

## Der Bedeutungswandel der Kristallographie in Wissenschaft und Technik.

Von Franz R a a z, Wien.

Das Erscheinungsbild der Kristallographie als Wissenschaft hat sich im Laufe der letzten vierzig Jahre grundlegend geändert. Damit hat aber die Kristallographie in ihrer Bedeutung eine durchgreifende Umwertung erfahren. Dieser 'Bedeutungswandel' — wenn wir es so nennen wollen — ist von zweierlei Art. Einmal bedeutet Kristallographie im modernen Sinne ein viel umfassenderes Wissensgebiet als es die sogenannte klassische Kristallographie war. Zum andern aber ist damit auch ihre Bedeutung (im Sinne von Wichtigkeit) innerhalb der Naturwissenschaft und ebenso für die technischen Wissenschaften in einem ungeahnten Masse gestiegen.

Um diese Verhältnisse richtig beurteilen zu können, will ich versuchen, das Wesen und die Ziele der Kristallographie — einst und jetzt — an einigen Beispielen zu erläutern.

Mit der Jahrhundertwende war die geometrische Kristallographie im alten Sinne eine im Prinzip abgeschlossene Wissenschaft geworden. Das bedeutet freilich nicht, dass keinerlei Forschungsaufgaben mehr vorhanden gewesen wären. Aber das waren zum Grossteil Fragen der Detail-Beschreibung bzw. Messung und Berechnung, die im erkenntniskritischen Sinne keine Änderung in unseren Einsichten, keinen Wandel der Problematik dieses Wissensgebietes hervorbringen konnten.

Man hat die Kristallographie je nach der Art des behandelten Fragenkomplexes in drei Gruppen geteilt: geometrische, physikalische und schliesslich chemische Kristallographie.

Die geometrische Kristallographie — die also ihrem Wesen nach Morphologie (Gestaltenlehre) ist — war zufolge ihrer mathematischen Forschungsmethode am exaktesten fundiert. Im Laufe des 19. Jahrhunderts sind die vorhandenen Erkenntnisse über die Gesetzmässigkeiten im Kristallbau Schritt für Schritt aufgefunden und mathematisch formuliert worden. So wurde das elementare Grundgesetz von der Rationalität der Parameterkoeffizienten (schon in HAÜY's Arbeiten latent enthalten) durch Chr. Sam. WEISS, in aller Strenge erfasst. Franz E. NEUMANN, ein Schüler von WEISS entwickelte und begründete sodann in seiner Doktordissertation das Zonengesetz. Dieses ist an sich ja nichts anderes als der sichtbare Ausdruck des Parametergesetzes; denn beide beruhen auf ein und derselben Grundgesetzmässigkeit. Durch diese Erkenntnisse war das Fundament für die geometrische Kristallographie geschaffen. Als dann 1830 J. Fr. Chr. HESSEL eine konsequente Ableitung und Begründung der allein möglichen 32 Kristallklassen schuf, war die Symmetriellehre zur gestaltenden Kraft im Formenreichtum der Kristallwelt geworden. Um diese Zeit setzten auch mit erhöhter Intensität jene unendlich langwierigen Bemühungen ein, eine Theorie der Kristallstruktur zu begründen, was

nach mancherlei Verirrungen erst 1890 bezw. 1891 unabhängig voneinander dem russischen Kristallographen E. v. FEDOROW und dem deutschen Mathematiker A. SCHOENFLIES gelang.

In dieser ganzen Zeit — bald nach Beginn des 19. Jahrhunderts bis zum zweiten Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts — stand die messende Kristallographie mit Hilfe des Reflexionsgoniometers im Vordergrund der Kristallbeschreibung und Berechnung. Die Ergebnisse dieser so umfassenden und mühevollen Arbeit sind in dem monumentalen Werke von Viktor GOLDSCHMIDT 'Atlas der Kristallformen' (Heidelberg 1913-1923) systematisch zusammengestellt. Sie bilden einen Markstein in der Entwicklung dieser Wissenschaft und gewissermassen den Schlusstrich unter das, was bisher geometrische Kristallographie war.

In demselben Zeitraum entwickelte sich auch bereits eine chemische Kristallographie, deren Resultate in dem fünfbändigen Werke Paul von GROTH's niedergelegt sind ('Chem. Kristallographie', Leipzig 1906 bis 1919). Das war ein älteres Stadium der Kristallchemie. Was wir heute Kristallchemie nennen, basiert jedoch auf anderen Grundlagen.

Von den physikalischen Eigenschaften und Erscheinungen in der Kristallwelt waren es besonders die optischen, die zu einem wohlausgebauten Lehrgebäude innerhalb der Kristallographie entwickelt werden konnten und die als Kristalloptik, theoretisch und methodisch, eine hervorragende Stellung in der physikalischen Kristallographie einnimmt.

Die gesamte Kristallographie — geometrische, physikalische und chemische — war aber ein Teil der Mineralogie und bildete das Kernstück der sogenannten Allgemeinen Mineralogie. Hier galt es, die Grundgesetzmässigkeiten im Bau, in den physikalischen und chemischen Eigenschaften der kristallisierten Materie zu erforschen, miteinander in Beziehung zu bringen und systematisch darzustellen. Diese Grundlagen — in geometrischer Hinsicht wie auch bezüglich der Eigenschaften — wurden, wiewohl sie die Gesetzmässigkeiten kristallisierter Körper ganz allgemein betrafen (sowohl die Mineralkristalle als auch die Laboratoriumsprodukte umfassend), doch in erster Linie als eine Disziplin der mineralogischen Wissenschaften aufgefasst und daher besonders von Seiten der Mineralogen gepflegt. Es ist sonach nicht verwunderlich, dass in weiten Kreisen die Kristallographie als ein engbegrenztes, einseitiges Wissensgebiet angesehen wurde und — da die Mittelschule auch nicht viel dazu beitrug, diesen Gegenstand verständlich und beliebt zu machen — gelegentlich sogar mit Geringschätzung betrachtet wurde.

Das wurde mit einem Male anders, als durch die Entdeckung der Beugung der Röntgenstrahlen im Kristall die wunderbare Ordnung im Feinbau der kristallisierten Substanz experimentell bestätigt werden konnte. Die Theorie — a priori — war, wie gesagt, seit 1890 da. Aber erst durch die geniale Tat Max von LAUE's (München, 1912) wurde sie lebendig, wurde Wirklichkeit. Damit aber war eine neue Welt erschlossen, der Mikrokosmos war dem vordringenden Forschergeist nicht mehr versperrt, sondern offenbarte sich ihm in

seiner erhabenen Gesetzmässigkeit voll eindrucksvoller Kraft. Vierzig Jahre äusserst mühevoller Arbeit in allen Teilen der Kulturwelt, mit viel Scharfsinn und Intuition von drei wissenschaftlichen Lagern aus bewältigt — es waren gleichermassen Physiker, Kristallographen und Physikochemiker dabei am Werke — haben eine neue Wissenschaft entstehen lassen, die röntgenographische Strukturlehre und in ihrer Folge die Kristallchemie. Hier ist der tiefste Einblick in das Wesen der individuierten Substanz Tatsache geworden, ein alter Traum strebenden Forschergeistes, erkennen zu wollen, 'was die Welt im Innersten zusammenhält', ging in Erfüllung.

Um einigermaßen eine Vorstellung vom Wesen der feinbaulichen Gliederung der kristallisierten Substanz zu vermitteln, muss zunächst hervorgehoben werden, dass der Kristall wohl als homogen, d.h. in physikalischem und chemischem Sinne durchgehends gleichartig bezeichnet werden muss, nicht aber derart, dass die Substanz kontinuierlich den Kristallraum erfüllt. Der Kristall ist eben kein Kontinuum, sondern nur ein Scheinkontinuum. In Wirklichkeit sind die ihn aufbauenden materiellen Teilchen (bzw. ihre Schwerpunktlagen) in streng gesetzmässiger Weise nach Art eines sogenannten Raumgitters verteilt, die Materie ist also in diskreten Massenpunkten lokalisiert.

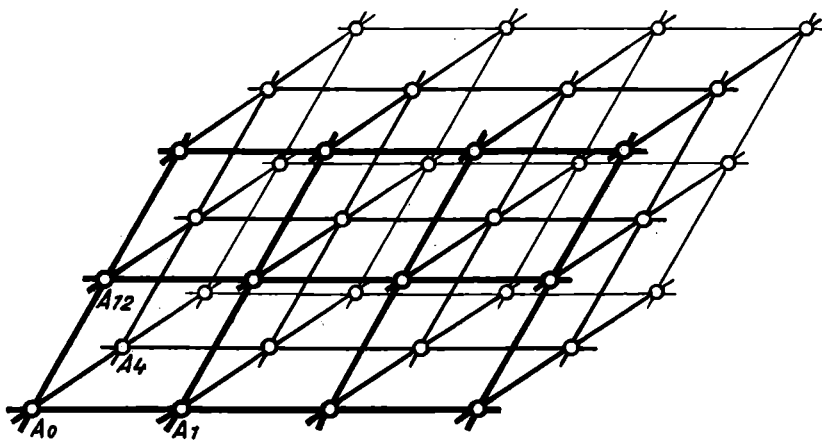


Abbildung 1

Raumgitter: dreidimensional-periodische Punktanordnung als Schema für die diskontinuierliche Struktur der kristallinen Materie.

Das Prinzip eines solchen Diskontinuums ist darin gelegen, dass nach beliebig herausgegriffenen Gittergeraden, Atome oder Ionen in ganz bestimmten Abständen — 'Translationsperioden' — die im allgemeinsten Falle, (triklines Kristallsystem!) für jede der Gitterlinien verschieden sind, aufeinanderfolgen, innerhalb jeder Gitterlinie aber — selbst bei theoretisch unendlicher Ausdehnung derselben — ihren jeweiligen Wert streng einhalten. Drei dieser Gitterlinien wird man (analog den kristallographischen Achsen) zur geometrischen Beschreibung des Raumgitters herausgreifen. Ein solches einfaches Raumgitter heisst Translationsgitter. Es ergibt sich, dass das gesamte dreidimensionale Punktgebilde auch in Punktnetze aufgeteilt werden kann, die wir Netzebenen nennen. Diese bilden ihrerseits in jeder möglichen Raumlage äquidistante Scharen. Wir wollen drei solcher Raumlagen herausgreifen, nämlich die drei Netzebenen, die jeweils durch zwei der drei grundlegenden Gitterlinien bestimmt sind. Wenn wir dem an sich unendlich ausgehenden Raumgitter rein willkürlich in unserem Modell (siehe Abb. 1) eine beschränkte Begrenzung geben, haben wir ein Parallelepipid vor uns, das aber noch immer aus vielen parallelepipedischen Einzelzellen besteht, die untereinander völlig gleichartig, also kongruent sind. Es genügt daher durchaus, dass wir in Hinkunft nur eine einzige solche Elementarzelle ins Auge fassen, uns aber bewusst bleiben, dass sie nach ihren drei Kantenrichtungen dreidimensional-periodisch wiederholt wird; theoretisch unendlich oft. Denn jedes Aufhören ist rein willkürlich, kann nur als Störung empfunden werden. Viele Millionen solcher Elementarzellen sind in jedem, auch dem kleinsten eben noch sichtbaren Kriställchen vorhanden. Denn die Elementarabstände auf jeder Gitterlinie (die Kanten der Elementarzelle) betragen nur wenige Ångströmeinheiten ( $1 \text{ \AA} = 10^{-8} \text{ cm}$ , also der hundertmillionste Teil eines Zentimeters). Somit wären bei einem würfelförmigen Kriställchen von nur 1 mm Kantenlänge zehn Millionen Elementarzellen längs der Kante aneinander zu reihen, falls der Elementarabstand von einem Atom zum nächst gelegenen identischen 1 Ångström betrüge; oder zwei Millionen Zellen, falls deren Kantenlänge 5 Ångström wäre. Im Kristallwürfel von  $1 \text{ mm}^3$  Rauminhalt befänden sich demnach  $(2 \cdot 10^6)^3 = 8 \cdot 10^{18}$ , das sind acht Trillionen solcher Elementarzellen, eine für unsere Begriffe unvorstellbar hohe Zahl. Das träfe annähernd beim Steinsalz zu, dessen Elementarzelle 5,628 Å Kantenlänge hat.

So einfach, wie das jetzt hingestellt wurde, sind aber in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die Verhältnisse nicht. Ja, nicht einmal bei den kristallisierten Elementen (die nur aus einer einzigen Atomsorte bestehen), geschweige denn bei Verbindungen und gar bei den so kompliziert gebauten Verbindungen der Kieselsäure, den Silikaten, die im wesentlichen die Gesteine der Erdkruste aufbauen. Immer handelt es sich da um die Ineinanderstellung zweier oder mehrerer, ja sogar sehr vieler solcher einfacher (unter sich aber geometrisch kongruenter) Gitter, wie sie oben geschildert wurden. Sind es bei den kristallisierten Elementen meist nur flächenzentrierte oder innenzentrierte Gitter kubischer Bauart, bezw. das Gitter der sog. hexagonal-dichtesten Kugelpackung, so ist die Atomanordnung bei

den Verbindungen eine wesentlich kompliziertere. Ein innenzentriertes Gitter ergibt sich, wenn zwei Translationsgitter von allseits unendlicher Ausdehnung so ineinander gestellt werden, dass deren (willkürlich herausgegriffenen) Anfangspunkte um die Hälfte der Körperdiagonale der parallelepipedischen Elementarzelle gegeneinander verschoben sind. Bei dem Gitter der hexagonal dichtesten Kugelpackung (Abb. 2), nach welchem ebenfalls viele Elemente kristallisieren, besteht die Innenzentrierung nur bei den dreiseitigen Teilprismen der Grundzelle und zwar in abwechselnder Folge; die parallelepipedische Grundzelle selbst ist damit wohl in halber Höhe besetzt, jedoch nicht in ihrem Raummittelpunkt (siehe Abb. 2a und 2b).

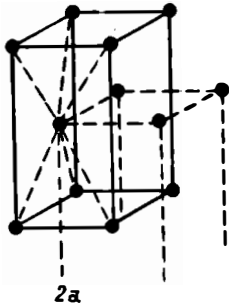
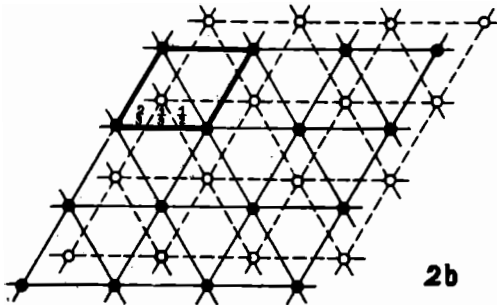


Abbildung 2

a) Hexagonal-dichteste Kugelpackung:

zwei einfache, kongruente, hexagonale Gitter sind parallel ineinandergeschoben.



b)

Grundrissprojektion  
der hexagonal-dichtesten  
Kugelpackung

Eine Atomanordnung dieser Art führt aber nur dann zu einer 'dichtesten Kugelpackung' (bei Anwachsen der kugelförmigen Teilchen bis zur gegenseitigen Berührung!), wenn das Achsenverhältnis  $c/a = 1,633$  ausmacht oder ihm wenigstens nahekommt.

Im Falle eines allseitig flächenzentrierten Gitters sind vier kongruente Gitter ineinander gestellt, indem — von einem Grundgitter ausgehend — die Anfangspunkte des zweiten, dritten und vierten Gitters jeweils um die halbe Flächendiagonale der Begrenzungsflächen des Elementarparallelepipeds gegeneinander verschoben sind. Während ein innenzentriertes Gitter nur zweifach-primitiv ist, d.h. zwei Atome pro Elementarzelle enthält, ist ein allseitig flächenzentriertes Gitter vierfach primitiv. Das kubische flächenzentrierte Gitter stellt hinsichtlich der Raumerfüllung eo ipso eine dichteste Kugelpackung dar.

Das kristallisierte NaCl, das Mineral Steinsalz, besteht — geometrisch gesehen — aus einem (unendlich dreidimensional-periodischen) flächenzentrierten kubischen Gitter der einen Atomsorte (z. Bsp. Na), in welches ein ebensolches (geometrisch kongruentes) Gitter der andern Atomsorte (Cl) zwischengeschaltet ist, wobei der Anfangspunkt des zweiten flächenzentrierten Gitters in die Körpermitte der Elementarzelle des ersten Gitters zu liegen kommt. Ein herausgegriffener kleinster Ausschnitt dieses allseitig unendlich ausgedehnten Punktsystems in Form unserer Elementarzelle (s. Abb. 3)

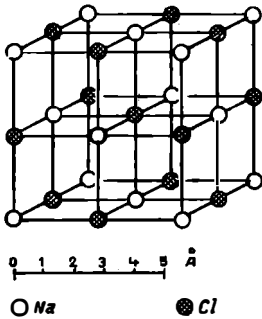


Abbildung 3  
Steinsalz-Struktur (Elementarzelle)  
Ineinanderstellung zweier flächenzentrierter kubischer Gitter.

ergibt nun, dass die eine Atomsorte alle Würfecken und Flächenmitten besetzt, die zweite Atomsorte aber die Körpermitte und alle Kantenmitten der Elementarzelle einnimmt, wohin die Atome der Flächenzentrierung des zweiten Gitters bei der Verschiebung seines Anfangspunktes gelangt sind. So ist dann in der Gesamtstruktur jedes Na von 6 Cl als nächsten Nachbarn umgeben, ebenso aber auch jedes Cl von 6 Na. Das ist aber noch eine äußerst einfache Form der Atomanordnung im Kristallgitter wie sie eben nur bei Verbindungen von so einfacher chemischer Konstitution vorkommen kann.

Um aufs Ganze loszugehen sei gesagt, dass die Ineinanderstellung der verschiedenen, unter Umständen recht zahlreichen Translationsgitter, die jedoch geometrisch unter sich vollkommen kongruent sind, durch ein Symme-

triegerüst der Elementarzelle geregelt ist und dass demnach die dreidimensional-periodische Struktur von Symmetriegesetzen beherrscht wird. Die Symmetrieeigenschaften, die in der äusseren Kristallform zum Ausdruck kommen, sind seit HESSEL (1830) einwandfrei geklärt: nur 32 Kombinationsmöglichkeiten der verschiedenartigen Symmetrieelemente wie Drehungsachsen, Spiegelebenen, Symmetriezentrum sind denkbar; daher auch nur 32 Kristallklassen, die man in sechs oder sieben Gruppen aufteilt und Kristallsysteme nennt. Im Feinbau der Kristalle spielen aber auch noch Verschiebungen um rationale Bruchteile des Identitätsabstandes von Atom zu Atom eine Rolle. Daher gibt es ausser den normalen Drehungsachsen auch verschiedenerlei Schraubenachsen, ausser spiegelbildlicher Lagerung zweier Gebilde in bezug auf eine Symmetrieebene gibt es auch sogenannte Gleitspiegelebenen. Durch diese zusätzlichen Symmetrieelemente erhöht sich aber die Mannigfaltigkeit in der Anzahl der möglichen Kombinationen, die das Symmetrierüst ausmachen, auf 230 — 'Raumgruppen' genannt. Jede der 32 Kristallklassen gliedert sich feinbaulich in eine gewisse Anzahl von Raumgruppen auf. Durch Ausserachtlassung der Schraubung und Gleitspiegelung, die sich morphologisch nur als einfache Drehungsoperation bzw. normale Spiegelung erkennbar machen, reduziert sich jeweils eine Anzahl von Raumgruppen zur einheitlich erscheinenden Kristallklasse.

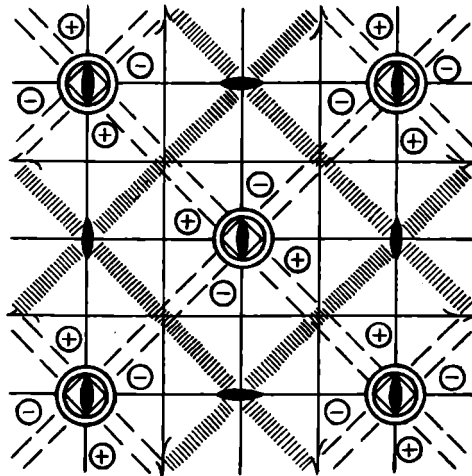


Abb.4  $D_{2d}^3 - V_d^3$

Symmetrierüst einer tetragonalen Raumgruppe der skalenödrischen Klasse, u. zwar  $V_d^3$ ; mit Gitterkomplex der allgemeinsten Punktlage.

(nach E. SCHIEBOLD, Raumgruppen-Atlas)



Spuren echter Spiegelebenen (in vertikaler Lage)



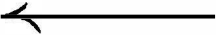
Ortho-Gleitspiegelebenen (in vertikaler Lage)



Vertikale vierzählige Inversionsachsen mit Zentren in Höhe 0 u.  $\frac{1}{2}c$ .



Vertikale zweizählige Drehachsen



horizontale zweizählige Schraubenachsen in der Höhe 0 u.  $\frac{1}{2}c$ .

In Abb. 4 sei das Symmetriegerüst einer der 230 Raumgruppen (und zwar eine tetragonale) im Grundriss dargestellt, wobei zur Verdeutlichung der Wirksamkeit ihrer Symmetrieelemente ein einziger Punkt (als Position eines Atoms in allgemeiner Lage) eingesetzt wurde, der sich den Symmetriebedingungen entsprechend vervielfältigt. Nun können aber strukturell verschiedene Punkte (beispielsweise verschiedene Atome) in der Einheitszelle placiert sein, was dann im Ganzen die hochkomplizierten Atomkonfigurationen ergibt, die die Röntgenanalyse der Kristalle zutage förderte. Als Beispiel sei die Struktur (d.h. die feingebauliche Gliederung) eines der Silikatminerale in der Abb. 5 wiedergegeben; hier handelt es sich um eine Struktur, die einer Raumgruppe des kubischen Systems angehört.

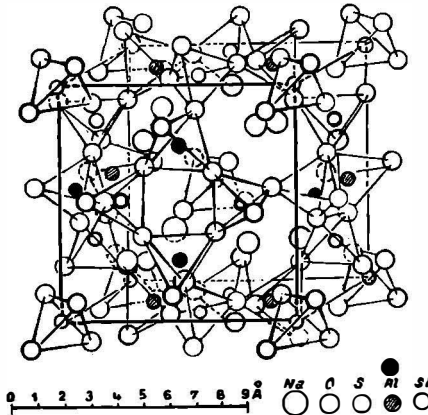


Abbildung 5

Struktur des Hälyn.

(siehe Strukturber., Bd. III)



Wenn solcherart im Feinbau der kristallisierten Materie als Mannigfaltigkeit der Symmetrieerscheinungen lediglich die 230 Raumgruppen in Betracht kommen, so ist doch innerhalb jedes dieser 230 Symmetriegerüste infolge Variation der Parameterwerte theoretisch eine unbeschränkte Zahl von Anordnungsmöglichkeiten gegeben. Denn schon allein die definierte Anzahl vorhandener struktureller Punktlagen in den verschiedenen Raumgruppen erhöht die Mannigfaltigkeit, ganz analog den Verhältnissen im äusseren Kristallbau, wo in jeder Kristallklasse ebenfalls ausser der Fläche allermeinsten Lage die verschiedenen Flächen in speziellen Lagen die Kristallformen ergeben; im Erscheinungsbild besonders dadurch bereichert, dass die möglichen Kristallformen zu den verschiedenartigsten Kombinationen zusammenzutreten können und so die 'Tracht' der äusseren Kristallgestalt bestimmen.

Jetzt können wir auch verstehen, welche Bedeutung die Symmetrielehre im sichtbaren Kristallbau — in der Kristallmorphologie — beanspruchen kann und muss: handelt es sich doch nicht etwa nur um ein raffiniert ausgeklügeltes System von Symmetrieoperationen unter Zugrundelegung von erfundenen Drehungsachsen und Spiegelebenen — denen ja keine gegenständliche Bedeutung zukommt —, sondern die hier zum Ausdruck kommenden Gesetzmässigkeiten sind von weit tiefer greifender Bedeutung. Die Symmetriebedingungen am sichtbaren Kristall stellen das Rahmengesetz dar für die Ordnung im Mikrokosmos, dem sich die Gruppierung der Atome (Ionen) fügt. Ohne vorher die Symmetriegesetze der Kristallgestalten erkannt und explizite entwickelt zu haben, hätte man niemals auf die analogen Symmetrieverhältnisse des Feinbaues kommen können, die bezüglich der Lagerung der Atome im festen Aggregatzustande — und das ist normalerweise der kristallisierte — Geltung haben. Denn ohne die mathematisch fundierte Kristallstrukturtheorie als letzte Konsequenz kristallgeometrischer Forschung hätte der experimentellen Röntgenanalyse der Kristalle jegliche Grundlage gefehlt, um aus dem Röntgen-Interferenzbild auf der photographischen Platte (Film) mit mathematischen Hilfsmitteln die Innenstruktur des Kristalls zu erschliessen. Einer der Forscher, die für die Entwicklung der Kristallstrukturtheorie eine Rolle spielten, Chr. WIENER, behandelt diesen Gegenstand im I. Bande seines 1863 erschienenen Werkes 'Grundzüge der Weltordnung'; wahrlich ein Titel von prophetischer Schau !

Durch die bisherigen Ausführungen, die ja dem Fachmann nichts Neues bieten, sollte gleichwohl dem Fernerstehenden eine gewisse Vorstellung vom Aufbau der festen Materie bzw. vom Wesen röntgenographischer Strukturforschung vermittelt werden. Es sollte ein Versuch sein zu zeigen, wie sich zunächst theoretisch die geometrische Kristallographie im morphologischen Sinne zu einer 'Geometrischen Kristallographie des Diskontinuums' ausbauen liess (siehe P. NIGGLI's Werk, das diesen Titel trägt, Berlin 1919). Die geniale Tat Max von LAUE's (1912), die Kristallstrukturtheorie und jene der bis dahin noch immer rätselhaften X-Strahlen aneinander zu prüfen und damit beide zu verifizieren, schuf eine neue Disziplin der Kristallphysik: die

Röntgenographie. Durch systematische Erkundung der feinbaulichen Gliederung der kristallisierten Materie konnten mehr und mehr jene Beziehungen erkannt werden, die zwischen Chemismus und geometrischer Konfiguration im Aufbau der Kristalle bestehen und die nun unter dem Namen 'Kristallchemie' einen weiteren Wissenschaftszweig erstehen liessen. Zweifellos eine herrliche Synthese zwischen ursprünglich getrennt stehenden Problemen und Erkenntnissen. So ist also die morphologische Kristallographie zu einer Kristallographie des Diskontinuums vertieft und erweitert worden, die chemische Kristallographie alten Schlages hat sich zur Kristallchemie entwickelt und auch die Kristallphysik bietet sich vom Blickpunkte der Strukturverhältnisse aus bereits in neuem Lichte dar. Diese drei Disziplinen, die so enge Zusammenhänge untereinander aufweisen, bilden innerhalb der Gesamtwissenschaft eine beachtenswerte, in sich geschlossene Einheit. Der Name 'Kristallographie' aus der klassischen Zeit, der für diese moderne, selbständig gewordene Wissenschaft als Bezeichnung in Geltung steht, ist daher seinem Inhalt nach gewaltig bereichert worden.

In vielen Kulturstaaten, namentlich in den angelsächsischen Ländern, besteht das Bestreben, spezielle kristallographische Institute ins Leben zu rufen, um dieser weitausgreifenden und aussichtsreichen neuen Wissenschaft die notwendigen Forschungsstätten zu sichern. Auch wissenschaftliche Gesellschaften tragen diesem Umstand Rechnung; so sah sich kürzlich auch die Deutsche Mineralogische Gesellschaft zur Gründung einer eigenen 'Sektion für Kristallkunde' veranlasst. Besonders aber zeigt die Errichtung einer 'International Union of Crystallography', der bereits 18 Länder angehören, und die Veranstaltung Internationaler Kristallographen-Kongresse deutlich den fortgeschrittenen Grad der Entwicklung dieser Wissenschaft.

So sehr es mit Befriedigung erfüllen muss, dass die Kristallographie zu selbständiger Stellung von geachtetem Range aufgestiegen ist, ebenso sehr muss es der von der Seite der Mineralogie gekommene Kristallograph beklagen, dass die Verbindung zu den mineralogischen Disziplinen immer lockerer wird. Es wäre sehr zu bedauern, wenn sich die Mineralogie ihrer angestammten engen Bindung zur Kristallographie berauben liess, wo doch gerade von ihrer Seite die mächtigsten Impulse für die Entwicklung der Kristallographie ausgegangen sind.

Wie seinerzeit in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts durch die Anwendung und den Ausbau der kristalloptischen Methoden der Polarisationsmikroskopie ein neuer grosser Wissenschaftszweig, die Petrographie, entstanden war und doch weiterhin in enger Verbindung mit der Mineralogie verblieb, wie schon rein äusserlich die Bezeichnung der Institute und die Umschreibung des Lehrgebietes bei den betreffenden Professoren und Dozenten durch die Worte 'für Mineralogie und Petrographie' dokumentiert, so müsste andererseits auch Vorsorge getroffen werden, dass in weiterem Masse als bisher die einschlägigen Institute der anderen Richtung sowie die Lehrgebiete ihrer Dozenten als 'für Mineralogie und Kristallographie' bezeichnet würden. Dadurch behielte die Mineralogie ihre zentrale Grundstellung bei

und wäre — je nach der Art ihrer besonderen Forschungstendenzen — entweder als Mineralogie und Petrographie oder als Mineralogie und Kristallographie zu bezeichnen. Ein Hinausgleiten der Kristallographie aus dem Rahmen der mineralogischen Wissenschaften müsste von seiten der Mineralogie geradezu als Verarmung empfunden werden. Liesse man solches zu, dann wäre der Weg frei zu einer weiteren Abbröckelung mineralogischer Disziplinen. Dann wird es in naher Zukunft offiziell keine Mineralogie mehr geben, sondern nur einerseits Geologie, andererseits Kristallographie, wobei aber letztere mehr und mehr als eine ausschliessliche Domäne der Physiker und Chemiker betrachtet werden wird. Ein ähnlicher Zustand ist bereits heute in Schweden gegeben; Mineralogie ist dort an die Geologie einfach angehängt. An der alten, berühmten Universität Uppsala z. B. bestehen zwei geologische Lehrkanzeln: die eine als Professur für Geologie, einschliesslich Petrographie und Mineralogie, die andere als Professur für Geologie, namentlich historische Geologie (und Paläontologie).

Verfolgten die bisherigen Ausführungen den Zweck aufzuzeigen, dass die geometrische Kristallographie alten Stils — die von seiten mancher Mineralogen zuweilen nur als brauchbares Hilfsmittel zur morphologischen Kennzeichnung der Mineralkristalle gewertet wurde — und die moderne Röntgenkristallographie auf Grund der Strukturtheorie einen immensen Wert- und Bedeutungsunterschied in wissenschaftlicher Beziehung darstellen, so möge zum Schluss noch kurz darauf hingewiesen sein, dass die Kristallographie auch in der modernen Technik einen ehrenvollen Platz einnimmt.

Es wurde schon eingangs angedeutet, dass sich Kristallographie nicht nur auf die in der Natur vorkommenden Kristalle ('Mineralkristalle') erstreckt, sondern gleichermassen auch auf die im Laboratorium oder im technischen Industriebetriebe künstlich erzeugten Produkte, die — mit vereinzelten Ausnahmen — immer kristalline Körper bzw. Aggregate solcher sind. Die bekannteste Ausnahme ist das Glas, das im festen Zustande die Konstitution der ursprünglichen Schmelze im wesentlichen beibehalten hat; dieser für einen festen Körper 'pathologische' Zustand wurde aber vom Glastechniker bewusst herbeigeführt, indem die Abkühlung der Schmelze und damit ihre Erstarrung so rasch vorgenommen wurde, dass den materiellen Teilchen keine Zeit blieb, ihre strukturgeometrisch vorgesehenen Atompositionen einzunehmen. Ein Glas befindet sich demnach in einem Zustand des Ungleichgewichts.

Im allgemeinen aber handelt es sich bei den Industrieprodukten festen Aggregatzustandes um kristallisierte Materie. Dies namentlich bei sämtlichen Metallen. Aber auch die Materialien der keramischen Industrie, ja selbst die Tone, deren Teilchen auch bei stärkster Vergrösserung im Mikroskop durchaus kolloid (amorph) erscheinen, sind in ihrer Innenstruktur kristallisiert.

Bei den Metallen als kristalline Aggregate sind die Eigenschaften in mancherlei Hinsicht von kristallographischen Gegebenheiten abhängig. Die Bearbeitungsmethoden, so beispielsweise bei der Kaltverformung der Metalle, fussen hauptsächlich auf kristallographischen Phänomenen wie Translation und Gleitung. Ausser diesen Verhältnissen morphologisch-kristallographi-

scher Art spielt aber begreiflicherweise die röntgenographische Strukturlehre in vielen Zweigen der Technik (Metallographie und Metallurgie) eine bedeutungsvolle Rolle. Kein Metallograph von heute wird dieses moderne Gebiet der Kristallographie entbehren können. Materialprüfung mit Röntgenstrahlen betrifft ja nicht nur die sogenannte Grobstrukturuntersuchung auf Fehlstellen im Material, sondern in weiten Gebieten — beispielsweise in der Legierungskunde — erstreckt sich die Materialprüfung gerade auf das feingebauliche Gefüge, also auf die kristallographischen Strukturverhältnisse. So wie der neuzeitliche Chemiker ohne Strukturlehre und Kristallchemie undenkbar wäre, so ist auch ein Techniker von heute auf vielen Gebieten ohne das Rüstzeug moderner Kristallographie in seinen Forschungsaufgaben beengt und lahmgelegt. Die Betroffenen alle wissen das sehr wohl. Nur die Öffentlichkeit — oft selbst an massgeblicher Stelle — weiss es nicht, dass wir die Erfolge in so verschiedenen Bereichen der Wissenschaft und Technik jenem Fache zu verdanken haben, das so lange verkannt und unbeachtet geblieben war — die Kristallographie.