

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 systematischer 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 Strukturfor- schungsinstitute 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 Kristallstrukturfor- schung

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 tetragonaler 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)

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

$Na \begin{smallmatrix} 6 \\] Cl \begin{smallmatrix} 6 \\], Pb \begin{smallmatrix} 12 \\], C \begin{smallmatrix} 4 \\]:$ 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:

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

1) Formeln unter Angabe der Koordinationszahlen.

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.