

1953

Sonderheft 1

Mitteilungen
der
Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft

1. F. Machatschki:

**Die Entwicklung der Mineralogie in
den letzten 50 Jahren**

2. F. Raaz:

Der Bedeutungswandel der Kristallographie in Wissenschaft und Technik

Herausgegeben
von der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft

**Vari-Typer-Satz des Notringes der wissenschaftlichen Verbände
Österreichs**

Herausgeber:
Österreichische Mineralogische Gesellschaft
Wien I, Burggring 7

**Auf Antrag des Notringes der wissenschaftlichen Verbände
Österreichs gedruckt mit Unterstützung der Stadt Wien aus
Mitteln des Kulturgroschens 1952**

MITTEILUNGEN
der
ÖSTERREICHISCHEN MINERALOGISCHEN GESELLSCHAFT

Sonderheft 1 1953

Die Entwicklung der Mineralogie in den letzten 50 Jahren.

Festvortrag, gehalten am 14. Juni 1951 anlässlich der Feier des 50jährigen Bestandes der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft

von Felix Machatschki.

Schon im vergangenen Jahrhundert hatte sich die Mineralogie zu einem weiten, geschlossenen Wissensgebiet entwickelt, das aus mehreren Wurzeln, die anfänglich selbständig und nebeneinander heranwuchsen, entstanden war.

Diese Wurzeln waren vornehmlich:

Die auf AGRICOLA (G. BAUER) zu Beginn der Neuzeit zurückgehende wissenschaftliche und technische Auswertung der bergmännischen Beobachtungen und Erfahrungen.

Die Entdeckung des ersten kristallographischen Grundgesetzes, nämlich des Gesetzes der Winkelkonstanz durch Nic. STENO (NILS STENSEN) im Jahre 1669 und die daraus sich entwickelnde Kristallographie.

Die im selben Jahre erfolgte Entdeckung der Doppelbrechung durch Erasmus BARTHOLINUS (ERASMUS BERTHOLSEN), aus der sich die Kristalloptik und weiterhin das Gesamtgebiet der Kristallphysik entwickelten.

Die seit der Wende des 18. und 19. Jahrhunderts unter Führung von BERZELIUS fortschreitenden Kenntnisse über den quantitativen Stoffbestand der Mineralien.

Erst durch das Zusammentreten dieser Wurzeln wurde die Mineralogie zu einer umfassenden, auf Kristallographie, Mineralchemie, Kristallphysik und Minerallagerstättenkunde ruhenden Wissenschaft, in welcher sich Naturbeobachtung und Experimentalforschung frühzeitig vorbildlich vereinigten.

Um die Jahrhundertwende war die Kristallmorphologie in Verbindung mit der Kristallstrukturtheorie, ferner auch die Mineralbeschreibung zu einem gewissen, in den grossen Linien vollzogenen Abschluss gekommen; in den Vordergrund des Interesses der Forschung waren die Fragen nach der Entstehung der Mineralien und der Mineralgesellschaften in der Natur getreten. An diese Fragen trat man durch eifriges Studium der Minerallagerstätten in allen zugänglichen Gebieten der Erdoberfläche mit grossem Erfolg heran, aber man rückte ihnen auch, soweit als möglich, mit allen physikalisch-chemischen Methoden zu Leibe. Führend für die Fragen der Bildung wasserlöslicher Mineralien, besonders der marinen Salze, war das Laboratorium von J. H. van't HOFF; der Weg der Schmelzflusssynthese mit oder ohne die Kristallbildung

befördernde Flussmittel wurde in allen grösseren mineralogischen Laboratorien beschriften, in den französischen unter G. A. DAUBREE, P. HAUTEFEUILLE, H. MOISSAN usw., im Geophysical laboratory in Washington in besonders grossem Umfange unter Mitwirkung einer grossen Zahl von erfolgreichen Mitarbeitern, in Österreich unter DOELTER usw. Es wäre unmöglich, die Namen all dieser Forscher im Rahmen eines Vortrages zu nennen und ihre Arbeit zu würdigen.

Daneben war zu Beginn des Jahrhunderts die kristalloptische Forschung weiter ausgebaut worden; die planmässige Einführung der Erzmikroskopie zur Zeit um den ersten Weltkrieg durch B. GRANIGG, J. MURDOCH, H. SCHNEIDERHÖHN u. a. erweiterte ihren Anwendungsbereich über die Gesteinswelt hinaus in das Gebiet der Erze (undurchsichtige-opake-Mineralien). Im Gefolge damit nahmen Gesteinskunde und Erzlagerstättenkunde einen gewaltigen Aufschwung; in diesem Zusammenhang gedenke ich nur unseres heimischen Altmeisters der Geländepetrographie und optischen und chemischen Petrographie F. BECKE. Die Mineralanalyse mit immer weiter verbesserten chemisch analytischen Methoden gedieh zu grosser Exaktheit und wurde immer mehr auch zur quantitativen Erfassung der nur in geringen Mengen vorhandenen Elementarbestandteile der Mineralien ausgebaut. W. F. HILLEBRANDT, M. DIETRICH, R. MAUZELIUS, G. TSCHERMAK mit seinen vielfach vorausschauenden Deutungen der Zusammensetzung der Mineralien, A. LACROIX, A. FERSMANN, F. ZAMBONINI, der seit den Zwanzigerjahren die mineralchemische Forschung mit der kristallchemischen vorbildlich verband, sind einige der bedeutendsten Vertreter dieser Arbeitsrichtung. Die Kenntnis der oft ausserordentlich bunten Zusammensetzung der Mineralien und der aus ihnen bestehenden Gesteine wurde dadurch ausserordentlich gefördert und damit die erweiterte Grundlage für ein neues Teilgebiet der Mineralogie die **G e o c h e m i e** geschaffen.

Schon die letzten Jahre des vergangenen Jahrhunderts brachten Entwicklungen und Entdeckungen, die für die mineralogische Forschung von grösster Bedeutung werden sollten: Der vollendete Ausbau der kristallographischen Strukturtheorie durch E. v. FEDOROW und A. SCHÖNFLIESS um 1890, die Entdeckung der X-Strahlen durch Konrad RÖNTGEN in Würzburg im Jahre 1895, die Entdeckung des Radiums durch das Ehepaar CURIE im Jahre 1898. Besonders die beiden ersteren wurden umgestaltend und zielsetzend für die weitere Entwicklung der mineralogischen Forschung, wenn auch im ersten Jahrzehnt des Jahrhunderts gefestigte Erfolge noch ausblieben. Wohl hatte W. BARLOW schon 1888 begonnen, über die kristallographische Strukturtheorie hinausgehende Vorstellungen über die Einzelheiten des Aufbaues der Kristalle zu gewinnen und zwar vorausschauend in systematischer Weiterentwicklung der bekannten WOLLASTONschen Idee. Er arbeitete mit der Vorstellung dichtester Kugelpackungen, allerdings in erster Linie unter Annahme von gleich grossen Massenkugeln unbekannter Dimensionierung für jede Kristallart; erst später zog er in den Bereich seiner Betrachtungen auch dichteste Packungen von verschieden grossen Massenkugeln; seine Bahn beschriften später auch W. THOMSON und E. v. FEDOROW; aber all dies geschah, ohne die sicherlich ideenreichen Vermutungen experimentell beweisen zu können.

Erst die Entdeckung der Röntgeninterferenzen an den Kristallgittern durch geniale Verbindung der kristallographischen Strukturtheorie mit der Hypothese über die Natur der Röntgenstrahlen durch M. v. LAUE im Jahre 1912 eröffnete den Weg für die unmittelbare Erforschung der Positionen der Massenzentren in den Kristallgittern, welche sich - entsprechend einer früher schon geäußerten Meinung des Kristallographen P. v. GROTH - als Atome oder Ionen erwiesen, keineswegs als Moleküle oder Molekülgruppen, wie man sonst früher vielfach angenommen hatte. Nicht nur für die Mineralogie selbst, sondern für das Gesamtgebiet der anorganischen Konstitutionsforschung ergab sich mit Rücksicht darauf, dass sich der kristalline Zustand als der Zustand der festen Materie schlechthin erwies, der seine Vorläufer schon in das Gebiet der Gläser und Flüssigkeiten erstreckt, die Möglichkeit des Aufbaues einer Strukturchemie, die sich ebenbürtig der längst bewährten Struktur- oder Stereochemie auf dem Gebiete der organischen Verbindungen zur Seite stellte.

Somit wurde diese Verbindung von Physik mit der aus der Mineralogie und Mathematik erwachsenen Kristallographie, wie sie von M. v. LAUE im Anregungskreise des Kristallographen P. v. GROTH erneut angebahnt worden ist, nicht nur entscheidend für die weitere Entwicklung der mineralogischen und weite Bereiche der physikalischen Forschung, sondern auch der Chemie, zunächst der anorganischen, die sich zuvor gerne auf die Feststellung von blättrigen oder fasrigen oder im besten Fall würfelförmigen Kristallsystemen beschränkt hatte, nun aber allmählich zur Erkenntnis kam, dass es noch wirkungsvollere Mittel zur Konstitutionsforschung gäbe als ihr selbst zur Verfügung standen. Nun es sei diese Zurückhaltung gegenüber der Kristallographie der Chemie angesichts der gewaltigen Erfolge vor allem auf organischem und physikalisch-chemischem Gebiet gnädig verzeihen, sofern sie sich der Pionierleistungen auf diesem Gebiet erinnert; denn durch späteren Einsatz der ihr reichlicher zur Verfügung stehenden Mittel hat sie die Forschung auch auf diesem Gebiet sehr gefördert und fördert sie weiter.

Entscheidend im Punkte der anorganisch-chemischen und damit auch mineralogischen Konstitutionsforschung war die sich in den Zwanzigerjahren durchsetzende Einsicht, welche die früheren hypothetischen Strukturvorstellungen auf anorganischem Gebiet grösstenteils über den Haufen warf, dass im allgemeinen bei anorganischen Stoffen von Molekülen nicht gesprochen werden kann, bei komplizierteren Stoffen dieser Art, zu welchen die meisten Mineralien gehören, überhaupt nicht. Die im Jahre 1893 von dem Schweizer A. WERNER nach einigen Vorläufern wie E. HITTORV aufgestellte Komplexionentheorie gewann für die Vorstellungen vom Aufbau der festen anorganischen Stoffe eine Erweiterung, die von A. WERNER selbst überhaupt nicht erahnt werden konnte. Denn wer dachte noch um die Jahrhundertwende an die Möglichkeit einer Nichtexistenz von Molekülen bei den meisten anorganischen Stoffen? Diese Einsicht war derart überraschend, dass es trotz der bedeutenden Anfangserfolge der kristallchemischen Forschung noch 2 bis 3 Jahrzehnte dauerte, bis sich die Auffassung durchsetzte, dass es z. B. bei den als Mineralien so weit-

verbreiteten Silikaten sinnlos ist, von Molekülen im Sinne von abgeschlossenen, aus einer bestimmten Anzahl von Atomen bestehenden, elektrischen neutralen Materieeinheiten zu sprechen. Ja im Falle eines besonderen Konservativismus ist auch heute noch nicht eine wenigstens formalistisch ausgewertete Molekülvorstellung völlig ausgerottet; schon von der Schule her ist noch immer die Vorstellung von der Teilbarkeit der Materie in kleinste Einheiten molekularer Natur zu tief eingewurzelt. Konservativismus ist eben auch in den Naturwissenschaften nicht völlig unbekannt, in dem Sinne, dass an lange überkommenen Vorstellungen festgehalten wird, aus Bequemlichkeit oder in der vagen Hoffnung, dass schliesslich doch das Alte siegen und das Neue sich als unbrauchbar erweisen könnte; wir alle sind dagegen nicht gefeit. Nun in der Wissenschaft, die den unmittelbaren Bedürfnissen jahrzehntelang vorausseilen soll, dauert diese konservative Einstellung relativ kurz und schadet nicht viel, auch wenn man mancherorts zögert, genügend junge Ordinarien auf die Lehrstühle zu setzen, während sie sich im Leben verheerend auswirken kann.

Die beiden Nobelpreisträger Sir William BRAGG und dessen Sohn Sir Lawrence BRAGG waren es, die noch im Jahre 1912 in einem ersten Ausbau der v.LAUESchen Entdeckung den Aufbau einiger einfach zusammengesetzter anorganischen Stoffe ermittelten und die dann weiterhin neben v.LAUE, P.DEBYE, M.POLANYI, P.SCHERER, E.SCHIEBOLD u.a. unter weiterem Ausbau der Theorie und fortschreitender Entwicklung der Experimentaltechnik und Methodik an der Erforschung des Aufbaues der festen Materie über atomare Dimensionen hinaus massgeblich beteiligt waren und zunächst bei einfach gebauten Verbindungen von Erfolg zu Erfolg stürmten. Ab 1925 schaltete sich in diesen Arbeitsbereich V.M.GOLDSCHMIDT in Oslo mit seinen Mitarbeitern ein, der schon 1926 auf Grund zahlreicher systematischen Einzeluntersuchungen über den Aufbau einfacher Verbindungen die Grundgesetze der Kristallchemie entwickeln konnte. Schon die beiden BRAGG hatten versucht, aus den Abständen der Zentren in den Kristallgittern für die Bausteine derselben, diese sich als einander berührende Kugeln denkend, Radien zu ermitteln. Sie gingen dabei zunächst von den Abständen der Atome in den kristallisierten Elementen aus und versuchten, die dort gefundenen Werte auch auf nichtmetallische Verbindungen zu übertragen. In dieser Form war der Versuch zum Scheitern verurteilt, weil sich bald herausstellte, dass man so nicht zu vergleichbaren Werten kommen kann, da die Bindungsart und damit die Raumbeanspruchung der einzelnen Atome im Metallkristall eine andere ist als im aus Ionen oder neutralen Atomen aufgebauten Kristall. Dies wurde von V.M.GOLDSCHMIDT klar erkannt und dementsprechend wurden von ihm nur Kristallarten mit vergleichbaren Bindungszuständen in den Bereich der Übersichtsbehandlungen gezogen. So konnten zunächst für die verschiedenen Ionen, fussend auf den Grössenbestimmungen A.WASASTJERNAS aus den Brechungsdaten für die F^- und O^{2-} -Ionen, sowohl für Kationen wie auch für Anionen scheinbare oder Wirkungsradien ermittelt werden, die sich als konstant erwiesen und nur in geringem Grad von der Koordinationszahl abhängig waren; auch diese Abweichungen konnten von GOLDSCHMIDT prozentmässig erfasst werden. Diese von GOLDSCHMIDT gewonnenen

experimentellen Wirkungsradien wurden später von L. PAULING und W. ZACHARIA-SEN theoretisch fundiert. Für die mineralogische Forschung wurde dies un- gemein bedeutungsvoll, weil sich erst auf Grund der Ionenradien der Weg für die Deutung der so verbreiteten, oft äusserst bunten Mischkristallbildungen in der Mineralwelt ergab. Rein chemische Betrachtungen mussten da versagen. Ungefähr um dieselbe Zeit begann Sir W. Lawrence BRAGG unter Ausbau der Strukturfor- schung, besonders unter Hereinziehung Ionisationsspektrometri- scher Reflexintensitätsbestimmungen für die Lösung schwierigerer Struktur- probleme, sich mit seinen Mitarbeitern erfolgreich mit den Strukturen der weitaus verbreitetsten Mineralien, der Silikate, wiederum von einfach ge- bauten ausgehend, zu befassen. Das gesamte Gebiet der chemischen Formu- lierung und Systematik der Mineralien wurde durch diese beiden Arbeitsrich- tungen auf eine neue Grundlage gestellt. Von der Mineralchemie konnte man zur Kristallchemie der Mineralien übergehen, das heisst, das reichlich vor- liegende ältere Material, wie es durch die mineralchemischen Untersuchungen der vorausgegangenen Zeit geschaffen worden war, konnte nun kristall- und strukturchemisch ausgewertet werden; es wurde möglich, auch für die kompli- ziertest und sehr wechselnd zusammengesetzten Mineralgattungen, wie z. B. für die Turmaline, einheitliche, meist recht einfache Pauschalformeln aufzu- stellen und diese konnten dann weiter strukturchemisch gedeutet werden.

Im kristallchemischen Sinne besonders fruchtbar wurde zunächst für die Silikate die Konzeption der mehr- bis unendlichkernigen Komplexionen als Träger des Kristallbaues. Ein Gebiet der anorganischen Strukturchemie, das bis dahin das Tumelfeld fast alljährlich neuer Strukturhypothesen war, hellte sich nun in einer verblüffend einfachen Weise auf, nachdem man noch 1927, der Molekülvorstellung verhaftet, versucht hatte, die Konstitution der Silikate vom Standpunkt der organischen Strukturtheorie und in enger Anlehnung an diese zu deuten; die neue Erkenntnis war so einfach, dass es noch längere Zeit brauchte, diese Auffassung unter dem Druck der Einzelfor- schungsergebnisse von W. L. BRAGG, B. E. WARREN, L. PAULING usw. zum Durchbruch zu bringen, wenn auch die Versuche nach andersartigen Konstitutionsdeutun- gen schlagartig nach 1928 verstummten. Das Ergebnis war ein klar überblick- bares Bild, wie es kaum ein anderes Gebiet der anorganischen Konstitutions- forschung aufzuweisen hat, wenn auch parallel damit im Laufe der letzten 2 Jahrzehnte andere Mineral- und Verbindungsklassen in analoger Weise mit Er- folg bearbeitet werden konnten, woran vor allem die skandinavischen und holländischen Strukturforschungsinstitute massgebend beteiligt waren und sind.

Ja nicht nur das; auch die Kristallisationsprozesse der Silikate aus dem Schmelzfluss erschienen nunmehr in einem anderen Licht; unter Übertragung der Si-O-Tetraederverbände als Kristallisationsvorstufen auf den Silikat- schmelzfluss und auf den Glaszustand kam es zu einem vertieften Einblick in das Wesen der Kristallausscheidungsfolge zumindest aus dem trockenen Schmelzfluss. Für die Erforschung der Mineralparagenesen und der Gesteine ergaben sich so neue wertvolle Gesichtspunkte. - Nicht nur die Strukturthe- rie, sondern auch die speziellen Ergebnisse der Kristallstrukturforschung

wurden im engen Anschluss an die jeweils erzielten Erfolge besonders von P. NIGGLI in raumgeometrischer Auswertung vielseitig beleuchtet.

Der immer tiefer greifende Einblick in die Konstitution der Mineralien liess die Frage der Systematik derselben in den Vordergrund treten und damit auch die Frage einer kristallchemischen Systematik der anorganischen Stoffe überhaupt. Bekanntlich versuchte schon G. ROSE um 1850, gestützt auf E. MITSCHERLICHs Entdeckung der Isomorphie, ein kristallchemisches Mineralsystem aufzustellen, in welchem alle Mineralien analoger Form und analogen physikalischen Verhaltens bei gleichartiger Grundformel, ob durch Mischkristallbildungen miteinander verbunden oder nicht, zu kristallchemischen Mineralgattungen zusammengezogen wurden. In der Folge wurde dieses Streben unter Erweiterung der Einblicke in die Isomorphieverhältnisse der Mineralien fortgesetzt; so entstand ein bis in die letzte Zeit benütztes Mineralsystem, das einerseits kristallchemischen, andererseits chemischen Einteilungsprinzipien folgte, daher nicht voll befriedigen konnte. Zu einem vollen Erfolg konnte G. ROSEs Anregung erst in den letzten Jahrzehnten durch den unmittelbaren Einblick in den Aufbau der Mineralien führen.

Verschiedene Wege eröffneten sich nun für eine Systematik von kristallchemischen Gesichtspunkten aus:

1. Innerhalb von einzelnen chemischen Mineralklassen könnte ein System nach der Art der Komplexionenverbände, im Falle der Silikate der $(\text{Si}, \text{Al})\text{O}_4$ -Tetraederverbände mit Erfolg angestrebt werden; man denke an die Gruppen der Insel-silikate mit, soweit bisher bekannt, 1 bis 6kernigen Tetraederkomplexen, an die Gruppen der Einfachkettensilikate, der Mehrfachkettensilikate oder Bandsilikate, deren komplexe Tetraederverbände soweit bisher bekannt, aus 2 bis 4 Einfachketten bestehen, der Netzsilikate mit hexagonaler, pseudohexagonaler oder tetrago-naler Netzsymmetrie und schliesslich an die mannigfaltige Gruppe der am meisten sauerstoffsparenden Gerüstsilikate, an welche sich die verschiedenen Modifikationen des Siliziumdioxides anschliessen; wenigstens teilweise ähnliche Möglichkeiten der Einteilung bestehen bei den Phosphaten und Arsenaten; auch bei den Titanaten, Niobaten, Tantalaten, deren Aufbau allerdings auf oktaedrischen Komplexen beruht und auf der Vereinigung solcher Komplexe, kennt man unendliche Ketten-, Netz- und vor allem Gerüstionentypen. Am vollständigsten vergleichbar mit den Silikaten erscheinen die ebenfalls auf Verbänden von oktaedrischen AlF_6 -Komplexen beruhenden Strukturen der Aluminiumdoppelfluoride bis zum Aluminium-im Quarz die SiO_4 -Tetraeder) über 6 gemeinsame F-Ecken miteinander zu einem abgesättigten dreidimensionalen Gerüst verbunden sind; auch hier geht die Reihe von Inselstrukturen mit selbständigen AlF_6^{-3} -Oktaedern über Kettenionenverbände derselben und verschiedenen Typen von Netzionenverbänden bis zu den dreidimensionalen Gerüstionentypen, wie sie in meinem Institut in Tübingen von A. PABST für den Ralstonit in Analogie zu den entsprechend aufgebauten Niobaten, Antimoniaten usw. nachgewiesen worden sind. Es soll nicht übersehen werden, dass sich solche Gruppierungen einfacher bis

unendlicher Art auch bei Aquosalzkomplexen nachweisen lassen, wenn auch unter den Mineralien dieser Klasse grössere Inselkomplexe, unendlichkernige Ketten- und Netzkomplexe, soweit bisher bekannt, nicht vorkommen,

So weit die Einteilungsmöglichkeit unter Parallelisieren der Verbände in den chemisch verschiedenen Mineralklassen.

2. Eine umfassendere Einteilungsmöglichkeit über die einzelnen Klassen hinweg wäre durch Unterscheidung der Bindungsarten zunächst denkbar; sie ist aber aus zweierlei Gründen nicht durchführbar: 1.) Weil die verschiedenen Bindungstypen wie z. B. Atom- und Ionengitter oder Ionengitter und metallische Gitter durch Übergänge miteinander verbunden sind. 2.) Weil bei allen Kristallarten mit mehr als zwei kristallchemisch verschiedenen Bestandteilen in der allgemeinen Formel verschiedene Bindungstypen vorliegen; vielfach sind innerhalb der Ionenkomplexe niederer oder höherer Ordnung mehr oder weniger ausgesprochene Atombindungen, aber zwischen den Komplexbestandteilen und den übrigen Ionen heteropolare Bindungen wirksam; dazu kommen noch vielfach innerhalb des Gesamtkristalles metallische und van der WAALS'sche Bindungen; es zeichnet sich innerhalb dieses Rahmens folgende Einteilungsmöglichkeit ab: 1)

$\left[S \begin{smallmatrix} 2 \\ 8 \end{smallmatrix} \right]$	$\begin{bmatrix} 4 \\ \end{bmatrix} [H_2O], Ne \begin{bmatrix} 12 \\ \end{bmatrix}$	Inselmolekülgitter	innerhalb der Moleküle Atombindung; zwischen den Inselmolekülen, den eindimensionalen oder zweidimensionalen Riesenmolekülen van der Waals'sche Bindung, im Falle von Sb_2S_3 u. Graphit unter Mitbeteiligung von metallischer Bindung.
$\infty \begin{bmatrix} 3 \\ \end{bmatrix} Sb \begin{bmatrix} 3 \\ \end{bmatrix} S_3$	und $\infty \begin{bmatrix} 3 \\ \end{bmatrix} Sb \begin{bmatrix} 3 \\ \end{bmatrix} O_3$	Ketten-u. Bandmoleküle	
$\infty \begin{bmatrix} 6 \\ \end{bmatrix} Mg \begin{bmatrix} 2 \\ \end{bmatrix} (OH)_2$		Netzmoleküle	
ebenso $\infty \left\{ (OH)_4 Al \begin{bmatrix} 6 \\ \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 2 \\ \end{bmatrix} Si \begin{bmatrix} 4 \\ \end{bmatrix} O_5 \right\}$		und	
$\infty \begin{bmatrix} 3 \\ \end{bmatrix} C$	Graphit,		

$Na \begin{bmatrix} 6 \\ \end{bmatrix} Cl \begin{bmatrix} 6 \\ \end{bmatrix}, Pb \begin{bmatrix} 12 \\ \end{bmatrix}, C \begin{bmatrix} 4 \\ \end{bmatrix}$: Gerüstmoleküle-dreidimensionale Koordinationsgitter ohne van der Waals'sche Bindung; dreidimensionale Riesenmoleküle; Atom-, Ionen- oder metallische Bindung oder Übergänge zwischen zweien.

Bei mehr als zwei kristallchemisch verschiedenen Bestandteilen können dann noch in grossen Zügen an Haupttypen unterschieden werden:

$\infty K \begin{bmatrix} AlSi_3O_8 \\ \end{bmatrix}$	Gerüstionen. Atom- und Ionenbindung.
$\infty K \left\{ (OH)_2 Al_2 \begin{bmatrix} Si_3AlO_{10} \\ \end{bmatrix} \right\}$	Netzionen. Atom- und Ionenbindung.
$\infty Mg \begin{bmatrix} SiO_3 \\ \end{bmatrix}$	Kettenionen. Atom- und Ionenbindung.
$Ca_3 \begin{bmatrix} Si_3O_9 \\ \end{bmatrix}, Ca \begin{bmatrix} SO_4 \\ \end{bmatrix}$	Inselionen. Atom- und Ionenbindung.

3. Zu einer anderen, unter allen Umständen strengen, wenn auch künstlichen Systematik auf Grund des Kristallbaues kommt man für alle Mineralien (und überhaupt anorganische Stoffe) auf noch anderem Wege: Jede Verbindung findet in einem solchen System ihren vorgegebenen Platz, wenn man als Einteilungsprinzipien erstens den Summenformeltypus, zweitens den Strukturtypus und drittens die Befähigung zur Mischkristallbildung bei gewöhnlicher Temperatur (Isomorphie im engeren Sinne) wählt. Es ist dies ein System, in welchem die Mineralien nach der Summenformel (welche die Anzahl der kristallchemisch verschiedenen Bestandteile und ihr Verhältnis zueinander angibt) in Klassen A, AB, AB₂, A₂B₃, ABC₃ usw. eingeteilt werden; innerhalb jeder Klasse werden die Stoffe gleichen Bautypus, deren Konstitutionsformel durch Angabe der Koordinationszahlen in Erweiterung der Summenformel angedeutet wird, zu Familien zusammengefasst; innerhalb jeder Familie werden die durch Mischkristallbildung verbundenen chemischen Varianten (einfache Verbindungen) zu Gattungen vereinigt; innerhalb der Gattungen werden je nach der besonderen Zusammensetzung verschiedene Arten (einfache Verbindungen) unterschieden, ferner charakteristische Mischkristalltypen als Varietäten; letzteres soll möglichst unter Vermeidung nichtssagender Namen geschehen; in dieser Beziehung gehe ich mit W. T. SCHALLER, H. und A. WINCHELL, Cl. FRONDEL usw. völlig einig, habe ich doch mit ersterem Forscher gleichzeitig die Forderung nach einer sinnvollen Vereinfachung der Nomenklatur aufgestellt und Vorschläge dafür erbracht. Einer solchen Einteilungsbestrebung kommt auch die Einteilung im neuen DANA und im Tabellenbuch von H. STRUNZ sehr entgegen, wenn sie in diesen Werken auch nicht mit aller Konsequenz durchgeführt ist.

Und nun einige Worte zur Mineralsynthese:

Zur Deutung der natürlichen Mineralparagenesen konnte die Synthese derselben aus trockenen Schmelzen mit oder ohne Flussmittel nicht ausreichen. Allein schon für die Gesteine hat P. NIGGLI in den Zwanzigerjahren auf die Bedeutung der fluiden Substanzen, unter denen der Wasserdampf eine überragende Rolle spielt, nachdrücklich hingewiesen. Die neue Experimentiertechnik macht auch nach allen Richtungen hin in diesen Belangen nach Überwindung der technischen Schwierigkeiten von diesen Feststellungen Gebrauch. Ausgehend von Versuchen zur Hochdrucksynthese aus kolloidalen, wässrigen Gemengen in Röhren aus schwer schmelzbarem Glas, wie sie zur Zeit der ersten Berichtsjahrzehnte noch vornehmlich angestellt wurden, ist man mehr und mehr zu den viel widerstandsfähigeren Stahlbomben und Stahlautoklaven übergegangen. Stets verbesserte Konstruktionen derselben bei Auswahl der richtigen Stahlsorten gestatten heute die Verwendung von Einrichtungen, die bei Temperaturen von 500^o Drucke von mehreren 1000 Atm. aushalten. Auch in dieser Forschungsrichtung steht wiederum ausserhalb des Bereiches der grossen Forschungslaboratorien der Industrie die mit reichlichen Mitteln ausgestattete französische Forschung neben jener im Geophysical laboratory in Aus-

weitung der berühmten dortigen Schmelzflusssynthesen um die Jahrhundertwende im Vordergrund. Die zunehmend erfolgreiche Anwendung von allen Ansprüchen genügenden Temperaturgefällsautoklaven verspricht in Verbindung mit den Beobachtungen in der Natur endgültig Aufklärung über die Klufftmineralparagenesen ähnlicher Entstehung zu bringen; denn ohne Rücksicht auf die vielfach ungeklärte Herkunft der die Klufftfüllung liefernden Lösungen, ob diese juveniler oder vadoser Natur sind, stellen sicherlich die der Oberfläche ferneren Gesteinsklüfte Temperaturgefällsautoklaven von riesigen Ausmassen dar, in deren Teufen sich die Lösungen sättigen, um in den höheren, kühleren Partien ihre Kristallisationsprodukte bei durch Temperaturerniedrigung bedingter Übersättigung wieder zum Absatz zu bringen. Für die Grosskristallisationen dieser Art ist sicherlich noch der experimentell schwer zu verwirklichende, laufende Substanznachschub wenigstens in vielen Fällen von ausschlaggebender Bedeutung, mehr als der vielgenannte Faktor Zeit. Es steckt jedoch die Forschung auf dem Gebiete der anorganischen Hochdrucksynthese noch in einem Jugendstadium. Sie wird aber nicht nur für die Aufklärung zahlreicher Mineralparagenesen in Zukunft wertvollste Dienste tun, sondern sie wird dem Menschen in Verbindung mit der kristallchemischen Forschung in Hinsicht auf Ionenaustauschmöglichkeiten in grösserem Umfange helfen, in der Natur seltene und von der Erschöpfung bedrohte, wichtige Produkte aus reichlich vorhandenen Grundstoffen zu synthetisieren, womöglich in Form von gegenüber den Naturprodukten verbesserten Materialien. Der Einsatz entsprechender Forschungsmittel wird sich sicherlich auch auf diesem Gebiet in kurzer Zeit praktisch lohnen.

Eingangs habe ich erwähnt, dass der erweiterte Einblick in die Zusammensetzung der Mineralien und Gesteine die Grundlage für ein neues Teilgebiet der Mineralogie, die Geochemie, wurde. Ihre Wurzeln waren Mineralchemie, Gesteinschemie und die Naturbeobachtung im Rahmen der Lagerstättenkunde. Im Laufe der letzten 25 Jahre wurde durch den Einbau physikalisch-analytischer Methoden unser Einblick in die Stoffverteilung im Erdball weit über den Rahmen der chemisch-analytischen Ergebnisse hinaus erweitert. Es handelt sich dabei hauptsächlich um röntgenspektroskopische und optischspektroskopische Methoden für analytische Untersuchungen, deren Wirkungsgrad in letzter Zeit noch da und dort durch fluoreszenzspektroskopische Untersuchungen verstärkt wird: so entstand die geochemische Forschung als Sonderzweig der Mineralogie und Lagerstättenkunde; durch die Erstreckung der analytischen Methoden auf alle, auch die seltensten Elemente hat sie uns schon mit einem gutem Bild über die Mengenverhältnisse der Grundstoffe und über die Gesetzmässigkeiten, die deren Verteilung regeln, versehen; dies gilt insbesondere für die zugängliche, etwa 20 km starke Erdkruste, die ja auch für die praktische Nutzung allein in Frage kommt; dass die geochemische Forschung an dieser Grenze nicht stehen bleibt, sondern auch ein Bild über die Zusammensetzung des Erdballes in den tieferen Partien zu erhalten bestrebt ist, liegt auf der Hand; jedoch sind hier die Ergebnisse noch stark umstritten.

Auch dieses Gebiet ist in Verbindung mit der Lagerstättenkunde von hohem praktischen Interesse, besonders angesichts der bedrohlichen Verarmung der Erdkruste an vielen höchst wichtigen Rohstoffen, die weitgehend durch die an Raubbau grenzende Ausnützung durch Krieg und Kriegsrüstung bedingt ist. Sowohl stoffmässig wie methodisch hat sich die geochemische Forschung so ausgeweitet, dass an vielen Hochschulen des Auslandes schon eigene Lehrkanzeln für Geochemie bestehen, in Finnland z. B. deren zwei.

Es war mir keineswegs möglich, in diesem knappen Rahmen alle Entwicklungsrichtungen der mineralogischen Forschung, die in den letzten 50 Jahren mit Erfolg besritten wurden, aufzuzeigen; nur einige besonders markante Zweige konnten aufgedeckt werden; so musste z. B. völlig auf eine Darlegung der Entwicklung in der petrographischen Schwesterwissenschaft verzichtet werden, innerhalb welcher gerade seit einem Jahrzehnt infolge des Auftauchens und der Erweiterung fruchtbarer Hypothesen reges Leben herrscht. - In der Zielsetzung der Forschung hat sich in der Mineralogie viel verändert. Das experimentalmethodische Rüstzeug ist gewaltig angewachsen. Tief ist die Mineralogie in allen Sparten der exakten Wissenschaft verankert worden, andererseits droht sie wegen der Ausweitung des Aufgabenbereiches und der zunehmenden Unmöglichkeit einer adäquaten Beherrschung aller wichtigen, einschlägigen Methoden, ja allein der Fachliteratur schon, auseinanderzufallen. Dem kann nur dadurch entgegengewirkt werden, dass die notwendigerweise sich spezialisierende Forschung auf eine breite Ausbildungsbasis bei weiser und kritischer Beschränkung auf das Wesentliche in allen Teilen gestützt wird; nur auf solcher Unterlage kann der unabweislich notwendige allseitige Kontakt mit den Nachbardisziplinen aufrecht erhalten bleiben; nur so kann man auf unserem Forschungsgebiet dem Worte BACONS: 'Ich betrachte alle Kenntnisse als in meine Provinz fallend' gerecht werden.

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 (bezw. ihre Schwerpunktlagen) in streng gesetzmässiger Weise nach Art eines sogenannten Raumgitters verteilt, die Materie ist also in diskreten Massenpunkten lokalisiert.

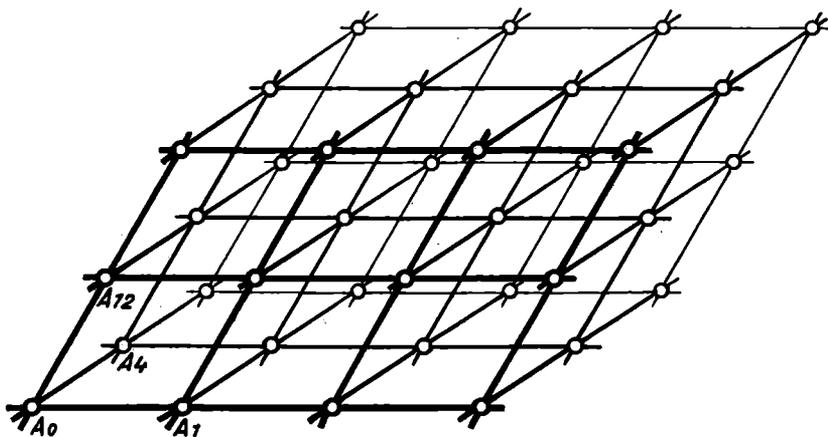


Abbildung 1

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 ausgedehnten 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 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).

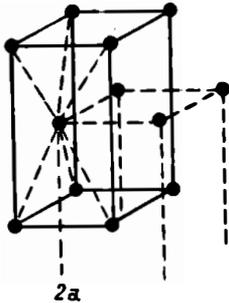
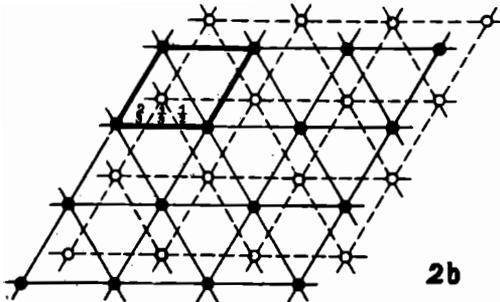


Abbildung 2

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)

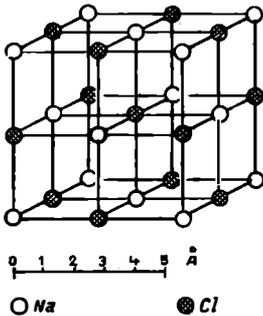


Abbildung 3
Steinsalz-Struktur (Elementarzelle)
Ineinanderstellung zweier flächenzentrierter kubischer Gitter.

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.

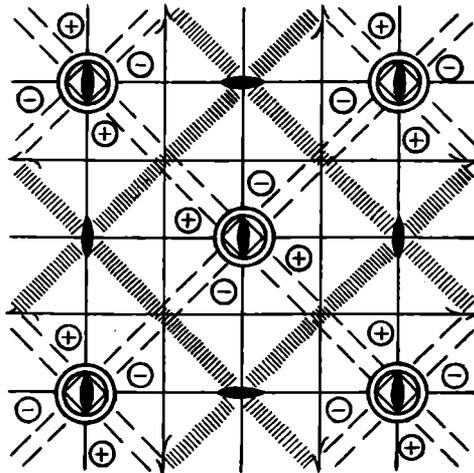


Abb.4 $D_{2d}^3 - V_d^3$

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.

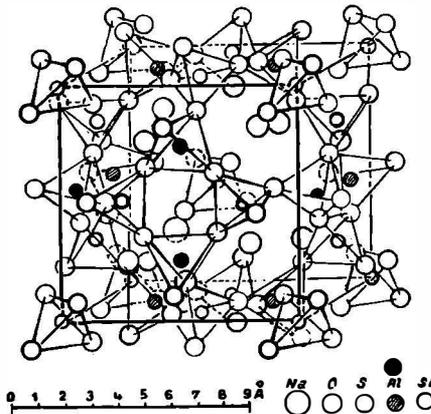


Abbildung 5

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.