



UNIVERSITÄTS-
BIBLIOTHEK
PADERBORN

Elemente der Mineralogie

Naumann, Carl Friedrich

Leipzig, 1901

Fünfter Abschnitt. Von den Bildungsweise der Mineralien.

[urn:nbn:de:hbz:466:1-84232](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-84232)

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, sind¹⁾:

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.

e) 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 Zinnoxid 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 ∞ 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°

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 Gruppierung, als auf feingepulverten Kalifeldspath im geschlossenen Platinrohr wässrige Flusssäure 53 Stunden lang bei 300° einwirkte. Zahlreiche ähnliche Bildungen müssen hier übergangen werden.

e) Ausscheidung durch gegenseitige Zersetzung wässriger Lösungen.

Je nach der Temperatur und dem Concentrationsgrade scheidet sich Kalkspath oder Aragonit ab, wenn verdünnte Lösungen von kohlensaurem Natron und Chlorkalcium zusammengebracht werden ($\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2 = \text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl}$).

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 $\text{BaN}^2\text{O}^6 + \text{FeSO}^4 = \text{BaSO}^4 + \text{FeN}^2\text{O}^6$. *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 Glasylinder, 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 ($\text{PbN}^2\text{O}^6 + \text{K}^2\text{CrO}^4 = \text{PbCrO}^4 + 2\text{KNO}^3$). 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 ($\text{FeSO}^4 + \text{Na}_2\text{CO}_3 = \text{FeCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}^4$); Manganspath aus solchen von Manganchlorür und kohlensaurem Natron in verschlossenen Glasröhren bei 460° ; Malachit aus Lösungen von schwefelsaurem Kupfer und doppelt-kohlensaurem Natron bei 450° ; 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 wässrigen 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*).

h) Einwirkung von Lösungen auf feste Körper¹⁾.

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 wässrige 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, Humboldtith, 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 3 h angeführten.

etwaigen Zwillingsbildungen, ausserdem auch Mineralgemenge, welche den natürlichen Felsarten völlig gleichen. *J. Moroxewicz* hat so 1899 aus geeigneten Schmelzflüssen ferner Korund, Spinell, Sillimanit, Cordierit, Häüyn, Sodalith krystallisiren lassen (Min. u. petr. Mitth. XVIII. 1899. 4 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 Chlorkalcium 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 Chlorkalcium oder Steinsalz erhalten. — *Forshammer* 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 ($\infty P.O P$) 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 Ikositetraeder des Minerals. *W. Luxi* erhielt sechsseitige Graphitkrystalle aus schmelzendem Silicat ausgeschieden, indem er ungefähr 4 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 4 Mm. grossen Würfeln heraus. Schwefelsilber in Wismut gelöst liefert Oktaeder von Ag_2BiS_2 , der Zusammensetzung des Silberwismutglanzes. Bei Anwendung von Selensilber scheidet sich aus Wismut Ag_2Se in Rhombendodekaedern aus (*F. Rössler*).

- d) Krystallisation einer Substanz aus ihrer Lösung im Schmelzfluss durch Verdampfung des Lösungsmittels¹⁾.

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 kohlen-saurem Alkali bis zur theilweisen Verflüchtigung des letzteren Lösungsmittels stellte er Krystalle von Perowskit dar.

- e) Krystallisation durch gegenseitige Wechselersetzung im geschmolzenen Zustande²⁾.

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 Schmelzflusses³⁾.

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 Körper⁴⁾.

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 Magnetkiesel, auf Spalten im Kalk Gehlenit, öfters auch Plagioklas. — Durch Einwirkung von geschmolzenem Labradorit auf Marmor erhielt *Bourgeois* Anorthit und Meionit.

4. Sublimation.

- a) durch bloße 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 2c.

3) Ganz analog dem Process 2c.

4) Gewissermassen vergleichbar mit 2h.

Kochsalz, Salmiak, Zinkblende, Bleiglanz, Zinnober, Quecksilberhornerz, Arsen, Arsenblüthe, Aürpiment in Krystallen oder krystallinischen Massen.

- b) in Gasen, welche chemisch nicht weiter einwirken.

H. Ste. Claire-Deville und *Troost* erhitzen 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 ($2\text{CuCl} + \text{H}_2\text{S} = \text{Cu}_2\text{S} + 2\text{HCl}$). Auf dieselbe Weise gelang die Bildung anderer krystallisirter Schwefelmetalle, Zinkblende, Greenockit, Wismutglanz, Antimonglanz aus den Dämpfen der entsprechenden Chlormetalle, z. B. $\text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{S} = \text{ZnS} + 2\text{HCl}$. 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 (Zinnoxid), daneben bildete sich Chlorwasserstoff ($\text{SnCl}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{SnO}_2 + 4\text{HCl}$). Eisenglanz erzeugte sich so aus Chloreisen ($\text{Fe}_2\text{Cl}_6 + 3\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl}$); auch erhielt er Quarz, indess viel weniger deutlich krystallisirt, aus Chlorsilicium durch eine analoge Zersetzung in grosser Hitze. *Hautefeuille* gewann Rutil (Titanoxid) aus Chlortitan. Dämpfe von Chlormagnesium zersetzen sich mit Wasserdampf und liefern durchsichtige Krystalle von Periklas ($\text{MgCl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{MgO} + 2\text{HCl}$). — *Sénarmont* zersetzte die wässrige Lösung von Chloraluminium (Al^3Cl_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 erhitze 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

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): $4\text{ZnO} + \text{SiF}_4$ lieferten $\text{Zn}_2\text{SiO}_4 + 2\text{ZnF}_2$, 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 auszuschcheiden pflegen; die dadurch aus dem Thon freierwerdende Kieselsäure krystallisirt als Tridymit.

Doelter erhielt Zinnoberkrystalle durch 6 tägige 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 voranzusetzen, 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 Ermittlung 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 kohlensauen 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, Eisenoocker, 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 Iworznów 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 wässriger 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 wässriger 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. 464. 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 Bleihornersz 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 Antimonglanzadeln sitzen, welche schon an der Kerzenflamme schmelzen, kann der Schwerspath nur aus wässriger 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 Glasparkeln (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 mehrere 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

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 Gebirgs-
gestein seinen Weg in die Tiefe, sondern ebenfalls durch dessen anscheinend solide Masse selbst. Auch in denjenigen mineralischen Substanzen, in denen das bloße 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 4 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. Eisenoxyd 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 sämtliche 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 Entwicklungsgeschichte der Mineralien wird von den metasomatischen Pseudomorphosen dargeboten, indem dieselben durch das Erhalten sein der Form der ursprünglichen Substanz nicht nur

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 wurden¹⁾.

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 34, 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. $\text{CaO} + 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$) 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 (magnesiicarbonathaltigen) 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: $2\text{Mg}^2\text{SiO}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{H}^4\text{Mg}^3\text{Si}_2\text{O}_9 + \text{MgCO}_3$ (welches letztere dann durch das kohlensaure Wasser weggeführt wird); oder die des Tremolits in Talk als: $\text{CaMg}^3\text{Si}_4\text{O}_{12} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}^2\text{Mg}^3\text{Si}_4\text{O}_{12} + \text{CaCO}_3$; oder die des Enstatits in Talk als: $4\text{MgSiO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{H}^2\text{Mg}^3\text{Si}_4\text{O}_{12} + \text{MgCO}_3$.

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.

meilenweite und tausend Fuss mächtige Lagerstätten erlitten haben; er kann gedacht werden als: $4\text{FeCO}_3 + 2\text{O} + 3\text{H}_2\text{O} = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O} + 4\text{CO}_2$. 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 Wechselersetzungen 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 Durchsprinkelung der Braunkohle oder Steinkohle mit Eisenkieskörnern. 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

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 Eisenoxysilicat 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 bloß eine Ersetzung des Kalks durch Alkali stattgefunden hat (z. B. in den Pseudomorphosen von Glimmer nach Skapolith). Magnesiasilicat verhält sich gleichfalls kohlensaurer 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 Gebirgssteinen 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) fallen 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 mehrere schwefelsaure Metalloxyde (Kupfer, Eisen, Zink) setzen sich um zu schwefelsaurem Kalk und metallischen Carbonaten. So gibt

das aus dem oxydirtten 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.

48) 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.

49) Aus Kalksulfat und Magnesiabicarbonat entsteht Bittersalz.

20) Alkalisilicate werden durch schwefelsauren Kalk, schwefelsaure Magnesia, Chlorkalcium 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 Chlorkalcium 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 $\text{H}^2\text{NaAlSi}_2\text{O}_7$ (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 Chlorkalcium 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.

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, $\text{CuCl}_2 \cdot 3(\text{Cu}[\text{OH}]^2)$, liefert so Malachit, $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}[\text{OH}]^2$.

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 wässriger 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.

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 Gruppierung der Mineralien.

§ 177. **Prinzipien 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