

GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE.

VERHANDLUNGEN 1913.

**MINERALOGISCHE CHARAKTERZÜGE
DER KRISTALLINEN MATERIE**

VON



Dr. F. RINNE

PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT LEIPZIG

Geh. Reg. Rat u. Geh. Hofrat.

VORTRAG IN DER ERÖFFNUNGSSITZUNG DES KONGRESSES
DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ARZTE, WIEN
AM 22. SEPTEMBER 1913.

Sonderabdruck.

LEIPZIG

DRUCK VON AUGUST PRIES

1913.

**MINERALOGISCHE CHARAKTERZÜGE
DER KRISTALLINEN MATERIE**

VON

F. RINNE
LEIPZIG

Meine Herren! Der Aufforderung des Vorstandes unserer Gesellschaft deutscher Naturforscher und Ärzte, Ihnen heute eine mineralogische Charakteristik des kristallinen Zustandes zu unterbreiten, folge ich besonders gern. Ergibt sich doch hier die erfreuliche Gelegenheit, einem weiten hochgeschätzten Kreise, dessen Mitglieder naturkundlich interessiert, aber zumeist der Mineralogie nicht näher getreten sind, durch Wort und Anschauungsmittel etwas von dem besonderen Reize zu eröffnen, der dieser Wissenschaft innewohnt.

In Verfolg des Umstandes, daß meine mineralogischen Darlegungen also im wesentlichen für Nichtfachleute bestimmt sind, ist es in sich voll begründet, wenn ich Sie nicht ins Gebiet eingehender Überlegungen mit beweisenden Gedankengängen führe. Es wird sich hier vielmehr um eine möglichst einfache und allgemein gehaltene Erörterung der fundamental wichtigen Frage nach dem mineralogischen Wesen des kristallinen Zustandes in geometrischer, physikalischer und chemischer Hinsicht handeln, wonach ein Vergleich des Amorphen mit dem Kristallinen diesen Dualismus der Materie noch besonders herausheben soll.

Zunächst aber mögen Sie mir gestatten, damit die Bedeutung unseres Themas in naturkundlicher Hinsicht heraustrete, auf den Anteil hinzuweisen, den das Kristalline am Aufbau unseres Planeten nimmt. Die als Luftmeer über dem festen und flüssigen Untergrunde sich wohl einige hundert Kilometer erhebende Atmosphäre ist im amorphen Zustande. Das trifft auch zu bei der lückenhaft den festen Erdball bedeckenden Hydrosphäre, die in unserer Vorstellung steht als gewaltiger, tiefgründiger Ozean, als Binnenseen und als Geäder der Bäche und Ströme. Amorph sind fernerhin im wesentlichen die Stoffe der Biosphäre, der organischen Welt, welche, in unzählige Organismen zerteilt, Atmosphäre und Hydrosphäre sowie den obersten Teil des erdigen Untergrundes gewissermaßen durchstäuben.

Unter der Luft- und Wasserhülle die Lithosphäre als feste Schale des Erdkörpers. Die durch unmittelbare Beobachtung gewonnene Er-

kenntnis des Materials dieser Steinhülle erscheint, was die radiale Richtung der Erdkugel anlangt, sehr beschränkt: nur eine Zone in der Dicke von $\frac{1}{3000}$ des Erdhalbmessers ist für die Anschauung erschließbar. Soweit es aber geschehen ist, sei es an ragenden Bergen, wie sie im Bilde des granitischen Lauschan vor Ihnen stehen, oder in tiefen Schluchten, in Bergwerken bis an 1900 m und an Kernbohrungen bis über 2200 m hinab, zeigt sich immer aufs neue die wesentlich kristalline Natur des steinernen Erdpanzers. Weiter führt in der Hinsicht die physikalisch-chemische Schlußfolgerung, und mit gutem Grunde darf man annehmen, daß die Lithosphäre und damit der kristalline Zustand wohl an 50—100 000 m in die Erdkruste hinabreicht. Hier wird das Steinerne von der Magmensphäre, dem Bereich wiederum amorpher Stoffe, abgelöst.

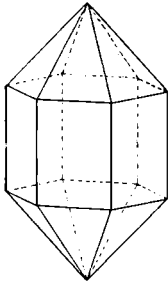


Fig. 1.

Fig. 1. Quarzkristall.
Fig. 2. Kristallwachstum durch Umschalung.

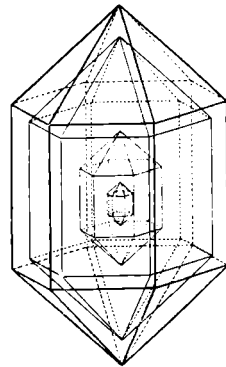


Fig. 2.

So ist ersichtlich, daß mit der Erkundung der kristallinen Materie ein sehr bedeutsames Stück unseres Planeten in seiner Art erschlossen wird.

Ein Quarzkristall aus den Bergen der Alpen, losgebrochen vom Untergrunde, auf dem er erwuchs, steht als Probe dieses weitverbreiteten Zustandes der Stoffe vor Ihnen, in natura und idealisiert in effigie, für uns nunmehr das Objekt gemeinsamer Forschung (Fig. 1).

Die Geschlossenheit seiner Erscheinung kennzeichnet einen solchen Kristall als Wesen für sich. Durch kantig-eckig-flächige Umgrenzung ist er scharf von der Nebenwelt geschieden. Nach allen Erfahrungen über Kristallgenese muß angenommen werden, daß dieser Quarz einst, wohl vor Tausenden von Jahren, als mikroskopisch kleiner, dem jetzigen großen Gebilde gestaltlich ähnlicher Keim seinen Ursprung nahm und im Laufe der Zeit durch Umschalung erwuchs (Fig. 2). Nun steht er gewissermaßen in voller gesunder Schönheit vor Ihnen; in die chemischen Fährnisse der Natur zurückversetzt, könnte er auch

vergehen, wie berühmte sog. Pseudomorphosen beweisen, die noch die Form der Quarzkristalle besitzen, aber nicht mehr aus dem Quarzstoff, Siliziumdioxid, sondern aus Magnesiumhydroxilikat bestehen.

Ist unser Bergkristall hiernach ein Individuum, das wurde und wuchs, das besteht und vergehen kann, so zeigt er darin eine gewisse Parallele mit Gliedern der organischen Welt. Vieles aber trennt ihn von ihr. Sein Entstehen durch generatio spontanea ist von der Bildung organischer Individuen grundsätzlich verschieden, bei denen es nach allen Erfahrungen noch heißt: *semper ex ovo*. Keime wirken bei der Kristallbildung begünstigend und zwar auslösend auf den Entstehungsakt ein, keineswegs aber ist ihr Vorhandensein die Grundbedingung des Werdens. Des weitern ist das gewöhnliche Kristallwachstum durch

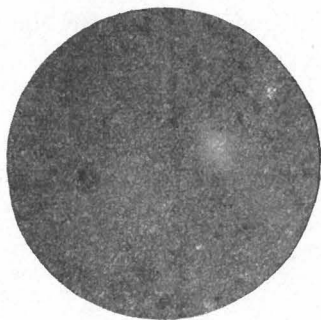


Fig. 3.

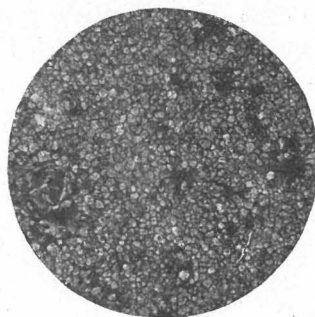


Fig. 4.

Das dichte Gefüge eines Kalksteins (Fig. 3) wird beim Erhitzen (unter CO_2 -druck zwecks Vermeidung der Zersetzung) durch Zusammenfließen der sehr kleinen Kristalle zu größeren Einheiten gröber (Fig. 4) (Sammelkristallisation in festem Zustande).

Apposition dem des Lebendigen, das durch innere Stoffaufnahme sich vergrößert, entgegengesetzt. Doch gibt es Ausnahmen. Sie zeigen sich bei den Erscheinungen der sog. Sammelkristallisation fester Stoffe, d. h. des Verfließens kleiner, sich berührender Kristalle zu größeren, wie es nach O. LEHMANN z. B. am Ammonoleat geschieht, und wie es in sehr überraschender Weise Zink, Kadmium und andere Metalle, auch Kalkspat, vorführen, deren kristalline Anhäufungen sich bei erhöhter Temperatur im festen Zustande cv. in ein paar Minuten marmorisieren (Fig. 3, 4). Auch die nachträgliche Aufnahme fremdartiger Stoffe vollzieht sich bei kristalliner Materie in manchen Fällen, so bei den quellbaren und flüssigen Kristallen und bei Metallen wie Gold, das in erhöhter Wärme Blei, oder bei Eisen, das Kohlenstoff in seinen Kristallkörper hineindiffundieren läßt.

Besonders weit ab steht aber der anatomische Befund bei Kristallen von dem der Organismen. Hat man in diesen im allgemeinen sehr

vielfach Zusammengesetztes vor sich, etwa Aggregate von Zellen aus Plasma, Kern und Epidermis und bei den niedrigsten Formen doch immerhin mizellar struierten Schleim, so ist der Kristall das Symbol des Homogenen, insofern ein Teilchen von einer Stelle des Individuums in jeder Hinsicht genau so beschaffen ist und sich genau so verhält wie ein beliebiges anderes. Daß in der Tat die Eigenschaften eines Kristalls nicht an den Ort in seinem Körper gebunden sind, zeige Ihnen in Kürze ein Versuch, bei dem eine kristalline Platte beim Drehen zwischen gekreuzten Nicols in allen ihren Teilen in gleichen Interferenzfarben aufleuchtet und sich ganz gleichmäßig verdunkelt, erhellt, verdunkelt, erhellt usw.

Falls wir uns also von unserem Kristall ein molekularstrukturelles Sinnbild machen wollen, so muß es so beschaffen sein, daß ein jedes Teilchen des unendlich ausgedehnt gedachten Stoffes in gleicher Weise von den andern Partikeln umlagert wird.

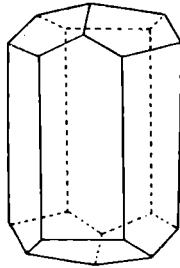


Fig. 5.
Kalkspat als Beispiel
kristallographischer
Ornamentik.

Weiter auf diesem Wege der Überlegung führt die Betrachtung der regelmäßigen, stets nach außen konvexen, von ebenen Flächen gebildeten Gestalt der Kristallindividuen, wie sie sich vorhin am Quarz zeigte und nun zum weiteren Beispiel an einem Kalkspat heraustritt (Fig. 5). Vor näherer Würdigung dieser Formverhältnisse lassen Sie mich aber betonen, daß der oft so prächtige Kristallschmuck durch ebene Flächen, wie er auch an unserer Probe erscheint, keine Bedingung, sondern nur eine Möglichkeit für das Kristalline ist; regelmäßige Abgrenzung durch plane Flächen, durch gerade Kanten und scharfe Ecken ist nur ein gelegentlicher, nicht ein notwendiger natürlicher Ausdruck für sein Wesen. Die Harmonie, die dem Kristallinen innewohnt, kann sich durch solche Umkleidung ausdrücken, sie braucht es aber nicht. Würde ich unseren durch ebene Flächen ornamentierten Bergkristall staubfein zerstampfen lassen, so bliebe doch jedes Teilchen kristallin. Bedenken wir zudem, daß die Hauptmenge des kristallinen Materials unserer Erde, das sind die Bestandteile der plutonischen Erstarrungsgesteine, den Schmuck ebener Flächen ver-

missen lassen, was Ihnen der Dünnschliff eines Granites im polarisierten Lichte zeigen möge (Fig. 6), ähnlich wie es bei den Gemengteilen der Sande und Sandsteine, Tonschiefer, Kalksteine, Anhydrite, Salze und vieler anderer Gesteine der Fall ist. Berücksichtigen wir auch, daß ein noch so schöner Schliff von Ebenen an amorphem Material, etwa einem Glasstück, diesem durchaus nicht den Charakter des Kristallinen geben würde.

Indes liefert sicherlich die etwaige natürliche, regelmäßige Gestalt kristalliner Materie vortreffliche Anhaltspunkte und Hinweise bei der Erkundung des Wesens, das ihr innewohnt. Merkwürdig lange hat es allerdings gedauert, bis die Hauptbauregeln der Kristallwelt erkannt waren. Die Naturbeobachter unter den Griechen und Römern haben sie übersehen; erst STENO deckte 1669 ein grund-

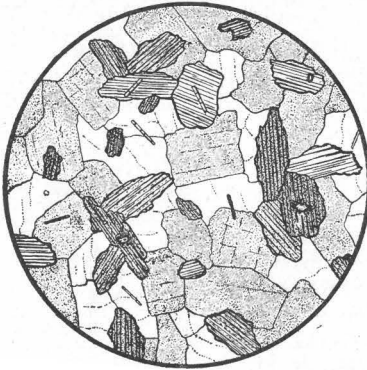


Fig. 6.
Dünnschliff eines Granits.
Die Bestandteile sind allotriomorph (ohne kristallographische Begrenzung).

legendes Gesetz natürlicher Architektur im anorganischen Reiche durch die These auf: „non mutatis angulis“. Beim Kristall sind die Neigungswinkel der Kristallkanten und damit auch der Kristallflächen zueinander konstant und kennzeichnend für seine Art. Da bilden sich z. B. Schwärme von Olivinkristallen in Schlacken vom Eisenhüttenbetrieb, andere im Schmelzfluß etwa des Vesuvs, und es kommen auch Kristalle desselben Stoffes als Bestandteile von Meteoriten aus dem fernen Weltenraum auf unsere Erde; alle diese Olivine, die sich unter so sehr verschiedenen Umständen, weit entfernt, unabhängig voneinander, gebildet haben, besitzen winkelgleichen Flächenschmuck; ihre angularen Größen sind an das Material fest gebunden. Bedeutsam ist dabei, daß bei den kristallographischen Bauten die Abstände der umschließenden Ebenen vom Kristallmittelpunkte individuell wechseln. Es sind also keineswegs die Längen der Kanten und die Größen der begrenzenden Flächen, welche diesen Gebilden ihre eigentliche kristallographische Physiognomie geben, sondern die konstanten Winkel der

Ornamentik. Das zeigen (Fig. 7) die Bilder eines idealen und eines sog. verzerrten Quarzes.

Noch ein zweiter, und zwar über das Moment der Konstanz der Neigungswinkel weit hinausgehender Konstruktionsgedanke steckt aber in unseren natürlichen kleinen Bauwerken. Studieren wir sie wie der Künstler die klassischen Architekturen erwägt und der Ingenieur die technischen Meisterwerke, so zeigt sich gewissermaßen als solche tiefere Bauidee, welche die Natur in den kristallisierten Stoffen bekundet, eine gesetzmäßige Beschränkung der ornamentalen Verhältnisse in dem Sinne, daß nur ganz bestimmte, nämlich miteinander in sehr einfacher Beziehung stehende ebene Flächen an jeder Kristallart angelegt sind. Es läßt sich dieses vom ABBÉ RÉNÉ JUST HAÜY, dem Begründer der geometrischen Kristallographie, aufgefundene Baugesetz der Kristalle z. B. in einer vor Ihnen stehenden Skizze, die einen Aragonit wiedergibt, bekunden, und zwar in folgender einfachster Art (Fig. 8).

Wie ein jeder Kristall, so kann auch unser Aragonitmineral bezüglich seiner Form gewissermaßen auf ein inneres Baugerüst, auf ein Achsen-

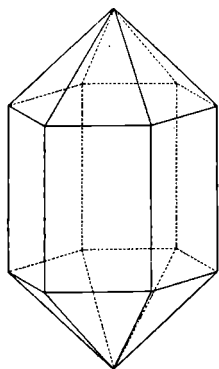


Fig. 7a.

Idealer und „verzerrter“ Quarzkristall. Die Neigungswinkel der Flächen sind bei ihnen dieselben, die Zentraldistanzen gleichberechtigter Flächen bei $7a$ gleich, bei $7b$ verschieden.

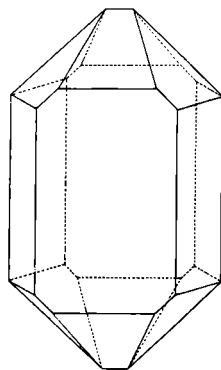


Fig. 7b.

system bezogen werden; es ist von der Natur gegeben, insofern es sich durch Verschieben von Kristallkanten zu einem Koordinatenkreuz a, b, c konstruieren läßt. Die schrägen Flächen σ des Aragonits, von denen eine in ihrer Lage zum Achsenkreuz noch besonders dargestellt sei, mögen nun das Grundmaß $1a:1b:1c$ im Kristallgebäude hergeben. Erkundet man alsdann, wie die übrigen den Aragonit schmückenden Flächen an seinem Baugerüst als einem Koordinatensystem angelegt sind, so zeigt sich, daß bei allen diesen Flächen nur rationale, und zwar im allgemeinen sehr einfache Teile bzw. Vielfache der Urmaße oder ∞ als Schnittlängen auf den drei Achsen in Betracht kommen. Beim Ornament s z. B. handelt es sich um Fazetten, die da gehen von $2a:b:2c$, bei den Flächen m um $a:b:\infty c$ usw.

Also: Nicht beliebig angelegte, voneinander unabhängige Flächen umschließen das Gebäude eines Kristalls; vielmehr bedingt das innere Wesen der kristallinen Materie Begrenzungsformen in Lagen, die dem in Rede stehenden HAÜYSchen Grundgesetz gehorchen. Die natürliche Architektur des Kristallinen steht hiernach im starken Gegensatz zur menschlichen Baukunst. Während die Winkel von Linienzügen im Umriß z. B. von Gebäuden oder von Ornamenten an solchen ins freie künstlerische Belieben gestellt sind, ist die Formgebung im anorganischen Reiche im Sinne einer, große Einfachheit bedingenden Regel fest gebunden.

Mit VIKTOR GOLDSCHMIDT läßt sich dieser einschränkende Zwang im Bau der kristallinen Welt näher kennzeichnen in Anwendung des

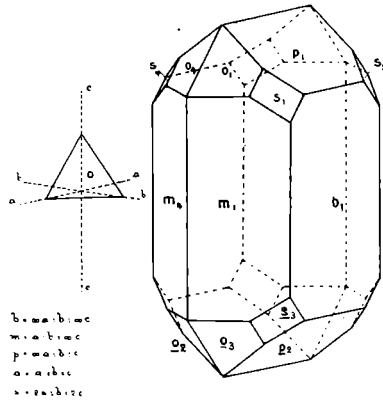


Fig. 8.

Aragonit zur Kennzeichnung des kristallographischen Grundgesetzes der rationalen, einfachen Achsenschnitte der Kristallflächen.

von ihm aufgestellten Gesetzes der Komplikation, d. h. es lassen sich bestimmte Reihen zueinander rationaler Zahlen gewinnen, in denen sich erfahrungsgemäß die Achsenschnitte der Flächenserien an Kristallen (in etwas gegen das vorhin geübte Verfahren abgeänderter Ausdrucksweise) darstellen. Solche harmonische oder, wenn vollständig am Kristall vorhanden, Normalreihen genannte Ziffernfolgen stehen vor Ihnen; sie bekunden gewissermaßen von der Natur selber als klassisch herausgehobene Verhältnisse. Es sind

$$\begin{aligned}
 N_0 &= 0 \dots \dots \dots \infty \\
 N_1 &= 0 \dots \dots 1 \dots \dots \infty \\
 N_2 &= 0 \dots \frac{1}{2} \dots 1 \dots 2 \dots \infty \\
 N_3 &= 0 \frac{1}{3} \frac{1}{2} \frac{2}{3} 1 \frac{3}{2} 2 \ 3 \dots \infty
 \end{aligned}$$

Über die Reihe N_3 hinaus ist ein Kristallbau nur in seltenen Fällen kompliziert. Die Zahlen dieser Normalreihen sind also der erneute

und spezialisierte Ausdruck dafür, daß die einfachste Ornamentik von den Kristallen stark bevorzugt ist.

Mit dieser in kristallstruktureller Hinsicht ungemein bedeutsamen HAÜYschen Beziehung der Begrenzungsebenen eines Kristallgebäudes zueinander ist ein anderes Baugesetz eng verknüpft, das sich beim Betrachten des Flächenschmucks der Kristalle oft schon ohne jede Rechnung geltend macht; es liegt im Symmetriegrade, der ihnen in geo-



Fig. 9.

Ornament ohne und mit Symmetrie.

metrischer Hinsicht innewohnt. Diese Verhältnisse sind es ja ganz besonders, die den künstlerischen Eindruck bedingen, den ein beliebiger Gegenstand auf uns macht. Steht z. B. ein Ornament in seiner durch Unsymmetrie unverkennbaren Eigenart vor uns, so wirkt ersichtlich bereits die einmal symmetrische Wiederholung der Figur künstlerisch ganz anders auf uns ein (Fig. 9). Wir erkennen das alte

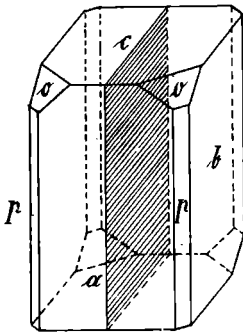


Fig. 10.

Fig. 10.

Augit als Beispiel eines Kristallgebäudes mit einer Symmetrieebene.

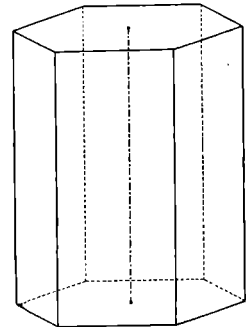


Fig. 11.

Fig. 11.

Hexagonale Säule als Beispiel eines Kristallgebäudes mit rhythmischer Symmetrie. Die vertikale Achse ist eine sechszählige Symmetrieachse (Hexagyre).

Bild als Teilgestalt, die durch den zweiten Linienzug mit seiner entgegengesetzten Entwicklung zu einem Ganzen mit neuer Wirkung vervollkommen wird.

So hat man es also auch in den Symmetrieregeln der Kristalle gewissermaßen mit dem Schönheitsgesetz in der anorganischen Baukunst zu tun.

Die in der Hinsicht grundlegenden Begriffe stellen sich dar als die der Symmetrieebene und der Symmetrieachse. Teilt eine Symmetrie-

ebene einen Körper (Fig. 10) in Hälften, die wie Gegenstand und sein Spiegelbild ausschauen, so bekunden die Symmetrieachsen gewissermaßen den Rhythmus, in welchem die um eine Richtung gruppierten Bauteile gleicher Art in wechselnder Lage wiederkehren, sei es z. B. in der Sechszahl, wie an dem kristallographischen hexagonalen Prisma hier (Fig. 11), das nach einer Drehung von 60° um die Vertikale einem Beschauer gegenüber wieder so aussieht wie vorher, oder in anderer Wiederholung, etwa entsprechend der Wiederkehr der Kannellierungen einer Säule, der Speichen einer Rosette oder der radialen Bauteile einer Kuppel.

Somit erscheint es naturkundlich von großem Interesse, zu erfahren, in welchen Symmetriegraden sich die Schönheitsregeln im weiten Reiche des Kristallinen bekunden. Da ist es zunächst

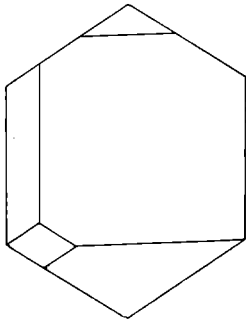


Fig. 12.

Fig. 12.
Kristallographisches Ornament ohne Symmetrieebene.

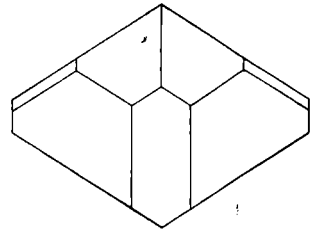


Fig. 13.

Fig. 13.
Kristallographisches Ornament mit einer Symmetrieebene.

wohl auch vom rein künstlerischen Standpunkte bedeutsam, daß unsere Lehrmeisterin, die Natur, die Kristallgebäude recht häufig ohne jede Symmetrieebene errichtet (Fig. 12). Der unsymmetrische Baustil hat also sein weit verbreitetes, natürliches, anorganisches Vorbild. Ungemein häufig ist dann, wenn man lediglich die Zahl der Symmetrieebenen in Betrachtung zieht, die Bauidee verkörpert, die auch im Äußeren von Pflanzen und Tieren sich so oft zeigt, bei der die Architektur durch eine einzige Symmetrieebene beherrscht wird (Fig. 13). Links und rechts sind spiegelbildlich gleich. Was sich aber ganz besonders auffällig bei der Übersicht der Formverhältnisse des Kristallreiches heraushebt, ist der Umstand, daß die Anzahl der Symmetrieebenen an kristallographischen Körpern beschränkt ist auf 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 oder 9. Weiterhin ist auch der Rhythmus der Baugliederung um Symmetrieachsen, also die Wiederholung gleichberechtigter Bauteile um eine Hauptrichtung, eingengt, und zwar auf die Zahlen 2, 3, 4 und 6 (Fig. 14).

Nie erscheinen in Summa etwa 8 Symmetrieebenen an einem Kristallgebilde oder mehr als 9, und niemals bietet sich an unseren anorganischen Bauwerken eine Wiederholung der Bauteile nach der

Fünffzahl dar, wie es so oft an Körpern der niederen Tierwelt, etwa den Seesternen und auch bei Blüten von Pflanzen zu beobachten ist. Wie die fünf- oder die siebenfältige Wiederholung ist in der Kristallbaukunst auch nicht gefunden die wirtelige Verwendung von gleichartigen Kanten zu einem regelmäßigen Achteck oder Zwölfeck.

Man könnte nun zwar meinen, daß bei eifrigerem Suchen im Reiche der Kristalle eine solche bislang unbekannte Ornamentik vielleicht noch zu finden sei. Das wäre eine irrige Meinung, denn wie die Rechnung zeigt, widerstreiten solche Anordnungen der Bauteile dem kristallographischen Grundgesetz der einfachen rationalen Achsenschnitte und damit, wie es scheint, dem inneren Wesen der Kristalle. Ein regelmäßiges Achteck z. B. (Fig. 15) würde den Achsenschnitt $2,4142 \dots$ ergeben. Es ist auch durchaus nicht anzunehmen, daß im Laufe der geologischen Zeiten gewissermaßen durch eine Entwicklung, wie sie die Welt der Pflanzen und Tiere durchgemacht hat, solche

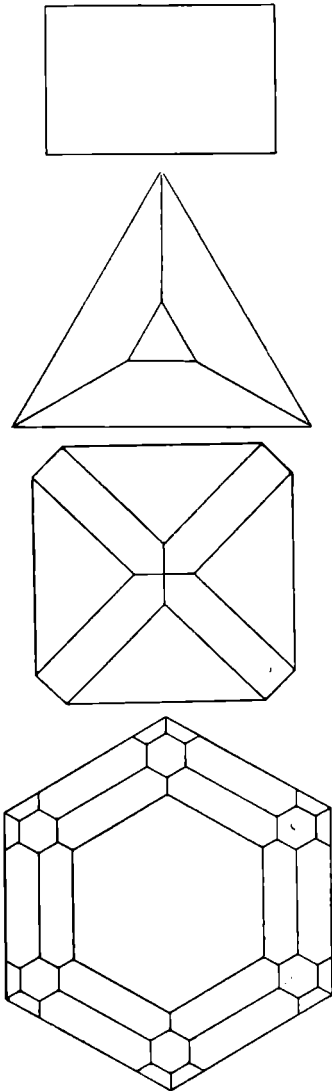


Fig. 14.

Kristallographische Ornamente mit rhythmischer Symmetrie. Die zur Figur senkrechte Symmetrieachse kennzeichnet sich als Digryre, bzw. Trigyre, Tetragyre und Hexagyre.

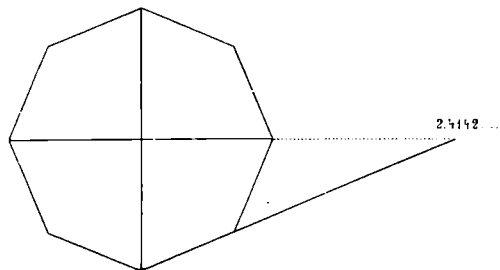


Fig. 15.

Regelmäßiges Achteck, eine in der Kristallwelt nicht vertretene Form; sie wird durch das Gesetz der rationalen, einfachen Achsenschnitte ausgeschlossen.

vermißte Gestaltsverhältnisse im Mineralreiche sich noch herausbilden könnten. Der Evolutionsgedanke, der die Formen der Tier- und Pflanzenwelt als etwas allmählich Gewordenes und in ihren Gliedern zeitlich Aneinanderschließendes systematisch zusammenhält, hat im Reiche der Kristalle keine Anwendbarkeit. Hier herrscht starres Beharren von Anfang bis zum Ende der Zeiten. Der erste Feldspat, der sich vor Jahrmillionen als Teilchen der Erstarrungskruste unserer Erde bildete, war in seinem Wesen genau gleich dem heute entstehenden und gleich dem, der in fernster Zukunft kristallisieren wird.

Die Frage nun, wieviel Bautypen im Reiche des Anorganischen möglich sind, ist bereits 1831 von HESSEL beantwortet. Er zeigte, daß sich 32 kristallographische Abteilungen auf dem Boden des HAÜYSchen Grundgesetzes entwickeln lassen; sie sind dank der Untersuchungsfreudigkeit vieler Kristallographen bis auf zwei beobachtet und be-

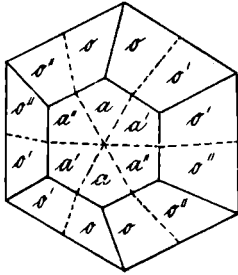


Fig. 16.
Alexandrit, pseudohexagonal
durch Drillingsbau, als Bei-
spiel für mimetische Bauart.

deutsamerweise keine sonst. Ein glänzender Erfolg der auf Naturerscheinungen angewandten geometrischen Mathematik.

Ein solcher Reichtum an Baugruppen im Reiche der Kristalle mag manche überraschen, und es ist die besonders von MALLARD studierte Frage nicht unberechtigt, ob es möglich ist und ob der Gedanke durch Erfahrungen gestützt wird, diese Fülle der Kristallarchitektur etwa auf einen niedrig symmetrischen Urtypus zurückzuführen. In der Tat hat die kristallographische Forschung viele Beispiele kennen gelehrt, bei denen Hochsymmetrisches durch regelmäßige Kombination niedersymmetrischer Teile zustande kommt. An einer großen Zahl von Stoffen erwies nämlich die genauere Untersuchung mimetischen Bau, einen Charakterzug, für den als Beispiel hier im Bilde die schöne pseudohexagonale Gestalt des Alexandrits vorgeführt sei, der aus 6 regelmäßig gruppierten niedersymmetrischen Komponenten besteht (Fig. 16). Oft tritt diese Mimesie bei mikroskopischer Betrachtung heraus, so bei den im Reiche der Gesteine ungemein verbreiteten triklinen Feldspäten, die polysynthetisch aus vielen Lamellen zusammengesetzt sind, z. T. von einer Feinheit, daß auch das Mikroskop

den pseudosymmetrischen Bau kaum noch erkennen läßt (Fig. 17, 18). Und so liegt die Vermutung nahe, daß in vielen anderen Fällen gleichfalls, wenn nicht gar überhaupt, hochsymmetrische kristallographische Gebilde anzusehen sind als durch unsere Sinne und Experimente nicht unmittelbar als solche erkennbare Aggregierungen niedersymmetrischer Bauteile. Außer durch geometrische Verhältnisse wird diese Annahme durch einschlägige optische Versuche gestützt. Sei es gestattet, in der Hinsicht eine Serie farbenfreudiger Erscheinungen vorzuführen, die sich auf die Nachahmung der hochsymmetrischen Interferenzfigur eines sog. optisch einachsigen Kristalls durch regelmäßige Gruppierung

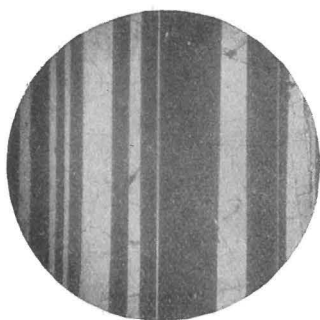


Fig. 17.



Fig. 18.

Fig. 17 Plagioklas und Fig. 18 Mikroklin. Die mikroskopische Beobachtung deckt die zusammengesetzte Bauweise auf.

optisch niedrigsymmetrischer Lamellen bezieht. Hier (Fig. 19) die nachzubildende Erscheinung, sodann die des niedrigsymmetrischen Bauelementes (Fig. 20) und nun stufenweise (Fig. 21—25) die Effekte der regelmäßigen, nämlich kreuzförmig 90-gradigen Übereinanderschichtung der Blättchen.

Hinsichtlich der Verteilung der kristallographisch bekannten Stoffe auf die verschiedenen Systeme lehrt die Statistik, daß die chemisch einfach aufgebauten Substanzen, wie die Elemente, Oxyde, Sulfide, Gruppen mit hochsymmetrischem Baugerüst, und zwar insbesondere trigonale, hexagonale und isometrische Syngonie bevorzugen, weiter aber ist ersichtlich, daß im Rahmen dieser Systeme gewisse miteinander in Beziehung stehende und auf den Würfel leicht zurückzuführende Winkelverhältnisse herrschen. Dieses auffällige Heraustreten bestimmter, nach Achsenkreuz und Winkeln gekennzeichnete Bautypen, die sog. Isotypie, läßt erkennen, daß hier ein weiteres architektonisches Moment sich geltend macht, nämlich die Tendenz nach möglichst stabiler Bauart. Sie liegt im Ideal vor, wenn es sich um das isometrische

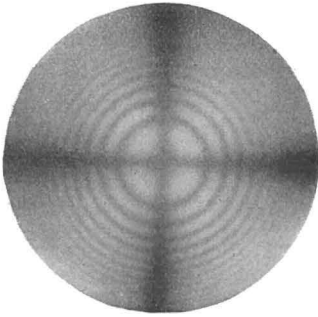


Fig. 19.

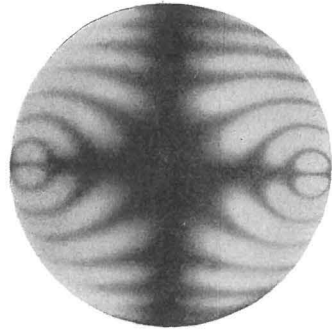


Fig. 20.

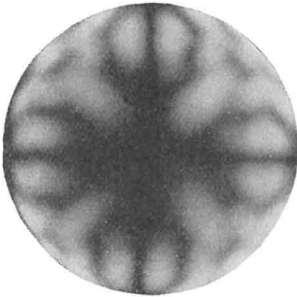


Fig. 21.

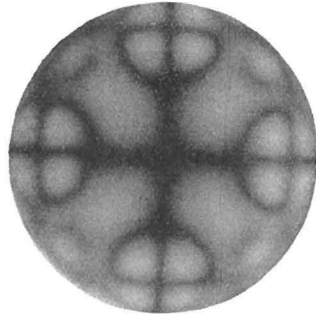


Fig. 22.

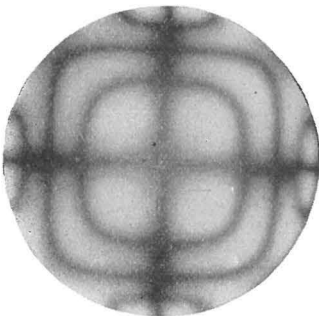


Fig. 23.

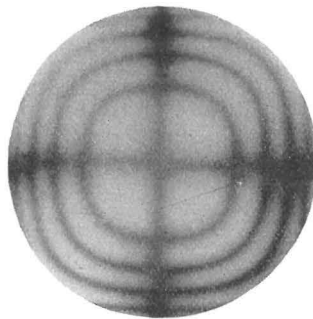


Fig. 24.

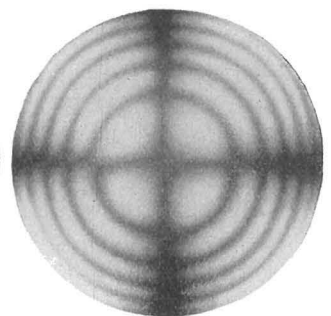


Fig. 25.

Fig. 19—25. Nachahmung der kennzeichnenden optischen Interferenzfigur eines hochsymmetrischen Kristallbaues (Fig. 19) durch regelmäßige Schichtung von Kristallblättern optisch niedriger symmetrischer Art. (Fig. 20). Die Wirkung bei fortgesetzter Übereinanderlagerung wird durch die Fig. 21, 22, 23, 24, 25 bekundet.

Baugerüst mit seinen drei gleichlangen, senkrecht aufeinander stehenden Achsen handelt, bei den wirtelig nach der Drei-, Vier- oder Sechszahl gebauten Strukturen macht sie sich in dem Sinne geltend, daß die Winkelverhältnisse sich denen des Idealfalls in den in Rede stehenden Stoffen eng anschließen.

Außer den edlen, regelmäßig eckigen Formen hat die Praxis der Kristallforschung, insbesondere in der durch das Mikroskop erschlossenen Welt des Kleinen noch eine Fülle höchst merkwürdiger Erscheinungen bekannt gegeben, die dem starren Schema der Kristallgeometrie sich nicht ohne weiteres einfügen. Es handelt sich bei ihnen um Kristallisationen, die offenbar unter dem Einfluß besonderer Bedingungen sich minder einfach als es für gewöhnlich geschieht, entwickelten, sei es z. B., daß die Raumerfüllung unvollständig wurde, wie bei den Kristallskeletten (Fig. 26), die ein jeder in den so zierlichen Schnee-

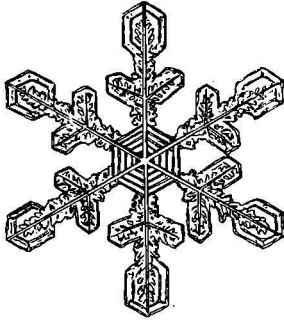


Fig. 26.
Skelettförmig entwickelter
Schneekristall.

sternchen kennt, sei es, daß Verrundungen und Krümmungen eine Rolle spielen als Ausdruck von Kräften, welche dem Bestreben der Kristalle, sich ebenflächig, gradkantig und scharfeckig zu formen, entgegenarbeiten. Einige Beispiele, und zwar Kristallisationen in natürlichen Gläsern, stehen im Bilde vor Ihnen (Fig. 27).

Man wird in diesen eigenartigen Gestalten mit TAMMANN ein Kompromiß der Gegensätze sehen zwischen den inneren, ebene Flächen anstrebenden und den oberflächlichen Kräften, die auf eine Verrundung drängen. Überwiegen erstere und zwar mit ihren Hauptkräften sehr stark, so bilden sich gradkantige Formen mit nur wenigen Flächen, d. h. Gebilde mit sehr scharf ausgeprägten Richtungsverschiedenheiten. Wirken außer den inneren Hauptkräften auch innere Nebenkraft merklich mit, so häufen sich die Flächen in serienweiser Abschwächung, entsprechend den Reihen des Komplikationsgesetzes. Machen sich aber die Oberflächenkräfte mehr und mehr geltend, so stellen sich Verrundungen, spindel- und knopfförmige Bildungen ein, und schließlich erscheint die sphäroidische Form auch beim Kristallinen

zum Zeichen, daß sowohl bei den jetzt schwachen formgebenden innern als auch bei den starken Oberflächenkräften ein Unterschied in der Richtung praktisch nicht mehr besteht, im Anklang an die amorphen

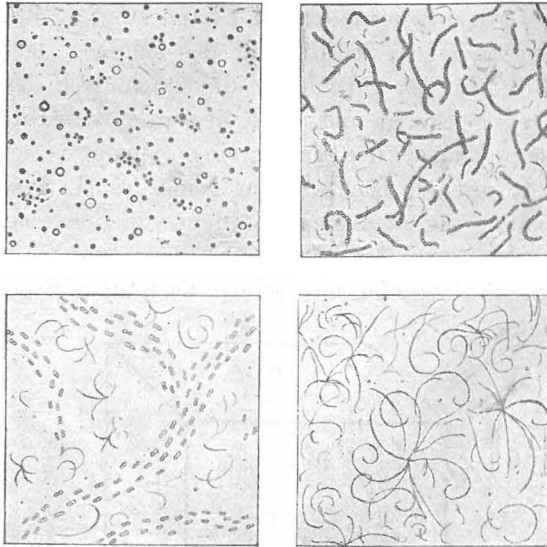


Fig. 27.

Rundliche und gekrümmte winzige Kristallbildungen in natürlichen Gläsern. Wirkung der Oberflächenkräfte.

Flüssigkeiten mit ihrer völligen Gleichheit aller Kräfte in jeder Richtung.

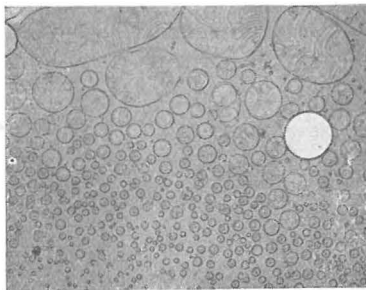


Fig. 28.

Flüssige Kristalle von p-Azoxyphenetol nach O. Lehmann.

Da wären wir denn bei den so viel beredeten und in der Tat außerordentlich bedeutsamen flüssigen Kristallen angelangt (Fig. 28), deren wundersame, hier wegen Kürze der Zeit nicht näher zu schil-

dernde Art insbesondere durch die unermüdliche Forschungsfreudigkeit von O. LEHMANN mehr und mehr geklärt ist. Von den Kristallographen wird jetzt fast allgemein die kristalline Natur dieser Gebilde anerkannt, immer allerdings in dem Bewußtsein, daß es sich um Ausnahmestände gegenüber dem Gros mit normalem Bau handelt.

Kehren wir also zur Schilderung des Wesens der gewöhnlichen starren Kristallindividuen zurück, so klärt sich nach den Ihnen unterbreiteten Erfahrungen mehr und mehr die Frage, was ihre geometrische Art sei. Sie bekundet sich deutlich in einem sprungweisen Wechsel der Formverhältnisse mit der Richtung im Sinne des HAÜY'schen kristallographischen Grundgesetzes. In regelmäßiger von Ebene zu Ebene schnellender Anlage treten an den Kristallen Begrenzungen auf. So zeigt es uns jeder Steinsalzwürfel mit seinen nach dem Schema eines 90°-

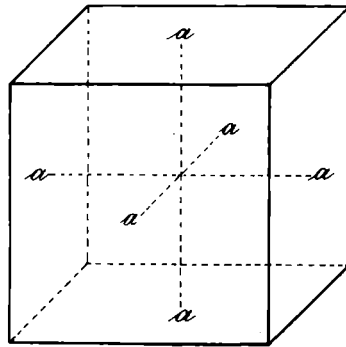


Fig. 29.

Richtung der Kohäsionsminima (a) in einem Steinsalzwürfel.

Sprunges angelegten Flächen oder nochmals unser Bergkristall (Fig. 1).

Da erhebt sich denn die Frage, ob ein solcher springender Wechsel auch im physikalischen Sinne beim Kristallinen statthat. In der Tat findet man diese von vornherein überraschende Eigenart bei gewissen Kohäsionsverhältnissen wieder. Ist man z. B. im allgemeinen gewöhnt, einen Körper schlechthin als spröde oder andererseits als plastisch zu bezeichnen, so bringt es die Eigenart der Kristalle mit sich, daß eine nach den Regeln der geometrischen Kristallographie gerichtete Ebene im Kristallgebäude bestehen kann oder auch mehrere, die sich durch ganz eminente Sprödigkeit auszeichnen; ihnen parallel kann man den betreffenden Körper planflächig auseinander spalten, Steinsalz z. B. nach den Würfebenen, Diamant nach den Flächen des Oktaeders. Zu den Würfel­flächen des Steinsalzes (Fig. 29) bzw. zu den Oktaeder­ebenen des Diamanten senkrecht sind somit Kohäsions-Minima-Richtungen im Aggregat der Moleküle zu verzeichnen, ein klarer Ausdruck

gesetzmäßigen rhythmischen Baues hinsichtlich des Zusammenhaltens der Kristallpartikel.

In anderen Fällen heben sich bestimmte Ebenen großer Plastizität heraus, parallel denen sich Kristallteile gegen den stehenbleibenden Rest unter Wahrung des Parallelismus oder unter gesetzmäßiger Umlagerung zu ihm (Fig. 30) verschieben lassen. Eine solche Gleitfähigkeit, und zwar unter Innehaltung des Parallelismus der Teile, kommt nach MÜGGE, dem Erforscher vieler einschlägiger Verhältnisse, z. B. dem Eise zu, das nach einer Fläche verschiebbar ist; beim Steinsalz kombinieren sich infolge der hohen kristallographischen Symmetrie seiner Substanz eine ganze Anzahl, nämlich sechs Flächen hoher Plastizität als Gleitebenen.

Derartige Abschübe der Kristallteilchen voneinander sind es, welche das Vorrücken der Gletscher begünstigen. Die Eiskörner wandern zufolge inneren plastischen Gleitens nach kristallographischen Flächen; im selben Sinne zu deuten sind die großartigen Deformationen, welche

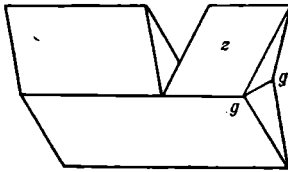


Fig. 30.
Plastische Verschiebung des
Teiles z nach der Ebene gg
in einem Kalkspatkristall.

die Steinsalzlager unter dem Einfluß gebirgsbildender Kräfte im deutschen Boden erfahren haben. Die innere Gleitfähigkeit nach bestimmten Ebenen im Kristall bringt auch die leichte Formbarkeit der Metalle beim Schmieden wesentlich mit zuwege. Bei all diesen Umständen machen sich ersichtlich, wie bei den Verhältnissen der Kristallform, regelmäßige, sprungweise variierende Eigenschaften im Kristallkörper geltend.

Da stellt sich denn die weitere Frage ein, ob vielleicht ein springender Wechsel der Qualitäten überhaupt das alles beherrschende Gesetz für das Wesen des Kristallinen sei. Es zeigt sich, daß ein solcher Rhythmus bei anderen physikalischen Eigenschaften nicht besteht oder doch nicht beobachtet wird. In der Hinsicht seien die optischen Eigenschaften der Kristalle in den Vordergrund der Betrachtung gerückt.

Man erkennt experimentell ganz deutlich, daß die optischen Umstände, wenn sie überhaupt mit der Richtung im Kristall sich ändern, es nicht in Sprüngen tun, sondern in allmählichem Übergange. Einige Versuche mögen diesen Charakterzug ein wenig erläutern. Sie sehen im polarisierten Lichte ein aus Quarz hergestelltes Sphäroid. Beim Drehen der Kugel wechselt ihr optischer Effekt, und zwar gehen dabei

die Erscheinungen ganz allmählich ineinander über (Versuch). Im nämlichen Sinne, aber natürlich mit speziellen Variationen, weist die Rotation einer Sanidinkugel einen gleitenden Übergang der optischen Eigenschaften in wechselnden Richtungen nach (Versuch).

Ihren innersten Grund haben diese Erscheinungen darin, daß die Wellenlängen des Lichtes in solchen Körpern, auch für die nämliche Farbe, ihr Ausmaß mit der Richtung allmählich ändern. Es geschieht das bei den verschiedenen Gruppen der Kristalle in wechselnder und ziemlich verwickelter Weise, wie die Bilder solcher Wellenlängenflächen es Ihnen vorführen (Fig. 31). Doch interessiert hier nicht ihre Einzelart, vielmehr das allgemeine Ergebnis, daß weder bei diesen speziellen Verhältnissen noch überhaupt in der Optik der Kristalle ein Sprung beim Wechseln der Richtung erscheint.

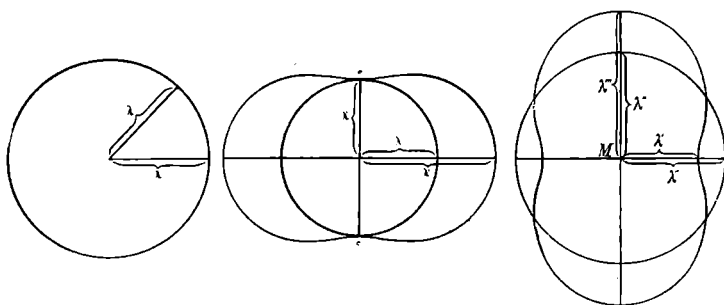


Fig. 31a.

Fig. 31b.

Fig. 31c.

Fig. 31a—c. Durchschnitte durch Wellenlängen-Flächen von Kristallen. Fig. 31a zeigt die Gleichheit von λ in der Ebene des Schnitts, Fig. 31b und c lassen den allmählichen Wechsel der Länge gewisser Wellen mit der Richtung erkennen.

Als dritte Qualitätsgruppe sei es nun gestattet, die chemischen Umstände kristalliner Materie zu beleuchten. Die Erfahrung bekundet mit Sicherheit das beim ersten Hören wohl überraschende Faktum, daß beim Kristallinen auch die chemischen Eigenschaften, und zwar stets, von der Richtung im Kristall abhängen. In parallelen Richtungen chemische Gleichmäßigkeit in davon abweichenden gesetzmäßiger Wechsel. Diese Verschiedenheit äußert sich zwar, soweit bekannt, nie so stark, daß chemische Reaktionen ihr allgemeines Wesen mit der Richtung, in der sie im Kristall voranschreiten, ändern, wohl aber sind Verschiedenheiten in quantitativem Sinne deutlich vorhanden. Die Menge Kohlendioxyd z. B., die auf der oberen Abschlußfläche eines Kalkspats sich unter dem Einfluß von Salzsäure entwickelt, ist ganz verschieden von der auf den Säulenflächen unter gleichen Umständen entspringenden. Auf einem Schliff parallel der Längserstreckung des Quarzes ist er etwa 150mal schwerer durch

Flußsäure angreifbar als auf einem Querschnitt. Die Flächen des Würfels, Oktaeders und Rhombendodekaeders eines Alaunkristalls lassen unter gleichen Bedingungen sehr verschiedene Mengen Kristallwasser entweichen u. dgl. mehr.

Ist also Richtungsverschiedenheit in dem Sinne bezüglich der chemischen Umstände bei Kristallen deutlich zu vermerken, so fragt sich weiterhin, ob die chemischen Wirkungen sich sprungweise ändern, wie die geometrischen Umstände oder in allmählichem Übergange wie von den physikalischen Verhältnissen z. B. die optischen. Die Antwort zeigt ein Präparat, das aus einer kreisrunden Scheibe des Minerals Gips durch Einwirkung von salzsäurehaltigem Wasser entstanden ist (Fig. 32). Man erkennt, daß die Intensitätskurve der chemischen

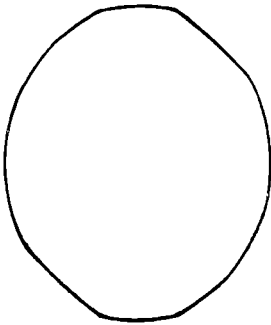


Fig. 32.

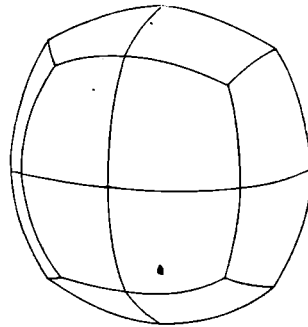


Fig. 33.

Fig. 32. Ehemals kreisrunde Gipsplatte durch lösende Wirkung angesäuerten Wassers umgestaltet.

Fig. 33. Ehemalige Steinsalzkugel durch teilweise Lösung zu einem Ikositeteaeder mit verrundeten Flächen und krummen aber scharfen Kanten verwandelt. Fig. 32 und 33 erläutern den regelmäßigen, springenden Wechsel der chemischen Angreifbarkeit von Kristallen.

Reaktion, d. h. die Umrandungslinie des nicht mehr kreisförmigen Präparats, Knickpunkte besitzt. Und so tritt es auch an anderen Lösungskörpern heraus, die man aus Kugeln als Gebilde mit runden Flächen und entsprechend geschwungenen, aber oft sehr scharfen Kanten erhält. Ein schönes von JOHNSEN studiertes Beispiel, das sich auf Steinsalz bezieht, steht im Bilde vor Ihnen (Fig. 33). Die Kugel hat sich in 24 Bereiche aufgeteilt, innerhalb deren eine sich allmählich mit der Richtung ändernde Intensität der Reaktion sich vollzog. Die Grenzen der 24 Bezirke aber sind scharf. Ihre Anordnung entspricht der geometrischen Symmetrie des angewandten Minerals.

So können wir auf Grund von allerlei gemeinsamen Erfahrungen als bedeutsame Charakterzüge der kristallinen Materie bekunden:

erstens die Gleichmäßigkeit aller Teile eines Kristalls und zweitens den gesetzmäßigen Wechsel wenn auch nicht sämtlicher, so doch stets gewisser Eigenschaften mit der Richtung, sei er sprungweise, wie im Geometrischen und Chemischen, sei er allmählich, wie z. B. im optischen Sinne.

Und so stehen wir nunmehr vor der Aufgabe, auf Grund dieser Erfahrungen ein molekularstrukturelles Bild der Verhältnisse zu ersinnen, das den Beobachtungen gerecht wird.

Das geschieht durch Konstruktion der sog. Raumgitter bzw. der regelmäßigen Punktsysteme als ineinander gestellter Raumgitter, aus denen man sich die Kristalle aufgebaut denkt. Ein Beispiel einfachster Art zeigt dies Bild (Fig. 34).

Es ist nicht zu verkennen, daß solche von HUYGENS bis zu den Forschern von heute eifrig gepflegte Ideen, die bei den Kri-

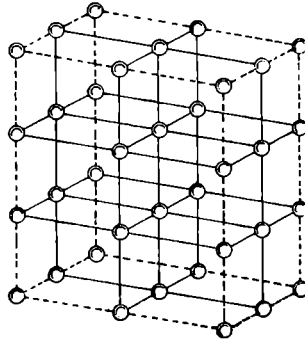


Fig. 34.
Raumgitter.

stallen eine regelmäßige Anordnung submikroskopischer Teile annehmen, den Erfahrungen an kristalliner Materie in vieler Hinsicht entsprechen. Die Gleichmäßigkeit der Umlagerung jedes Teilchens durch die übrigen in einer solchen unendlich groß gedachten Aggregation veranschaulicht aufs beste die erfahrungsmäßig bestehende Übereinstimmung der Teile von Kristallen und die Identität der Verhältnisse auf allen parallelen Geraden. Als Kristallfläche ist jede Ebene durch drei beliebige Punkte eines solchen Systems möglich; es ist aber auch einleuchtend, daß Flächen mit einfachen, und zwar zueinander rationalen Ableitungszahlen gegenüber anderen Möglichkeiten bevorzugt sind. Solche Flächen haben die größte Netzdichte (Fig. 35). Auch lassen sich die Verhältnisse der Spaltbarkeit und inneren Verschiebbarkeit der Kristallteile nach bestimmten Ebenen sehr wohl mit der Raumgittervorstellung verknüpfen, und schließlich spricht stark zugunsten dieser Idee die Anschaulichkeit, mit der

sich chemisch-kristallographische Eigenschaften durch sie versinnbildlichen lassen, so nach SOHNCKE der Polymorphismus als Wechsel der Kristallstruktur und im Sinne GROTHS die Isomorphie als Ersatz von Systemteilchen, wobei regelmäßige homogene Deformationen der Punktsysteme zuwege gebracht werden. Auch werden dann sehr eigenartige physikalisch-chemische Operationen am Kristallkörper verständlich, die ich hier kurz erläutern möchte. Das regelmäßige Raumgitteraggregat mancher Kristalle läßt sich gewissermaßen abbauen, auch umbauen, ohne das Kristallgebäude zu gefährden. Im allgemeinen führt zwar der chemische Angriff auf einen Kristall bekanntermaßen zu dessen vollem Ruin; er stürzt zu einem wirren Trümmerhaufen zusammen, der keine architektonische Beziehung zum Ausgangsmaterial mehr zeigt. Gelegentlich aber gelingt es, einen Kristall durch Abgliederung von Bauteilen wie einen Fachwerkbau durch Herausnahme der Füllungen zwischen den Balken in regelmäßiger

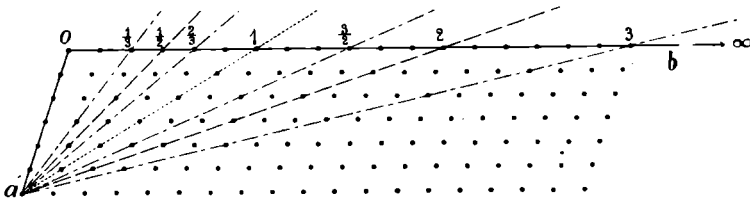


Fig. 35.

Ebene eines Raumgitters. Linien mit den einfachsten Achsenschnitten gehen durch verhältnismäßig viel Punkte.

Weise zu lockern. Ein Rest des Systems bleibt stehen, etwa die Magnesia eines einstigen Magnesiumhydroxydkristalls, und zeigt noch kristallographisches Gefüge, gleichwie die isolierten Balken des Fachwerkbauens noch den Konstruktionsgedanken erkennen lassen, der dem Ganzen zugrunde lag. Zuweilen lassen sich an Stelle herausgenommener neue, sogar ganz fremdartige Bausteine in den kolloidartig gewordenen Kristallbau einsetzen, z. B. an Stelle von Wasser in Zeolithen Schwefelkohlenstoff oder Quecksilber.

Offenbar ist in solchen Fällen die Annahme eines Baues der Kristalle aus regelmäßigen Raumgittern eine gute Grundlage zur umfassenden Erklärung oder doch zur Versinnbildlichung der Verhältnisse. Auf einem großen Felde der Kristallforschung, der Kristallographik, ließen sich allerdings diese Vorstellungen bislang nur selten verwerten. Es geschah wohl bei der Erklärung der Zirkularpolarisation, bei der ein Wendeltreppentbau der ineinander gestellten Raumgitter die Eigenschaft der Drehung der Schwingungsebene durch den Kristall wandernden polarisierten Lichtes verständlich machen

sollte. Im übrigen aber lag kein Ergebnis experimenteller Kristalloptik vor, das auf das Bestehen der Raumgitter eindringlich hinwies. Diese Inkongruenz ist aber ganz erklärlich, denn man kann nicht erwarten, den so außerordentlich feinen kristallographischen Aufbau aus zartesten, in sehr kleinen Abständen regelmäßig gelagerten Molekülen in seiner lückigen Art mittels eines so ungeschlachten Hilfsmittels erweisen zu können, wie es die Wellen des gewöhnlichen Lichtes doch immerhin sind. Weit eher als diese erscheinen, wie Kollege LAUE in divinatorischer Begabung prophezeit hat, die zarten Röntgenstrahlen der Feinheit der Moleküle und ihrer Aggregation angepaßt, und in der Tat haben LAUES Mitarbeiter gezeigt, daß sich ein submikroskopischer Punktgitterbau in gewissen Fällen durch Beugungs-

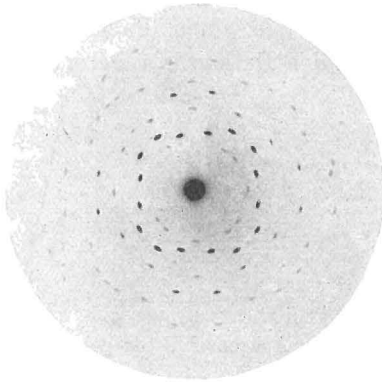


Fig. 36.

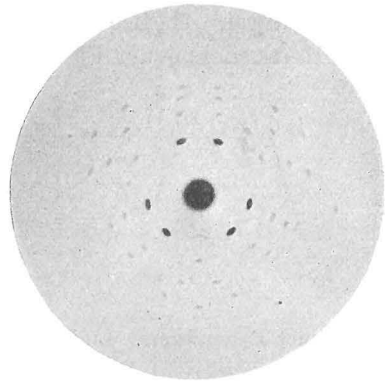


Fig. 37.

Beugungserscheinungen von Röntgenstrahlen, welche Zinkblendeplatten durchsetzten. Richtung der Strahlen bei Fig. 36 senkrecht zu einer Würfelfläche, bei Fig. 37 senkrecht zu einer Tetraederfläche.

erscheinungen von Röntgenstrahlen, die Kristalle durchsetzten, bekundet (Fig. 36 u. 37). In herrlicher Deutlichkeit tritt dabei die Verschiedenheit des Kristallgebäudes in wechselnder Richtung heraus. Fig. 36 bezieht sich auf Zinkblende, die von einem Bündel Röntgenstrahlen in der Normalen zur Würfelfläche durchsetzt wurde, Fig. 37 auf das nämliche Material, wie es sich in Platten parallel zu einer Tetraederfläche verhält. So scheint es sich denn bei diesen fundamental wichtigen LAUESchen Versuchen zu erweisen, daß bei einer zweckmäßigen Anpassung des optischen Werkzeugs an das Objekt der regelmäßige gitterförmige Kristallbau heraustritt. Die Verwendung eines in molekularen Dimensionen arbeitenden Mittels ist, beiläufig gesagt, wohl auch die Ursache dafür, daß Wachstumsvorgänge und chemische Reaktionen sowie Lösungsversuche gleichfalls

auf die durch Punktebenen regierte zarte Bauart der Kristalle hinweisen, wie Sie es an den Kristallgestalten und Lösungskörpern von Quarz, Kalkspat, Gips und Steinsalz gesehen haben.

Dieser durch die Röntgenuntersuchungen sich aufs neue bekundende Wechsel der Qualitäten, der bei allen Kristallen in irgendeiner Form vorhanden ist, setzt sie in strikten Gegensatz zur amorphen Materie. Bei ihr gilt Gleichheit aller Eigenschaften in allen Richtungen; sie ist pansymmetrisch. Es fehlt ihr, z. B. dem Glase oder dem Opal, der Schmuck regelmäßig angeordneter natürlicher Flächen; Ebenen der Spaltbarkeit oder Verschiebbarkeit sind ihnen nicht eigen. Nach allen Seiten sind amorphe Körper im Gegensatz zu den Kristallen gleich hart. Licht und Wärme breiten sich im Amorphen nach sämtlichen Richtungen gleichmäßig schnell aus, wie auch die Volumänderung durch die Wärme allseitig dieselbe ist. Elektrische Polaritäten beim Wechsel der Temperatur treten nicht auf.

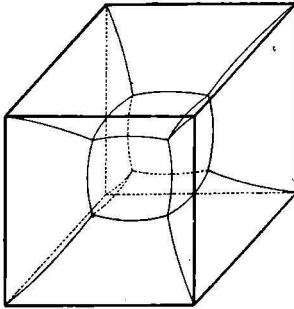


Fig. 38.
Kristallartig geformte
Seifenblase innerhalb eines
Rahmens.

Chemische Vorgänge werden bei ihnen durch die Richtung, in der sie voranschreiten, nicht beeinflusst.

Zwar lassen sich durch ungleichmäßige mechanische Beanspruchung überraschende Anklänge im Verhalten amorpher Materie an das kristalliner zuwege bringen. So sehen Sie es in geometrischer Hinsicht an einer Seifenblase (Fig. 38); ihre bekannte runde, d. h. allseitig gleiche Form wird zur kristallähnlich eckigen, wenn sich an ihr ein regelmäßiger Zwang, wie er durch einen starren Rahmen ausgeübt wird, geltend macht. Auch in experimenteller Optik treten solche starke Kennzeichen von Richtungsverschiedenheiten in amorphem Material unter dem Einfluß orientierter Spannungen heraus. Das unbeanspruchte Glas z. B. ist in jeder Hinsicht gleichmäßig und daher im polarisierten Lichte in ein gleichmäßiges Dunkel getaucht. Sobald aber in ihm (einfach durch den Druck einer Zange) Kompressionen zuwege gebracht werden, so wetterleuchten Polarisationsfarben, wie wir sie bei Kristallen finden, auf und verschwinden beim Nach-

lassen. Ein isotroper Balken, den man, wie hier geschieht, durch den Druck einer Schraube biegt, wird dadurch an einer Seite durch Zug länger, an der anderen durch Druck kürzer und gerät also hier und dort in entgegengesetzten Spannungszustand. Dazwischen liegt die Zone der neutralen Faser, wo weder Druck noch Zug, also keine Richtungsunterschiede, vorhanden sind. Hier muß der Balken im alten Zustande verbleiben. Alles das drückt sich, wie Sie erkennen, in strahlenden Polarisationsfarben recht deutlich aus (Versuch).

Allerdings wird man nicht behaupten, daß durch solche gerichteten Kompressionen und Dilatationen innerhalb der Elastizitätsgrenzen das Amorphe zum Kristall wird. Es werden zwar die Abstände der Teilchen des Glases und ihre Schwingungsfähigkeit regelmäßig verändert, aber der Grundzug im normalen Bau des Kristallinen ist nicht vorhanden; er kennzeichnet sich in einer ohne den Zwang äußerer Kräfte bestehenden, an allen Stellen des Individuums gleichmäßigen, geordneten Lage der Partikel. Im Sinne BECKENKAMPS läßt sich dieser kristalline Zustand deuten als das Ergebnis von interferierenden Kräften, die von den Kristallpartikeln ausgehen, der Art, daß diese sich gegenseitig in Raumbgitterstellung zwingen. Ein Teilchen bannt das andere, wie es *mutatis mutandis* im Punktsystem der großen astronomischen Welt geschieht.

Und nun zum Schluß, meine verehrten Herren, wer dürfte nach solchen Erfahrungen verkennen, daß im Kristallinen ein wundersamer Zustand der Materie vorliegt, reich an allgemein wichtigen Aufgaben für den Forscher. Ein jedes Körnchen dieser von der Natur im Bau unserer Erde in gewaltigen Mengen verwendeten Stoffes ist ein Mikrokosmos, dessen Erkundung nicht nur den wissenschaftlichen Sinn befriedigt, sondern auch das künstlerische Gemüt erfreut durch die Schönheit der Erscheinungen, mit welcher der kristalline Stoff dem Experimentator sein Wesen erschließt.

Ihnen einige Charakterzüge dieser kristallinen Welt schildern zu dürfen, war für mich eine hohe Freude, der Ausdruck zu geben ich mir gestatte durch herzliche Danksagung für Ihre freundliche Aufmerksamkeit.