die Probe mit doppelt so viel Salpeter und 3mal so viel Soda im Platinlöffel, löst auf, filtrirt, und versetzt das Filtrat mit Salzsäure, wodurch sich die Tantalsäure als weisses Pulver abscheidet, welches erhitzt nicht gelb wird. — Eine saure Lösung von Niobium, gekocht mit metallischem Zinn, gibt eine blaue Farbe.

Titan, als Titansäure und Titanoxyd; die erstere lässt sich im Anatas, Rutil, Brookit und Titanit dadurch nachweisen, dass die Probe mit Phosphorsalz im Oxydationsfeuer ein Glas gibt, welches farblos ist und bleibt, im Reductionsfeuer aber ein Glas, welches heiss gelb erscheint, während des Erkaltens indess durch roth in schön violett übergeht. Ist jedoch Eisen vorhanden, so wird das Glas braunroth, was erst nach dem Zusatz von etwas Zinn in violett übergeht. Nach *Riley* soll ein Zusatz von etwas Zink in allen Fällen noch wirksamer sein.

Eine sehr scharfe Reaction auf ganz geringe Mengen von Titansäure erhält man dadurch, dass die titanhaltige Probe vorsichtig an einem Platindraht mit einem Korn entwässerten Kaliumbisulfats zusammengeschmolzen, die Schmelze auf einen Porzellanscherben gebracht und mit einem Tropfen Wasserstoffsuperoxyd in wässeriger Lösung befeuchtet wird; alsdann erhält die Probe und die Lösung, je nach der Menge der vorhandenen Titansäure, eine gelbe bis orangerothe Färbung, welche durch die Bildung einer höheren Oxydationsstufe des Titans bedingt wird. — Bringt man einen Partikel von Rutil in eine Phosphorsalzperle, so zeigt dieselbe sofort die charakteristische violette Färbung der Titanverbindungen, die bei Zusatz von Zinn noch etwas intensiver wird; der manchmal damit leicht zu verwechselnde Zirkon verändert, auch nach längerer Einwirkung der Reductionsflamme, die Phosphorsalzperle nicht im mindesten, welche ganz farblos bleibt (*Sandberger*).

Im Titaneisen wird das Titan daran erkannt, dass die Probe in Salzsäure gelöst und die Solution mit etwas Zinn gekocht wird, wodurch sie die violette Farbe des Titanoxyds erhält; nach der Reduction färbt die salzsaure Lösung das Curcumapapier nicht mehr braun (was bei Zirkonsäure der Fall ist). Mit concentrirter Schwefelsäure erhitzt gibt Titaneisen eine blaue Farbe. — Nach *G. Rose* lässt sich in den Eisenerzen ein Titangehalt dadurch nachweisen, dass man das Erz mit Phosphorsalz in der äusseren Flamme schmilzt, die geschmolzene Masse noch heiss mit der Zange platt drückt, und dann unter das Mikroskop bringt, welches in derselben deutlich ausgeschiedene Krystalle (nicht von Anatas, sondern zufolge *Wunder*) von Titansäure-Natriumphosphat $Ti^2Na[PO^4]^3$ erkennen lässt.

Aus salpetersaurer Lösung können Titansäure und Zirkonsäure durch Zusatz von Aceton getrennt werden, indem dann die erstere vollständig ausfällt, die letztere gelöst bleibt (*Ad. Lindner*).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

6. Mikrochemische Prüfung.

§ 163. **Verfahren bei derselben.** Vielfach ist der Mineralog in die Lage versetzt, mikrochemische Reactionen, qualitative Prüfungen im kleinsten Maassstabe, vorzunehmen. Der Unterschied zwischen diesen selbstverständlich in ihrer Ausdehnung beschränkteren und den makrochemischen beruht blos darin, dass es bei ihnen das bewaffnete Auge ist, welches die zu prüfenden Objecte, die daran erfolgenden Veränderungen und die etwaigen neu hervorgerufenen Producte erkennt. Die Probirröhrchen, Bechergläser, Kolben, Abdampfschalen werden hier durch den gläsernen Objectträger, ein Platinblech, ein kleines Uhrglas, einen kleinen Glastrog ersetzt, und die Reagentien mit einer feinen Pincette oder einer Capillarpipette aufgetragen. An einem Dünnschliff oder einem kleinen Mineralfragmentchen lassen sich so Löslichkeitsverhältnisse in verschiedenen Säuren, Einwirkung von Reagentien auf die erhaltene Lösung, Entwickelung von Gasen, Bildung von Kieselgallert u. s. w. beobachten.

Das Gelatiniren mit Salzsäure wird an der Abnahme der Pellucidität, an dem Aufhören der Polarisationserscheinungen und einem schleimigen Aufquellen des Minerals erkannt; die gebildete Gallert ist einer starken Imbibition mit farbiger Fuchsinlösung fähig. Bei Behandlung eines zersetzbaren natronhaltigen Silicats mit Salzsäure bilden sich unter dem Mikroskop Kochsalzwürfelchen.

Sollen solche Reactionen an einer gewissen bestimmten Stelle eines blos mit einer Canadabalsamschicht bedeckten Dünnschliffs vorgenommen werden, so wird die feine Oeffnung eines durchlochten Deckgläschens gerade über das zu prüfende Theilchen geschoben, das Deckgläschen unter Erwärmen fest angedrückt und der Canadabalsam aus der Oeffnung vermittels eines in Spiritus oder in Aether getauchten Pinsels entfernt; dadurch erhält man ein Loch zur Einführung des Reagens, welches auf keine andere Stelle des Präparats wirken kann. Bei grösseren Partikeln kann man auch mit einer feinen Nadel direct die gerade deckende feste Canadabalsamschicht entfernen und so lediglich das zu untersuchende Theilchen bloslegen.

Namentlich von *Lemberg* stammt eine Anzahl von Methoden, zur Erkennung und gegenseitigen Unterscheidung von Mineralien auf deren Oberfläche Reactionsproducte zu erzielen. Um in einem Gemenge von Brucit und Carbonaten beide Mineralien zu unterscheiden, erhitzte er das Präparat auf einem Platinblech bis zum Wasserverlust des Brucits und behandelte es nach dem Abkühlen mit einer Lösung von Silbernitrat; die Brucittheile färben sich alsdann in Folge der von ihnen bewirkten Ausfällung von Silberoxyd bräunlich bis schwarz, die Carbonate bleiben unverändert (Z. geol. Ges. XXIV. 1872. 226). — Wirkt auf Körner des chlorhaltigen Minerals Sodalith eine gleichzeitig 4% Salpetersäure und 2% Silbernitrat enthaltende Lösung 10 Minuten lang ein, so lagert sich auf ihnen ein zwar dünner aber gut haftender Ueberzug von AgCl ab; wird dieser rasch mit Pyrogallol zu Silber reducirt, so erscheint der Sodalith durch die Kruste des letzteren ganz undurchsichtig (ebendas. XLII. 1890. 738). — Behandelt man Calcit mit Chloraluminiumlösung in der Kälte, so wird auf ihm Thonerdehydrat rasch und vollständig gefällt, welches dann durch eine Blauholzlösung bleibend violett gefärbt erscheint; auf Dolomit erfolgt jener Absatz und diese Färbung nicht oder nur ganz spurenhaft (ebendas. XL. 1888. 357; vgl. auch XLIV. 1892. 224, LII. 1900. 488).

Von besonderem Belang, auch für petrographische Untersuchungen, sind aber diejenigen mikrochemischen Methoden, durch welche beim Verdunsten charakteristisch krystallisirte mikroskopische Producte der Reaction hervorgerufen und zur Erkennung des dieselben bedingenden, in der Mineralprobe enthaltenen Elements verwerthet werden. Die Reaction darf nur für ein bestimmtes

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Element ganz allein gültig sein und muss selbst bei minimalen Mengen eines Stoffs zum Vorschein kommen; die durch Einwirkung des Reagens entstehenden Krystalle müssen als solche durch Form und optisches Verhalten leicht und sicher erkannt werden (Aggregationsformen, dendritische Bildungen, Skelett- und Zerrgestalten sind nur ausnahmsweise charakteristisch, vielfach aber ganz verschiedenartigen Verbindungen gemeinsam)[1].

Die zunächst vorliegende Aufgabe, das zu prüfende Material in Lösung zu bringen, erfolgt bei den Nicht-Silicaten, z. B. Carbonaten, vielen Erzen, nach den bekannten Methoden. Um insbesondere die Silicate fähig zu machen, die in ihnen enthaltenen Substanzen zur Erzeugung von krystallisirten Reactionsproducten abzugeben, bedient man sich namentlich folgender Methoden:

1) Der zu prüfende Partikel wird mit Kieselfluorwasserstoffsäure H^2SiF^6 behandelt, welche beim Verdunsten Fluorwasserstoff entwickelt und dadurch Silicate, selbst ohne Anwendung der Wärme sehr energisch zersetzt. Kalium, Natrium, Lithium, die Metalle der alkalischen Erden, sowie Eisen und Mangan bilden dabei krystallisirbare Fluorsiliciumsalze, welche durch ihre Formen unterschieden werden (Verfahren von *Bořicky*).

Auf einem mit einer Balsamschicht überzogenen Objectträger (oder auf einem durchsichtigen Schwerspathplättchen) fügt man zu der stecknadelkopf- oder hirsekorngrossen Mineralprobe einen Tropfen Kieselflusssäure und untersucht nach dem Eintrocknen die krystallisirten Reactionsproducte; besser trocknet man bei mässiger Hitze ein, löst den Rückstand in einem Tropfen destillirten Wassers und bringt diese Lösung mit einem Haarröhrchen auf einem Objectträger zur langsamen Verdunstung und Umkrystallisation. Das Kieselfluorkalium bildet z. B. reguläre Krystalle (meist Würfel), das Kieselfluornatrium hexagonale (Prisma mit Basis oder mit Pyramide), das Kieselfluormagnesium rhomboëdrische, das Kieselfluorcalcium spindelförmige Gestalten.

2) Man zersetzt den Partikel in einem winzigen Platinschälchen mit Flusssäure und führt die gebildeten trocknen Fluoride durch Abdampfen mit Schwefelsäure in Sulfate über, aus deren Lösung alsdann durch directen Zusatz von Reagentien mikroskopische Krystallisationsproducte erhalten werden (Verfahren von *Behrens*). — Auch können Reactionen vorgenommen werden mit den Chloriden, in welche die Basen der Silicate übergeführt wurden (*Streng*).

3) Die Probe wird zum Zweck des Aufschliessens in der Schlinge eines Platindrahts oder einem Platintiegelchen mit anderen Substanzen zusammengeschmolzen, je nach der Natur des Minerals mit Soda, Phosphorsalz, Fluorkalium, saurem schwefelsaurem Kali, salpetersaurem Kali u. s. w., die

---

1) Von zusammenfassenden Schriften sind zu nennen:

E. Bořicky, Elemente einer neuen, chemisch-mikroskopischen Mineral- u. Gesteinsanalyse. Prag 1877.

Behrens, Mikrochemische Methoden zur Mineralanalyse. Amsterdam 1884. — Essai d'une méthode d'analyse qualitative microchimique (Annales de l'école polytechnique de Delft VI. 1890. 82). — A manual of microchemical analysis. London and New York 1894. — Anleitung z. mikrochemischen Analyse. 2. Aufl. Hamburg und Leipzig 1899.

Fuchs-Brauns, in Anleitung zum Bestimmen der Mineralien. Giessen 1898. 69—109.

K. Haushofer, Mikrochemische Reactionen. Braunschweig 1885. Auch in Leitfaden f. d. Mineralbestimmung. Braunschweig 1892.

Klement und *Renard*, Réactions microchimiques à cristaux et leur application en analyse qualitative. Bruxelles 1886.

A. C. Huysse, Atlas zum Gebrauch bei d. mikrochemischen Analyse. Anorgan. Theil. Leiden 1900.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

entstandene Schmelze nach Maassgabe ihrer Beschaffenheit mit Wasser oder Schwefelsäure u. s. w. aufgelöst oder ausgelaugt und darauf in der Lösung ein krystallisirtes Reactionsproduct erzeugt.

Die vollkommensten Krystallisationen finden sich gewöhnlich in der Grenzzone der beiden sich berührenden Flüssigkeiten oder am Rande der Flüssigkeit ausserhalb der Hauptmasse des Niederschlags. Anfangs sich bildende oft undeutliche Krystalle kann man dadurch theilweise wieder in Lösung überführen, dass man mit einem spitzen Platindraht die Lösung aus dem inneren Theil des Tropfens über den Rand hinwegführt; dadurch entstehen oft in der Nähe desselben die deutlichsten Krystalle. — Sehr schwer lösliche Stoffe liefern bisweilen blos dann Krystalle, wenn das Reagens und die zu prüfende Lösung sich nur sehr langsam vermischen; zu diesem Behuf bringt man die beiden Tröpfchen derselben weit von einander entfernt auf den Objectträger, setzt einen grösseren Wassertropfen zwischen beide, und verbindet nun jeden der beiden Tropfen mit zwei gegenüberliegenden Punkten des Wassertropfens. Eine ähnliche Diffusion lässt sich auch bewirken, wenn die beiden Tropfen durch einen feuchten Leinenfaden oder ein Stückchen Glasfaden mit einander verbunden werden.

Eine specielle Aufzählung der für die einzelnen Elemente charakteristischen mikroskopischen Krystallisationsproducte kann an dieser Stelle nicht gegeben werden und es mögen nur etliche Beispiele zur weiteren Kennzeichnung des Verfahrens folgen.

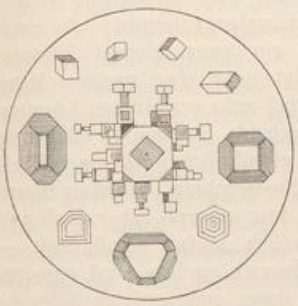


Fig. 325.

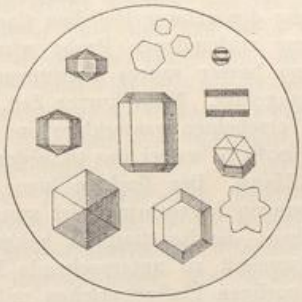


Fig. 326.

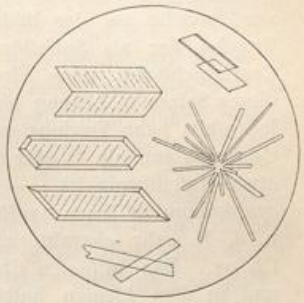


Fig. 327.

Kalium. Bei der Behandlung mit Kieselflusssäure entstehen reguläre wasserhelle aber schwach lichtbrechende Kryställchen von K^2SiF^6, meist $\infty O\infty$, auch O, ∞O und Combinationen (Fig. 325). — In der nach Aufschliessung mit Flusssäure erhaltenen Chlorid- oder Sulfatlösung bildet ein Tröpfchen von Platinchlorid gelbe scharfe, stark lichtbrechende reguläre Kryställchen von Kaliumplatinchlorid K^2PtCl^6 (O, $\infty O\infty$, auch ∞O in Combination). — Natrium. Aus der kieselflusssauren Lösung bilden sich beim Eintrocknen hexagonale farblose Kryställchen von Kieselfluornatrium, Na^2SiF^6 (die Combinationen $\infty P.0P$ oder $\infty P.P$, mit stumpfer Pyramide), welche bald auf der Prismenfläche, bald auf der Basis liegen, sehr schwach doppeltbrechend und optisch negativ sind (Fig. 326). Nach *Behrens* kann man anstatt der Kieselfluorwasserstoffsäure auch Kieselfluorammonium als Reagens wählen, wobei die dickeren Individuen des gebildeten Natriumsalzes eine sehr charakteristische schwach rosenrothe Färbung gewinnen. — Die Entstehung der sehr charakteristischen Kryställchen kann umgekehrt auch zur Erkennung von Silicium oder Fluor dienen. — Als anderes empfindliches Reagens auf gelöste Natriumsalze schlug *Streng* das essigsaure Uranyl vor. Von dem festen pulverisirten Salz werden einige Körnchen gleichzeitig mit einem Tröpfchen Essigsäure der auf Natron zu untersuchenden Probe zugesetzt; es entstehen alsdann zahlreiche sehr scharf ausgebildete, schwach gelbliche und völlig isotrope Tetraëder von essigsaurem Uranylnatrium, die während des Wachsens meist noch das Gegentetraëder und Rhombendodekaëder entwickeln. — Calcium lässt sich

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mikroskopisch nachweisen als Gyps, als Oxalat, als Carbonat und als Kieselfluorcalcium. Die empfindlichste Reaction beruht auf der Bildung von Gyps (Fig. 327), auch dadurch ausgezeichnet, dass sie durch die Gegenwart irgend eines anderen Stoffes nicht beeinträchtigt wird. — Bei dem nach dem *Behrens*'schen Verfahren erhaltenen Probetropfen scheiden sich, sofern er aus einem kalkhaltigen Mineral Calciumsulfat enthält, beim Verdunsten freiwillig Gypskryställchen aus, dünne Säulchen $\infty P.\infty \breve{P}\infty.-P$, meist auf $\infty \breve{P}\infty$ liegend, auch rosettenförmige Gruppen oder Garben. Am Rande des Tropfens zeigen sich oft grössere Kryställchen auch in den bekannten Schwalbenschwanzzwillingen. Mit dieser Reaction sind 0,0005 mg CaO nachweisbar. — Magnesium. Das charakteristischste Reactionsproduct sind die rhombisch-hemimorphen Krystalle des Magnesium-Ammoniumphosphats $NH^4MgPO^4 + 6H^2O$ (Struvit, Fig. 14), welche aus neutralen salmiakhaltigen oder schwach ammoniakalischen Lösungen von Magnesiasalzen entweder durch Natriumphosphat oder durch phosphorsaures Ammonium-Natrium (Phosphorsalz) erzeugt werden. Umgekehrt dient die Reaction zur Erkennung von Phosphorsäure. — Das beim Eintrocknen der kieselflusssauren Lösung (*Bořicky*) sich ausscheidende Kieselfluormagnesium $MgSiF^6 + 6H^2O$ erscheint in farblosen Rhomboëdern, deren Polecken durch 0R abgestumpft sind und in Combinationen von $R.\infty P2$, oder $R.\infty P2.0R$. Die Krystalle sind scharfkantig, optisch positiv, stark doppeltbrechend und polarisiren mit den grellen Farben der 2. Ordnung; auf der Basis liegend geben sie ein sehr deutliches Interferenzbild. — Aluminium. *Behrens* schlug, um Thonerde nachzuweisen, eine vorzügliche Methode vor, welche auf der Bildung des schwer löslichen Caesiumalauns beruht. Zu einem Tropfen der als Sulfatlösung vorhandenen Probe wird ein ganz kleines Körnchen Caesiumchlorid, nach *Streng* besser saures Caesiumsulfat oder eine geringe Menge dieses Salzes in Lösung hinzugefügt. Nach kurzer Zeit, bei sehr verdünnten Lösungen jedenfalls beim Verdunsten, erscheinen wasserklare und scharfe isotrope Krystalle von Caesiumalaun als O oder $O.\infty O\infty$, wobei das Oktaëder gewöhnlich nach einer Fläche etwas tafelförmig ist. — Eisen. Der flockige blaue Niederschlag, welchen Ferrocyankalium in Eisenoxydlösungen hervorbringt, ist zwar nur amorph, aber doch auch u. d. M. sehr charakteristisch; die Reaction ist bekanntlich höchst empfindlich. — Chlor. Das auf den Chlorgehalt zu untersuchende Mineralkörnchen wird gepulvert und in dem kleinen halbkugeligen Platintiegelchen mit etwas concentrirter Schwefelsäure übergossen (dadurch unzersetzbare Substanzen müssen zuerst durch Schmelzen mit Soda aufgeschlossen werden). Auf das Platinschälchen wird ein Deckglas gelegt, welchem auf der unteren Seite ein kleiner Wassertropfen angehängt ist, während es von obenher durch einen grösseren Wassertropfen gekühlt wird. Die bei mässigem Erwärmen entweichende Salzsäure wird in dem unteren Tropfen aufgefangen. Nach Beendigung des kleinen Destillationsprocesses wird der obere Kühltropfen mit einer Capillarpipette oder Filtrirpapier entfernt, das Deckglas umgekehrt auf einen Objectträger gelegt und mitten in den Rest des kleinen unten befindlich gewesenen Wassertropfens ein Körnchen Thalliumsulfat gebracht. Alsdann bilden sich sehr schnell reguläre Kryställchen von Thalliumchlorid, Oktaëder und die Combination $O.\infty O$; bei schwächerer Vergrösserung sind sie wegen ihres starken Brechungsvermögens im durchfallenden Licht fast schwarz, im auffallenden weiss (*Behrens*). — Man kann auch die Probe mit möglichst wenig concentrirter Schwefelsäure zersetzen, auf dem Objectglas ein gleiches Volumen Wasser hinzufügen und in dem Sulfattropfen durch Silbernitrat Chlorsilber fällen, welches aber hierbei als ganz undurchsichtige Körnchen und Flocken völlig uncharakteristisch u. d. M. erscheinen würde; man löst daher den Niederschlag auf dem Objectglas in einer eben zureichenden Menge Ammoniak und lässt die Lösung verdunsten; dabei bilden sich dann meist gut entwickelte reguläre, stark lichtbrechende Kryställchen von Chlorsilber, vorherrschend $\infty O\infty$ und O, auch beide in Combination, seltener mit ∞O (*Haushofer*).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Vierter Abschnitt.

Von den Lagerstätten und dem Vorkommen der Mineralien.

§ 164. **Allgemeines.** Lagerstätte ist die althergebrachte Bezeichnung für die natürliche Fundstätte eines Minerals unter Berücksichtigung sowohl der Art und Weise, wie es dort allein oder in Begleitschaft mit anderen Mineralien vorkommt und sich gebildet hat, als auch des geologischen Charakters, welcher derjenigen Masse eigen ist, an der es sich betheiligt. In letzterer Hinsicht wird in Betracht gezogen, in welcher Form sich die zusammengefügten Mineralien übereinstimmender oder abweichender Art im Grossen darbieten und wie sich diese Aggregate als besondere Glieder für den Aufbau der Erdkruste kundgeben.

Ein kleiner Theil der Mineralien ist auf Erden ganz ausserordentlich weit und daneben sehr reichlich verbreitet. Dazu gehört zunächst der Quarz, welcher bisweilen allein oder fast ganz allein Gebirge aufbaut, in Verbindung mit anderen Mineralien sich an der Zusammensetzung weithin herrschender Felsarten betheiligt und auch auf besonderen Lagerstätten eines der häufigsten Vorkommnisse ist. Mit ihm wetteifert der Kalkspath, aus welchem in erster Linie die so ausgedehnten Kalksteingebiete bestehen und der auch sonst eine überaus intensive und massenhafte Verbreitung besitzt. An dritter Stelle dürften die Glieder der Feldspathgruppe stehen, welche ebenfalls höchst ausgedehnte Gesteinsmassen hauptsächlich zusammensetzen helfen, ferner die Glimmerarten, Hornblende u. s. w. — Anderen Mineralien ist zwar eine sehr weite Verbreitung, aber keine besondere Reichlichkeit eigen. Dazu gehört z. B. der Apatit, welcher, abgesehen von einzelnen Localitäten, wo er in grösserer Ansammlung vorhanden ist, in den allermeisten Felsgesteinen getroffen wird, freilich nur in der Form vereinzelter und spärlicher, dazu in der Regel blos mikroskopischer Kryställchen. Eine ähnliche ausgedehnte und constante, aber als solche geringfügige Vertheilung zeigen gewisse Eisenerze, welche die Gesteine braun und gelb, roth oder schwarz färben (Brauneisen, Rotheisen, Magnetit); hierher gehören auch die kohligen Pigmente. — Noch andere Mineralien sind nur an gewissen Stellen der Erde, hier aber in grösserer Mengenentfaltung gefunden worden, wie z. B. die Vorkommnisse des Kryoliths in Grönland. Massen von Rothzinkerz kommen nur bei Sterling Hill und Mine Hill in New-Jersey vor. Der Enargit ist an mehren Orten Südamerikas ein fast gemeines Kupfererz, in Asien gar nicht, in ganz Europa nur an dem Matzenköpfl bei Brixlegg in Tirol und am Lehocza-Berg bei Parád in Ungarn als äusserste Rarität bekannt. Unter diese Gruppe fallen auch die Gesteinsgemengtheile Nephelin, Leucit, Haüyn, Melilith, ferner der Diamant. — Endlich gibt es solche Mineralien, die sowohl ausserordentlich selten, als dann auch nur in höchst spärlicher Quantität, als vereinzelte Individuen auftreten, z. B. der Euklas.

Allgemein ist, im Gegensatz zu den Pflanzen und Thieren, das Auftreten der Mineralien natürlich sowohl von den geographischen Zonen als von dem Niveau unabhängig; doch sind etliche im Zusammenhang mit ihrer chemischen Natur vorwiegend an die Oberfläche gebunden, und das massenhafte Vorhandensein des leicht löslichen Natronsalpeters in Peru wird z. B. durch die dortige Regenlosigkeit bedingt.

Gegenden, die aus Eruptivgesteinen und krystallinischen Schiefern aufgebaut sind, bieten entweder als solche, oder vermöge der namentlich mit jenen verknüpften besonderen Lagerstätten im Allgemeinen einen viel grösseren Reichthum an verschiedenartigen Mineralien dar, als Areale, die aus sedimentären Schichten bestehen; insbesondere liefern jüngere Sedimente sehr wenig Material für die Sammlungen.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

§ 165. **Ursprüngliche und secundäre Lagerstätten.** Die Mineralien und ihre Vereinigungen befinden sich da, wo sie jetzt erscheinen, entweder auf ihrer primären Lagerstätte, d. h. noch an demjenigen Orte, wo sie ursprünglich ihre Form durch Verfestigung angenommen haben, oder sie werden auf secundärer Stätte angetroffen, also an anderem Ort als dem ihrer anfänglichen Entstehung. Die ersteren werden auch die authigenen, d. h. die an Ort und Stelle gebildeten, die letzteren die allothigenen, die ursprünglich irgendwo anders befindlich gewesenen genannt. So finden sich die Quarzkörner im Granit auf primärer, diejenigen des Sandsteins auf secundärer Stätte. Diese Gegensätze werden dadurch bewirkt, dass das Material der primären Lagerstätte im Laufe der Zeit eine Zerstörung erfährt und zu Schutt zerkleinert wird, worauf fluthendes Wasser die gebildeten Trümmer in der Form von Fragmenten, gerundeten Rollstücken, Grus, sandähnlichen Massen wegführt und an anderen Orten wiederum zum Absatz bringt. Hier lagert dasselbe alsdann nach dem Transport entweder als lose lockere Anhäufungen, oder es wird wieder zu einer festen Masse verkittet, zu einer Breccie mit scharfkantigen, zu einem Conglomerat mit rundlich abgeschliffenen Bruchstücken, zu einem Sandstein, zu einem Schiefer. Mineralien von geringer Härte, von geringem spec. Gewicht und von grösserer chemischer Angreifbarkeit werden als solche bei diesen Ortsveränderungen minder gut erhalten bleiben können als die harten, die schweren und chemisch widerstandsfähigen. Letztere werden daher insbesondere auch auf secundärer Lagerstätte gefunden und zwar hier in mehr angereicherter Vertheilung als es auf der primären der Fall war. Beispiele bieten das Vorkommen von allothigenem gediegen Gold, Platin, Diamant, Zinnstein, Magneteisen, Chromeisen, Spinell, Sapphir, Rubin, Zirkon, Cordierit, Granat in den Flusssandanschwemmungen, im Quarzgeröll und Quarzsand. Alle diese metallischen Substanzen oder Edelsteine waren ursprünglich in mehr oder weniger benachbarten Gebirgsgesteinen als Einsprengungen oder auf besonderen Lagerstätten innerhalb derselben vorhanden. Die werthvolle Mineralien enthaltenden secundären Lagerstätten nennt man auch Seifengebirge oder plusiatische Ablagerungen.

§ 166. **Paragenesis, Succession.** Nur sehr selten wird eine Lagerstätte lediglich von Mineralindividuen einer und derselben Art gebildet, in der Regel besteht eine solche aus einer Vereinigung mehrer verschiedener Mineralarten. Während es bei den secundären Lagerstätten eine Wirkung des Zufalls ist, welche Mineralien in Folge der Zusammenschwemmungsprocesse als benachbart nebeneinander geführt werden, herrschen auf vielen der ursprünglichen Lagerstätten abweichende Verhältnisse, indem die Association der daran sich betheiligenden Mineralien nicht als zufällig gelten kann, sondern charakteristisch oder gar gegenseitig bedingt ist. Diese ausgesprochenen Beziehungen des Nebeneinandervorkommens sind in erster Linie genetischer Art. Die vergesellschafteten Mineralien lassen bald eine gleichzeitige, bald eine ungleichzeitige Entstehung und zwar oft in einer gewissen Reihenfolge wahrnehmen, häufig sind sie nicht von einander unabhängig, sondern das eine ist aus dem anderen hervorgegangen. *Breithaupt* hat daher mit einer trefflich gewählten Bezeichnung diese Verhältnisse paragenetische genannt, und für irgend ein Mineral bilden die begleitenden Mineralien, welche eine Betrachtung unter solchen Gesichtspunkten zulassen, seine Paragenesis.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die Thatsache, dass an sehr verschiedenen Orten auf gleichartiger Lagerstätte die gegenseitige Combination einzelner Mineralarten mit übereinstimmenden Verhältnissen der relativen Aufeinanderfolge und Abstammung in auffallender Wiederholung wiederkehrt, zeigt, dass die Paragenesis nicht zufällig, sondern in der Natur begründet ist.

Das typische Nebeneinandervorkommen von Mineralien wird oft durch die chemische Zusammensetzung bedingt. So pflegt sich auf den Zinnerzgängen eine Vergesellschaftung von Flussspath, Apatit, Lithionglimmer, Topas, Turmalin einzustellen, Mineralien, welche sämmtlich Fluor enthalten. In dem Gestein Phonolith sind drei Mineralien combinirt, Nephelin, Haüyn, Aegirin, für welche alle ein Natrongehalt charakteristisch ist. Auf dem Gebiet der Felsarten wird der Mineralbestand überhaupt häufig von sehr deutlichen paragenetischen Verhältnissen beherrscht.

Die gleichzeitige Entstehung zweier verbundener Mineralarten wird daran erkannt, dass sowohl die Individuen der einen auf denen der anderen lagern oder aufsitzen, als auch das Umgekehrte stattfindet; dass hier das eine Mineral Eindrücke von den Formen des anderen zeigt, dort das letztere solche von dem ersteren; dass das eine Mineral Einschlüsse in dem anderen bildet und dieses umgekehrt auch wieder als Einschlüsse in jenem vorkommt.

Viel häufiger aber ist ein Altersunterschied der zusammen vorkommenden Mineralien, eine sog. Succession wahrzunehmen, z. B. wo Krystalle eine abweichend beschaffene Unterlage blos bedecken, wo ein Mineral krustenartig das andere überzieht oder mehre lagenförmig übereinander folgen. Auf den Erzgängen kommt die Succession als eine ganz allgemein verbreitete Erscheinung vor, die auch hier zuerst in ihrer Bedeutung erkannt worden ist. Bei diesen Ausfüllungen ehemaliger Spalten sind die Absätze, welche zuerst die Wände des Nebengesteins bedeckt haben, allemal älter als die in der Mitte des Gangkörpers auftretenden. Auf vielen Erzgängen sind z. B. Quarz und Bleiglanz die älteste Bildung, darauf folgen als ziemlich gleichzeitiger Absatz Kupferkies und Zinkblende, als jüngstes Glied in dieser Succession treten Kalkspath und Braunspath auf. Auch in den massigen Felsarten offenbaren die zusammensetzenden Mineralarten, dass sie nicht gleichzeitig, sondern nacheinander verfestigt worden sind, wie denn z. B. in den Graniten die Quarzkörner in der Regel erst dann Gestalt gewonnen haben, nachdem die Feldspathe und Glimmer bereits als solche festgeworden waren.

Oft lässt sich nachweisen oder wahrscheinlich machen, dass auch die Art und Weise der Succession zusammenhängt mit chemischen Beziehungen, insbesondere mit der Löslichkeit. In den salzführenden Formationen ist das Steinsalz als jüngere Bildung gewöhnlich über eine Unterlage von Gyps ausgebreitet, weil, wenn beide Substanzen zusammen in einem Meerwasser gelöst sind, der darin schwerer lösliche Gyps früher zur Abscheidung kommen muss, als das leichter lösliche Steinsalz; das Steinsalz selbst wird hin und wieder oben noch bedeckt von Carnallit, Sylvin, Kieserit u. a. Substanzen, welche noch leichter im Wasser löslich sind. Auf ähnlichen Gegensätzen beruht es auch, wenn so oft in rundlichen Hohlräumen und Spalten der im Wasser höchst schwierig lösliche Quarz den ersten Absatz bildet, der dann von dem viel leichter löslichen Kalkspath überkrustet wird.

In unzähligen Fällen sind die paragenetischen Beziehungen zugleich epigenetische, d. h. das Nebeneinandervorkommen zweier Mineralien ist dadurch

zu deuten, dass das eine aus dem anderen entstanden ist, was sich dann auch in der Succession ausspricht. Die Thatsächlichkeit solcher Abstammung hat man insbesondere zuerst an den Pseudomorphosen erkannt.

Wo Kobaltkies von Kobaltblüthe, Speiskobalt von Pharmakolith, Rothkupfererz von Malachit, Olivin von Serpentin, Feldspath von Thon, Bleiglanz von Anglesit begleitet wird, da ist allemal die letztere Substanz aus der ersteren durch Umwandlung hervorgegangen. Die Paragenesis von Kupferkies, Brauneisen und Malachit ist so zu erklären, dass der ältere Kupferkies zur Entstehung der beiden letztgenannten Mineralien Veranlassung gegeben hat.

Bei den Successionen kann es vorkommen, dass auf derselben Lagerstätte eine Mineralart nicht nur ein einziges Glied in der Reihenfolge darstellt, sondern dass sie zu wiederholten Malen gebildet wurde, getrennt durch zeitliche Intervalle oder durch den Absatz anderer Mineralien. Bei solchen Repetitionen sind dann wohl die gleichzeitig entstandenen Individuen, deren Complex man eine Generation nennt, unter einander übereinstimmend beschaffen, die zeitlich von einander verschiedenen durch etwas abweichende Ausbildung charakterisirt.

Auf vielen Erzgängen ist die erste Generation des Kalkspaths trübe, von einfacher krystallographischer Form (z. B. nur R3 und R zeigend), die zweite Generation, welche vorwiegend in Drusen sitzt, wasserklar, krystallographisch viel reichlicher entwickelt. — Bei den Felsarten, welche einen ursprünglichen Gehalt an primärem Quarz besitzen, kommt es vor, dass sich durch nachträgliche Umwandlungsprocesse später auch noch secundärer Quarz in dem Gesteinsgewebe entwickelt. — Häufig finden sich in Ablagerungen losen Quarzsandes die trüben rundlichen oder eckigen Quarzkörner von einer wasserhellen klaren Rinde später abgesetzten Quarzes unter übereinstimmender optischer Orientirung überkrustet. — In vielen Kalksteinen sind die in der Masse entstandenen Sprünge und Spältchen durch eine im Lauf der Zeit erfolgte Abscheidung von reinem Kalkspath aus Gewässern wieder zugewachsen oder ausgeheilt worden.

§ 167. **Eintheilung der Lagerstätten.** Die Lagerstätten, auf denen sich die Mineralien finden, sind theils allgemein verbreitete und in grosser räumlicher Ausdehnung auftretende, wozu in erster Linie die Gesteine oder Felsarten gehören, theils besondere, welche nur unter gewissen Verhältnissen und an gewissen Orten vorkommen und dann auch in der Regel geringere Ausdehnung besitzen, z. B. die Lager, Erzgänge, Imprägnationen, Höhlenausfüllungen, Contactbildungen, Fumarolenabsätze. Beide Abtheilungen, von denen die letztere immer an die erstere gebunden auftritt, lassen auch nach ihrem Mineralgehalt, nach ihrer Erscheinungsweise und Entstehung eine Auseinanderhaltung zu.

§ 168. **Gesteine als Lagerstätten der Mineralien.** Diejenigen verschiedenen Aggregate von Mineralien, welche in charakteristisch sich wiederholender Zusammensetzung als solche geologisch selbständige Massen darstellen und so zu dem Aufbau der äusseren Erdkruste in wesentlicher und hervorragendster Weise beitragen, nennt man Gesteine, Felsarten oder Gebirgsarten, mögen dieselben nun im festen Zustand oder als lose und lockere Anhäufungen die geologischen Raumkörper erfüllen. Jedes Gestein ist das Product eines besonderen geologischen Processes, welcher entweder seiner Art oder seinem Wesen nach, oder seinem Wirkungsraume nach oder seiner Wirkungszeit nach oder durch mehre dieser Momente zusammengenommen charakterisirt ist. Petrographie ist

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

der Name für die allgemeine Lehre von den Gesteinen. Aus dieser sehr umfangreichen Disciplin kommen hier nur solche Punkte zur kurzen Erwähnung, welche sich auf die Gesteine als allgemeine Lagerstätten der Mineralien beziehen.

Krystallinische Gesteine sind diejenigen, welche lediglich aus krystallinischen, an Ort und Stelle festgewordenen Mineralindividuen gebildet werden. Klastische Gesteine dagegen bestehen aus zusammenverbundenen Fragmenten von Felsarten oder Mineralien, wobei das Material dieser Trümmer ursprünglich an einem anderen Ort ein Glied der Erdkruste dargestellt hat.

Die Gesteine, welche Aggregate von krystallinischen Mineralien sind, zerfallen in zwei Gruppen, die einfachen und gemengten Gesteine. Die ersteren sind solche, deren ganze Masse wesentlich nur aus Individuen einer und derselben Mineralart besteht, z. B. Kalkstein, der nur oder fast nur aus Körnern von Kalkspath, Quarzit, der so blos aus Quarz zusammengesetzt ist, Gypsgestein, Steinsalz als Gestein. Gemengte Gesteine heissen diejenigen, an deren Zusammensetzung mehre Mineralarten gleichzeitig wesentlichen Antheil haben; so ist z. B. Granit ein gemengtes Gestein, weil er ein constantes Aggregat von Feldspath, Quarz und Glimmer ist; Syenit, weil er wesentlich aus Feldspath und Hornblende gebildet wird.

Die einzelnen Mineralien, welche die Gesteine bilden, heissen die Gemengtheile. Diejenigen Mineralien, welche den Begriff eines bestimmten Gesteins feststellen, indem sie zu seiner Constituirung erforderlich sind, werden die wesentlichen Gemengtheile genannt; solche sind z. B. für den Granit der Quarz, Feldspath und Glimmer, welche zugegen sein müssen, damit der Name Granit gerechtfertigt ist; fehlte in dem Gemenge der Feldspath, so läge eben kein Granit vor. Ausser den Mineralien dieser Kategorie kommen aber sowohl in den einfachen als in den gemengten Gesteinen häufig in geringerer Quantität noch andere vor, die nicht zu denjenigen gehören, durch welche das Wesen des Gesteins bedingt wird, deren Gegenwart an dem allgemeinen Gesteinscharakter nichts ändert und welche in dieser Hinsicht ebenso gut fehlen könnten; man führt dieselben als accessorische, zufällige oder unwesentliche Gemengtheile auf.

So findet sich häufig in dem Syenit accessorisch Titanit, in dem Kalkstein Serpentin u. s. w., und die mikroskopische Untersuchung vermehrt in der Regel die Anzahl dieser unwesentlichen Gemengtheile noch beträchtlich. In dem Granit sind u. a. accessorisch bekannt: Turmalin, Apatit, Zirkon, Granat, Titanit, Rutil, Flussspath, Topas, Zinnstein, Spinell, Beryll, Spodumen, Columbit, Gadolinit, Orthit, Magnetit, Eisenkies, Eisenglanz, Magnetkies, Molybdänglanz. Gewisse accessorische Gemengtheile, wie z. B. Magneteisen und Apatit sind in grossen Abtheilungen der Gesteinswelt fast allgegenwärtig. Anderseits sind es aber nach unseren bisherigen Erfahrungen nicht beliebige andere Mineralien, welche in einem gegebenen Gestein accessorisch auftreten, sondern der Kreis der hier vorhandenen Möglichkeiten ist oft nicht sonderlich weit begrenzt. Für irgend ein Gestein scheint es nach Maassgabe seiner eigenen chemischen Zusammensetzung und der bei seiner Bildung obwaltenden Verhältnisse eine besondere Schaar von Mineralien zu geben, aus welcher die neben den wesentlichen vorhandenen accessorischen Gemengtheile entnommen zu werden pflegen. Ja es gibt Mineralien, welche in geradezu charakteristischer Weise in diesem oder jenem Gestein accessorisch zugegen sind oder Gesteine, in welchen dieser oder jener accessorische Gemengtheil selten vermisst wird. Eine solche Rolle spielt z. B. der Perowskit in den melilithreichen Gesteinen. Manche Gesteine erweisen sich verhältnissmässig sehr reich an accessorischen Gemengtheilen, wie z. B. gewisse Granite, die Eläolithsyenite,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Gneisse, während andere, z. B. Quarzporphyre, Pyroxenandesite relativ arm daran befunden werden. — Da den accessorischen Mineralien das übrige Gesteinsgemenge gewissermassen wie eine fremde Masse gegenübersteht, so haben sie in der Regel mehr und besser als die Individuen des letzteren ihre eigene Krystallform zu entwickeln vermocht, und wo diese einer verschiedenen Gestaltung fähig ist, da zeigt sich mitunter eine gewisse Abhängigkeit von der Beschaffenheit des betreffenden Gesteins, wie denn z. B. die accessorischen Granaten in den schieferigen Schichtgesteinen (Chloritschiefern, Glimmerschiefern) in der Regel als ∞O, in dem nicht schieferigen massigen Granit gewöhnlich als $2O2$ krystallisirt auftreten. — Es ist natürlich, dass diejenigen Mineralien, welche für gewisse Gesteine wesentliche Gemengtheile ausmachen, in anderen accessorisch erscheinen können und umgekehrt.

Weiterhin werden die an einem Gestein betheiligten Mineralien genetisch als primäre und secundäre Gemengtheile unterschieden. Die ersteren sind diejenigen, welche bei der anfänglichen Festwerdung desselben (als wesentliche oder als accessorische) zur Ausbildung gelangt sind, die letzteren solche, welche innerhalb des gegebenen Gesteins im Laufe der Zeit erst nachträglich entstanden, sei es dass primäre Gemengtheile einer allmählichen Umwandlung in andere Substanzen anheimfielen, oder dass in leere Hohlräumchen durch Vermittelung des durchtränkenden Wassers neues Mineralmaterial bis zur theilweisen oder gänzlichen Erfüllung derselben einwanderte.

So sind die in den Diabasen vorhandenen Kalkspathe und Chlorite keine primären, sondern secundäre Gemengtheile, indem sie durch eine Umwandlung des primären Augits geliefert wurden; eine ähnliche Rolle spielt der Epidot in Syeniten und Graniten, der darin erst nachträglich durch eine Alteration der Hornblende entstanden ist. Manchmal ist die Production der secundären Mineralien ganz scharf in dem Rahmen der primären vor sich gegangen, so dass vollständige Pseudomorphosen der ersteren nach den letzteren vorliegen; manchmal sind die secundären Substanzen aber auch allenthalben regellos im Gestein umher verstreut, ja sogar nicht selten bald in diesem bald in jenem Gemengtheil, mit welchem sie genetisch in gar keiner Beziehung stehen, durch Einwanderung zum Absatz gelangt, oder es haben die betreffenden, bei der Zersetzung eines Gemengtheils gelieferten Substanzen auf angrenzende Mineralien reagirt und mit denselben wieder andere neue secundäre Producte erzeugt.

Die einzelnen Gemengtheile, welche ein Gestein zusammensetzen, sind bald ohne weiteres deutlich von einander zu unterscheiden und zu erkennen, bald so klein und innig mit einander verbunden, dass dem blosen Auge ihre Unterscheidung nicht mehr gelingt, und die Masse wie homogen erscheint. Im ersteren Falle ist das Gestein phaneromer, im letzteren, wo das Mikroskop den Mineralbestand feststellen muss, kryptomer. — Diejenigen Gemengtheile, welche mehr oder weniger scharf rundum selbständig auskrystallisirt sind, heissen automorph (oder idiomorph); solche, deren äussere Umgrenzung nicht durch die eigene Krystallisationskraft, sondern durch andere fremde Ursachen, namentlich den Contact mit bereits als fest vorhandenen nachbarlichen Individuen bedingt ist, xenomorph (oder allotriomorph).

In manchen Gesteinen erscheinen ausser den wesentlichen und accessorischen Gemengtheilen noch Mineralaggregate, welche in ihrer Beschaffenheit von der eigentlichen Gesteinsmasse abweichen und gleichfalls nicht zur wesentlichen Zusammensetzung derselben gehören. Man pflegt sie mit *Naumann* als accessorische

Bestandmassen zu begreifen. Dazu gehören, als direct an die Gesteinsmasse gebunden, in erster Linie die Concretionen und die Secretionen.

Die Concretionen sind zur Annahme kugeliger, linsen- oder nierenförmiger Gestalt hinneigende accessorische Aggregate, welche sich innerhalb eines Gesteins durch Zusammenziehung eines von ihm verschiedenen Materials um einen Punkt herum gebildet haben; die äussersten peripherischen Theile der Concretion müssen daher als zuletzt entstanden gelten. Die zusammensetzenden Mineralindividuen sind fast immer nur von einer und derselben Art, bald grösser und nach aussen hin als Krystallgruppen zum Theil frei ausgebildet, bald sehr klein und innig mit einander verwachsen.

Beispiele liefern concretionäre Krystallgruppen von Gyps, Eisenkies, Markasit in Thonen und Mergeln, Krystallgruppen von Kupferlasur in Sandsteinen, von Auripigment im Mergel, von Aragonit im Thon. Kugelige, sphäroïdische, traubige, linsenähnliche, nierenförmige Concretionen von feinkörniger, feinstrahliger oder scheinbar dichter Zusammensetzung bilden z. B. Gyps, Markasit, Faserbaryt in Mergeln und Thonen, Thoneisenstein im Sandstein, Brauneisen im Lehm, Mergelmassen (Septarien) im Thon, thoniger Sphärosiderit und Eisenkies im Schieferthon, Feuerstein in der Kreide, Menilit im Klebschiefer.

Die als Secretionsformen erscheinenden accessorischen Bestandmassen bildeten sich immer innerhalb eines präexistirenden hohlen Raumes, und zwar in der Weise, dass dieser Hohlraum gewisse wässerige Ausscheidungen aus dem umgebenden Gebirge oder fremde Infiltrationen aufnahm, aus denen die Mineralabsätze vor sich gingen. Indem so die den Wandungen des Hohlraums zunächst liegenden Theile der Secretion die zuerst abgelagerten waren, und überhaupt der ganze Bildungsprocess von aussen nach innen erfolgte, finden sich auch in der Mitte der Secretionen, in dem inneren Theil des oft nicht gänzlich ausgefüllten leeren Raumes vielfach ausgebildete Krystalle, deren Spitzen sich immer nach innen zu wenden, während die Enden der die Concretionen gruppenförmig zusammensetzenden Mineralien stets nach aussen gekehrt sind. Ein weiterer Unterschied zwischen beiden Gebilden beruht noch darin, dass an der Zusammensetzung einer Secretion vielfach mehre, oft zahlreiche Mineralarten oder Varietäten theilnehmen. Zweierlei Gestaltungen sind es, unter denen die Secretionen hauptsächlich als accessorische Bestandmassen der Gesteine auftreten: Mandeln oder Geoden, die Ausfüllung von rundlichen, Trümer oder Adern, diejenigen von spaltenartigen hohlen Räumen.

Was den Hohlraum anbelangt, in welchem Secretionen sich abgesetzt haben, so ist derselbe von verschiedener Entstehung. Die eigentlichen Mandeln sind Ausfüllungen von leeren Blasenräumen, welche sich innerhalb der noch zähen, im teigartigen Fluss gewesenen eruptiven Gesteinsmasse, durch die Expansion der sich in derselben entwickelnden Gase und Dämpfe ausbildeten. Die Blasenräume waren von sehr vielfacher Gestalt: bald kugel-, bald birnförmig, bald mandelförmig, bald nach einer Richtung langgestreckt schlauchförmig, bald an einem, bald an beiden Enden keilförmig zugeschärft, bald ganz unregelmässig gestaltet. Oft besteht die ganze Mandel nur aus einer mehr oder weniger dicken Kruste, welche die Innenwand des Blasenraums überzieht. Häufig sind die Mandeln, zumal die kleineren, gänzlich von einem einzigen Mineral gebildet, bestehen z. B. blos aus Quarz oder Chalcedon, aus Kalkspath oder aus Grünerde; nicht minder häufig erfüllen aber auch mehre Mineralien oder

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

mehre Varietäten desselben Minerals den ehemaligen Hohlraum, je nachdem das eintretende Gewässer seinen Gehalt an gelösten Mineralstoffen veränderte. Dann stellen die einzelnen verschiedenen Absätze meistens concentrische Lagen dar, die oft so fein sind, dass viele hundert mit einander abwechseln, wie dies in sehr schöner Ausbildung z. B. die Achatmandeln der Melaphyre mit ihren zahllosen zarten, verschieden gefärbten Streifen erweisen. Das Innere dieser Achatmandeln bietet sehr häufig eine Krystalldruse, auch eine Stalaktitendruse dar und die Krystalle, welche so in den Hohlraum der Mandel hineinragen, sind oft fast vollständig ausgebildet, so dass die Mandeln eine sehr ergiebige Fundstätte wohlkrystallisirter Mineralien gewähren. Die verbreitetsten Mandelmineralien sind Quarz, Amethyst, Chalcedon, Kalkspath, Braunspath, Grünerde, Delessit, verschiedenartige Zeolithe, Schwerspath. Manchmal lassen sich noch in den Mandeln die Wege nachweisen, durch welche die mineralbildenden Lösungen in das Innere gelangt sind; man nennt sie Infiltrationsöffnungen oder Einspritzlöcher. Die concentrischen Lagen biegen sich nämlich an solchen Punkten gegen den Rand der Mandel zu in der Richtung nach aussen hin um.

Die später zu Mandeln ausgefüllten Blasenräume sind hauptsächlich in den kieselsäurearmen Eruptivgesteinen zur Ausbildung gelangt. Die kieselsäurereicheren zeigen keine solche Neigung zur Bildung von Blasen, deren Ausfüllung hier überdies deshalb nicht so leicht erfolgte, weil die dazu nöthigen löslichen Substanzen aus solchen Gesteinen nur in weit geringerer Menge ausgezogen werden konnten. — Die rundlichen Hohlräume, in welchen sich Secretionen abgelagert haben, können aber auch in einigen Fällen dadurch entstanden sein, dass grössere Krystalle oder einzelne Partieen aus der Gesteinsmasse ausgewittert sind. Ein solcher Vorgang darf nicht mit der eigentlichen Mandelbildung verwechselt werden.

Die Trümer oder Adern sind plattenförmige Secretionen, von ebenen oder gekrümmten Flächen begrenzt; sie sind die auf wässerigem Wege abgesetzten Ausfüllungsmassen präexistirender Spalten und Risse und es wurden somit auch von ihnen, wie bereits erwähnt, die äussersten Theile zuerst, die innersten Theile zuletzt gebildet. Kalkspath, Braunspath, Chalcedon, Quarz, Hornstein treten am vorwaltendsten innerhalb der Gesteine in solchen Formen auf, welche in Entstehung und Ausbildung eine grosse Verwandtschaft mit den in grösseren Dimensionen als besondere Lagerstätten vorkommenden Mineral- und Erzgängen zeigen. Sehr häufig ist ganz analog wie in den Mandeln der innerste Theil nicht ausgefüllt worden, und man sieht dann deutlich, wie die krystallinischen, stengeligen und faserigen Individuen, welche meistens das Trum zusammensetzen, gegen die Mitte zu in freie Krystallenden auslaufen, wodurch immer eine mehr oder weniger scharf ausgeprägte Gliederung desselben in zwei correspondirende symmetrische Hälften hervortritt. Die Dimensionen dieser Bildungen wechseln in der Dicke von der des Papiers bis zu vielen Zollen; je grösser ihre Dünne ist, desto geringer ist gewöhnlich ihre Ausdehnung in die Länge. An ihren Enden keilen sie sich meistens aus. — Ausserdem kommen noch andere ganz ungestaltete Secretionsmassen vor, welche man unter dem Namen Nester begreift; sie sind innerhalb gänzlich unregelmässig geformter Hohlräume zum Absatz gelangt und entweder vollständig aus krystallinischen Bildungen zusammengesetzt oder als Drusen ausgebildet.

Das ganze Reich der Gesteine kann man, vorwiegend von geologischen Gesichtspunkten aus, eintheilen in: 1) Massige eruptive Erstarrungsgesteine; 2) krystallinische Schiefer; 3) Sedimentärgesteine krystallinischer (oder jetzt wenigstens nicht mehr klastischer) Beschaffenheit; 4) Klastische Gesteine. Diese Abtheilungen müssen nun, soweit sie als Lagerstätten von Mineralien in Betracht kommen, im Einzelnen etwas näher charakterisirt werden.

§ 169. **Massige eruptive Erstarrungsgesteine.** Das Material derselben ist im plastischen Zustande aus dem tieferen Erdinnern emporgestiegen: theils hat es blos unterirdische Spalten und unregelmässig gestaltete grössere Hohlräume

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

erfüllt, oder es ist auf Schichtungsfugen und geotektonischen Absonderungsklüften zwischen die krystallinischen Schiefer und sedimentären Massen eingedrungen, ohne aber jemals die Erdoberfläche zu erreichen (plutonische Gesteine, Tiefengesteine); theils ist es bei seiner Emporbewegung auf Spalten thatsächlich auch an die Oberfläche und hier zur Ablagerung gelangt (vulkanische Gesteine, Ergussgesteine). Das plutonische Gestein ist daher nur unterirdisch in der Tiefe, nicht auch oberirdisch erstarrt, das Material des vulkanischen sowohl oberirdisch, als auch in den der Erdoberfläche zunächst gelegenen Ergusskanälen unterirdisch verfestigt. Eine eigentliche Schichtung ist diesen Massen fremd. In der Art, wie das Erstarrungsgestein jetzt vorkommt, gibt sich die Natur der Lagerstätten zu erkennen, welche das Eruptivmagma unmittelbar vor seiner Festwerdung eingenommen hat. Man kann die Einzelfälle zusammenfassen in:

A. Endogene oder subterrane Lagerstätten; der Bildungsvorgang ist entweder Injection in vorgebildete Hohlräume oder Intrusion in Räume, welche sich das eingepresste Magma durch Auseinandertreiben des Gesteins selber schuf; hierher gehören: a) Gänge; b) Stöcke; c) Intrusivlager; d) Lakkolithen. Diese Lagerstätten gelangen nur dann zur Beobachtung, wenn sie durch Abtragung der Oberfläche, durch Erosion angeschnitten werden. — B. Exogene oder superficielle Lagerstätten; gebildet durch Ejection und Effusion des überquellenden Magmas an die Erdoberfläche: e) Decken; f) Ströme; g) Kuppen.

Gänge von eruptiven Felsarten sind Ausfüllungen von früheren, in irgend einem festen Gestein gerissenen Spalten; sie werden von beiden Gruppen, den plutonischen wie den vulkanischen Gliedern dargeboten und stellen sich als mehr oder weniger plattenförmige Parallelmassen dar, welche sowohl die geschichteten als die massigen Gesteine unter irgend einem Winkel, je nach dem Verlauf der ursprünglichen Spalte mit sog. durchgreifender Lagerung durchschneiden. Grössere Gänge senden häufig von ihrer Hauptmasse kleinere keilförmige Ausläufer in das Nebengestein aus, meist von geringer Mächtigkeit und kurzer Erstreckung (Apophysen, Ramificationen). Die an einem eruptiven Gesteinsgang sich betheiligenden Mineralien zeigen sehr häufig in der Nachbarschaft des Nebengesteins (an den Salbändern) kleinere Dimensionen als in der Gangmitte, was mit der an den Wänden der ehemaligen Spalte beschleunigten Abkühlung und Verfestigung zusammenhängt. Bisweilen ist auch zwischen Mitte und Salbändern desselben Ganges ein Gegensatz in dem Mineralgehalt beobachtet worden; so ist z. B. in Minettegängen der Olivin in der Mitte höchst spärlich und undeutlich krystallisirt, an den Rändern sehr reichlich und von scharfen Formen; Granitgänge erweisen sich gerade an den Salbändern in hohem Grade reich an dunkelm Glimmer oder accessorischem Turmalin oder Granat. Auch haben sich wohl an den Salbändern primäre Mineralien ausgebildet, die der Gangmitte überhaupt ganz fremd sind.

Eruptive Stöcke sind irreguläre Intrusivmassen von bedeutenden Dimensionen und meist rundlichem oder elliptischem Querschnitt, welche mit durchgreifender Lagerung das Nebengestein durchsetzen und wenn dasselbe ein geschichtetes ist, keinerlei conformes oder paralleles Angeschmiegtsein dieser Schichten um ihren eigenen Körper erkennen lassen, sondern ganz quer in solchem Gebirge stecken. Die seitlichen Begrenzungsflächen nach der Tiefe zu haben meist steile, oft senkrechte Lage; z. B. Granitstöcke im Thonschiefergebiet.

Intrusivlager heissen plattenförmige Massen von Eruptivgestein, welche (in vielen Fällen von einer grossen gang- oder stockartigen Eruptivmasse aus) zwischen die Schichten des Nebengesteins, wo der relativ geringste Widerstand obwaltete, eingepresst wurden, jetzt also innerhalb des letzteren als mehr oder weniger regelmässige

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

und parallele aber fremdartige Einbettungen erscheinen. Intrusive Lager von Diabas, Melaphyr u. s. w. in Sandsteinen, Kalksteinen, Schiefern.

Lakkolith ist die Bezeichnung für eine dem Ursprung nach mehr den Intrusivlagern als den Stöcken verwandte unterirdische Eruptivablagerung von brotlaibähnlicher, unten mehr flacher und wagerechter, oben sanft gewölbter, oder von glockenähnlicher Gestalt, welche zwischen vorhandene ältere Schichtgesteine auf Grund deren theilweiser Emporlüftung eingedrungen und dort zu einer solchen mehr oder weniger regelmässig eingelagerten Kuppel erstarrt ist. Im Gegensatz zu den Stöcken schmiegen sich die umgebenden Schichten conform um die seitliche und obere Begrenzung des Lakkolithen herum, der erst später durch Denudation aus dieser Hülle herausgeschält wurde. Granit.

Decken sind mächtige und ausgedehnt verbreitete Oberflächenablagerungen von ausgeflossenen, meist auf Gangspalten emporgeförderten Eruptivgesteinen, die nach allen Richtungen hin mehr oder weniger horizontal liegen, und einen allseitigen Zusammenhang besitzen oder besessen haben. Oft finden sich mehre, ja manchmal zahlreiche und weit ausgebreitete Effusivdecken übereinandergelagert, wodurch ein ganzes System derselben erscheint. In sedimentären Gebirgen können die Decken als eingeschaltete Parallelmassen erscheinen, wenn sie nach ihrem Erguss von jüngeren Ablagerungen bedeckt wurden. Basalt, Quarzporphyr, Melaphyr, Diabas.

Als Ströme bezeichnet man aufgelagerte Oberflächenergüsse von Eruptivgesteinen (Lava), die nach einer Dimension, nach der der Länge eine vorwaltende Ausbildung zeigen und dabei in dieser Richtung sich mit einer meist geringen Neigung abwärts erstrecken. Von einem vulkanischen Eruptionspunkt ausquellend hat sich die ursprünglich zähflüssige Gesteinsmasse stromartig auf dem geneigten Terrain fortbewegt, auf welchem sie alsdann zur Erstarrung gelangte. Lavaströme der Jetztzeit, ältere basaltische, trachytische, andesitische Ströme.

Eine Kuppe in der besonderen Bedeutung einer eigenthümlichen oberflächlichen Lagerungsform von Eruptivgestein, ist ein kegel- oder glockenförmiger Berg, welcher in isolirter Stellung über die nächste Umgebung aufragt und dabei ursprünglich annähernd in dieser Form durch eine an Ort und Stelle erfolgte Aufstauung des aus dem Erdinnern emporgedrungenen Eruptivmaterials entstanden ist. Manchmal erweisen sich die Kuppen auch als blosgelegte Ausfüllungsmassen von vulkanischen Eruptionscanälen, deren äussere, aus lockereren Materialien bestehende Umgebung zerstört und weggeführt worden ist. Die Ursprünglichkeit und Individualität solcher Kuppen wird durch den Verlauf der innerlichen säulenförmigen oder plattenförmigen Absonderung dargethan, welcher mit der äusseren Gestalt im Zusammenhange steht. Kuppen von Basalt, Phonolith, Trachyt.

Von krystallinischen Bildungen treten als wesentliche mineralische Gemengtheile der eruptiven Massengesteine vorzugsweise Silicate und Quarz auf. Unter den Silicaten spielen die Hauptrolle: monokliner Feldspath, trikline Feldspathe, monokline und rhombische Pyroxene, Amphibole, Biotit, Olivin, Nephelin und Leucit; spärlicher und wie auch schon die zuletzt genannten von mehr localer Bedeutung sind darunter: Muscovit, Sodalith, Haüyn, Melilith, Granat, Turmalin, Cordierit, Titanit. Andere nur untergeordnet, aber weit verbreitet vorkommende Mineralien sind zunächst: Apatit, Magnetit, Titaneisen, Eisenglanz, Zirkon, Rutil, Tridymit; schliesslich Glieder der Spinellgruppe, Metallsulfide (namentlich des Eisens). Carbonate, wie auch Epidot und Chlorit sind meistens secundär und treten überhaupt hier nicht als wesentliche Gemengtheile auf. Die hauptsächlichsten Gemengtheile der massigen Eruptivgesteine lassen sich auf Grund ihrer chemischen Natur und der Rolle, welche sie spielen, in folgender Weise gruppiren:

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

1) Feldspathige Silicate, thonerdereich, alkalihaltig, magnesiafrei, eisenfrei, relativ leicht, rein meist farblos: monokliner und trikliner Feldspath, Nephelin, Sodalith, Leucit, Melilith;
2) Magnesia und Eisen haltige Silicate, meist alkalifrei oder -arm, meist thonerdearm oder -frei, relativ schwer, meist gefärbt: Pyroxene, Amphibole, Biotit, Olivin;
3) Freie Kieselsäure: Quarz (und Tridymit);
4) Erzmineralien und accessorische Gemengtheile: Magnetit, Titaneisen, Eisenglanz, Apatit, Rutil, Zirkon, Titanit u. s. w.

Eine Hauptregel der Mineralcombination beruht darin, dass in Folge des chemischen Gegensatzes in erster Linie ein Glied der ersten Gruppe (oder mehre) neben einem Gliede (oder mehren) der zweiten Gruppe zur Ausbildung gelangen, wobei alsdann in spärlicherer Begleitung Glieder der vierten Gruppe sich einzustellen pflegen und das Glied der dritten Gruppe entweder vorhanden ist, oder fehlt. — Das Quantitätsverhältniss der einzelnen wesentlichen Gemengtheile ist innerhalb einer und derselben Eruptivmasse nicht constant, es findet ein allmähliches Zurücktreten, ja Verschwinden einzelner Hauptgemengtheile, auch ein Eintreten neuer statt. Leukokrat heisst ein Gestein, wenn in ihm die farblosen, melanokrat, wenn in ihm die dunkler gefärbten Gemengtheile vorwalten.

Hinsichtlich der gegenseitigen Association der vorwaltenden oder charakteristischen krystallinischen primären Gemengtheile der Erstarrungsgesteine lassen sich folgende Sätze aussprechen.

1) Der Quarz begleitet häufiger kieselsäurereiche als kieselsäurearme Feldspathe; am häufigsten ist er neben vorwiegendem Alkalifeldspath, Orthoklas, Mikroklin, Oligoklas, am seltensten neben vorwaltendem Anorthit; im Allgemeinen nimmt seine Menge ab mit dem abnehmenden Kieselsäuregehalt und dem zunehmenden Kalkgehalt des begleitenden vorwiegenden Feldspaths.
2) Quarz tritt nicht auf neben vorwaltendem Leucit oder Nephelin oder Melilith; hiervon ist bis jetzt eine Ausnahme nicht gefunden, so dass dies zur Zeit als ein wirkliches Gesetz gelten muss, — allerdings fast das einzige dieser Art.
3) Das Verhältniss von Orthoklas und Plagioklas ist derart, dass sich gewöhnlich neben dem vorwaltenden ersteren der letztere findet, während der vorwaltende letztere bisweilen (aber in mehr accessorischer Weise) von dem ersteren begleitet wird. Namentlich sind es kieselsäurereichere Plagioklase, neben denen der Orthoklas vorkommt. Die Association von Orthoklas mit Labradorit und Anorthit ist entschieden viel seltener.
4) Die in einem Gestein reichlich vorhandenen Plagioklase können untereinander verschieden zusammengesetzt sein.
5) Nephelin und Leucit kommen in den jüngeren Eruptivgesteinen häufig neben einander vor und zwar sowohl begleitet von monoklinem Kalifeldspath als von triklinem Kalknatronfeldspath. In den älteren Massengesteinen ist der Nephelin mehr mit Kalifeldspath als mit Plagioklas combinirt, in den jüngeren Nephelingesteinen gleichmässiger mit beiden. Der Leucit findet sich in den jüngeren Eruptivgesteinen durchgängig wohl mehr mit Plagioklas als mit Orthoklas combinirt. Aeltere Gesteine mit noch erhaltenem Leucit sind überhaupt zur Zeit nur spärlich bekannt.
6) Für den Melilith ist nur eine reichlichere Combination mit den feldspathähnlichen Silicaten (Nephelin und Leucit), nicht mit den eigentlichen Feldspathen, Orthoklas oder Plagioklas, bekannt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

7) In quarzhaltigen und quarzfreien Eruptivgesteinen mit vorwaltendem Orthoklas findet sich sowohl Amphibol als Pyroxen, doch ist wohl der erstere im Allgemeinen hier häufiger als der letztere.
8) Vorwaltender Plagioklas, neben welchem Quarz fehlt oder auftritt, ist sowohl mit Amphibol als mit Pyroxen combinirt; doch scheinen die kieselsäureärmeren Plagioklase eine grössere Neigung zu besitzen, sich mit Pyroxen als mit Amphibol zu vergesellschaften.
9) Monokline und rhombische Pyroxene können neben einander auftreten; so können auch thonerdehaltige Pyroxene von thonerdefreien begleitet werden.
10) Sowohl Amphibol als Pyroxen können in leucit- und nephelinhaltigen Gesteinen auftreten; doch ist Pyroxen ausserordentlich viel häufiger als Amphibol der Begleiter von Leucit und Nephelin.
11) Magnesiaglimmer fehlt weder den Gesteinen mit Kalifeldspath, noch denen mit Kalknatronfeldspath und ist gleichmässig in beiden verbreitet; im Allgemeinen scheint er mehr die Begleitschaft von Hornblende als die von Augit zu lieben.
12) Kaliglimmer findet sich fast nur in gleichmässig-körnigen, nicht-porphyrischen Massengesteinen und ist hier hauptsächlich an solche mit vorwaltendem Kalifeldspath und Quarz gebunden, den plagioklasreichen fast vollständig fremd.
13) Olivin ist neben Quarz äusserst selten, desgleichen neben vorwaltendem Orthoklas; neben Hornblende erscheint er ungemein spärlich, sehr häufig dagegen neben Augit.
14) Titanit scheint sich im Allgemeinen reichlicher in hornblende- als in augitführenden Gesteinen zu finden.
15) Magnetit kann jede andere Mineralcombination begleiten; er pflegt um so reichlicher zu sein, je basischer die letztere ist.
16) Apatit kann ebenfalls in jeder Mineralcombination auftreten, aber man kann nicht sagen, dass seine Quantität mit der Constitution des Gesteins zusammenhinge.
17) Auch Zirkon kann überall verbreitet sein, mehr scheint er an die kieselsäurereicheren als an die basischeren Gesteine gebunden.
18) Perowskit findet sich mit besonderer Vorliebe in der Begleitschaft von Melilith.

Die beiden hauptsächlichsten Gesichtspunkte, nach denen die Classification und Benennung der Eruptivgesteine vorgenommen wird, sind zunächt die mineralogische Zusammensetzung und die Structur, wozu dann noch als weiteres Eintheilungsprincip auf dem Gebiete der Effusivgesteine das geologische Alter tritt.

Was die makroskopische Structur betrifft, so ist vor allem der Gegensatz zwischen der gleichmässig-körnigen Structur einerseits, der porphyrischen und dichten anderseits hervorzuheben. Bei der ersteren besteht das Gestein aus lauter krystallinischen Individuen, die zumeist annähernd übereinstimmend gross und nach allen drei Richtungen ziemlich ebenmässig entwickelt sind; bei der porphyrischen Structur liegen in einer, dem blosen Auge unentwirrbaren sog. dichten Grundmasse grössere Mineralindividuen deutlich hervortretend ausgeschieden; die dichte (aphanitische) Structur ist vorhanden, wenn überhaupt sämmtliche Mineraltheilchen so klein und fein sind, dass das Gestein dem blosen Auge wie eine homogene Masse erscheint. Die vulkanischen Gesteine sind auch oft porös oder mandelsteinartig, ferner in Folge einer sehr raschen Erstarrung zum grössten Theil einer glasigen oder halbglasigen Ausbildung fähig (Obsidian, Bimsstein, Pechstein, Perlit) [1].

Die folgende Tabelle gibt eine allgemeine Uebersicht über die in den Eruptivgesteinen insbesondere vorkommenden Mineralcombinationen, welche für den vorliegenden Zweck genügen dürfte und keine erschöpfende Specialisirung beabsichtigt [2].

1) Auf weitere Auseinanderhaltungen, sowie auf eine Schilderung der mikroskopischen Structurverhältnisse der Eruptivgesteine kann hier nicht eingegangen werden.

2) Abgekürzt bedeutet: Q. Quarz. Orth. Orthoklas. Plag. Plagioklas. Neph. Nephelin. Leuc. Leucit, Mel. Melilith, Ho. Hornblende, Aug. Augit, rh. Pyr. rhombischer Pyroxen, Diall. Diallag. Gl. Glimmer, Ol. Olivin.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Charakteristische Mineralcombination		Gleichmässig-körnig (vorwieg. plutonisch)	Porphyrisch und glasig (vorwiegend vulkanisch)	
			ältere Reihe (vortertiär)	jüngere Reihe (tertiär u. nachtertiär)
mit vorwieg. Alkalifeldsp.	Orth. + Q. + Gl.	Granit	Quarzporphyr	Rhyolith
	Orth. + Ho., Aug., Gl.	Syenit	Orthoklasporphyr	Trachyt
	Orth. + Neph.	Eläolithsyenit	Eläol.-Syenitporph.	Phonolith
mit vorwieg. Kalknatron- oder Natronkalk-feldspath	Plag. + Ho. ± Q.	Diorit, Quarzd.	Hornbl.-Porphyrit	Andesit, Dacit
	Plag. + Gl. ± Q.		Glimm.-Porphyrit	
	Plag. + Aug. ± Q.	Diabas, Quarzd.	Diabasporphyrit	Augitandesit
	Plag. + Aug. + Ol.	Olivindiabas	Melaphyr	Plag.-Basalt
	Plag. + rh. Pyr.	Norit	Noritporphyrit	Hypersthenandesit
	Plag. + Diall. ± Ol.	Gabbro	—	Diallagandesit
	Plag. + Neph. + Aug.	Therolith	—	Neph.-Tephrit
	Plag. + Neph. + Ol. + Aug.	Therolith	—	Neph.-Basanit
	Plag. + Leuc. + Aug.	—	—	Leuc.-Tephrit
	Plag. + Leuc. + Ol. + Aug.	—	—	Leuc.-Basanit
	Plag. + Korund	Kyschtymit	—	—
ohne eigentlichen Feldspath	Neph. + Aug.	Ijolith	—	Nephelinit
	Neph. + Aug. + Ol.	—	—	Neph.-Basalt
	Leuc. + Aug.	—	—	Leucitit
	Leuc. + Aug. + Ol.	Missourit	—	Leuc.-Basalt
	Mel. + Aug. + Ol.	—	—	Melil.-Basalt
	Ol. + Pyr. (Ho.)	Olivingesteine (Peridotite)		
	Rhomb. + monokl. Pyr.	Pyroxengesteine (Websterit)		

Die genaue Betrachtung eines Eruptivgesteins lehrt, dass die dasselbe zusammensetzenden Mineralarten nicht alle gleichzeitig festgeworden sind, sondern gewisse derselben in einem früheren, andere in einem späteren Stadium der Erstarrung, wobei vielfach die Bildungsperioden der einzelnen ein gegenseitiges Uebergreifen offenbaren, die Krystallisation einer Mineralart schon anfing, bevor diejenige einer anderen ganz ihr Ende erreicht hatte. Gewisse Mineralien, welche hier auf Hohlräume oder Spalten beschränkt sind und gleichwohl nicht als secundäre Producte gelten können, sondern immerhin mit zu dem primären Gesteinsbestand gehören, scheinen weniger der eigentlichen Consolidation des eruptiven Magmas als vielmehr sublimatorischen Vorgängen während der letzten Phasen der Verfestigung ihre Entstehung zu verdanken; hierher gehören manche Gruppen von Tridymit, gewisse Vorkommnisse von Hypersthen, Sodalith, Pseudobrookit, von Hornblende (auf Poren von Vesuvlaven), wohl auch solche von Topasen und Granaten (vgl. S. 373).

§ 170. **Krystallinische Schiefer.** Die Abtheilung der krystallinischen Schiefer begreift ihrer Hauptsache nach jene sehr mächtigen krystallinischen und schieferig struirten Gesteinsmassen ohne eruptive Lagerung, welche, bis jetzt stets fossilfrei befunden, als die Unterlage der ältesten fossilführenden, klastisch-sedimentären Formationen erscheinen, für welche sich aber nicht direct durch örtlichen Zusammenhang und Uebergang nachweisen lässt, dass sie blose

Structurmodalitäten oder durch secundäre Einwirkungen hervorgebrachte Veränderungsproducte von massigen Eruptivgesteinen sind. Sie erscheinen in einer Weise abgelagert, welche von der echten Schichtung der Sedimentärgesteine in keiner Hinsicht unterschieden werden kann. Der Mineralbestand besitzt im Allgemeinen sehr grosse Aehnlichkeit mit dem der Eruptivgesteine; hier wie dort herrschen monokline und trikline Feldspathe, Quarz, Glimmer, Hornblenden, Pyroxene, begleitet von Eisenerzen, Apatit, Titanit u. s. w. Doch deckt sich der Mineralgehalt keineswegs allenthalben, wie denn z. B. Nephelin, Leucit, Melilith, Haüyn, Tridymit, braune basaltische Hornblende von dem Bestand der krystallinischen Schiefer ausgeschlossen erscheinen, während z. B. die in den letzteren so verbreiteten Mineralien Chlorit, Talk, Paragonit, Sericit, Epidot, Zoisit, rhombischer Amphibol, Cyanit wenigstens nicht zu dem primären Bestand der Erstarrungsgesteine gehören, hingegen in den krystallinischen Schiefern als mit den anderen Gemengtheilen aequivalent auftreten. Glimmerige Mineralien spielen hier eine viel grössere Rolle als dort. Auch sind die Verhältnisse der Mineralcombination vielfach ganz andere. Eine fernere Eigenthümlichkeit beruht in dem überaus häufigen Auftreten von schicht- und namentlich linsenförmigen Einlagerungen untergeordneter Gesteinsmassen in denjenigen krystallinischen Schiefern, welche wie Gneiss, Glimmerschiefer, Phyllit die Hauptrolle spielen; hierher gehören die Lager oder lenticulären Vorkommnisse von Quarzit, körnigem Kalkstein und Dolomit, Amphibolit, Eklogit, Olivinfels, Gabbro, Granatgestein, Chloritschiefer, Magnetit, sowie viele andere seltenere. Diese genetisch untrennbaren Einlagerungen, welche wie grosse Kerne von den umgebenden Schichten häufig augenähnlich umschmiegt werden, zeigen in ihrer linsenartigen Erstreckung einen Parallelismus mit der Schieferigkeit der letzteren, sowie mit ihrem Wechsel im Mineralgehalt, sind auch vielfach durch Uebergänge mit ihnen verbunden.

Zu diesen krystallinischen Schiefern gehören Gesteine mit vorwiegendem Feldspath und Quarz (Gneisse, Granulit), solche mit vorwaltendem Glimmer, Chlorit, Talk (Glimmerschiefer, Phyllit, Chloritschiefer, Topfstein, Talkschiefer), Amphibolgesteine (Strahlsteinschiefer, Hornblendeschiefer, Glaukophanschiefer), Pyroxengesteine, Eklogit, Epidotgesteine, Granatfels, ein Theil der Gabbros, Olivingesteine, Serpentine, Quarzite, körnige Kalke und Dolomite; Erzgesteine, namentlich von Eisenglanz und Magnetit; Graphitschiefer.

§ 171. **Krystallinische Sedimentgesteine.** Dieselben stellen einen Theil der Materialien zum Aufbau der sedimentären Formationen dar, befinden sich aber nicht, wie die Conglomerate, Breccien, Tuffe, Sandsteine, in einem augenscheinlich klastischen Zustande, wenn sie auch z. Th. ihre jetzige krystallinische Beschaffenheit erst im Laufe der Zeit durch Umbildung eines ursprünglich klastischen Detritus erlangt haben sollten. Die meisten sind zur Hauptsache in dem Medium des Wassers entstanden, sei es als directer chemischer Absatz aus Lösungen (z. B. Steinsalz, Gyps), oder als mechanisches Sediment, welches später Umkrystallisirung erfuhr (z. B. Quarzit, Kalkstein). Daher ist ihre typische Ablagerungsform auch die einer Schicht, welche in erkennbarer Weise durch periodisch übereinandergelagerten Bodensatz gebildet wurde.

Hierher gehören als wesentliche Glieder die Gesteine Steinsalz, Flussspath, Kryolith, Kalkstein mit seinen vielen Varietäten (wie körniger, dichter, oolithischer

Kalkstein, Kalktuff, Kreide u. s. w.), Dolomit, Anhydrit, Gyps, Phosphorit, Quarzit, Kieselschiefer, Hornstein u. a. kieselige Massen, Erzgesteine, wie Rotheisen, Brauneisen, Eisenoolith, Bohnerz, Eisenspath, Magneteisen. Als Anhang die zwar nicht krystallinischen, aber auch nicht klastischen Kohlengesteine, wie Anthracit, Steinkohle, Braunkohle, Torf, auch Brandschiefer.

§ 172. **Klastische Gesteine.** Sie bestehen vorwiegend aus Material, welches von der Zertrümmerung bereits präexistirender fester Gesteine oder von der Zerkleinerung des Ergussmaterials vulkanischer Eruptionen herstammt. Die in diesen Gesteinen vorkommenden Mineralien befinden sich daher nicht mehr auf primärer sondern auf secundärer Lagerstätte. Das Medium, in welchem der fragmentare Detritus zusammengeführt wurde und dessen Sedimentirung erfolgte, ist meist das Wasser, bisweilen die Luft.

Hauptsächliche Vertreter sind als Glieder der Sedimentärformationen die Conglomerate, Breccien und Tuffe der Eruptivgesteine (z. B. von Granit, Porphyr, Diabas, Trachyt, Bimsstein, Basalt, der gröbere und feinere Vulkanschutt), Breccien und Conglomerate von Quarzit, Kalkstein, Feuerstein; polygene, d. h. aus sehr abweichendem klastischem Gesteinsmaterial bestehende Conglomerate; ferner namentlich Sandsteine, Sande, Grauwacke, Thonschiefer, Schieferthon, Kaolin, Thon, Lehm, Löss, Mergel.

§ 173. **Besondere Lagerstätten der Mineralien.** Dieselben sind nach Form, Ausdehnung, Mineralgehalt und Entstehung sehr verschiedenartig und lassen sich zur Hauptsache unter folgenden Kategorieen unterbringen:

1. Lager. Parallelmassen von abweichendem Mineralgehalt, welche in der Regel in den Verband eines geschichteten Gesteins auf übereinstimmende Weise mit gleicher Richtung der Ausdehnung eingeschaltet, auch oberflächlich ausgebreitet sind. Besitzen dieselben grössere Dimensionen, so fällt ihr Material ebenfalls schon unter den Begriff des Gesteins. Die Lager werden bald lediglich aus nichtmetallischen Substanzen zusammengesetzt, z. B. Kalkstein-, Gyps-, Quarzitlager, bald fast gänzlich aus metallhaltigen Substanzen, z. B. Lager von Brauneisenstein, Sphärosiderit, Magnetit, Kiesen, bald aus einer Mengung beider, z. B. Gold oder Platin führende Sandlager. Die beiden letzteren Gruppen heissen auch Erzlager, sofern unter Erz diejenigen Mineralien verstanden werden, welche vermöge ihrer Natur und ihres Vorkommens eine technische Darstellung von nützlichen schweren Metallen mit Vortheil gestatten[1]).

Lager, welche aus einem technisch nutzbaren Material bestehen, heissen auch wohl Flötze, z. B. Kalkstein-, Steinkohlen-, Sphärosiderit-, Kupferschieferflötz. — Die Bildung der Lager scheint im Allgemeinen, abgesehen von den besonderen Fällen, wo in ihnen Umwandlungsproducte vorliegen, unter ähnlichen Verhältnissen erfolgt zu sein, unter denen auch die darunter und darüber befindlichen Schichten gebildet wurden. Den typischen Lagern fehlt die bei den Gängen vorkommende symmetrische Zusammensetzung gänzlich.

1) Ueber Erzlagerstätten im Allgemeinen s. *B. v. Cotta*, Die Lehre von d. Erzlagerst. 2. Aufl. 2 Bde. Freiberg 1859—61; *Grimm*, Die Lagerstätten d. nutzbaren Mineralien, Prag 1869; *v. Groddeck*, Die Lehre von d. Lagerstätten d. Erze, Leipzig 1879; *Sandberger*, Untersuchungen über Erzgänge, Wiesbaden, 1. Heft 1882, 2. Heft 1885; *Stelzner*, Zeitschr. d. deutschen geolog. Gesellsch. XXXI. 1879. 644; Die Lateralsecretionstheorie und ihre Bedeutung für das Přibramer Ganggebiet, Freiberg 1889; *R. Beck*, Lehre von den Erzlagerstätten, Berlin 1901.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

2. Mineralgänge, Erzgänge. Spalten entstehen in der Erdkruste durch Berstung, theils in Folge von Dislocationen, gebirgsbildenden Faltungen, Stauungen und Verschiebungen, Aufbrüchen und Einstürzen, zum geringeren Theil auch durch volumvermindernde Contraction bei der Verfestigung (Abkühlung und Austrocknung). Von den mit eruptiver Gesteinsmasse erfüllten Spalten, den Gesteinsgängen war schon S. 347 die Rede. In anderen Gebirgsspalten hat ein Absatz von Mineralien stattgefunden, deren Aggregation nicht unter den Begriff des Gesteins fällt. Dies sind die sog. Mineralgänge, und ihr Ausfüllungsmaterial besteht, ähnlich wie bei den Lagern, bald aus nicht-metallischen Verbindungen, z. B. Gänge von Kalkspath, Quarz, Schwerspath, Flussspath (eigentliche Mineralgänge, taube Gänge im bergmännischen Sinne), bald betheiligen sich an ihm Mineralien von der Natur eines Erzes in mehr oder minderem Maasse (Erzgänge). Letztere verdienen auch wegen ihrer mehr abwechselnden Zusammensetzung besondere Hervorhebung.

Die Körper der Erzgänge sind sehr häufig als regelmässige Parallelmassen ausgebildet, verlaufen aber auch, je nach den Contouren und Dimensionen der früheren Spalten, in minder vollkommen geformte Massen, keilen sich nach den Seiten aus, wechseln in der Dicke ab, entsenden Verästelungen (Trümer). Salband ist der alte bergmännische Name für die Grenzfläche des Ganges gegen sein Nebengestein. Gewisse Erzgänge bestehen lediglich aus Erzen, werden z. B. ganz von Eisenspath, Brauneisen erfüllt; bei den anderen gemengten heisst das Material der nicht-metallhaltigen Mineralien im Gegensatz zu den Erztheilen die Gangart, z. B. Quarz, Hornstein, Flussspath, Kalkspath, Braunspath, Schwerspath, auch Stücke des Nebengesteins.

Alle Längendimensionen sind möglich, von kurzen Schnürchen bis zu meilenweit anhaltenden Gängen, ebenso alle Verhältnisse der Weite (Mächtigkeit), von den nur papierdicken goldführenden Tellurgängen des Barbarabaues bei Offenbánya bis zu 50 M. und darüber mächtigen Gängen. Die längste Gangspalte, die den Oberharz fast o. w. durchsetzt und mit verschiedenen Namen belegt wird (Rosenhöfer, Rosenbüscher, Schulthaler Gang), lässt sich nach *v. Groddeck* auf 16,35 Km streichender Länge verfolgen. — Die Gangspalten verlaufen bisweilen gerade längs der Grenze zweier verschiedener Felsarten, häufiger quer gegen die Schichtung als parallel derselben, vielfach treten sie ohne Unterbrechung aus einem Gestein in das angrenzende hinüber.

Wie in den Gesteinen so zeigen sich auch in den Erzgängen gewisse Mineralien vorzugsweise häufig mit einander verbunden, z. B. Zinkblende und Bleiglanz, Kupferkies und Eisenkies, Kobalt- und Nickelerze, Zinnstein und Wolframerze, Schwerspath und Flussspath, Kalkspath und Quarz. Im Allgemeinen offenbaren die Erzgänge eine viel manchfaltigere Mineralzusammensetzung als die Erzlager, wenn auch in ihnen die Silicate nur in verschwindender Menge aufzutreten pflegen; letzteres scheint daher zu kommen, dass bei der Erfüllung der Erzgangspalten Bicarbonate und freie Kohlensäure eine grosse Rolle spielten, welche etwa hineingelangende silicatische Lösungen unter Abscheidung von Quarz zersetzten und so deren eigenen Absatz verhinderten.

Bald erscheinen die Erze als kleine rundliche oder eckige Partieen ohne regelmässige Anordnung mit der Gangart verwachsen oder in deren Masse, manchmal in grosser Feinheit, eingesprengt, bald lässt der Gang als solcher eine bandartige, symmetrisch-lagenförmige Zusammensetzung erkennen, indem die einzelnen Gangmineralien und Erzarten verschiedene getrennte Lagen bilden, die den ehemaligen Spaltenwänden parallel laufen und sich von diesen aus nach der Mitte zu auf beiden Seiten in gleicher Weise wiederholen, so dass im normalsten Falle

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

dieselben Lagen in gleicher Reihenfolge zweimal im Gange vorhanden sind, jedoch mit Ausnahme der mittelsten Lage, welche bei einem Geschlossensein für sich allein besteht. Wo diese Lagen Krystallbildungen zeigen, richten sich die Enden der Krystalle in der Regel von beiden Seiten des Ganges gegen seine Mitte.

Fig. 328 zeigt eine solche Ausbildung des Drei Prinzen Spat-Ganges bei Freiberg nach *v. Weissenbach*; darin bedeuten: *a* und *d* Zinkblende, *b* Quarz, *c* und *h* Flussspath, *e* und *g* Schwerspath, *f* und *i* Eisenkies, *k* Kalkspath, *l* eine innere Druse.

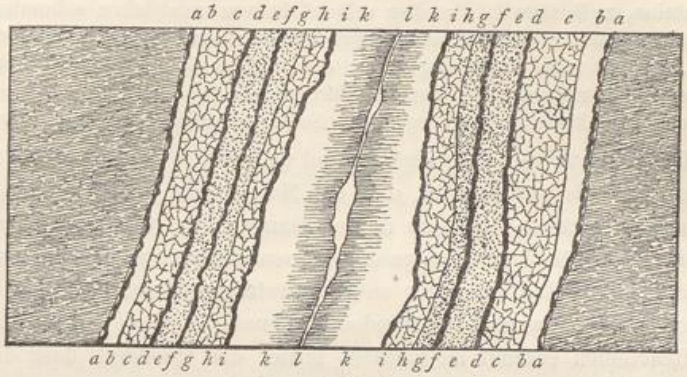


Fig. 328.

Diese Erscheinungen verweisen auf eine successive Erfüllung des Gangraumes, sowie auf eine gleichzeitige Bildung der correspondirenden Lagen, welche die jedesmalige Wand der durch fortschreitenden Absatz sich verengenden Spalte überdeckten. Abweichungen von dieser symmetrischen Zusammensetzung können bisweilen dadurch erklärt werden, dass ein wiederholtes späteres Aufreissen von Klüften innerhalb des Gangkörpers selbst und eine nachträgliche Ausfüllung derselben stattfand.

Drusig ist die Beschaffenheit der Erzgänge, wenn sie von zahlreichen unregelmässigen, meist eckigen und auf ihren Wänden mit Krystallisationen bedeckten Hohlräumen durchzogen sind, die sich namentlich gegen die Mitte hin in grösserer Ausdehnung finden. Bruchstücke des Nebengesteins, die oft recht reichlich in der Gangmasse liegen, sind in gewissen Fällen von concentrischen und zugleich radialkrystallinischen Lagen verschiedener Erz- und Gangarten umwachsen und breccienartig mit einander verbunden. Die den fremden fragmentaren Kern umhüllenden Mineralsubstanzen zeigen ähnliche Aufeinanderfolge wie bei dem Uebereinanderkrystallisiren in den symmetrischen Lagencomplexen oder in den Drusenräumen.

Uebrigens ist die Vertheilung der Erze in den Gängen vielfach keine sonderlich regelmässige, sondern oft recht ungleich, so dass darnach in demselben Gang arme oder taube Regionen oder Mittel und anderseits Erzmittel, Erzfälle, Veredelungen, Adel unterschieden werden.

Wenn ein Gang aus einem Nebengestein in ein benachbartes anderes ohne Unterbrechung fortsetzt, so findet trotzdem in vielen Fällen keine Veränderung in der Natur der Gangart und der Erze statt; anderseits erweisen sich aber auch wohl die letzteren von der Beschaffenheit des Nebengesteins abhängig, wie z. B. in Cornwall derselbe Gang innerhalb des Thonschiefers vorwiegend Kupfererze, innerhalb des Granits hauptsächlich Zinnerze führt, die goldhaltigen Quarzgänge der Trachytgesteine Siebenbürgens beim Eintritt in abweichendes Nebengestein ihr Gold einbüssen. In Cumberland und Derbyshire sind die Bleierzgänge, wo sie den Kohlenkalk durchsetzen, mächtig und

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

reich, während sie in den mit den Kalklagern abwechselnden eruptiven Melaphyrbänken nur in der Form schwacher unbauwürdiger Trümer erscheinen. — Contactgänge heissen diejenigen, welche, vielfach als Verwerfungsspalten charakterisirt, gerade auf der Grenze zweier verschiedener Gesteinsarten verlaufen, ohne sich in eine derselben hineinzuerstrecken; z. B. der Bleierzgang von Haus Baden bei Badenweiler auf der Grenze von Buntsandstein und Granit, viele Rotheisensteingänge des Erzgebirges an der Grenze von Granit und Glimmerschiefer. — Gangzug ist eine Gruppe von mehren nahe beisammen gelegenen und mehr oder weniger parallel gerichteten Gängen.

Von einem Stockwerk wird geredet, wenn eine stockförmige Ablagerung eines Massengesteins, z. B. Granit, Porphyr sehr dicht von reichlichen schmalen Erzgängen durchschwärmt und ausserdem auch längs derselben zu beiden Seiten selbst mit Erz erfüllt ist, ferner noch unabhängig von den steilen Gängen lagerförmige erzhaltige Zonen übereinanderfolgend das Gestein durchziehen (zinnerzführende Stockwerke von Geier, Zinnwald, Altenberg im Erzgebirge, Schlaggenwald in Böhmen, Cornwall).

Was die Bildung der Mineralgänge und namentlich der Erzgänge anbetrifft, so gilt es zur Zeit als unbestritten, dass das Material der meisten aus wässerigen Solutionen abgesetzt ist, die sich in den Gangspalten bewegten. Dafür spricht einerseits die erwähnte lagenförmige Zusammensetzung, anderseits der Nachweis, dass eine sehr grosse Zahl der hier entgegentretenden Mineralien in der That fähig ist, künstlich unter gewissen Umständen auf nassem Wege unter Zuhülfenahme geeigneter Reactionen erzeugt zu werden; ferner der Umstand, dass die Annahme anderweitiger Bildungsvorgänge auf grosse Unwahrscheinlichkeiten stösst. Verdunstung des Wassers, Entweichen der die Löslichkeit bedingenden Kohlensäure, Reactionen beim Zusammentreffen verschiedener Solutionen — bei den Schwefelmetallen z. B. die Einwirkung schwefelwasserstoffhaltiger Gewässer — haben insbesondere die Abscheidung bewirkt (vgl. auch § 175).

Der Absatz der Erze in den Gängen hängt wesentlich davon ab, dass lösliche metallische Verbindungen durch Gewässer in sie geführt und darin als schwererlösliche abgeschieden werden. Die schwerstlöslichen Verbindungen der Metalle, Metalloxyde, Metalloxydhydrate, gewisse Metallsalze, finden sich in den Erzen. Das allgemeine chemische Gesetz, dass stets die schwerstlöslichen Verbindungen entstehen, wenn verschiedene Lösungen auf einander reagiren, kommt daher auch in den Gängen zur Geltung, und dadurch wird wieder umgekehrt die Bildung der Erze auf nassem Wege höchst wahrscheinlich gemacht. Leichtlösliche metallische Verbindungen, welche in die Spalten gelangen, sind wie *G. Bischof* mit Recht sagt, dort für die Erzbildung verloren, wenn sie nicht mit anderen Substanzen zusammentreffen und mit ihnen schwerlösliche Verbindungen bilden.

Bezüglich der Frage über die Herkunft der mit Mineralsubstanzen beladenen Gewässer nimmt die sog. Infiltrationstheorie aufsteigende, zum Theil mit hoher Temperatur versehene Mineralquellen in Anspruch, während nach der sog. Lateralsecretionstheorie die in die Spalten geführten Lösungen aus dem Nebengestein selbst stammen und als Sickerwasser ihren Weg von oben nach unten genommen haben. Die erstere Ansicht stützt sich darauf, dass die Stoffe, welche sich an den Mineralien der Gangspalten betheiligen, fast sämmtlich auch in dem Wasser aufsteigender Quellen nachgewiesen wurden. Gegen diese Infiltrationstheorie wird geltend gemacht, dass, soweit unsere Erfahrungen reichen, Quellen, die in Spalten aufsteigen, an den Wänden derselben überhaupt keine Absätze irgend welcher Art zu erzeugen vermögen, sondern solche nur an der Erdoberfläche abscheiden: seit undenklichen Zeiten sieht man an denselben Punkten der Oberfläche vor wie nach Mineralquellen

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

in ungeschwächter Stärke ausfliessen, während doch, wenn auch nur ein unendlich kleiner Bruchtheil von den im Wasser gelösten Stoffen in dem Quellenspalt selbst zum Absatz gekommen wäre, dieser sich durch Ausfüllung längst hätte verstopfen müssen. — Für die zweite, von *G. Bischof* nachdrücklich vertheidigte Ansicht von der Lateralsecretion ist späterhin namentlich *Sandberger* eingetreten; nach ihm enthalten Glimmerarten, Hornblenden, Augite, Olivine zahlreicher krystallinischer Gesteine in der That kleine Mengen von Kupfer, Blei, Zinn, Kobalt, Nickel, Wismut, Silber, Arsen, Antimon, und steht dieser Gehalt bisweilen mit der Erzführung der in solchen Felsarten aufsetzenden Gänge im Einklang. Wenn die schweren Metalle aus ihrer Heimat auswandern und sich in den Spalten fixiren und anreichern sollen, so müssen sie in Verbindungen, die im Wasser löslich sind, übergeführt werden. Dass solche Lateralsecretionen in den Gesteinen, welche selbst dazu das Material bieten, von statten gehen, zeigen die den dichten Kalkstein durchziehenden Kalkspathadern, die Trümer von Quarz in Thonschiefern und krystallinischen Schiefern, die Füllung der Mandelhohlräume mit verschiedenen Mineralien (Achat, Quarz, Grünerde, Carbonate), die Absätze von Zeolithen in den Blasenräumen der Basalte und Phonolithe. *Sandberger* hob hervor, dass in dem porphyrartigen Granit des Schwarzwalds, dessen schwer verwitterbarer Feldspath blos minimale Mengen von Baryt enthält, nur sehr wenige Schwerspathgänge aufsetzen, dass letztere überall vorkommen, wo der nicht porphyrartige Granit, dessen leichter angreifbarer Feldspath 0,22% Baryt führt, verwittert ist, dass aber die mächtigsten Schwerspathgänge an den Gneiss gebunden sind, in dessen Feldspath gar 0,81% Baryt nachgewiesen wurde. — Freilich hält es manchmal sehr schwer, den Erzreichthum zahlreicher benachbarter Gänge lediglich und direct aus dem umgebenden Nebengestein abzuleiten, welches vielleicht nur auf geringe Erstreckung hin sich in einem thatsächlich zersetzten Zustande befindet. Nach *Stelzner*, welcher auch die Richtigkeit der von *Sandberger* für den Nachweis der Metalle in den Silicaten angewandten Methoden bestreitet, liesse sich die übereinstimmende Metallführung der przibramer Gänge und ihrer Nebengesteine ebenso gut durch eine Einwanderung der Metalle in die letzteren von den Gangspalten aus erklären, wie durch eine Auswanderung der Metalle aus den Nebengesteinen in die Gangspalten. Für die freiberger Blei- und Silbergänge stellt er eine Entstehung durch blose Lateralsecretion durchaus in Abrede (Zeitschr. f. prakt. Geol. 1896. 377). Uebrigens wird niemals eine einzelne Theorie auf die sämmtlichen Erzgänge Anwendung finden können.

Die früheren Annahmen, dass das Material der Erzgänge auf dem Wege der gasigen Sublimation in den Spalten zum Absatz gelangt (Sublimationstheorie) oder darin als geschmolzene Masse aufgestiegen sei (Injectionstheorie), besitzen zur Zeit für die verbreitetsten und typischsten Vorkommnisse keine Geltung mehr, indem die Natur vieler Erze und namentlich die der Gangarten (wie Quarz, Kalkspath, Flussspath, Schwerspath) einer solchen Bildungsweise widerspricht.

Auf den Erzgängen ist die Paragenesis, das Nebeneinandervorkommen der einzelnen Gang- und Erzarten, sowie die gegenseitige Succession derselben zwar im Allgemeinen höchst abweichend, aber örtlich zeigt sich auf den verschiedenen Gängen einer und derselben Gegend doch wohl in dieser Hinsicht eine regelmässige Constanz, ein Verhältniss, welches *Breithaupt* als Erzformation bezeichnete. Beispiele solcher constanten Paragenesis und Succession sind nach ihm:

Quarz, Eisenspath, Bleiglanz, Bournonit, Kupferkies. Neudorf am Harz.
Quarz, Bleiglanz, Zinkblende, Eisenspath, Kupferkies. Freiberg i. S.
Quarz, Bleiglanz, Braunspath, Bleiglanz, ged. Silber. Freiberg i. S.
Quarz, Speiskobalt, Flussspath, Silberglanz, Rothgültigerz. Schneeberg.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Quarz, Bleiglanz, Flussspath, Polybasit, drahtförmiges Silber, Kalkspath. Himmelfahrt bei Freiberg.
Quarz, Zinnstein, Topas, Apatit, Flussspath. Ehrenfriedersdorf, Erzgebirge.
Quarz, Eisenglanz, Flussspath, Eisenspath. Altenberg, Erzgebirge.
Quarz, Antimonglanz, Baryt. Felsöbánya, Ungarn.
Quarz, Tellurglanz, Zinkblende, Quarz. Nágyag, Siebenbürgen.
Eisenkies, Bleiglanz, Zinkblende, Braunspath. Rodna, Siebenbürgen.
Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Eisenkies, Amethyst, Gold. Porkura, Siebenb.
Quarz, Zinkblende, Rothgültigerz, Markasit. Schemnitz, Ungarn.
Quarz, Eisenspath, Bleiglanz, Fahlerz, Zinkblende, Kupferkies, Kalkspath. Przibram.
Flussspath, Schwerspath, Kupferkies, Ankerit. Freiberg i. S.

Das Material der Erzgänge fällt im Laufe der Zeit in den der Erdoberfläche genäherten Theilen manchen Veränderungen anheim; in Folge der Einwirkung der Atmosphärilien, der kohlensäurehaltigen Tagewasser, des Sauerstoffzutritts findet hier eine Umwandlung insbesondere der Schwefel- und Arsenmetalle statt, welche zur Bildung von entsprechenden Metalloxyden, Oxydhydraten, zahlreichen, oft wasserhaltigen Metallsalzen führt. Daneben gehen seltener, wohl unter Mithülfe organischer Substanzen, auch Reductionen zu gediegenen Metallen von statten. Diese Veränderungen greifen oft in ansehnliche Tiefe, bis zu 50, 100 und mehr Mtr. hinab; unterhalb dieser Zone findet sich dann, durch Uebergänge verbunden, die Region der geschwefelten Erze, in welchen in den meisten Fällen der primäre Erzabsatz zu erblicken ist.

Da auf so vielen Gängen von Kupfer-, Blei-, Silber-, Golderzen diese Erze von eisenhaltigen Kiesen (Eisenkies, Kupferkies, Magnetkies, Arsenkies) oder Eisenspath begleitet werden und diese letzteren Mineralien bei der von der Oberfläche her wirkenden Veränderung Brauneisen in grosser Menge liefern, so entsteht die Erscheinung, dass reiche Erzgänge am Ausgehenden einen »eisernen Hut« besitzen, in welchem sich als Umwandlungsproducte der anderen jeweiligen Erze auch wohl ged. Kupfer, Rothkupfer, Malachit, Kupferlasur, Weissblei, Bleivitriol, ged. Silber, Chlorsilber, ged. Gold finden.

3. An die Mineral- und Erzgänge schliessen sich zunächst als besondere Lagerstätten anderweitige gänzliche oder theilweise Ausfüllungen von nicht gerade spaltenförmigen, sondern mehr rundlichen und auch nicht so ausgedehnten Höhlungen, welche bald selbst den Charakter von Klüften, bald denjenigen von Auswaschungsräumen, von blasigen Auftreibungen des Gesteins oder sonstigen Lücken in demselben besitzen.

Bei Raibl in Kärnten liegen z. B. meist in der Nähe von Klüften grosse unregelmässige Höhlungen im Dolomit, erfüllt mit Bleiglanz, Schalenblende, Eisenkies und Dolomit, in concentrisch krustenförmigen, den Hohlraumswänden parallelen Absätzen. Die Bohnerzablagerungen füllen vielfach ausgedehnte trichter- oder kesselförmige Weitungen im Kalkstein aus. — Hierher gehören ferner als partielle Füllungen die Tropfstein- oder Stalaktitenbildungen von kohlensaurem Kalk in den Cavitäten der Kalksteingebirge, die Austapezierungen von Höhlungen im Gneiss und Granit mit grösseren Quarz- und Feldspathindividuen (sog. Krystallkeller), die Absätze von Zeolithen, Kalkspath, Aragonit, verschiedenen Quarzarten in den umfangreicheren Blasenräumen der Eruptivgesteine. Viele dieser Bildungen leiten anderseits hinüber zu den S. 345 als accessorische Bestandmassen der Felsarten angeführten Nestern, Trümern, Mandeln.

4. Concentrationen. In diesen und den folgenden Vorkommnissen sind weitere Arten von besonderen Minerallagerstätten zu erblicken. — Nicht selten

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

geschieht es, dass Mineralien, welche als primäre accessorische Gemengtheile in Gesteinen spärlich vertheilt sind, örtlich darin in solcher Anreicherung concentrirt auftreten, dass sie die Hauptmasse darstellen. Handelt es sich dabei um Erzpartikel, so kann local eine förmliche Erzlagerstätte hervorgehen. Diesen Charakter besitzen z. B. die Ansammlungen von Magneteisen in Syeniten, Gabbros und Noriten, die bald fast ganz rein, bald noch mit anderen Mineralien vermengt sind. Eine verwandte, in ganz kleinem Maassstab erfolgte Bildung liegt in den S. 345 erwähnten Concretionen vor. In allen diesen Fällen ist — im Gegensatz zu den folgenden Imprägnationen — die Concentration von Anfang an mit der Bildung des Gesteins genetisch verbunden gewesen.

5. Als Imprägnation bezeichnet man die Erscheinung, dass in die Masse eines vorhandenen Gesteins eine zugeführte metallische oder nicht metallische Mineralart derart nachträglich eingedrungen ist, dass sie die Poren und feinen Zwischenräume erfüllt, die Gesteinmasse gewissermassen durchtränkt hat. Die Räume, über welche sich solche Imprägnationen hin erstrecken, sind verschieden begrenzt, bald haben sie eine schichtenförmige Gestalt, bald sind es ganz unregelmässige wolkige Partieen, an deren Grenze dann auch die Imprägnation allmählich sich verschwächt und ihr Ende erreicht.

Sandstein, Thon, Mergel sind so z. B. mit Gyps, Baryt u. s. w. erfüllt, ältere Tuffablagerungen mit Kieselsäure oder Opal durchtränkt. Dieselben Mineralien, welche als Imprägnationen auftreten, erscheinen auch öfters in demselben Gestein als vereinzelte Aggregate in der Form von accessorischen Bestandmassen. — Substanzen, die nachweisbar im Gestein selbst durch Zersetzung entstanden sind und sich innerhalb desselben angesiedelt haben, z. B. die secundären Kalkspaththeilchen oder Chloritstäubchen in den umgewandelten Diabasen oder Melaphyren, wird man nicht füglich zu den imprägnirenden zählen können.

In krystallinischen Schiefern sind zonenförmige Erfüllungen mit Erzpartikelchen, welche als Imprägnationen gelten, kein seltenes Vorkommniss. Kupferkies, Eisenkies, Zinkblende u. a. Sulfide, Magneteisen spielen hier eine solche Rolle. Feine Körnchen von Magnetit oder Eisenkies bilden in Skandinavien die sog. Fahlbänder, gleichmässige Imprägnationen, welche bestimmten Zonen des steilaufgerichteten Gneissschichtensystems mit parallelem Streichen oft auf meilenweite Erstreckung hin folgen; innerhalb dieser Zonen können sich auch die Erztheilchen zu flach linsenförmigen Lagerstätten anreichern, die dann so in dem Fahlband eingelagert sind, dass die Flächen ihrer grössten Ausdehnung parallel verlaufen der Schichtung des Gneisses. Ausser den genannten Erzen betheiligen sich auch Magnetkies, Kupferkies, Zinkblende, Kobaltkies, Bleiglanz an der Zusammensetzung. Für den Kongsberger Bergbau haben diese Fahlbänder in so fern grosse Wichtigkeit, als die die Gneissschichten quer durchsetzenden jüngeren Silbererzgänge nur wo sie auch durch die Fahlbänder gehen, vorzüglich reich, ausserhalb derselben aber sehr arm an Silbererzen zu sein pflegen.

Zu solchen Imprägnationen werden z. B. weiter noch gerechnet: die goldhaltigen Zonen in den Chlorit- und Glimmerschiefern der Tauernkette; die Bleiglanzknötchen im Buntsandstein von Mechernich und Commern in der n. Eifel; die Erfüllungen von Sandsteinen der permischen Formation mit manchfachen Kupfererzen (Malachit, Lasur, Rothkupfer, ged. Kupfer, Kupferkies, Kupferglanz u. s. w.); das Vorkommen von Quecksilbererzen in den schwarzen bituminösen Schiefern von Idria.

Bisweilen ist von den beiden Seitenflächen eines Ganges aus, obschon derselbe als solcher deutlich begrenzt erscheint, das Nebengestein bis auf gewisse Erstreckung hin mit Erz mehr oder weniger imprägnirt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Die sog. Erzstöcke (in kleineren Dimensionen Butzen genannt) sind Erzanhäufungen, die sich durch ihre ganz unregelmässig geformte Gestalt von den typischen Lagern und Gängen, durch ihre deutliche Abgrenzung gegen das Nebengestein von den Imprägnationen und Concentrationen unterscheiden. Dennoch scheinen sie theils einen lagerartigen, theils einen gangartigen Charakter (oder wenigstens im letzteren Falle denjenigen einer Hohlraumausfüllung) zu besitzen (liegende und stehende Stöcke); die Zusammensetzung ist vielfach eine manchfaltigere als bei den Erzlagern. — Contactstöcke heissen solche irreguläre Ablagerungen dieser Art, die gerade an der Grenze verschiedener Gesteine auftreten, wie der Stock von Silber-, Blei-, Kupfer-, Kobalterzen von Tunaberg in Schweden zwischen Gneiss und Kalkstein.

6. Verdrängungen. Gewisse Erzlagerstätten sind mit grösster Wahrscheinlichkeit dadurch entstanden, dass örtlich eine theilweise Umwandlung einer nicht metallischen Gesteinsmasse in Erz stattgefunden hat, die erstere durch das letztere nach Art der Pseudomorphosen verdrängt worden ist. Die Umwandlung pflegt von Kluftflächen oder von Hohlraumwänden aus um sich zu greifen, und die so herausgebildeten besonderen Lagerstätten besitzen daher meist eine sehr unregelmässige butzen- oder taschenähnliche Form.

U. a. kommen namentlich Zinkerze auf diese Weise vor. In Oberschlesien lässt der innige Verband der verschiedenen Galmeierze (Zinkspath, Kieselzink) und Zinkblende mit dem Kalkstein und Dolomit des unteren Muschelkalks in sehr deutlicher Weise erkennen, dass dieselben nur Producte der Umwandlung der letzteren Carbonatgesteine sind. Analoges wiederholt sich zu Raibl in Kärnten. Auf der Zinkerzlagerstätte von Wiesloch in Baden findet sich als Erweis desselben Ursprungs auch die Kalkmasse der Versteinerungen des Muschelkalks in Galmei verändert. — Anderswo sind es irreguläre Vorkommnisse von manganhaltigen Brauneisensteinen oder von Manganerzen (Psilomelan, Manganit, Pyrolusit, Wad), welche als pseudomorphosenähnliche Bildungen nach Kalksteinen gelten müssen. — Es ist nicht ausgeschlossen, dass auch als Gänge bezeichnete Lagerstätten bei näherer Untersuchung als solche Verdrängungen erkannt werden, welche längs einer Spalte erfolgten und sich auf beiden Seiten derselben bis zu ziemlich übereinstimmender Entfernung in das Gestein hinein erstreckten.

Bei den übrigen, z. Th. grossartigen Umwandlungsprocessen, bei denen die secundäre Substanz die primäre total ersetzt und deren Ablagerungsform als solche beibehalten hat (wo sich z. B. ein Durchbruch von Olivinfels in Serpentin, ein Lager von Anhydrit in Gyps, ein Gang von Eisenspath in Brauneisen metamorphosirt hat), wird man nicht von einer besonderen Lagerstätte reden können.

7. Contactmetamorphische Lagerstätten. Eine besondere Art und Weise des Auftretens von Mineralien wird örtlich dadurch hervorgerufen, dass ein Gestein in der Berührung mit einer durchbrechenden Eruptivmasse mehr oder weniger tiefeingreifende Veränderungen erfahren hat, in Folge deren hier Mineralien in ihm entstanden sind, welche dasselbe in seinem normalen, unbeeinflussten Zustande nicht enthält. Dieser sog. Contactmetamorphismus erfolgt sowohl an dem anstehenden durchsetzten Gestein als an isolirten Bruchstücken desselben, welche von der Eruptivmasse abgesprengt und allseitig umhüllt wurden. Im ersteren Falle ist die Intensität der Veränderung am grössten unmittelbar an der Grenze der wirkenden Eruptivmasse, mit zunehmender Entfernung von derselben verschwächt sie sich immer mehr. Eine Eruptivmasse von rundlichem Oberflächen-

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

querschnitt wird daher von einem sog. Contacthof umgeben, einer meist mit der Grenze conform verlaufenden Zone, welche nach aussen bis dahin reicht, bis wohin sich die Veränderung noch als erkennbar geltend macht, und dort in das normal verbliebene Nebengestein übergeht. Die verschiedenen Gesteine zeigen je nach ihrem Material eine abweichende Empfänglichkeit für solche Contactmetamorphosen.

In dem Contact mit eruptivem Granit wird z. B. in dem anstehenden gewöhnlichen Thonschiefer eine Neubildung von Andalusit, Chiastolith, Cordierit, Granat, Pyroxen, Turmalin hervorgerufen, auch entstehen Individuen von Biotit, Quarz, Feldspath, Rutil, Graphit, welche als solche nicht in dem ursprünglichen Thonschiefer vorhanden waren. Diese Veränderungen haben sich hier bisweilen bis auf eine Entfernung von 2—3 Km von der Granitgrenze hin fortgepflanzt. Eine besondere Entfaltung der granitischen Contactwirkung besteht darin, dass auf Spalten des benachbarten zerklüfteten Schiefergebirges eine wahrscheinlich durch Exhalationen vermittelte Ansiedlung von Turmalin und Topas, sowie eine Verdrängung anderer Mineralien durch diese beiden stattfindet; auch Zinnstein, Fluorit und fluorhaltiger Glimmer entsteht bei dieser Gelegenheit. — Der von Granit berührte gewöhnliche dichte Kalkstein erfährt — in der Regel nur auf kürzere Erstreckung hin — eine Umkrystallisirung zu körnigem Marmor; war der Kalkstein unrein, so entwickeln sich in dem Marmor gleichzeitig als Contactmineralien Granat, Vesuvian, Wollastonit, Skapolith, Gehlenit, Epidot, Zoisit, Pyroxene, Amphibole, Axinit, Spinell, Anorthit u. s. w. (Südnorwegen, Pyrenäen), ja die Bildung dieser metamorphischen Producte kann so reichlich erfolgen, dass sehr feinkörnige innige Aggregate derselben zu Stande kommen, welche von dem anfänglich vorhanden gewesenen Kalkcarbonat fast gar nichts mehr enthalten (sog. Kalksilicathornfelse). Im Contact mit Granit sind Brauneisensteinlager in Magneteisen und Rotheisen, Diabastuffe in amphibolschieferähnliche Massen verwandelt. Aehnliche Contacterscheinungen wiederholen sich bei Syeniten (wo z. B. in Südtirol die Contactmarmore bisweilen auf 3 M. Abstand von dem Eruptivgestein Granat, Vesuvian, Pyroxen, Epidot, Axinit, Spinell, Anorthit, Biotit, Monticellit, Gehlenit, Brucit, Brandisit enthalten), bei Dioriten (Oravicza, Dognacska und Csiklova im Banat, Adamellostock in den Südostalpen), gewissen Diabasen. Verbunden mit jenen körnigen Contactmarmoren, in letzteren völlig eingeschlossen oder an der Grenze des Eruptivgesteins, treten auch an manchen Orten nesterförmige oder stockähnliche Contacterzlagerstätten auf, charakterisirt durch Eisenspath, Magnetit, Kupferkies, Buntkupfer, Eisenkies, Bleiglanz, Zinkblende u. s. w., begleitet von Granat, Strahlstein, Wollastonit, Axinit u. s. w. (Christiania und Drammen in Norwegen, Banat, Rodna und Offenbánya in Siebenbürgen, Bogoslowsk am Ural). — Effusive Eruptivmassen, wie Basalte verschiedener Art, Trachyte, haben namentlich an den eingeschlossenen Bruchstücken fremder Gesteine neben zum Theil ähnlichen auch etwas andere Contactmetamorphosen hervorgebracht, welche sich, je nach dem beeinflussten Material zumal in einer Neubildung von Augit, Spinell, Hypersthen, Tridymit, Korund, Cordierit, Magnetit, Eisenglanz aussprechen. Zu den Contactproducten gehören auch die losen Blöcke vom Monte Somma, Kalksteine, welche in der Erdtiefe durch die vulkanische Action des Vesuvs verändert, mit manchfaltigen Silicaten erfüllt, und dann ausgeworfen wurden. — Braunkohlen und Steinkohlen, welche von einem pyrogenen Eruptivgestein durchbrochen oder stückweise eingehüllt wurden, sind einem Veränderungsprocess unterlegen, der mit der Bildung künstlicher Cokes verglichen werden kann.

8. Anderweitige besondere Lagerstätten. Endlich können noch als besondere Kategorieen des Mineralvorkommens folgende Bildungen gelten, die durch ihre Entstehungsweise und ihr örtliches Auftreten charakterisirt sind:

Mineralien als oberflächliche Quellenabsätze, wie Kalktuff, Erbsenstein, Kieselsinter, Raseneisenstein und Eisenocker, Gyps, Schwefel.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Eisenocker wird hier gebildet, indem das in dem kohlensäurehaltigen Quellwasser gelöste $FeCO^3$ sich bei der Abscheidung unmittelbar unter Entweichen von Kohlensäure und Hydroxydirung in Eisenoxydhydrat $2Fe^2O^3.3H^2O$ verwandelt; Schwefel, indem der Schwefelwasserstoff der Quellen durch den Sauerstoff der Luft zerlegt wird ($H^2S + O = S + H^2O$). Heisse Quellen des Yellowstone Park in Nordamerika setzen ausser Schwefel auch Auripigment und Realgar ab, die von den Sulphur Banks in Californien Zinnober. Eine Sinterhaut auf Felsen bei den Thermen von Olette in den Ostpyrenäen ist nach *Des Cloizeaux* derber Stilbit. — Aus den Sickerwassern in Erzgruben bilden sich stalaktitische Zapfen von Aragonit (Eisenblüthe), Zinkvitriol, in seltenen Fällen Zinkblüthe, Zinkspath, Weissbleierz, Eisenkies.

Mineralien als Absätze in Seen. Dieselben können im Allgemeinen nur da entstehen, wo die Seen zwar einen Zufluss aber keinen Abfluss besitzen; der mit den Gewässern in Lösung hineingeführte gesammte Salzgehalt verbleibt daher dem Seebecken und gelangt zur theilweisen Ausscheidung, wenn die Verdunstung seiner Oberfläche die Wasserzufuhr übersteigt. Das am schwersten lösliche Salz setzt sich in erster Linie ab.

So bilden sich aus den Salzseen Absätze von Kochsalz und Gyps (aralokaspische Depression, Krym, todtes Meer, Bitterseen des Suezkanals, grosser Salzsee in Utah); aus den Natronseen, welche neben Natroncarbonat stets Chlornatrium und Natriumsulfat gelöst enthalten, solche von Thermonatrit, Soda, Trona, Gaylussit (Wansee, Gegend von Theben, Nevadaplateau); aus den ebenfalls chlornatriumhaltigen Boraxseen Krusten oder im Schlamm bis zu 2—3 Zoll grosse rundum gebildete Krystalle von Borax (Tibet, Nepal, Persien, Californien); ferner auch Sulfate wie Thenardit, Hanksit, Sulfohalit oder das Kalknatronborat Ulexit.

Mineralsubstanzen, direct abgeschieden durch organische Wesen. Durch die Lebensthätigkeit der Meeresthiere wird das im Meerwasser gelöst enthaltene Calcium in den Schalen und festen Körpertheilen derselben als Kalkcarbonat abgeschieden und zwar hauptsächlich als Kalkspath, in geringerem Maasse als Aragonit. Die Schalen der Mollusken, Echinodermen u. s. w. bilden Muschelbänke, die Korallen Riffe und Inseln in der Tropenzone; Anhäufungen von kalkigen Foraminiferenschälchen (insbesondere Globigerina) lagern in ungeheurer Ausdehnung als ein kreideähnlicher Kalkschlamm auf dem Grunde der Tiefsee.

Wie Korallenriffe, so sind auch in früheren Erdperioden solche fast lediglich aus Foraminiferenschalen bestehende Absätze gebildet worden (z. B. die Fusulinenkalke des marinen Carbons, die Orbitulinen- und Miliolidenkalke der Kreide, die Nummulitenkalke des Eocäns, die Amphisteginenkalke des älteren Neogens).

In ähnlicher Weise scheiden ebenfalls im Meere lebende Algenvegetationen (Nulliporen oder Lithothamnien, sowie gequirlte Siphoneen, wie Gyroporella) Kalkcarbonat aus und incrustiren damit fortwährend ihre äussere Membran; auch durch ihre Zusammenhäufung gehen Riffe und Bänke von kohlensaurem Kalk hervor.

Anderseits sind es im süssen Wasser der Quellen und Bäche lebende Algen, Conferven und Moose, welche, wenn dasselbe viel Kalkbicarbonat gelöst enthält, den kohlensauren Kalk in der Weise abscheiden, dass sie dem Bicarbonat Kohlensäure entziehen, um den zu ihrem Wachsthum nothwendigen Kohlenstoff zu gewinnen; das eines Theils der Kohlensäure beraubte Bicarbonat wird dadurch zu unlöslichem Carbonat und zwar ist es gewöhnlich Aragonit, der sich in zarten, meist zwillingsförmig verwachsenen Kryställchen auf den Pflanzen absetzt. So entsteht der lockere Kalktuff; werden die Zwischenräume auch mit Kalk erfüllt und dadurch die Absätze compact, so hat dieser Vorgang nichts mehr mit der Vegetation zu thun.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Wasserhaltige amorphe Kieselsäure von opalartiger Beschaffenheit wird durch den Lebensprocess der pflanzlichen Diatomeen (Bacillarien) des Süsswassers zur Abscheidung gebracht, indem sie aus dieser Substanz ihre mikroskopischen Kieselpanzer aufbauen; aus solchen Diatomeenschälchen bestehen die festeren oder mehr lockeren oder mehlähnlichen Absätze des Polirschiefers, des Tripels, der Kieselguhr. Nach *Weed* wird an den heissen Quellen des Yellowstone National Park in Nordamerika die Bildung des Kieselsinters (Geyserits) zum Theil auch durch Algen und Moose bewirkt. Im Meerwasser scheiden Radiolarien (Rhizopoden), auch Spongien ebenfalls amorphe Kieselsäure ab; manche kieselige Schichten älterer Formationen (z. B. Hornstein) bestehen zum grössten Theil aus den Resten dieser Organismen, wobei vielfach die Kieselsäure krystallinisch geworden und durch strahligen Quarz ersetzt ist. — Gewisse Diatomeen, wie Melosira (Gallionella) ferruginea bauen ihre Panzer aus Eisenoxydhydrat auf und geben zur theilweisen Bildung der sog. Seeerze in Schweden Veranlassung. — Aus Sulfat-, z. B. gypshaltigen Lösungen vermögen die Algenarten Beggiatoa, Oscillaria, Ulothrix sowie gewisse Bacterien direct Schwefel abzuscheiden.

Anm. Wo die drei letztgenannten besonderen Lagerstätten grössere Mächtigkeit und Verbreitung gewinnen, fallen sie schon in das Bereich der Gesteine.

Mineralien, gebildet durch vulkanische Sublimationen, in Krateren, auf Spalten und Höhlen der Lavaströme, als rindenartige Incrustate, wie die Chlorverbindungen Kochsalz, Salmiak, Chloreisen, Chlorkupfer, Chlorblei, ferner Schwefel, Realgar, Borsäure. Der Schwefel ist bald ein directes Sublimationsproduct, bald durch Zersetzung von schwefeliger Säure und Schwefelwasserstoff ($SO^2 + 2H^2S = 3S + 2H^2O$), bald durch solche von Schwefelwasserstoff und Sauerstoff ($H^2S + O = S + H^2O$) entstanden. Die Chloride werden bei der herrschenden hohen Temperatur oft durch den ausgehauchten Wasserdampf zersetzt und so sublimiren auch indirect Oxyde, wie Eisenglanz, Magnetit, Magnoferrit, Tenorit, Periklas; ferner sublimiren Sulfate (Anhydrit, Gyps, Mascagnin) in Folge der Zersetzung der Chloride durch schwefelige Säure resp. Schwefelsäure; weiterhin Fluoride wie Flussspath, Hieratit, Nocerin. Ueber die Sublimation von Silicaten s. S. 351, 373.

Mineralien, entstanden durch Fumarolen- und Solfatarenthätigkeit in der Nähe der Vulkane.

Unter dem Einfluss der Aushauchungen von Wasserdampf, Schwefelwasserstoff, schwefeliger Säure und daraus hervorgehender Schwefelsäure werden die Bodengesteine zersetzt und Sulfate wie Gyps, Alaun, Alunit, Glaubersalz, Schwefelmetalle wie Eisenkies, Krusten von Schwefel gebildet, Knollen und Rinden von opalartiger Kieselsäure abgeschieden. Die Gesammtheit der Umbildungen und Zersetzungen durch vulkanische Gase fasste *Bunsen* als pneumatolytische Processe zusammen.

Mineralien, entstanden in Folge von natürlichen Brennprocessen, indem durch Selbstentzündung in Brand gerathene eisenkiesreiche Steinkohlen- und Braunkohlenlager auf das deckende Gesteinsmaterial eingewirkt haben.

In den bei solcher Gelegenheit einer Anschmelzung unterworfenen Schieferthonen von Commentry in Frankreich haben sich Cordierit, Anorthit, Augit, Spinell neu entwickelt. Am Nord-Saskatchewanfluss in Canada sind in Thon- und Sandschichten eingeschlossene Eisencarbonat-Concretionen durch ein in Brand gerathenes Steinkohlenflötz zu metallischem Eisen reducirt worden. Anderswo entstehen bei derlei Vorgängen Schwefel, Realgar und Auripigment, Salmiak, Arsenolith als Sublimationen.

Mineralien, als Ausblühungen oder Efflorescenzen vorkommend, wie Salpeter, Alaun, Eisenvitriol, Soda, Glaubersalz.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Mineralien als Versteinerungs- oder Vererzungsmaterial fossiler animalischer oder vegetabilischer Ueberreste, wie Kalkspath, Quarz, Hornstein, Opal, Flussspath, Siderit, Eisenkies, Zinkblende, Brauneisen, Kupferglanz, Zinnober, Vivianit (vgl. § 84).

Fünfter Abschnitt.

Von der Bildungsweise der Mineralien.

Von besonderem Interesse ist die Frage nach der Entstehung der in der Natur vorkommenden krystallisirten Mineralien; ohne Kenntniss der Bildungsgeschichte kann die Kenntniss des Objects nicht als völlig abgeschlossen gelten.

§ 174. **Künstliche Nachbildung der Mineralien.** Es ist klar, dass man der Lösung jener Frage ein gutes Theil näher rückt, wenn es gelingt, die mineralischen Krystalle auf künstlichem Wege in übereinstimmenden Formen zu erzeugen. Doch ist es eben so einleuchtend, dass die Darstellung einer krystallisirten Verbindung künstlich sehr wohl nach einer bestimmten Methode erfolgen kann, ohne dass nun dieselbe in der Natur auf genau demselben Wege entstanden zu sein braucht. Ja in vielen Fällen gestattet es die Art und Weise des Vorkommens und der Vergesellschaftung eines Minerals in der Natur überhaupt nicht, zur Erklärung seiner Bildung denjenigen Weg in Anspruch zu nehmen, auf welchem man es bis jetzt durch das künstliche Experiment nachzuahmen vermochte.

Diese Versuche beruhen im Allgemeinen darauf, dass entweder die Elemente synthetisch direct oder indirect zu einer Verbindung zusammengefügt, oder anderseits die Bedingungen erfüllt werden, unter denen eine bereits existirende Verbindung feste Krystallform anzunehmen bestrebt ist. Die einzelnen Vorgänge, um welche es sich hier handelt, sind[1]):

1. Moleculare Umlagerungen.

a) freiwillig.

Silber ist, wie Eisen, im Stande, seine Structur zu verändern und durchaus krystallinisch zu werden. Die monoklinen Krystalle des Schwefels werden bei gewöhnlicher Temperatur nach einigen Tagen undurchsichtig, blassgelb, und bestehen dann aus einem Aggregat rhombischer Pyramiden, oder zerfallen zu einem aus solchen Pyramiden bestehenden Pulver.

b) in hoher Temperatur, wodurch z. B. *G. Rose* Quarz (spec. Gew. 2,65) in Tridymit (spec. Gew. 2,3) umwandelte.

---

1) Vgl. *C. W. C. Fuchs*, Die künstlich dargestellten Mineralien. Gekrönte Preisschrift. Haarlem 1872.
A. Daubrée, Études synthétiques de géologie expérimentale. Paris 1879.
Fouqué und *Michel Lévy*, Synthèse des minéraux et des roches. Paris 1882.
L. Bourgeois, Reproduction artificielle des minéraux. Paris 1884.
J. H. L. Vogt, Studier over Slagger. Stockholm 1884.
R. Brauns, Chemische Mineralogie. Leipzig 1896.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

c) in Flüssigkeiten.

So lagern sich amorphe Kügelchen von kohlensaurem Kalk unter Wasser zu Rhomboëderchen von Kalkspath um; schwarzes amorphes Schwefelquecksilber liefert in Kalilauge oder Schwefelalkalien rothen krystallinischen Zinnober.

d) in Gasströmen.

H. Ste. Claire-Deville und *Troost* verwandelten amorphe Metalloxyde in jedem Gasstrom in krystallisirte Verbindungen, z. B. Mn^3O^4 in Wasserstoff zu Hausmannit; so wurden auch prachtvolle Krystalle von Zinnstein durch Ueberleiten eines langsamen Stromes von Chlorwasserstoff über amorphes Zinnoxyd in der Rothgluth erhalten; andere von Rutil durch Hinstreichen eines Fluorwasserstoffstroms über amorphe Titansäure in einer glühenden Porzellanröhre. *Debray* formte weisses pulveriges Kalkwolframat $CaWO^4$ in krystallisirten Scheelit um.

2. Lösung in Flüssigkeiten.

a) Verflüchtigung des Lösungsmittels in einer Temperatur bis zu 180°.

Krystallisation der im Wasser gelösten Salze, wie Chlornatrium, Gyps, Vitriole, Alaun. Ausscheidung von rhombischem Schwefel aus seiner Lösung in Schwefelkohlenstoff.

b) Ausscheidung durch Verlust eines Gases, dessen Gegenwart im Lösungsmittel die Lösung selbst bewirkt oder unterstützt.

Ausscheidung des kohlensauren Kalks aus seiner Lösung in kohlensäurehaltigem Wasser durch Entweichen der Kohlensäure.

c) Ausscheidung einer Substanz beim Erkalten einer damit in höherer Temperatur übersättigten wässerigen Lösung.

Wird z. B. arsenige Säure in kochendem Wasser bis zur Sättigung desselben aufgelöst, so scheiden sich beim Erkalten dieser Lösung Krystalle von Arsenblüthe aus; ebenso verhält sich Borsäure u. s. w.

d) Ausscheidung aus einer durch hohe Temperatur und hohen Druck vermittelten nassen Lösung.

Nach *Wöhler* löst sich der mit Wasser in eine Röhre eingeschlossene Apophyllit bei 180°—190° unter einem Druck von 10—12 Atmosphären auf und krystallisirt beim Erkalten allmählich wieder heraus. *v. Schulten* erhielt Analcimkrystalle, als in einem geschlossenen Gefäss bei ca. 190° C. eine Auflösung von Natronsilicat oder Natronlauge bei Gegenwart eines thonerdehaltigen Glases erhitzt wurde. *Sénarmont* beobachtete, dass frisch gefällter schwefelsaurer Baryt in doppeltkohlensaurem Natron oder in Chlorwasserstoffsäure etwas löslich ist, und, damit in einer zugeschmolzenen Glasröhre 60 Stunden lang auf 250° erhitzt, sich an der Wand in mikroskopischen Schwerspathkrystallen wieder ausscheidet. Wenn nach demselben Forscher Schwefelwismut mit einer Lösung von Schwefelkalium in eine Glasröhre eingeschmolzen wird, so löst sich dasselbe bei einer Erhitzung auf 200° auf, und krystallisirt beim Erkalten als schöne kleine Individuen von Wismutglanz. Ebenso wird amorphes Schwefelarsen durch doppeltkohlensaures Natron bei 150° im Glasrohr zu krystallisirtem Realgar. *Doelter* hat später diese Versuche fortgesetzt und z. B. aus Cerussit, mehre Tage lang in zugeschmolzener Glasröhre im Wasserbad bei 80°—90° mit Schwefelwasserstoffwasser behandelt, kleine Bleiglanzwürfel erhalten.

Schafhäutl erzielte 1845 im papinschen Topf, in welchem frisch gefällte Kieselsäure gelöst war, beim Verdunsten nach 8 Tagen Quarz als $\infty P.P$ krystallisirt. *Sénarmont* stellte Quarz dar, indem er Kieselsäure im Zustande des Ausscheidens in Wasser löste, das mit Kohlensäure angeschwängert oder mit verdünnter Salzsäure versetzt war, und eine solche Lösung in verschlossenen Gefässen langsam bis auf 130°—300°

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

erhitzte. Nach *W. Bruhns* bedarf es nur einer 10stündigen Einwirkung von Wasser mit etwas Fluorammonium auf Glaspulver oder amorphe wasserhaltige oder wasserfreie Kieselsäure im geschlossenen Platinrohr bei ca. 300°, um sehr hübsche (selbst bis 0,8 Mm lange) Quarzkryställchen zu erhalten. Derselbe gewann Tridymitblättchen in der bekannten dachziegelähnlichen Gruppirung, als auf feingepulverten Kalifeldspath im geschlossenen Platinrohr wässerige Flusssäure 53 Stunden lang bei 300° einwirkte. Zahlreiche ähnliche Bildungen müssen hier übergangen werden.

e) Ausscheidung durch gegenseitige Zersetzung wässeriger Lösungen.

Je nach der Temperatur und dem Concentrationsgrade scheidet sich Kalkspath oder Aragonit ab, wenn verdünnte Lösungen von kohlensaurem Natron und Chlorcalcium zusammengebracht werden ($Na^2CO^3 + CaCl^2 = CaCO^3 + 2NaCl$).

Um bei solchen gewöhnlichen Processen nicht die üblichen amorphen oder ganz undeutlich- oder nur mikroskopisch-krystallinischen Niederschläge zu erhalten, sondern besser gebildete Krystalle zu erzielen, ist vor Allem eine möglichst verlangsamte Vereinigung der Flüssigkeiten erforderlich. So stellte *Macé* in gewöhnlicher Temperatur Bleivitriolkrystalle dar, indem er in eine Lösung von salpetersaurem Blei längs eines als Heber dienenden Fadens langsam gelösten Eisenvitriol aus einem anderen Gefäss eindringen liess; Schwerspathkrystalle erhielt er durch ebenso erfolgende Einwirkung von Eisenvitriol auf salpetersauren Baryt, indem $BaN^2O^6 + FeSO^4 = BaSO^4 + FeN^2O^6$. *Drevermann* gelang die Darstellung krystallisirter sehr schwer löslicher Salze durch Diffusion: er brachte je ein pulverförmiges Salz (z. B. chromsaures Kali und salpetersaures Blei) auf den Boden ziemlich hoher Glascylinder, füllte dieselben mit Wasser und stellte sie neben einander sorgfältig in ein grösseres Becherglas, in welches so viel Wasser gegossen wurde, dass dieses über beide Cylinder hinausstand; durch die nach oben stattfindende Diffusion war nach einigen Monaten dann das salpetersaure Blei in das Becherglas gelangt, und es bildeten sich nun am Rande des mit chromsaurem Kali gefüllten Cylinders schöne Krystalle von Rothbleierz ($PbN^2O^6 + K^2CrO^4 = PbCrO^4 + 2KNO^3$). Ebenso wurden Krystalle von Weissbleierz und von Bleivitriol erhalten. — *Flach* brachte ein Stück Stangenschwefel in eine alkalische Bleilösung und beobachtete, dass im Lauf eines Jahres mit blosem Auge erkennbare Bleiglanzwürfel entstanden waren.

Die Ausscheidung anderer Substanzen durch gegenseitige Zersetzung nasser Lösungen erfolgt besser in höherer Temperatur und unter höherem Druck. *Sénarmont* erzeugte so Eisenspath aus Lösungen von schwefelsaurem Eisenoxydul und kohlensaurem Natron ($FeSO^4 + Na^2CO^3 = FeCO^3 + Na^2SO^4$); Manganspath aus solchen von Manganchlorür und kohlensaurem Natron in verschlossenen Glasröhren bei 160°; Malachit aus Lösungen von schwefelsaurem Kupfer und doppeltkohlensaurem Natron bei 150°; Kupferkies aus Chlorkupfer und Chloreisen in Schwefelkalium bei 250°; doch waren die Producte meist nur krystallinische Niederschläge.

f) Ausscheidung aus nassen Lösungen durch langsame Reduction.

Zu den durch organische Substanz vermittelten Reductionsproducten gehören die Absätze von Schwefelmetallen, wie Eisenkies, Zinkblende, Kupferglanz auf Grubenholz, welches dieselben aus den betreffenden Vitriollösungen erzeugt hat. — Anorganische Stoffe, wie Eisenvitriol, salpetersaures Quecksilberoxydul, auch Oxalsäure, dienen zur Reduction von Gold, Silber, Platin aus ihren Lösungen; aus salpetersaurem Wismut wird durch Zink oder Eisen das Wismut gefällt.

g) Ausscheidung aus wässerigen Lösungen durch Elektrolyse.

Darstellung von Silber, Blei und vielen anderen Metallen, indem der elektrische Strom Metallsalze zersetzt und gediegene Metalle abscheidet. — Eine Säule, gebildet aus einem Stück Eisenkies und einem Stück Bleiglanz in Seewasser scheidet zufolge *Skey* Kupfer aus einer seiner Sulfatlösungen ab. Silber wird aus einer Silberlösung durch Eisenkies in nadelförmigen Krystallen abgeschieden (*Mering*).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

h) Einwirkung von Lösungen auf feste Körper[1]).

Becquerel tauchte Gypsplatten in eine schwache Lösung von doppeltkohlensaurem Natron; es erfolgte eine allmähliche Umsetzung zu kohlensaurem Kalk und schwefelsaurem Natron, und Krystalle des ersteren setzten sich als Aragonit auf den Gypsplatten ab. Ferner legte er Eisenplatten in eine wässerige Lösung von phosphorsaurem Ammoniak, worauf sich dieselben mit krystallinischem phosphorsaurem Eisenoxydul (Vivianit) überzogen. — Weissblei bildete sich durch monatelange Einwirkung einer Lösung von Bleinitrat auf Kalkstein. — Kupferlasur durch Einwirkung von Kupfersulfat auf Marmor in verschlossener Glasröhre bei 150°—190°. — Wirkt eine Lösung von Kupferchlorid auf Kalkspath, so wandelt sich letzterer in Malachit um. — *Debray* erhielt Kupferlasur durch Einwirkung von salpetersaurem Kupfer auf Kreide im Glasrohr bei 7 Atmosphären, aber ohne erhöhte Temperatur. Bleiglanz, der 10 Monate lang in einer nicht sehr concentrirten Lösung von Kupfervitriol lag, bedeckte sich mit Anglesit und Brochantit. Schwerspath, der sich monatelang in einer Auflösung von Soda bei 150° befunden hatte, war dann in Witherit pseudomorphosirt. Durch Wasser, in welchem NaCl enthalten ist, kann Plagioklas in Skapolith umgewandelt werden.

3. Schmelzung.

a) Krystallisation aus homogenen geschmolzenen Massen.

So krystallisiren Metalle, z. B. Kupfer, Silber, Blei, aus ihrer geschmolzenen Masse heraus. Schöne Krystalle von Schwefel und Wismut erhält man aus dem Schmelzfluss, wenn man diesen langsam an der Oberfläche erstarren lässt und dann den noch flüssigen inneren Rest ausgiesst.

Aus künstlichen Schlacken, wie dieselben bei Hüttenprocessen entstehen, scheiden sich beim Erkalten, namentlich in Drusen, manchmal krystallisirte Silicate aus, so insbesondere eisenreiche Olivine, Pyroxene, Humboldtilith, Melilith, Wollastonit, Glimmer.

Aus geschmolzenen Silicaten krystallisiren wohl ganz andere Mineralien heraus; so erstarrt geschmolzene Hornblende als Augit. Granat scheint aus seiner eigenen Schmelze nicht wieder herauskrystallisiren zu können; es tritt eine Spaltung ein, und beim Abkühlen entstehen verschiedene andere Verbindungen, nach *Doelter* und *Hussak* namentlich Meionit und Melilith, Anorthit, Kalk-Olivin, Kalk-Nephelin, ferner Eisenglanz und Spinell (letzterer namentlich da, wo sich Glas ausbildet). Die Umschmelzungsproducte des Vesuvians sind dieselben wie beim Granat. Eine Orthoklasschmelze liefert aber überhaupt keine krystallinische Substanz, sondern stets amorphes Glas.

Durch absichtliches Zusammenschmelzen der betreffenden zusammensetzenden Bestandtheile hat man ebenfalls beim Erkalten des Flusses Krystalle erhalten; so schmolz *Mitscherlich* Kieselsäure, Kalk und Magnesia in dem erforderlichen Verhältniss und erzeugte Augitkrystalle; durch Zusammenschmelzen von Kupfer und Schwefel bildete er Schwefelkupfer Cu^2S in regulären Oktaëdern (das natürliche Cu^2S, der Kupferglanz, krystallisirt rhombisch); Antimonglanz krystallisirt bei der langsamen Abkühlung der aus Schwefel und Antimon zusammengeschmolzenen Masse.

Vor Allem sind aber hier die glücklichen und ausserordentlich wichtigen Resultate von *Fouqué* und *Michel Lévy* zu erwähnen: sie schmolzen künstliche Gemenge der chemischen Bestandtheile verschiedener Mineralien in einem Platintiegel im *Schloesing*schen Ofen zusammen, brachten, sobald die Masse im homogenen Schmelzfluss war, den Tiegel über eine Glasbläserlampe und setzten ihn 48 Stunden lang einer dem Schmelzfluss möglichst nahe kommenden constanten Temperatur aus, worauf dann ohne weitere Vorsichtsmaassregeln Erkaltung eintrat. Sie erzeugten so eine Menge der gerade für die Felsarten wichtigsten Mineralien, verschiedene Feldspathe, Leucit, Nephelin, Granat, Magnetit, mit allen Details der mikroskopischen Structur und der

1) Dieser Vorgang ist zu vergleichen dem unter 3h angeführten.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

etwaigen Zwillingsbildungen, ausserdem auch Mineralgemenge, welche den natürlichen Felsarten völlig gleichen. *J. Morozewicz* hat so 1899 aus geeigneten Schmelzflüssen ferner Korund, Spinell, Sillimanit, Cordierit, Haüyn, Sodalith krystallisiren lassen (Min. u. petr. Mitth. XVIII. 1899. 1 und 105); vgl. auch die Untersuchungen von *C. Schmutz*, N. Jahrb. f. Min. 1897. II. 124 und von *K. Bauer*, ebendas. Beilageb. XII. 1899. 535.

b) Ausscheidung aus einer künstlich zusammengeschmolzenen Masse, welche in hoher Temperatur die Krystallisation eines gewissen Bestandtheils gestattet.

Debray erhielt so Magneteisenkrystalle durch Zusammenschmelzen von phosphorsaurem und schwefelsaurem Eisen; *Kuhlmann* brachte gleichfalls Magneteisenkrystalle durch Zusammenschmelzen von schwefelsaurem Eisen und Chlorcalcium zu Stande, *Heintz* Boracitkrystalle durch Zusammenschmelzen der Bestandtheile mit einem Ueberschuss von Chlormagnesium und Chlornatrium.

c) Krystallisation durch Ausscheidung beim Erstarren aus solchen Körpern, welche geschmolzen als Lösungsmittel der betreffenden Substanzen dienen.

Auf diese Weise sind sehr viele Mineralien künstlich dargestellt worden; die entstandenen Krystallisationen können aus dem erstarrten Schmelzfluss isolirt werden, wenn letzterer zum anderen Theil in Wasser löslich ist, z. B. geschmolzenes Kochsalz als Lösungsmittel gewählt wurde. *G. Rose* löste 1869 Kieselpulver in geschmolzenem Phosphorsalz oder kohlensaurem Natron und erhielt bei der Erstarrung ausgeschiedene Krystalle von Tridymit; das so im Phosphorsalz gelöste Eisenoxyd bildet beim Erkalten mikroskopische Individuen von Eisenglanz; in ähnlicher Weise kann man die Krystallisation auch aus geschmolzenem Chlorcalcium oder Steinsalz erhalten. — *Forchhammer* bediente sich des geschmolzenen Chlornatriums als Lösungsmittel für Apatit und gewann diesen in der erstarrten Schmelze nach Lösung des Salzes krystallisirt. *L. Bourgeois* erhielt Calcit, Witherit und Strontianit krystallisirt ausgeschieden aus einem Schmelzfluss dieser Substanzen mit gleichen Theilen von Chlornatrium und Chlorkalium. Sulfate von Baryt, Strontian, Kalk lösen sich nach *A. Gorgeu* mit Leichtigkeit in geschmolzenem Manganchlorür auf und krystallisiren später heraus.

Quarz krystallisirt auf diese Weise, indem amorphe Kieselsäure in einem Schmelzfluss gelöst wird, für welchen *Hautefeuille* Natriumwolframat oder Lithiumwolframat, ferner Alkaliphosphat oder Fluoralkalien, *Parmentier* Natriummolybdat, *Margottet* Chlorlithium wählte. *Hautefeuille* erzielte auch messbare Krystalle von Nephelin (∞P.0P) durch Auskrystallisiren seiner in geschmolzenem Natriumvanadinat aufgelösten Bestandtheile; ferner Tridymit, Orthoklas, Albit, Leucit; auch Wolframsäureanhydrid befördert in hohem Grade das Auskrystallisiren. *Gorgeu* schmolz die Bestandtheile des Mangangranats in Chlormagnesium als Lösungsmittel und gewann scharfe Ikositetraëder des Minerals. *W. Luzi* erhielt sechsseitige Graphitkrystalle aus schmelzendem Silicat ausgeschieden, indem er ungefähr 1 Theil Kaliglas, $\frac{1}{2}$ Theil Flussspath und etwas Lampenruss zusammenschmolz und die Schmelze dann langsam erstarren liess. Hierher gehören auch die von *Doelter* vorgenommenen Productionen von Glimmern, welche leicht dargestellt werden können, wenn ein die Elemente des Glimmers enthaltendes Mineral mit Fluornatrium oder Fluormagnesium bei einer nicht über 800° steigenden Temperatur geschmolzen wird.

Aus geschmolzenem Metall können darin aufgelöste Schwefel-, Arsen- und ähnliche Verbindungen in Krystallen erhalten werden, wenn sie schwerer schmelzbar sind als das Metall. Wird Schwefelsilber oder Selensilber in geschmolzenem Blei gelöst, so krystallisiren sie in bis 1 Mm. grossen Würfeln heraus. Schwefelsilber in Wismut gelöst liefert Oktaëder von $AgBiS^2$, der Zusammensetzung des Silberwismutglanzes. Bei Anwendung von Selensilber scheidet sich aus Wismut Ag^2Se in Rhombendodekaëdern aus (*F. Rössler*).

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

d) Krystallisation einer Substanz aus ihrer Lösung im Schmelzfluss durch Verdampfung des Lösungsmittels[1]).

Ebelmen benutzte schon 1845 Borsäure-Anhydrid als Lösungsmittel für die Metalloxyde in höherer Temperatur, und stellte, wie man durch Verdampfung des Wassers die darin gelösten Substanzen krystallisirt erhält, durch Verdampfung der Borsäure auch die schweren Metalloxyde dar; durch Zusammenschmelzen von Borsäure-Anhydrid (oder Borax) einerseits mit Thonerde, anderseits mit Thonerde und Magnesia in der Weissgluth erhielt er so bis 4 Mm. grosse Krystalle von Korund und von Spinell. Das Schmelzproduct von Kieselsäure, Magnesia und Borsäure lieferte beim Verdampfen der letzteren Krystalle von Olivin, die sich auch erzeugten, als er statt der Borsäure ein lösendes Alkali, Pottasche anwandte; durch Erhitzen von Titansäure, Kalk und kohlensaurem Alkali bis zur theilweisen Verflüchtigung des letzteren Lösungsmittels stellte er Krystalle von Perowskit dar.

e) Krystallisation durch gegenseitige Wechselzersetzung im geschmolzenen Zustande[2]).

Manross schmolz schwefelsaures Kali und Chlorbaryum zusammen, welche sich gegenseitig zu Chlorkalium und schwefelsaurem Baryt zersetzten ($K^2SO^4 + BaCl^2 = 2KCl + BaSO^4$); das erstere Salz zog er aus der erkalteten Masse des Schmelzkuchens mit Wasser aus, worauf das letztere, mit dem natürlichen Schwerspath übereinstimmend, zurückblieb; ebenso erhielt er durch Zusammenschmelzen von schwefelsaurem Kali und Chlorstrontium Cölestin, von schwefelsaurem Kali und Chlorblei Bleivitriol, von wolframsaurem Natron und Chlorcalcium Scheelit, von molybdänsaurem Natron und Chlorblei Wulfenit, von dreibasisch phosphorsaurem Natron und Fluorcalcium Apatit. — In einem irdenen kieselsäurereichen Tiegel schmolzen *Fremy* und *Feil* gleiche Gewichtsmengen von Thonerde und Mennige; es bildete sich Bleialuminat, welches durch die Kieselsäure des Tiegels zu Bleisilicat und freier Thonerde zersetzt wurde, die ihrerseits auf dem Boden als hexagonale Korundtafeln krystallisirte.

f) Krystallisation beim Erkalten eines übersättigten Schmelzflusses[3]).

Das beim Schmelzen mit Kohlenstoff überladene graue Roheisen scheidet beim Uebergang aus dem flüssigen in den festen Zustand diesen Kohlenstoff in Form von glänzenden Graphitblättern aus. Bei hohem Druck verdichtet sich der Kohlenstoff nach *Moissan* zu Diamant.

g) Einwirkung eines Schmelzflusses auf feste Körper[4]).

Indem *Doelter* grössere Fragmente von Kalkstein in geschmolzenen Basalt, Diabas, Melaphyr, Andesit tauchte und ca. 16 Stunden bei langsamer Abkühlung darin erhielt, bildeten sich an den Berührungsstellen von Kalkstein und Schmelze zahlreiche Augitkrystalle und Magneteisen, auf Spalten im Kalk Gehlenit, öfters auch Plagioklas. — Durch Einwirkung von geschmolzenem Labradorit auf Marmor erhielt *Bourgeois* Anorthit und Meionit.

4. Sublimation.

a) durch blose Sublimation bei Luftabschluss.

Das amorphe Schwefelblei schmilzt z. B. bei starker Rothgluth und verdampft in noch höherer Temperatur, worauf es dann in Krystallen sublimirt, wenn der Luftzutritt abgehalten wird — ein häufiger Vorgang auf Hütten. Ebenso sublimiren

---

1) Dieser Vorgang entspricht ganz dem unter 2a angeführten Process; der Unterschied besteht nur in der Temperatur beider Lösungen.
2) Dies ist wiederum derselbe, nur bei höherer Temperatur sich ereignende Vorgang wie 2e.
3) Ganz analog dem Process 2c.
4) Gewissermassen vergleichbar mit 2h.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Kochsalz, Salmiak, Zinkblende, Bleiglanz, Zinnober, Quecksilberhornerz, Arsen, Arsenblüthe, Auripigment in Krystallen oder krystallinischen Massen.

b) in Gasen, welche chemisch nicht weiter einwirken.

H. Ste. Claire-Deville und *Troost* erhitzten amorphes Schwefelzink als Niederschlag in einer Porzellanröhre zum Hellrothglühen und leiteten einen Strom von Wasserstoff durch die Röhre, worauf sich an den kälteren Theilen derselben hexagonale Krystalle von Schwefelzink (Wurtzit) absetzten. Auf dieselbe Weise wurde der isomorphe Greenockit (Schwefelcadmium) durch Sublimation erhalten.

5. Gegenseitige Zersetzung von Dämpfen in hoher Temperatur.

a) Zersetzung von Chloriden durch Schwefelwasserstoff.

Indem *Durocher* in starker Glühhitze einen Strom von Schwefelwasserstoff durch dampfförmiges Kupferchlorid leitete, entstand (Chlorwasserstoff und) als Kupferglanz krystallisirtes Schwefelkupfer ($2\,CuCl + H^2S = Cu^2S + 2\,HCl$). Auf dieselbe Weise gelang die Bildung anderer krystallisirter Schwefelmetalle, Zinkblende, Greenockit, Wismutglanz, Antimonglanz aus den Dämpfen der entsprechenden Chlormetalle, z. B. $ZnCl^2 + H^2S = ZnS + 2\,HCl$. Sogar complicirter zusammengesetzte Schwefelmetalle, wie Rothgültigerz (durch Zersetzung von Chlorsilber und Antimonchlorid oder Arsenchlorid mittels Schwefelwasserstoff) und Fahlerz wurden so erhalten.

b) Zersetzung von Chloriden oder Fluoriden durch Wasserdampf.

Daubrée erzielte 1849 die Krystallisation von Sauerstoffverbindungen durch gegenseitige Reaction der Dämpfe von Metallchloriden und Wasser in einer glühenden Porzellanröhre; so erhielt er aus gasförmigem Zinnchlorid und Wasser Zinnstein (Zinnoxyd), daneben bildete sich Chlorwasserstoff ($SnCl^4 + 2\,H^2O = SnO^2 + 4\,HCl$). Eisenglanz erzeugte sich so aus Chloreisen ($Fe^2Cl^6 + 3\,H^2O = Fe^2O^3 + 6\,HCl$); auch erhielt er Quarz, indess viel weniger deutlich krystallisirt, aus Chlorsilicium durch eine analoge Zersetzung in grosser Hitze. *Hautefeuille* gewann Rutil (Titanoxyd) aus Chlortitan. Dämpfe von Chlormagnesium zersetzen sich mit Wasserdampf und liefern durchsichtige Krystalle von Periklas ($MgCl^2 + H^2O = MgO + 2\,HCl$). — *Sénarmont* zersetzte die wässerige Lösung von Chloraluminium (Al^2Cl^6) durch sehr starke Erhitzung in einer zugeschmolzenen Röhre, und es schieden sich mikroskopische Rhomboëderchen von Korund (Al^2O^3) ab. — Eisenspath entstand in rothglühendem Flintenlauf durch Reaction der Dämpfe von Ammoniumcarbonat und Eisenchlorid (*Durocher*). — Ganz analog den vorigen Processen erhielt z. B. *Hautefeuille* Rutil (TiO^2) durch Einwirkung von H^2O auf TiF^4 in der Glühhitze.

c) Zersetzung von Fluoriden durch andere Sauerstoffverbindungen.

Ste. Claire-Deville stellte Magnetitkrystalle dar durch Einwirkung von flüchtigem Eisenfluorid auf Borsäureanhydrid in der Weissgluth; ein Gemenge von Fluoraluminium und Fluorzink lieferte mit derselben Sauerstoffverbindung Oktaëder von Gahnit.

6. Einwirkung von Gasen und Dämpfen auf stark erhitzte feste Körper.

Dumas erhielt Silberglanz (Ag^2S) durch Ueberleiten von Schwefeldampf über rothglühendes Silber; in ähnlicher Weise wurde durch Erhitzen von Zinkoxyd in Schwefeldampf Wurtzit, durch Ueberleiten von Schwefeldampf über glühendes Bleisilicat Bleiglanz erzeugt. Oxyde werden so erhalten durch Einwirkung von Wasserdampf auf Chloride oder Metalle bei sehr hoher Temperatur, z. B. Zinkoxyd, Eisenglanz.

Oxyde entstehen auch durch Einwirkung flüchtiger Chloride auf glühende Oxyde. Werden Chlorzinkdämpfe über glühenden Aetzkalk geleitet, so entsteht Zinkoxyd. *Daubrée* erzeugte kleine Quarzkrystalle, indem er Chlorsilicium dampfförmig über verschiedene Basen (Kalk, Magnesia, Thonerde) streichen liess, wobei sich das Chlor mit den Metallen, das Silicium mit dem Sauerstoff verband; daneben bildeten sich auch

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Silicate. Ferner erhielt er Apatitkrystalle durch Einwirkung von Phosphorchlorid-Dämpfen auf Aetzkalk in hoher Temperatur. *Ste. Claire-Deville* liess zwischen heller Rothgluth und Weissgluth Fluorsilicium auf Zinkoxyd einwirken; es bildete sich flüchtiges Fluorzink und Zinksilicat (Willemit in hexagonalen Prismen): $4\,ZnO + SiF^4$ lieferten $Zn^2SiO^4 + 2\,ZnF^2$, wobei letzteres sich in der hohen Temperatur verflüchtigte. *Daubrée* gewann Krystalle von Spinell durch Einwirkung von Chloraluminium auf glühende Magnesia. Messbare Zirkonkrystalle erhielten *Deville* und *Caron* durch Einwirkung entweder von Fluorsilicium auf Zirkonerde oder Fluorzirkonium auf Kieselerde bei Rothgluth. — Enstatit in excentrisch-faserigen Gebilden producirte *Stan. Meunier*, als er in Rothgluth in einer Porzellanröhre Wasserdampf und Chlorsiliciumdampf auf metallisches Magnesium wirken liess.

Hans Schulze und *Stelzner* führten die blaue Farbe, welche die zur Röstung der Zinkerze verwandten Thonmuffeln erhalten, darauf zurück, dass sich in der verglasten Thonmasse unzählige scharfe mikroskopische Oktaëderchen von bläulichem Zinkspinell bis zu 0,06 Mm. Länge auszuscheiden pflegen; die dadurch aus dem Thon freiwerdende Kieselsäure krystallisirt als Tridymit.

Doelter erhielt Zinnoberkrystalle durch 6tägige Erhitzung von Quecksilber in einer mit Schwefelwasserstoff gefüllten Röhre im Wasserbade bei 70°—90°; er stellte auch andere Schwefelmetalle, Kupferkies, Buntkupfer, Bleiglanz, Bournonit, Jamesonit, Miargyrit durch Einwirkung von H^2S auf Chloride, Carbonate und Oxyde der betreffenden Metalle schon bei jener relativ niedrigen Temperatur in der Glasröhre dar.

Bei dem Versuch auf geschmolzene Massen Gase einwirken zu lassen, erhielt *A. Gorgeu* Hausmannit in Krystallen bis 0,5 Mm., indem er geschmolzenes Chlormangan einige Stunden lang einer oxydirenden mit Wasserdämpfen gesättigten Atmosphäre aussetzte.

7. Vereinigung langsam auf einander wirkender Substanzen blos unter hohem Druck.

Spring brachte schwarzen krystallinischen Kupferglanz als chemische Verbindung zu Stande, indem er ein mechanisches Gemenge von Kupferfeilspänen und grobem Schwefelpulver einem Druck von 5000 Atmosphären bei gewöhnlicher Temperatur unterwarf; eine grobe Mengung von Quecksilberchlorid und Kupferspänen setzte sich bei 5000 Atm. in Kupferchlorid und metallisches Quecksilber um. Das weisse Gemenge von trockenem Jodkalium und ebensolchem Chlorquecksilber gab bei 2000 Atm. eine rothe Masse aus Jodquecksilber und Chlorkalium.

§ 175. **Natürliche Bildungsprocesse der Mineralien.** Während nun einige der im Vorstehenden angeführten Processe unter Verhältnissen erfolgen, welche es nicht gestatten, sie auch als in der Natur wirksam vorauszusetzen, dient aber ein anderer Theil von den künstlichen Methoden der Krystallisation auch der sich selbst überlassenen Natur zur Mineralbildung. Als die drei Hauptwege, auf welchen hier Krystalle entstehen, müssen nach allen Erfahrungen gelten: 1. Ausscheidung aus nassen Lösungen; 2. Festwerdung aus dem Schmelzfluss; 3. Sublimation. Für die Ermittelung des einen oder anderen Ursprungsmodus sind namentlich die jugendlichen Mineralbildungen von Belang, welche gewissermassen vor unseren Augen vor sich gehen und so die bedingenden Verhältnisse erkennen lassen.

Besonders gross ist der Kreis derjenigen Mineralien, bei deren natürlicher Bildung nasse Lösungen nachweisbar mitgewirkt haben. So haben sich Krystalle von Steinsalz, Gyps, Vitriolen zweifellos durch Verflüchtigung des sie gelöst haltenden Wassers (2, a) in gewöhnlicher Temperatur erzeugt, Kalkspath, Aragonit, Eisenspath durch Entweichen der Kohlensäure aus dem dieselben gelöst haltenden

kohlensäurehaltigen Wasser (2, b); vielfach sind Pflanzen, Algen und Moose wirksam, um solchem Wasser die Kohlensäure zu benehmen und den kohlensauren Kalk zu fällen. Kieseltuff und Kieselsinter scheiden sich an den Geysirn aus, weil das erkaltende Thermalwasser die Kieselsäure nicht mehr aufgelöst halten kann, welche es bei hoher Temperatur in Solution besass (2, c). Wo eisenhaltige Quellen über faulende, Schwefelwasserstoff entwickelnde Organismen fliessen, entsteht Eisenkies; dieser wird auch durch Pflanzenreste aus Gewässern ausgeschieden, welche ein Sulfat (z. B. Natriumsulfat) und ein Eisensalz, wenn auch nur in geringer Menge, gelöst enthalten, indem die Holzfaser das Sulfat reducirt (z. B. zu Schwefelnatrium) und letzteres mit dem Eisensalz Schwefeleisen bildet.

Lehrreich sind in dieser Hinsicht auch Absätze und Ueberkrustungen aus den Sickerwassern der Grubenräume, wie Kalksinter, Eisenocker, Vitriole verschiedener Art. Zimmerungen alter wieder aufgewältigter Gruben, die Seitenwände verlassener Stollen haben sich mit Zinkspath (Oberschlesien), Zinkblüthe (Santander), Weissbleierz (Bleiberg bei Commern), Schalenblende (Grube Silbersand bei Mayen), Zinkblende, Eisenkies (Huelva, Spanien), gediegen Kupfer (Rio Tinto, Maidanspek in Serbien), Allophan (Blauer Stollen bei Zuckmantel), Gypskrystallen bedeckt. In Dolomitklüften liegende Knochen einer noch lebenden Fledermausart sind auf der Galmeigrube Iworznow im Krakauer Gebiet nach *F. Roemer* mit Zinkspath überkrustet. Zwischen den Bruchstücken des sog. alten Manns der Gruben haben sich Kobalt- und Nickelblüthe (Grube Louise bei Horhausen), gediegen Kupfer abgesetzt, Gypskrystalle auf alten, in der Grube liegen gebliebenen Kleidern, Bleiglanzkrusten auf Holzkohle innerhalb des alten Manns. Dendritische Bildungen von Kupferglanz waren auf dem Pergament eines alten, mit Messingspangen verschlossenen Buches entstanden.

Ein überaus weitverbreiteter Process scheint die Mineralausscheidung durch gegenseitige Zersetzung wässeriger Lösungen zu sein, wobei die Schönheit und Grösse der natürlichen Krystalle, welche die chemische Kunst nicht nachzuahmen versteht, auf die Annahme einer sehr starken Verdünnung der Solutionen und einer sehr langen Bildungsdauer führt. Auf Spalten und Hohlräumen sind vielfach die Bedingungen erfüllt, dass zwei verschiedene Lösungen zusammentreffen und auf einander reagirend, eine schwerlösliche Substanz erzeugen (2, e). In vielen Fällen lässt sich der Gang der Zersetzung mit grosser Sicherheit nachweisen; so sind z. B. die von Gyps begleiteten Malachitkrystalle entstanden durch gegenseitige Reaction einer Lösung von kohlensaurem Kalk und einer solchen von schwefelsaurem Kupfer (geliefert durch die Oxydation des benachbarten Kupferkieses); dabei entstanden kohlensaures Kupfer und schwefelsaurer Kalk als schwerlösliche Salze. Die im Inneren von Gebeinen auf Friedhöfen gefundenen Vivianitkrystalle haben sich dort ohne Zweifel durch Einwirkung einer Lösung von kohlensaurem Eisenoxydul auf den phosphorsauren Kalk der Knochen angesiedelt (2, h). So kann es geschehen, dass durch gegenseitige Reaction wässeriger Solutionen sich eine krystallisirte Substanz, z. B. Schwerspath, abscheidet, welche selbst in Wasser so gut wie gar nicht löslich ist.

Von sehr grossem Gewicht für die Entstehungsweise der Mineralien auf nassem Wege sind die Beobachtungen von *Daubrée* über die Neubildungen, welche bei den Thermen von Plombières durch die Einwirkung des warmen, Alkalisilicat enthaltenden Wassers auf die Ziegelsteine und den Mörtel des dortigen römischen Mauerwerks in historischen Zeiten hervorgebracht wurden: in den Höhlungen dieser Massen krystallisirten

Zeolithe, namentlich Chabasit und Apophyllit, ferner Aragonit, Kalkspath, Flussspath (Annales des mines (5) XIII. 242); ähnliche Bildungen erfolgten auch im alten römischen Mörtel von Luxeuil (Haute-Saône) und zu Bourbonne-les-Bains (Haute-Marne); am letzteren Orte haben im moderigen Boden vergrabene römische Medaillen, insbesondere von Bronze, Anlass zur Neubildung sogar von krystallisirtem Kupferglanz, Kupferkies, Buntkupfererz, Fahlerz, Bleiglanz und Bleivitriol gegeben (Comptes rendus LXXX. 461. 604). — Andere Wahrnehmungen dieser Art sind noch: Rinden auf keltischen Bronzewaffen erwiesen sich als Covellin (CuS); Silbermünzen, die lange im Meerwasser gelegen, hatten eine Kruste von Chlorsilber, z. Th. von Bromsilber erhalten; ein Theil des edlen Rostes (aerugo nobilis) auf kupferhaltigen ägyptischen Antiken besteht aus Atacamit; antike Bleirohre, auf welche Wasser von Schwefelthermen lange eingewirkt, zeigten sich mit Bleiglanz und Bleihornerz incrustirt.

Mit vollem Recht können für den Erweis der Bildung auf wässerigem Wege auch verwerthet werden die Mineralvorkommnisse in den Luftkammern der fossilen Cephalopodenschalen, z. B. von Bergkrystall, Kalkspath, Braunspath, Eisenspath, Schwerspath, Cölestin, Goethit, Eisenkies, Zinkblende, Kupferkies, oder die Versteinerungs- und Vererzungsvorgänge bei Fossilresten. — Ferner gewisse Erscheinungen des Nebeneinandervorkommens: wo z. B. in den Gangdrusen zu Felsöbánya die rhombischen Schwerspathtafeln auf den büscheligen Antimonglanznadeln sitzen, welche schon an der Kerzenflamme schmelzen, kann der Schwerspath nur aus wässeriger Lösung krystallisirt sein, nicht aus dem Schmelzfluss, weil dieser die Antimonglanzkrystalle hätte zerstören müssen.

Aus der geschmolzenen Masse der Laven scheidet sich vor unseren Augen eine ganze Menge von Silicaten, Orthoklas, Plagioklas, Leucit, Nephelin, Augit, Hornblende, Olivin, Glimmer, auch andere Mineralien, wie Apatit, Magneteisen in Krystallen oder krystallinischen Individuen aus. Diese Mineralien bekunden ihre Krystallisation aus dem Schmelzfluss auch durch ihren Gehalt an mikroskopischen Glaspartikeln (3, a).

Kochsalz, Salmiak, Chlorkupfer, Chloreisen bilden sich durch Sublimation (4) an Vulkanen, wo auch Eisenglanz durch gegenseitige Zersetzung von dampfförmigem Chloreisen und Wasserdampf (5, b), Kupferoxyd (Tenorit) auf ganz analogem Wege entsteht.

Durch die Untersuchungen namentlich von *Scacchi* und *vom Rath* hat sich das merkwürdige Ergebniss herausgestellt, dass mehre Silicate, welche in Hohlräumen und Klüften von vulkanischen Eruptionsproducten auftreten, wie Leucit, Granat, Augit, Hornblende, Sodalith u. a. dort auf dem Wege der Sublimation entstanden sind; die specielleren Verhältnisse dieser Bildung sind freilich zur Zeit noch räthselhaft, doch scheinen Zersetzungen von Chlor- und Fluorverbindungen durch Wasserdampf eine Rolle gespielt zu haben. Wahrscheinlich gehören die in den Lithophysen-Hohlräumen von Rhyolithen und Obsidianen aufsitzenden Krystalle von Fayalit, Tridymit, Hypersthen, Topas, Granat ebenfalls hierher.

§ 176. **Natürliche Umbildungsprocesse der Mineralien.** Die festen Mineral- und Gesteinsmassen der Erdrinde befinden sich aber, obschon gerade ihnen scheinbar das Gepräge der Unveränderlichkeit aufgedrückt ist, in gar manchen, ja sehr vielen Fällen nicht mehr in demselben Zustande wie bei ihrer Entstehung, indem sie zum grossen Theil einem innerlichen vielfachen und stetigen Wechsel ihrer Zusammensetzung unterliegen. Auch in den anscheinend frisch erhaltenen Substanzen weist das Mikroskop in der Regel Spuren von begonnener oder weiter gediehener Veränderung nach. Diese Umwandlungen bieten Anlass zu

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

zahllosen Neubildungen und so hat auch die Steinwelt in gewissem Sinne ihr Leben, indem die Mineralien hier im Wachsen, dort im Vergehen begriffen sind und ein Muttermineral anderen neu gearteten Nachkömmlingen den Ursprung gibt. Die grosse Langsamkeit, mit der solche Alterationsprocesse von statten gehen und die Unscheinbarkeit der sie bedingenden Wirkungsmittel werden beide durch die Dauer der Vorgänge compensirt.

Das wesentlichste Agens, das Wasser nebst den darin aufgelösten Stoffen sucht sich nicht nur durch offene Klüfte, Spalten und Schichtungsfugen im Gebirgsgestein seinen Weg in die Tiefe, sondern ebenfalls durch dessen anscheinend solide Masse selbst. Auch in denjenigen mineralischen Substanzen, in denen das blose Auge keine Zwischenräume mehr aufdeckt, findet sich ein vielverzweigtes Netz feiner, nur mikroskopisch sichtbarer Haarspalten, auf denen das Wasser um so behender einsickert, als es, unablässig sich von oben ersetzend und so einem gewissen Druck unterworfen, in grösserer Tiefe gleichsam hineingepresst wird. Je unendlicher die Menge von Angriffspunkten ist, die sich ihm so darbietet, desto bedeutendere Wirkungen vermag es auszuüben. Dass selbst die anscheinend compactesten Massen von Flüssigkeiten durchdrungen werden können, zeigt die künstliche Färbung der Chalcedone und Achate.

Ungeheure Mengen von Substanzen werden so während der langen Dauer, in der die Gewässer unterirdisch circuliren, fortwährend den Steinmaterialien entzogen und die ausfliessenden Quellwasser enthalten immer mehr oder weniger grosse Quantitäten von salzigen und erdigen Theilen, in bedeutungsvollem Gegensatz zu dem ursprünglichen Regenwasser, welches, während es auf die Erdoberfläche fällt, fast ganz frei davon ist. Der Karlsbader Sprudel hält nach *Berzelius* in ca. 300000 Theilen Wasser auch 1 Theil Fluorcalcium (Flussspath) in sich aufgelöst; ist dies auch nur eine scheinbar verschwindend kleine Quantität, so fliessen doch mit dem Thermalwasser im Laufe eines Jahres 250 Centner Flussspath im aufgelösten Zustande heraus, welche den dortigen Gesteinen entzogen sind. Die keineswegs sehr reichlich strömende Soolquelle zu Neusalzwerk in Westfalen befördert nach der Rechnung *G. Bischof*'s in ihrem Wasser jährlich 18000 Ctr. kohlensauren Kalk und 1400 Ctr. Eisenocker an die Erdoberfläche. Alle aus dem Gypsgebirge ausfliessenden Quellen halten schwefelsauren Kalk gelöst und in ähnlicher Weise ist auch ein grosser Theil des kohlensauren Kalks der Erde auf steter Wanderschaft in den Quellen und Flüssen begriffen. Da es in der That kaum eine in dem Sickerwasser absolut unlösliche Mineralsubstanz gibt (S. 322), so müssen sämmtliche Stoffe, die in der Erdrinde existiren, auch in den Quellen gelöst sein, wenngleich manche in kaum aufspürbaren Mengen.

Dringt solches Wasser noch zuvor in grössere Tiefe ein, so ist es, mit den in Lösung gehaltenen chemisch wirksamen Substanzen ausgerüstet, dort im Stande, fernere complicirtere Zersetzungen einzuleiten und durch das Zusammentreffen mit anderen Lösungen oder mit festen Körpern weitere Neubildungen hervorzurufen. Aus der Lösung oder dem Mineral AB und der hinzutretenden Lösung CD entsteht die zurückbleibende Verbindung BC und die neue Lösung AD; erstere kann sich mit einer ferner hinzutretenden anderen Lösung so umsetzen, dass von dem ursprünglichen Mineral AB gar nichts übrig bleibt.

Eine besondere Menge von Belehrung über die Entwickelungsgeschichte der Mineralien wird von den metasomatischen Pseudomorphosen dargeboten, indem dieselben durch das Erhaltensein der Form der ursprünglichen Substanz nicht nur

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Aufschluss darüber gewähren, welchen Umwandlungsvorgängen ein gegebenes Mineral anheimfällt, sondern auch für das an die Stelle getretene neue Mineral die Thatsächlichkeit einer Entstehung aus dem ersteren bekunden. Die Pseudomorphosen besitzen daher nach doppelter Richtung, für zwei Mineralien, Wichtigkeit.

Zu den hydrochemischen Processen, den in der Natur auf nassem Wege erfolgenden Vorgängen der Auflösung, Zersetzung, Neubildung von Mineralien gehören namentlich folgende, welche theils durch einfache und unmittelbare Beobachtungen erkannt, theils experimentell ermittelt wurden[1]).

1) Einfache Auflösung durch atmosphärisches Wasser; ihr fallen z. B. Steinsalz, Gyps, Vitriole, Alaune anheim, welche dann aus der Lösung wieder herauskrystallisiren können. — 100 Theile reinen Wassers lösen von Chlormagnesium 50,7, von Chlornatrium 35,7, von Chlorkalium 31, von Kaliumcarbonat 24,4, von Natriumsulfat 16,28, von Kaliumsulfat 10,3, von Natriumcarbonat 8,3, von Gyps nur 0,205, von Kalkspath 0,0025, von Baryumsulfat gar nur 0,0002 Gewichtstheile. Bei den meisten Substanzen wird die Löslichkeit durch Erhöhung der Temperatur, und in diesem Falle auch durch Druckwirkung gesteigert.

2) Lösung der Carbonate (Kalkspath, Eisenspath u. s. w.) im kohlensäurehaltigen Wasser; aus den gebildeten Bicarbonatlösungen (z. B. $CaO + 2CO^2 + H^2O$) wird beim Verdunsten eines Theiles der Kohlensäure das Carbonat anderswo wieder ausgeschieden; so können solche Carbonate im weitesten Maasse ebenfalls ihren Ort verändern. 10000 Theile mit Kohlensäure gesättigten Wassers lösen von Kalkspath 10—12, von Eisenspath 7,2, von Dolomit 3,1, von Magnesitspath 1,2 Gewichtstheile. Auf diesem Vorgang beruht auch ein Theil der Dolomitbildung aus dolomitischen (magnesiacarbonathaltigen) Kalksteinen, indem $CaCO^3$ zunächst allein gelöst und dadurch der Gehalt an $MgCO^3$ angereichert wird.

3) Hydratisirung oder Umwandlung wasserfreier Substanzen in wasserhaltige, z. B. diejenige des Anhydrits in Gyps, des Eisenoxyds in Eisenoxydhydrat. Der Vorgang ist auch wirksam bei der Zeolithbildung, indem die meisten dieser Mineralien nichts weiter sind, als die im wasserhaltigen Zustande regenerirten Feldspathe oder feldspathähnlichen Silicatgemengtheile des Gebirgsgesteins, auf dessen Hohlräumen sie sich finden. — Vielfach scheint die Hydratisirung durch kohlensäurehaltiges Wasser vermittelt; so ist die hierher gehörige Umbildung des Olivins in Serpentin denkbar als: $2Mg^2SiO^4 + CO^2 + 2H^2O = H^4Mg^3Si^2O^9 + MgCO^3$ (welches letztere dann durch das kohlensaure Wasser weggeführt wird); oder die des Tremolits in Talk als: $CaMg^3Si^4O^{12} + CO^2 + H^2O = H^2Mg^3Si^4O^{12} + CaCO^3$; oder die des Enstatits in Talk als: $4MgSiO^3 + CO^2 + H^2O = H^2Mg^3Si^4O^{12} + MgCO^3$.

4) Hydratisirung unter Austreibung von Kohlensäure; das Wasser als solches kann, während langer Dauer in steter Zufuhr begriffen, eine so schwache Säure wie die Kohlensäure austreiben und selbst als Säure wirken. Darauf beruht u. a. das Hervorgehen von Eisenoxydhydrat (Brauneisen) aus Eisenoxydulcarbonat (Eisenspath), ein Process, den nicht nur vereinzelte Pseudomorphosen vorführen, sondern

1) Diese Gesetze festgestellt zu haben ist vor Allem das unvergängliche Verdienst von *Gustav Bischof* (Lehrbuch d. chemisch. u. physik. Geologie. 2. Aufl. Bonn 1863—66). Vgl. auch *Lemberg* in Z. d. geol. Ges. XXII. 335; XXIV. 187; XXVIII. 519; XXIX. 457.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

meilenweite und tausend Fuss mächtige Lagerstätten erlitten haben; er kann gedacht werden als: $4FeCO^3 + 2O + 3H^2O = 2Fe^2O^3 + 3H^2O + 4CO^2$. Ferner gehört hierher die Entstehung von grünem Malachit aus blauer Kupferlasur.

5) Trockene Luft entzieht manchen wasserhaltigen Mineralien das Wasser theilweise oder gänzlich (vgl. S. 266); sie überziehen sich dabei zunächst mit einer trüben Rinde, werden dann zu einer lockeren Masse oder zerfallen zu Pulver (sog. Verstäubung). Beispiele liefern Krystalle von Zinkvitriol, Borax, Soda, Bittersalz. — Dem wasserhaltigen Calciumsulfat, dem Gyps kann sein Wasser entzogen werden, wenn er in einer Platinschale mit Chlornatriumlösung gekocht wird; es geht alsdann Anhydrit aus ihm hervor.

6) Oxydation durch sauerstoffbeladenes Wasser, ein sehr weitverbreiteter Process, durch welchen Metalloxydule (z. B. von Eisen, Mangan) zu Metalloxyden werden; hierauf beruht z. B. die Röthung und Bräunung mancher Felsarten. Insbesondere werden aber auch Schwefelmetalle zu (wasserhaltigen) schwefelsauren Metalloxyden oxydirt, z. B. Eisenkies zu Eisenvitriol, Zinkblende zu Zinkvitriol, Kupferkies zu Kupfervitriol und Eisenvitriol, Bleiglanz zu Bleivitriol. Durch die gebildeten Vitriole werden weitere Wechselzersetzungen eingeleitet (Nr. 16); ebenso werden Arsenmetalle zu arsensauren Salzen oxydirt (Kobaltglanz und Speiskobalt zu Kobaltblüthe). Ferner beruht hierauf die Bleichung schwarzer, durch Kohle gefärbter Gesteine, wie mancher Kalksteine, indem aus ihrem Kohlenstoff entweichende Kohlensäure wird.

7) Reduction durch Wasser, welches mit organischen Stoffen beladen ist, ein Vorgang, welcher dem eben angeführten entgegenwirkt; er bringt z. B. eine Wiederherstellung der Schwefelverbindungen aus den betreffenden entstandenen Vitriolen hervor; so entsteht der häufige Ueberzug von glänzendem Eisenkies auf Versteinerungen und Fischabdrücken, deren modernder Leib für die hinübersickernde Vitriollösung die Sauerstoffentziehung besorgte, gleichfalls die vielfache Durchsprenkelung der Braunkohle oder Steinkohle mit Eisenkieskörnchen. Ebenso werden durch diesen Vorgang die Sulfate von Alkalien oder alkalischen Erden unter Bildung von Schwefelwasserstoff zu Schwefellebern reducirt (welche dann ihrerseits die Silicate, Carbonate, Sulfate der Metalle als Schwefelmetalle fällen können (vgl. Nr. 13). Ferner bewirkt der Process die Reduction der Oxyde in Oxydule, eine Bildung von gediegenen Metallen. Auch Eisenoxydhydrat wird durch faulende organische Substanzen zu Eisenoxydul reducirt, unter Bildung von Kohlensäure. Dieselben Substanzen reduciren ferner Eisenoxydsilicat zu Eisenoxydulsilicat oder Eisenoxydulcarbonat.

8) Kohlensäurehaltiges Wasser zersetzt bei gewöhnlicher Temperatur die Silicate von Kalk, Kali, Natron, Eisenoxydul, Manganoxydul, wobei Carbonate dieser Basen gebildet werden und freie Kieselsäure entsteht; die verbreitetsten Silicate als Gemengtheile der Felsarten unterliegen theilweise diesem Vorgang, wie Feldspathe, Augite, Hornblenden u. s. w. Dabei setzen sich Kalkspath, Eisenspath u. s w. ab, oder die entstehenden gelösten Carbonate verursachen ihrerseits weitere hydrochemische Processe (Nr. 9, 17, 24, 28). Die frei gewordene Kieselsäure bildet Quarz oder Opal; ein grosser Theil des Quarzes auf Erden, insbesondere der in Adern, Gängen und anderen Hohlräumen, muss angesehen werden als Absatz aus

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Gewässern, welche da, wo zusammengesetzte Silicate so der Zersetzung unterlagen, sich mit der dabei frei werdenden Kieselsäure beluden. — Thonerdesilicat wird dagegen von kohlensäurehaltigem Wasser nicht angegriffen; die Thonerde verbleibt daher in den ihrer anderen Bestandtheile beraubten Gesteinen in Verbindung mit Kieselsäure und Wasser als letzter, weiter fast unangreifbarer Zersetzungsrückstand (Thon). Die Umwandlung einer ganzen Menge von frischen Felsarten in Thon ist so das Endziel solcher Processe, ja man kann sagen, dass aller Thon auf Erden aus der Verwesung von oft complicirt zusammengesetzten Thonerdesilicaten hervorgegangen ist, mag er sich noch auf der Stätte seiner Entstehung befinden, oder durch fluthendes Gewässer nach anderen Orten hin zusammengeschwemmt sein. — Auch Eisenoxydsilicat wird durch kohlensäurehaltiges Wasser nicht angegriffen, Magnesiasilicat nur ganz wenig durch dasselbe zersetzt.

9) Auch kohlensaure Alkalien zersetzen Kalksilicat: es bildet sich Alkalisilicat und kohlensaurer Kalk, welcher vielfach fortgeführt wird, so dass in dem Silicat blos eine Ersetzung des Kalks durch Alkali stattgefunden hat (z. B. in den Pseudomorphosen von Glimmer nach Skapolith). Magnesiasilicat verhält sich gleichfalls kohlensauren Alkalien gegenüber sehr widerstandsfähig.

10) Die Silicate von Zink, Kupfer, Nickel, Silber werden durch Kohlensäure unter Abscheidung von Kieselsäure zu Carbonaten zersetzt, welche in kohlensäurehaltigem Wasser löslich sind; so können metallische Silicate aus den Gebirgsgesteinen als Carbonate weggeführt und letztere unter Bildung von Quarz in Spalten abgesetzt werden (aber nach Nr. 13 auch Schwefelmetalle liefern).

11) Die Silicate von Blei, Kupfer, Nickel, Zink, Silber werden durch Schwefelwasserstoff zersetzt: es bilden sich Schwefelmetalle und Quarz; ebenfalls ein häufiger Process für die Erzgangbildung.

12) Gewässer mit Gehalt an Schwefelalkalien lösen die Sulfide von Sn, Sb, As.

13) Schwefelverbindungen der Alkalien oder alkalischen Erden (Nr. 7) fällen aus Silicaten, Sulfaten, Carbonaten der Metalle die betreffenden Schwefelmetalle. Dieselben Schwefelverbindungen bilden auch aus Eisenhydroxyd Eisenbisulfid.

14) Eine Anzahl von basischen Silicaten wird durch stärkere Säuren auf nassem Wege zersetzt, unter Abscheidung von Kieselsäure. Die Schwefelsäure z. B., welche an Solfataren und thätigen Vulkanen aus Schwefelwasserstoff oder schwefeliger Säure entstanden ist, treibt die schwächere Kieselsäure aus ihren Verbindungen aus und bildet mit den Basen Sulfate (Gyps, Alaun u. s. w.). Im Gegensatz zur Kohlensäure werden hierdurch Thonerde und Eisenoxyd leicht in Lösung gebracht.

15) Wirkt die Solution eines schwerer löslichen Bicarbonats auf ein leichter lösliches krystallisirtes Carbonat, so wird letzteres durch das erstere Carbonat ersetzt; behandelt man Kalkspathpulver mit Bicarbonatlösung von Fe oder Zn oder Mg, so löst sich der Kalkspath, während Carbonat von Fe, Zn oder Mg an seine Stelle tritt. Der Vorgang kommt bei den S. 360 erwähnten Verdrängungen zur Geltung.

16) Kohlensaurer Kalk wird durch Chlormagnesiumlösung zersetzt; er wandelt sich in kohlensaure Magnesia um, während Chlorcalcium in Lösung geht.

17) Kalkbicarbonat und mehre schwefelsaure Metalloxyde (Kupfer, Eisen, Zink) setzen sich um zu schwefelsaurem Kalk und metallischen Carbonaten. So gibt

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

das aus dem oxydirten Kupferkies hervorgegangene Kupfersulfat, wenn es mit einer Lösung von Kalkbicarbonat zusammentrifft, Anlass zur Bildung von Gyps und Malachit. — Ebenso zersetzt Alkalibicarbonat den schwefelsauren Kalk zu Kalkcarbonat und schwefelsaurem Alkali (Pseudomorphosen von Aragonit nach Gyps). Auf dieselbe Weise kann auch Baryumsulfat in Baryumcarbonat verändert werden.

18) Eisenoxydulbicarbonat zersetzt phosphorsauren Kalk; wo der letztere z. B. von verwesenden pflanzlichen oder von animalischen Substanzen geliefert wird, entstehen Krystalle von Eisenoxydulphosphat (Vivianit) und erdiges Eisenblau, wie in Torfmooren und Knochen.

19) Aus Kalksulfat und Magnesiacarbonat entsteht Bittersalz.

20) Alkalisilicate werden durch schwefelsauren Kalk, schwefelsaure Magnesia, Chlorcalcium oder Chlormagnesium zersetzt: es bilden sich Kalk- oder Magnesiasilicat, daneben schwefelsaure Alkalien oder Chloralkalien; eventuell eine rückläufige Wiederherstellung des nach Nr. 9 Zersetzten.

21) Kalksilicate werden zersetzt durch schwefelsaure Magnesia; es entstehen Magnesiasilicate und löslicher schwefelsaurer Kalk; ebenfalls durch Chlormagnesium, wobei Magnesiasilicate und lösliches Chlorcalcium hervorgehen (vgl. Nr. 24); Wollastonit, $CaSiO^3$, mit $MgCl^2$-Lösung behandelt, liefert ein Product von der ungefähren Zusammensetzung H^2MgSiO^4.

22) Kalisilicate werden durch Magnesiabicarbonat zersetzt: es bildet sich Magnesiasilicat und lösliches Kalicarbonat (bei Feldspathen). Alkalisilicate erleiden ebenso eine Zersetzung durch Eisenoxydulbicarbonat, wobei Eisenoxydulsilicat entsteht.

23) Kalisilicat wird durch Chlornatrium zersetzt; dadurch wird Natronsilicat und Chlorkalium gebildet; so kann Natron an die Stelle von Kali treten. Wird Pulver von Leucit, $KAlSi^2O^6$, mit NaCl-Lösung behandelt, so entsteht nach *Lemberg* ein Product von der Zusammensetzung $H^2NaAlSi^2O^7$ (Analcim); dieses Pulver wandelt sich bei der Behandlung mit KCl wieder zurück in Leucitsubstanz.

24) Kalksilicat und Magnesiabicarbonat erzeugen Kalkbicarbonat und Magnesiasilicat; so kann Magnesia an die Stelle des Kalks treten (vgl. Nr. 21).

25) Thonerdesilicate werden zersetzt durch schwefelsauren Kalk oder Chlorcalcium zu Kalksilicaten, wobei sich nebenher Thonerdesulfat oder Chloraluminium bildet; desgleichen durch schwefelsaure Magnesia oder Chlormagnesium, unter Erzeugung von Magnesiasilicat und denselben beiden löslichen Aluminiumverbindungen. — In Anbetracht von Nr. 20, 21, 25 können daher in einem Mineral, welches gleichzeitig Alkali-, Kalk- und Thonerdesilicat enthält, alle drei in Magnesiasilicat umgewandelt werden; die übrigen entstehenden Stoffe werden als löslich weggeführt.

26) Wirkt Wasser, welches Kohlensäure und Natronsilicat hält, auf kohlensauren Kalk, so geht kohlensaures Natron in Lösung und Kieselsäure setzt sich ab; Pseudomorphosen von Quarz nach Kalkspath mögen so entstanden sein.

27) Kommt die Lösung eines Eisenoxydsalzes mit Kalkstein in Berührung, so wird das Eisen als Oxyd (Rotheisen) oder Hydroxyd (Brauneisen) gefällt und der Kalk in Lösung weggeführt. Als Zwischenglied entsteht oft Eisenspath.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

28) Kohlensaure Alkalien zersetzen Fluorcalcium unter Bildung von kohlensaurem Kalk und löslichen Fluoralkalien; gelöstes Fluornatrium zersetzt Kalksilicat: es bildet sich Natronsilicat und wieder Fluorcalcium; gelöstes Fluorkalium (wie es z. B. bei der Zersetzung fluorhaltigen Glimmers geliefert werden kann) zersetzt Thonerdesilicat, wobei Kalisilicat und Fluoraluminium entstehen. — Auch Chloride können durch Natronbicarbonat bei gew. Temperatur in Carbonate umgewandelt werden: Atacamit, $CuCl^2 . 3(Cu[OH]^2)$, liefert so Malachit, $CuCO^3 . Cu[OH]^2$.

Bei dem Verhalten der Mineralien gegen Lösungen kommt das Gesetz der Massenwirkung zur Geltung, nach welchem jeder Stoff eine seiner wirksamen Masse proportionale chemische Wirkung ausübt. Baryumcarbonat kann durch eine Sulfatlösung in Baryumsulfat, Baryumsulfat umgekehrt durch eine Carbonatlösung in Baryumcarbonat vollständig umgewandelt werden, sofern die erforderlichen beiden Lösungen in hinreichender Menge vorhanden sind. Ist dagegen nicht genügend Lösung vorhanden, so stockt die Umwandlung, sobald in der Lösung CO^3 und SO^4 dasjenige bestimmte Verhältniss erlangt haben, in welchem sich die beiden schwerlöslichen Salze gleichzeitig in Wasser lösen. Je leichter löslich ein Salz im Verhältniss zu einem anderen ist, desto leichter erfolgt die Umsetzung des ersteren in das letztere. Es bedarf deshalb viel weniger des Sulfats, um das leichter lösliche Baryumcarbonat in Sulfat umzuwandeln, als des Carbonats, um das schwerer lösliche Baryumsulfat in Carbonat zu verwandeln. Da beim Strontium umgekehrt das Carbonat schwerer löslich ist, als das Sulfat, so ist hier für die Carbonatbildung aus dem Sulfat weniger des Carbonats erforderlich, als des Sulfats, um Strontiumsulfat aus dem Carbonat hervorgehen zu lassen.

Bei den Umwandlungsvorgängen braucht nicht immer aus einem wasserfreien Mineral ein wasserhaltiges zu entstehen, wie das Hervorgehen von Hornblende aus Augit oder Olivin, das von Orthoklas aus Leucit zeigt.

Hervorzuheben ist noch, dass man die in einem gewissen Falle sicher constatirte Bildungsweise eines Minerals nicht ohne weitere Prüfung auch auf andere Vorkommnisse desselben in der Natur übertragen darf. Für manche Mineralien ist es entschieden dargethan, dass dieselben auch natürlich auf sehr verschiedenem Wege entstehen können. Der Feldspath scheidet sich z. B. vor unseren Augen aus der geschmolzenen Masse der Laven aus; die Feldspathkrystalle aber, welche sich in den oberen Regionen der Kupferhütte zu Sangerhausen und des Eisenhochofens auf der Josephshütte bei Stollberg gebildet haben, können dahin nur als Sublimationsproducte gelangt sein. Und diejenigen Feldspathe, welche die Gerölle des Conglomerats bei Oberwiesa überkrusten und die Zwischenräume zwischen denselben ausfüllen, vermag man sich dort nur als auf nassem Wege entstanden zu denken. So ist also für eine und dieselbe Substanz ein dreifach verschiedener Bildungsact auf diese Weise möglich. Ja wenn wir gewahren, dass der Orthoklas als eine nur durch die Wirkung wässeriger Solutionen vermittelte Pseudomorphose nach Leucit, Analcim, Epidot und Prehnit auftritt, so stehen wir innerhalb einer und derselben Bildungsmodalität wieder vier abweichenden Specialvorgängen gegenüber, deren Product allemal Orthoklas ist. — Epidot entsteht nachweisbar aus Orthoklas, Oligoklas, Labradorit, aus Hornblende, aus Augit, aus Biotit, aus Skapolith.

Pyrochemische, d. h. durch natürliche Erhitzungsvorgänge vermittelte Umwandlungen sind nur von localer Bedeutung; vgl. die kaustischen Contactmetamorphosen S. 364 und die Wirkungen der Erdbrände S. 363.

Unter dem Einfluss des Lichtes erfolgen bei gewissen Mineralien Veränderungen; so zerfällt Realgar im Licht zu einem orangegelben Pulver, Auripigment oxydirt sich zu arseniger Säure; andere Mineralien bleichen aus, wie Chrysopras, Rosenquarz, gefärbte Steinsalze und Flussspathe, Kobalt- und Nickelblüthe.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Neben den Veränderungen, welche sich auf die chemische Substanz der Mineralien beziehen, verdienen auch noch die Fälle Erwähnung, in denen es sich blos um eine Veränderung der Structur oder des Gefüges bei den Aggregaten handelt. Feuchtet man das Pulver löslicher Salze an und lässt es längere Zeit stehen, so nimmt die Masse eine deutlich krystallinische Zusammensetzung aus grösseren Individuen an: ein Theil der kleinen Pulverpartikelchen wächst unter dem Bestreben, die vorhandenen Oberflächen möglichst zu verkleinern, in seinen Dimensionen auf Kosten der anderen, welche dabei aufgezehrt werden. Auf ähnliche Weise wird auch die Structurbeschaffenheit derjenigen deutlich körnigen Kalksteine erklärt, für welche es wahrscheinlich ist, dass sie früher dichte Kalksteine dargestellt haben, ferner das bisweilen ziemlich grobe Korn der älteren Steinsalzbildungen, indem die Absätze der Jetztzeit aus den Salzseen fast dicht ausfallen.

Hierhin kann auch gerechnet werden das Weiterwachsen von Mineralfragmenten in klastischen Gesteinen, wodurch die letzteren in Massen von anscheinend krystallinischer Zusammensetzung übergeführt werden; am frühesten wurde dasselbe beim Quarz bekannt, um dessen abgerundete allothigene Körner in Sanden und lockeren Sandsteinen sich aus durchtränkender Kieselsäurelösung eine authigene, optisch und krystallographisch übereinstimmend orientirte Quarzrinde (sog. ergänzende Kieselsäure) absetzt, welche, wo Raum vorhanden ist, nach aussen selbst krystallographische Form annimmt. Dadurch kann die Trümmermasse, indem alle Fugen sich schliessen, zu einem compacten, scheinbar krystallinischen Quarzit umgewandelt werden. Vielfach ist der Gegensatz zwischen den ursprünglichen Körnern und der angewachsenen Quarzkruste daran zu erkennen, dass die ersteren durch zahlreiche Flüssigkeitseinschlüsse getrübt sind, die letztere ganz rein und klar erscheint.

Sechster Abschnitt.

Von der gegenseitigen Abgrenzung und systematischen Gruppirung der Mineralien.

§ 177. **Principien der Abgrenzung.** Bevor auf Grundlage der bisherigen Angaben die Beschreibung der einzelnen Mineralien selbst erfolgen kann, handelt es sich zunächst noch um die Feststellung, was als ein Mineral (als eine besondere Mineralart) zu betrachten und demzufolge mit einem eigenen Namen zu belegen ist, sowie um die Bestimmung der Reihenfolge, in welcher die verschiedenen, gegen einander abgegrenzten Mineralarten aufgeführt werden sollen.

Den Inbegriff dessen, was als ein Mineral zu betrachten ist, hat man die mineralogische Species genannt, indem man bestrebt war, auf dem hier vorliegenden Gebiet die möglichste Analogie mit der Zoologie und Botanik herzustellen. Für chemische Grundstoffe aber und chemische Verbindungen, wie es die Mineralien sind, kann der Begriff der Species in der Weise, wie er im Reich der

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

organischen Welt mit mehr oder minder Recht Gültigkeit besitzt, gar keine Bedeutung haben, ebensowenig wie für die im Laboratorium künstlich erzeugten Substanzen.

Um indessen der Unbequemlichkeit zu entgehen, welche darin liegt, dass einmal unter »Mineral« das einzelne Vorkommniss oder Individuum, das anderemal der Complex der als zusammengehörig erkannten und besonders zu benennenden Körper verstanden werden soll, mag es erlaubt sein, den letzteren als die Mineralart zu bezeichnen, wobei jedoch abermals zu betonen ist, dass dabei von demjenigen Artbegriff, wie er in der organischen Welt eine Rolle spielt, hier keine Rede sein kann. Aus den nachfolgenden Erwägungen wird es sich ergeben, dass eine völlig consequente und strenge Fixirung und Abgrenzung dessen, was eine Mineralart begründet, auf gewissen Gebieten zu den unmöglichen Dingen gehört.

Wenn zwei Mineralkörper A und B in allen ihren morphologischen, physischen und chemischen Eigenschaften vollkommen übereinstimmen, so sind sie einerlei oder absolut identisch.

Hierbei versteht es sich jedoch von selbst, dass bei krystallisirten Mineralien weder gleiche Grösse noch gleiche Vollkommenheit der Krystallform, und auch bei Aggregaten durchaus nicht gleiche Grösse der Individuen erfordert wird.

Eine solche absolute Identität wird aber nicht mehr bestehen, wenn irgend eine Eigenschaft in dem Mineral A anders erscheint, als in dem Mineral B. Es kann jedoch diese Verschiedenheit in sehr vielen Fällen entweder unwesentlich sein, oder auch in einer höheren Einheit aufgehen, und dann werden beide Mineralien zwar nicht mehr für absolut, aber doch für relativ identisch zu erklären sein. Dies wird allemal gestattet sein:

1. Wenn die beiden Modalitäten der betreffenden Eigenschaft in einer nothwendigen Correlation zu einander stehen, und aus einem und demselben Grundtypus abgeleitet werden können (zweierlei Formen derselben Krystallreihe, kleine Zumischungen einer isomorphen Substanz).
2. Wenn, bei blos quantitativer Differenz der beiden Modalitäten, dieselbe als nothwendige Folge der Verschiedenheit irgend einer anderen Eigenschaft hervortritt, deren Unterschiede nach 1. aufgehoben erscheinen (verschiedenes specifisches Gewicht als Folge geringer Zumischung einer isomorphen Substanz).
3. Wenn sich, bei quantitativer oder qualitativer Differenz der beiden Modalitäten, die betreffende Eigenschaft überhaupt als eine zufällige und unwesentliche zu erkennen gibt (verschiedene Farben bei gefärbten Mineralien, verschiedene Arten oder Grade des nicht-metallischen Glanzes).

Wenn man nun unter einer gegen die anderen abzugrenzenden und besonders zu benennenden selbständigen Mineralart den Inbegriff aller Mineralkörper versteht, welche absolute oder relative Identität ihrer Eigenschaften erkennen lassen, so sind jedoch die Grenzen, innerhalb welcher, und die Bedingungen, unter welchen die relative Identität noch zugestanden werden kann, für verschiedene Eigenschaften verschieden, und müssen daher für die wichtigeren derselben besonders erwogen werden.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Betreffs der morphologischen Eigenschaften ist zunächst der Unterschied des krystallinischen und amorphen Zustandes zu berücksichtigen, welcher in keinem Falle aufgehoben werden kann, so dass zwei selbst chemisch absolut identische Mineralien, von denen das eine krystallinisch, das andere amorph ist, nimmer vereinigt werden können. Sind dagegen beide Mineralien krystallinisch, aber verschiedentlich gestaltet, so kann solche Verschiedenheit aufgehoben und auf relative Identität zurückgeführt werden, sobald sich die verschiedenen Gestalten als Glieder eines und desselben Formencomplexes erkennen lassen, weil sie dann nur als verschiedene Ausdrücke desselben Gestaltungsgesetzes zu betrachten sind. Zwei krystallisirte Individuen also, deren Gestalten zwar verschieden, aber aus derselben Grundform ableitbar sind, werden nach 1. in morphologischer Hinsicht relativ identisch sein. Dabei sind jedoch noch zu berücksichtigen:

a) der Charakter der Krystallformen, ob solcher nämlich vollflächig oder irgendwie theilflächig ausgebildet ist: die relative Identität zweier Mineralien setzt allemal denselben Charakter ihrer Krystallformen voraus;

b) die kleinen Schwankungen der Dimensionen bei solchen Mineralien, in deren Zusammensetzung isomorphe Bestandtheile hinzugemischt sind. Da nämlich in solchen Fällen die Differenz der chemischen Constitution, in welcher jene Schwankungen begründet sind, nach 1. aufgehoben ist, so kann nach 2. noch relative Identität der Formen zugestanden werden.

Sämmtliche mit der Krystallform unmittelbar zusammenhängende und nach ihren Gesetzen geregelte physikalische Eigenschaften unterliegen denselben Folgerungen, wie die Krystallform selbst. Die Zusammengehörigkeit zweier Mineralien setzt jedenfalls absolute oder relative Identitäten ihrer physikalischen Eigenschaften voraus. Dahin gehört zuvörderst die Spaltbarkeit, welche bei der geringen Anzahl und constanten Richtung ihrer Flächen hier einen noch höheren Werth hat, als die vielfach wechselnde äussere Gestalt. Zwei Mineralien derselben Art müssen also auch dieselben, das heisst, die denselben Krystallformen entsprechenden Spaltungsformen besitzen. Die optischen Erscheinungen sind nach ihrer allgemeinen Abhängigkeit von der Krystallform zu beurtheilen. Da das specifische Gewicht wesentlich von der chemischen Constitution und von der Krystallisation (oder allgemeiner, von der Erstarrungsform) der Mineralien abhängt, so ist es eine Eigenschaft von der grössten Bedeutung. Mit derselben chemischen Constitution kann bei wesentlich verschiedener Krystallisation ein sehr verschiedenes specifisches Gewicht verbunden sein (Heteromorphie), während umgekehrt, bei schwankender Constitution aber gleicher Krystallform, auch das spec. Gewicht gewisse Schwankungen zeigen wird.

In dieser Hinsicht erlangt namentlich das Zugemischtsein isomorpher Substanzen und das Vorkommen zufälliger Beimengungen einige Wichtigkeit, und es muss im Allgemeinen das specifische Gewicht zweier Mineralien derselben Art nach 2. innerhalb gewisser, jedoch innerhalb so enger Grenzen schwankend gelassen werden, dass die dadurch gestatteten Differenzen aus jenen Verhältnissen zu erklären sind (z. B. verschiedene Kalkspathe, Eisenspathe). Denn die relative Identität der chemischen Constitution ist es, welche in solchen Fällen die Differenzen des Gewichts aufhebt.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Auch die Härte kann für zwei Mineralien derselben Art innerhalb gewisser Grenzen schwankend befunden werden, welche aber niemals sehr weit auseinander liegen. In Farbe, Glanz und Pellucidität ist zuvörderst der Unterschied des metallischen und des nicht-metallischen Habitus begründet, welcher für die Beurtheilung der Identität der Mineralien von grosser Bedeutung ist, so dass zwei zusammengehörige in der Regel auch einen und denselben Habitus zeigen müssen. Betreffs der Farbe ist vorzüglich der Unterschied des idiochromatischen und allochromatischen Wesens geltend zu machen. Zwei idiochromatische Mineralkörper müssen eine fast völlige Identität der Farbe (wenigstens in qualitativer Hinsicht) besitzen, wenn sie zu einer und derselben Art gehören sollen, weil ihre Farbe eine wesentliche und nothwendige Eigenschaft ihrer Substanz ist. Bei gefärbten Mineralien dagegen ist die Farbe eine zufällige und unwesentliche Eigenschaft, auf welche bei der Beurtheilung der Identität oder Diversität nur selten ein Gewicht zu legen ist. Für den Glanz ist besonders die Qualität oder Art zu berücksichtigen, für welche sich indessen nur allgemeine Unterschiede geltend machen lassen; die Stärke kann oft von zufälligen Umständen abhängen. Der Gegensatz zwischen Pellucidität und Opacität ist an und für sich von grosser Wichtigkeit, und wird in der Regel eine Verschiedenheit begründen; dagegen werden die verschiedenen Grade der Pellucidität durch mancherlei nebensächliche Umstände bedingt, so dass sie nur selten hier in Betracht kommen.

Sodann muss im Allgemeinen für zwei Mineralkörper derselben Art Identität der chemischen Constitution gefordert werden, wobei natürlich das Dasein oder der Mangel eines wesentlichen Wassergehalts mit zu berücksichtigen ist, weil ein wasserhaltiges und ein wasserfreies Mineral niemals (auch nicht relativ) identisch sein können, wenn sie auch übrigens genau dieselbe Zusammensetzung haben sollten. Eine absolute Identität der chemischen Constitution ist jedoch keineswegs immer vorhanden, und sehr häufig findet nur eine relative Identität statt. Dies ist, abgesehen von allerlei nur verunreinigenden Stoffen, besonders der Fall, wenn bei der Zusammensetzung des Minerals eine Zumischung isomorpher Substanz stattgefunden hat, indem dann, unbeschadet der relativen Identität, bis zu einem gewissen Grade ein Schwanken der Zusammensetzung zulässig ist. Die partielle Verschiedenheit der Bestandtheile wird in solchem Falle durch die Eigenschaft ihres Isomorphismus ausgeglichen (1.).

Indessen darf sich diese Zumischung isomorpher Bestandtheile nicht in allen Fällen bis zu einem Ueberwiegen derselben steigern, wenn noch von einer Zusammengehörigkeit die Rede sein soll. Gerade auf diesem chemischen Gebiet liegt aber in dem Dasein der isomorphen Mischungen die Hauptschwierigkeit, welche sich der consequenten und befriedigenden Abgrenzung einzelner Mineralarten entgegenstellt.

Geht man von den drei als isomorph betrachteten Grundverbindungen

$CaCO^3$ Kalkspath, $MgCO^3$ Magnesitspath, $FeCO^3$ Eisenspath

aus, so gibt es, wenn $x > y > z$, folgende rhomboëdrische Mischungen derselben, welche entweder schon gefunden worden sind, oder jeden Tag analysirt werden können:

1) $x CaCO^3 + y MgCO^3$,
2) $x CaCO^3 + y FeCO^3$,
3) $x CaCO^3 + y MgCO^3 + z FeCO^3$,
4) $x CaCO^3 + y Fe Ca^3 + z MgCO^3$,
5) $x MgCO^3 + y CaCO^3$,
6) $x MgCO^3 + y FeCO^3$,
7) $x MgCO^3 + y CaCO^3 + z FeCO^3$,
8) $x MgCO^3 + y FeCO^3 + z CaCO^3$,
9) $x FeCO^3 + y CaCO^3$,
10) $x FeCO^3 + y MgCO^3$,
11) $x FeCO^3 + y CaCO^3 + z MgCO^3$,
12) $x FeCO^3 + y MgCO^3 + z CaCO^3$.

Die Zahl der Mischungsverhältnisse wird nun aber dadurch noch erhöht, dass innerhalb der Grenzen der obigen Bedingung x, y und z selbst wieder unter sich die verschiedensten Werthe besitzen können. Und ausserdem finden sich auch noch die rhomboëdrisch-isomorphen Carbonate $MnCO^3$ und $ZnCO^3$ manchfach zugemischt.

Wenn nun aber, wie dies einleuchtend ist, die Unmöglichkeit vorliegt, die einzelnen Mischungsverhältnisse als eben so viele Mineralarten zu stempeln, obschon jedes kaum mindere Berechtigung des Daseins und der Selbständigkeit hat, wie die drei Grundverbindungen für sich, so hat man wenigstens gewisse derselben, welche häufiger vorkommen und besser charakterisirt sind, hervorgehoben und mit einem unterscheidenden Namen belegt, wobei sich dann die anderen Mischungsstufen bald den Grundverbindungen, bald diesen Zwischengliedern anreihen. Dies Verfahren ist indess rein conventionell, mit demselben Recht hätten mehr, mit demselben weniger Mischungsverhältnisse als verschiedene Arten bezeichnet werden können; und die Nomenclatur bewegt sich nichtsdestoweniger hier auf zweifelhaftem Gebiet, wie z. B. dann, wenn sich die Frage erhebt, wie viel von fremdem Carbonat einer Grundverbindung noch zugemischt sein darf, ohne dass der für die letztere gültige Name aufgegeben zu werden braucht.

Trotzdem aber hier die Aufstellung und Abgrenzung von zwischenliegenden Arten blos künstlich und kaum in der Natur begründet ist, muss sie doch irgendwie vorgenommen werden, wenn man nicht anderseits vermöge des durch die Mischungen vermittelten Zusammenhanges auf das unnatürliche Resultat gelangen will, dass selbst die Grundverbindungen Kalkspath, Magnesitspath, Eisenspath, Zinkspath, Manganspath nur eine einzige Mineralart bilden.

Eine andere Schwierigkeit liegt in der Thatsache, dass viele Mineralien allmählich mehr oder weniger weit vorschreitenden molecularen Umwandlungsprocessen anheimfallen, wodurch ihre chemische Zusammensetzung sich von derjenigen der ursprünglichen Substanz entfernt. Obschon man nur dann einem solchen Alterationsproduct eine Selbständigkeit zuerkennen sollte, wenn die chemische Metamorphose eine charakteristische Richtung einschlägt, und das Gebilde auch körperlich weit und bezeichnend genug von dem primitiven Mineral abweicht, so kommt bei der Beurtheilung solcher Verhältnisse doch allzusehr die subjective Willkür des Untersuchers ins Spiel, als dass nicht auf diesem Gebiet eine grosse Anzahl von schlecht begründeten Namengebungen im Voraus zu erwarten wäre.

Schliesslich muss auf die manchfachen Inconsequenzen aufmerksam gemacht werden, welche bei der gegenseitigen Abgrenzung der Mineralarten hervortreten, und zum Theil in der nur ganz allmählich erfolgten Entwickelung unserer Kenntnisse namentlich des chemischen Zusammenhanges begründet liegen. Neben den sog. Species, welche nur einzelne Verbindungen darstellen, gibt es andere,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

welche eine ganze Gruppe von isomorphen Grundverbindungen sammt deren Mischungen einschliessen, wobei dann die einzelnen derselben nur als Varietäten gelten. Dies ist z. B. der Fall bei dem Pyroxen, dem Granat, dem Turmalin, dem Fahlerz u. s. w. Unter den Granaten kommen z. B. solche vor, welche blos aus Kieselsäure, Thonerde und Kalk bestehen, während anderseits ebenfalls dem Granat Mischungen zugerechnet werden, welche neben der Thonerde viel Eisenoxyd, anstatt des Kalks Eisenoxydul und Manganoxydul enthalten. Diese Differenzen wären mehr als genügend, um bei anderen Anlässen eine Zerfällung in mehre Arten vorzunehmen. Sofern die »Species« Granat alle diese chemischen Gegensätze in sich vereinigte, so hätten auch, wie *Rammelsberg* sagt, Aragonit, Strontianit, Witherit und Weissbleierz zusammen nur eine Species bilden dürfen, was aber nicht üblich war.

Was die Zahl der bis jetzt überhaupt bekannten und von einander unterschiedenen Mineralarten anbetrifft, so werden in dem zur Zeit vollständigsten mineralogischen Lehrbuch: Descriptive Mineralogy, VI. Edition, by *E. S. Dana*, New York 1892, mit Ausnahme der Kohlenwasserstoffverbindungen, deren 824 als in ihrer Selbständigkeit wohlbegründet aufgezählt, wobei die höchst zahlreichen sog. Varietäten, sowie minder gut bekannte Vorkommnisse nicht mitgerechnet sind.

Unter Varietäten versteht man die durch bestimmte Verschiedenheiten ihrer Eigenschaften von einander abweichenden Vorkommnisse derselben Art. Es kann also Varietäten in Betreff der Form, der Farbe, der chemischen Zusammensetzung u. s. w. geben. Bei den krystallinischen Mineralien ist besonders der Unterschied der frei auskrystallisirten und der aggregirten Varietäten, sowie innerhalb der letzteren der Unterschied der phanerokrystallinischen und der kryptokrystallinischen Varietäten zu beachten. Die Varietäten stellen Gruppen dar, zwischen welchen nach verschiedenen Richtungen Uebergänge stattfinden.

Anm. Was im Vorstehenden als Art und Varietät aufgeführt ist, wird von Anderen als Gattung und Art bezeichnet.

§ 178. **Allgemeines Princip der Classification.** Der Verstand begnügt sich nicht mit der Bestimmung der einzelnen Mineralvorkommnisse, er verlangt auch eine Classification, eine wohlgeordnete Uebersicht derselben, welche ihm zugleich einige Einsicht in den Zusammenhang der verschiedenen Glieder gewähren soll. Die Mineralarten bilden die Einheiten, welche einer jeden Classification zu Grunde liegen; da nun ihre Bestimmung auf dem Begriff der Identität beruht, so muss irgend ein anderer Begriff das leitende Princip der Classification bilden. Es ist dies der Begriff der Aehnlichkeit. Aehnlichkeit zweier Dinge ist aber die in gewissen Merkmalen hervortretende grössere oder geringere Uebereinstimmung derselben; sie kann weder in allen Merkmalen, noch in einer vollständigen Uebereinstimmung derselben begründet sein, weil sonst ihr Begriff mit jenem der Identität zusammenfällt. Vielmehr muss sie als etwas Schwankendes und verschiedener Abstufungen Fähiges gedacht werden; sie gibt sich bald in diesen bald in jenen Merkmalen, bald in höherem bald in niederem Grade zu erkennen.

§ 179. **Besonderes Princip der mineralogischen Classification.** Es ist wohl im Allgemeinen vorauszusetzen, dass die Aehnlichkeit der Mineralarten nicht

blos in einer Kategorie ihrer Eigenschaften, also nicht blos in den morphologischen oder in den physischen Eigenschaften, sondern dass sie eigentlich in allen Kategorieen, und folglich auch in den chemischen Eigenschaften begründet sein wird. Die mineralogische Classification wird daher insofern eine gemischte sein müssen, wiefern sie nicht blos auf eine Kategorie der Eigenschaften Rücksicht zu nehmen hat. Da jedoch bei der Abwägung der allgemeinen Aehnlichkeit unmöglich eine jede einzelne Eigenschaft dasselbe Gewicht haben kann, da vielmehr bald diese bald jene, bald viele bald wenige derselben den Ausschlag geben werden, so entsteht die wichtige Frage, in welchen Merkmalen die Aehnlichkeit der Mineralien vorzugsweise aufgesucht und berücksichtigt werden müsse, oder welcher Werth den verschiedenen Eigenschaften der Mineralien für das Bedürfniss der Classification zugestanden werden könne. Die Antwort auf diese Frage lautet: es ist die Aehnlichkeit der chemischen Constitution, ohne Berücksichtigung der Form, welche bei der Gruppirung der Mineralien in erster Linie ins Auge gefasst werden muss. Dieses Resultat wird schon einigermassen durch den Umstand gerechtfertigt, dass die meisten Varietäten auch der krystallinischen Mineralien, ja dass überhaupt die vorwaltenden Massen des ganzen Mineralreichs einer freien Formausbildung ermangeln, und dass die krystallinischen und die amorphen Mineralien in der Classification nicht scharf getrennt zu werden brauchen, sobald die formlose Masse das eigentliche Object derselben bildet. Die folgende specielle Abwägung des classificatorischen Werthes der einzelnen Eigenschaften wird diese Hintansetzung der Form noch besonders motiviren.

§ 180. **Bedeutungslosigkeit der morphologischen Eigenschaften.** Bei der Fixirung der Arten behaupten die morphologischen Eigenschaften allerdings mit den ersten Rang. Ganz anders verhält sich dies aber bei der Classification derselben, indem sehr viele Mineralien den Beweis liefern, dass eine grosse Verschiedenheit dieser Eigenschaften mit der grössten Aehnlichkeit der Masse verbunden sein kann (Kalkspath und Aragonit; Diamant und Graphit; Anatas, Rutil und Brookit; Pyrit und Markasit). Auf der anderen Seite gibt es aber auch sehr viele Beweise dafür, dass grosse Aehnlichkeit und sogar Identität der morphologischen Eigenschaften mit der auffallendsten Verschiedenheit des physischen und chemischen Wesens bestehen kann (Helvin und Fahlerz; Alaun und Silberglanz; Kalisalpeter und Aragonit; Tinkal und Pyroxen).

Wollte man also bei der Gruppirung der Mineralarten die Aehnlichkeit der Krystallformen mit einiger Consequenz berücksichtigen, so würde man gar häufig die unähnlichsten Massen nahe zusammen, die ähnlichsten Massen weit auseinander werfen müssen, und nur selten auf einzelne Gruppen gelangen, in welchen Aehnlichkeit der Massen zugleich mit Aehnlichkeit der Form verbunden ist.

Hieraus folgt denn, dass bei einer Classification der Mineralien die morphologischen Eigenschaften nur eine sehr untergeordnete Rolle spielen können. Wenn sich dies aber so verhält, dann wird auch der Complex der morphologisch-physischen Eigenschaften (Spaltbarkeit, Lichtbrechung u. s. w.) hier von sehr geringer Bedeutung, und die Behauptung als erwiesen zu betrachten sein, dass es die formlose Masse, oder dass es die Masse ohne Berücksichtigung der Form sei,

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

welche eigentlich und zunächst den Gegenstand der mineralogischen Classification bilden kann und muss. Für die formlosen Massen ist aber die chemische Zusammensetzung das in erster Linie Unterscheidende.

§ 181. **Wichtigkeit der chemischen Constitution.** Da die Classification der Mineralien zunächst die Substanz derselben, ohne Rücksicht der Form, zum Gegenstand hat, so sind die chemischen Eigenschaften und namentlich die chemische Constitution als das hauptsächliche Moment der Classification zu betrachten. Dass in der That die chemische Zusammensetzung für die Mineralkörper das Wesentlichste ist, ergibt sich aus der immer mehr sich Bahn brechenden Erkenntniss, dass alle anderen Eigenschaften nur Functionen dieser Zusammensetzung sind: die chemische Constitution ist zweifellos nicht ein Product der äusseren Form, während Alles sich zu der Hoffnung vereinigt, dass es dereinst gelingen werde, das Umgekehrte im Specielleren zu erweisen.

Wenn nun die Mineralien nach rein chemischen Gesichtspunkten gruppirt werden, so lässt es sich nicht verkennen, dass Eigenschaften und Beziehungen, denen bei anderen, namentlich älteren Systemen, eine beträchtliche classificatorische Bedeutung zugestanden wurde, einer solchen verlustig gehen; so namentlich das specifische Gewicht, der Gegensatz zwischen metallischem und nicht-metallischem Habitus, der Unterschied des idiochromatischen und allochromatischen Wesens. Vereinigt eine rein chemische Classification alle Oxyde von der Formel RO^2, so werden darunter allerdings Quarz und Zinnstein, als ein paar in jenen Beziehungen sehr abweichende Mineralien zusammengeführt. Ebenso wird alsdann der edle rothe Spinell einerseits und das Magneteisen nebst Franklinit anderseits in eine Gruppe $R(R^2)O^4$ versammelt, obschon jene physikalischen Verhältnisse bei ihnen so stark als möglich differiren.

Dafür erwächst aber bei einer in erster Linie blos auf die chemischen Verhältnisse begründeten Classification der nicht hoch genug anzuschlagende Vortheil, dass hierdurch und hierdurch allein die wirklich isomorphen Mineralien zu wohlbegrenzten, zwei- oder mehrgliederigen Gruppen unmittelbar nebeneinander gerathen. Der Isomorphismus ist eine Beziehung von solchem Gewicht, dass er in einer Classification nothgedrungen zum Ausdruck kommen muss. Die isomorphen Gruppen werden aber völlig zerrissen und ihre einzelnen Glieder erscheinen, in ihrer Auseinanderlösung bedeutungslos, an mehren Stellen im System vertheilt, dafern specifisches Gewicht, metallischer oder nicht-metallischer Habitus vor der allgemeinen Natur der Constitution den Ausschlag geben. Aus diesen Erwägungen folgt dann weiter, dass in erster Linie die elektronegativen Bestandtheile zu berücksichtigen sind.

§ 182. **Uebersicht der Classen.** Nach dem, was in den §§ 144 und 145 betreffs der chemischen Constitution der Mineralien dargelegt wurde, gelangt man nun zunächst auf folgende allgemeine grössere Abtheilungen des Mineralreichs, welche als Classen bezeichnet werden mögen.

Erste Classe: Elemente.
Zweite Classe: Schwefel- (Selen-, Tellur-, Arsen-, Antimon- und Wismut-) Verbindungen.

Dritte Classe: Oxyde und Hydroxyde.
Vierte Classe: Haloidsalze.
Fünfte Classe: Sauerstoffsalze (Oxysalze).
Sechste Classe: Organische Verbindungen und deren Zersetzungsproducte.

Die weiteren Gruppirungen innerhalb der einzelnen Classen erfolgen in dem zweiten oder speciellen Theile.

UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN