

Aus der Werkstätte eines mineralogisch- petrographischen Instituts

Autor(en): **Niggli, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden
Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences
Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali**

Band (Jahr): **111 (1930)**

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-90373>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Aus der Werkstätte eines mineralogisch-petrographischen Instituts

Von

P. NIGGLI

Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich

In dem bald hundert Jahre alten, heute noch lesenswerten Werk: „Die Geschichte der induktiven Wissenschaften“ hat W. WHEWELL die Geschichte der Mineralogie mit folgenden Worten eingeleitet:

„Die Mineralogie, so wie sie bisher besteht, ist nur ein sehr unvollkommenes Abbild von dem, was sie sein sollte. Die Versuche, die man bisher gemacht hat, bestanden grösstenteils in der Aufsammlung verschiedener Beobachtungen und Erfahrungen über Mineralien; allein die Wissenschaft, die wir suchen, ist ein vollständiges, festklassifiziertes System aller unorganischen Körper.“

Es ist das Vorrecht jeder Wissenschaft, dass der erste Satz, der von der Unvollkommenheit der Erkenntnis im gegebenen Zeitpunkt und dem Dasein eines, weitere Forschung bedingenden Zieles spricht, zeitlose Berechtigung hat. Der zweite Teil des Zitates gibt das Ziel an, das WHEWELL erstrebenswert schien, wir haben zu prüfen, ob es das heute noch ist.

Den verschiedenen Systemen der Naturwissenschaften ist im allgemeinen gemeinsam, dass sie der Mineralogie eine Stellung zwischen der Gruppe Physik-Chemie, den biologischen und den geologisch-geographisch-astronomischen Wissenschaften zuordnen. Diese Lage im Schnittpunkt verschiedener Wege der Forschung ist unzweifelhaft für diejenigen, die den Sinn für das Gesamtgebiet der Naturwissenschaften offen behalten wollen, eine besonders günstige; andererseits zwingt sie zur Nachprüfung, ob überhaupt die Disziplin eine Einheit darstelle, ob nicht eine Auflösung und Einordnung in andere grosse Fachgebiete zweckmässiger ist.

Die Systematik der Wissenschaften, in mancher Hinsicht unlogisch und nur durch die Entwicklung bedingt, ist in erster Linie eine Frage der Organisation, sie muss daher da gestellt werden, wo Wissen in zweckmässiger Weise vermittelt wird. Das wollen unsere Hochschulen. In der Tat zeigen uns deren Lehrpläne, dass die Frage der Erteilung des Mineralogieunterrichtes (in weitestem Sinne) verschiedene Lösungen gefunden hat. Man hat zum Beispiel den Versuch unternommen, den einen Teil, etwa die Kristallographie (insbesondere Kristallphysik, Kristallgeometrie und Kristallstrukturlehre) als Sonderzweig enger der Physik anzugliedern und die Petrographie und Lagerstättenlehre der Geologie. Es wird nicht lange dauern, bis die Chemiker die Kristallchemie, die ja im wesentlichen eine Stereochemie der Kristallverbindungen geworden ist, für sich beanspruchen werden. So erfreulich die Erkenntnis ist, dass die Mineralogie ein Gebiet behandelt, das mit anderen Disziplinen in engster Wechselwirkung steht, so wünschenswert Vermehrung der Zahl der Lehrkräfte sind, so sehr gilt es auch hier, wie bei jeder Spezialisierung, abzuwägen, ob die Vorteile allfällige Nachteile wirklich überwiegen.

Abspaltungen treten gewöhnlich da auf, wo die besondere Arbeitsrichtung und die Institutseinrichtungen zur wissenschaftlichen Behandlung nur eines Teilstückes des Gesamtgebietes zwingen. Es wird dann die Wünschbarkeit einer anderen Forschungsrichtung besonders dringend empfunden, und es ist verständlich, dass die Kreise, die den Anstoss hierzu geben, eine engere Verbindung neugeschaffener Institute mit den ihrigen wünschen.

Das mineralogisch-petrographische Institut beider Hochschulen Zürich ist seit der Übersiedlung in das neue Gebäude in der glücklichen Lage, die verschiedensten Richtungen innerhalb der Mineralogie pflegen zu können. Es ist dies auch notwendig, da es wie wenige Institute als Glied einer vollausgebauten Technischen Hochschule und einer Universität mannigfaltigsten Bedürfnissen gerecht werden muss. Neben den Mathematikern und Physikern, den Chemikern und Naturwissenschaftlern im allgemeinen hat es der Ausbildung der Architekten, Ingenieure, Land- und Forstwirte zu dienen. Ein ausgezeichnete Stab von Mitarbeitern hat bis jetzt ermöglicht, nebeneinander verschiedene Forschungsrichtungen auszubauen. Vielleicht lässt sich daher gerade im Rückblick auf eine zwölfjährige Tätigkeit des erweiterten, von U. GRUBENMANN ge-

schaffenen Institutes beurteilen, ob ein gemeinsames Ziel die Arbeiten noch verbindet und der Begriff Mineralogie etwas in sich Geschlossenes darstellt. Natürlich ist auch in diesem Institut eine nur einigermaßen gleichmässige Pflege aller Sonderrichtungen nicht möglich gewesen, aber es scheint besser, die Frage nach der Stellung der Mineralogie im System der Wissenschaften auf Grund persönlicher Erfahrung und Einstellung zu erläutern, als sie rein akademisch zu behandeln. Würde man nach den üblichen Bezeichnungen die Arbeiten sondern, so müsste man sie etwa verteilen auf deskriptive Mineralogie, Methoden der Mineraluntersuchung, geometrische Kristallographie und Kristallstrukturlehre, Kristallphysik, Kristallchemie, allgemeine und regionale Petrographie, physikalisch-chemische Mineralogie und Gesteinslehre, Lagerstättenlehre, technische Mineralogie und technische Kristallkunde. Sowohl die Betrachtungsweisen der exakten Naturwissenschaften, als auch die der beschreibenden oder klassifikatorischen und der historischen kamen zur Anwendung.

Und trotzdem lässt sich, wie im folgenden zu zeigen ist, unter zwei Haupttiteln alles zusammenfassen, nämlich unter den Titeln Lehre von den Mineralien und Lehre von den Mineralvergesellschaftungen.

Eine reine Gesetzeswissenschaft sagt aus, dass zwischen gewissen messbaren, einen Vorgang charakterisierenden Grössen eine exakt angebare funktionelle Abhängigkeit besteht. Diese Beziehung soll so formuliert werden, dass sie möglichst allgemeine Gültigkeit besitzt und innerhalb der Gültigkeitsgrenzen, unter Einsetzen der Zahlenwerte eines beliebigen Beispiels, ein richtiges Resultat ergibt. Es ist jedoch vollkommen gleichgültig, ob ein spezieller Fall in der Natur verwirklicht ist oder durch Zutun des Menschen verwirklicht werden kann.

Ursprünglich haben diese naturwissenschaftlichen Gesetze, wie sie lange Zeit für die Physik als Ganzes typisch schienen, den Bereich des an sich Möglichen und Denkbaren unter nur allgemeinen Voraussetzungen umschreiben wollen. Ist daher eine gewisse Voraussetzung oder Konstellation gegeben, lässt sich mit ihrer Hilfe der Ablauf weiter verfolgen.

Solange, sei es im reellen oder statistischen Sinne, die Zwangsläufigkeit feststeht, ist selbstverständlich, dass für jeden Zweig der Naturwissenschaften die Kenntnis dieser, gewöhnlich als „physi-

kalisch“ bezeichneten Gesetzmässigkeiten notwendig ist. Es erhebt sich nur die Frage, ob die verschiedenen Disziplinen daneben noch andere wissenschaftlich zu lösende Probleme aufweisen oder ob sie letzten Endes nichts anderes wollen, als „Physik werden“. Nun können wir vielleicht folgenden Standpunkt einnehmen: Physik in diesem Sinne fragt nicht, was wirklich ist, sondern was sein muss, wenn etwas Bestimmtes, bereits Vorgegebenes da ist; die anderen Naturwissenschaften aber fragen ausserdem, jede nach ihrer Art, was wirklich ist und warum die Wirklichkeit nur einen bestimmten Ausschnitt aus dem an sich mit den allgemeinen Naturgesetzen nicht in Widerspruch Stehenden darstellt. In diesem Sinne sind sie alle deskriptiv oder klassifikatorisch, denn sie wollen einzig das Realisierte oder Realisierbare beschreiben und überblicken. Sie behandeln nicht nur die dynamischen Gesetze, sondern auch die Formmannigfaltigkeit der naturwissenschaftlich darstellbaren Welt.

Stellen wir die Frage nach dem Umfang und Inhalt einer bestimmten Mannigfaltigkeit, das heisst eines Kollektivgegenstandes im weitesten Sinne des Wortes, so setzt dies voraus, dass es Einheiten, Grundelemente gibt, in die wir die Gesamtheit zerlegen können. Nun gibt uns trotz der Verknüpfung aller Dinge schon das vorwissenschaftliche Weltbild die Berechtigung, zu vermuten, dass es solche Individualeinheiten gibt, wie sie sich z. B. in einer bestimmten Pflanze oder einem bestimmten Tier offenbaren. Die Naturwissenschaft selbst hat ins Kleine und Grosse diese Betrachtungsweise fortgesetzt, denn sowohl unter Atomen, Molekülen, wie unter Erde oder Sonnensystem stellt sie sich zunächst etwas vor, das sinnvoll als Einheit und als Einzelgegenstand betrachtet werden kann. Indem sie aber die gleichartigen Einheiten zusammenfasst, um die Gesamtvariation überblicken zu können, fügt sie zu der grundlegenden Gesetzeswissenschaft die Einzeldisziplinen, die Lehren von den Atomen, den Molekülen, den Mineralien, den Pflanzen und Tieren usw. Allen diesen Disziplinen muss der analogen Zielsetzung wegen etwas Gemeinsames zukommen. Wir können es als eine morphologische Komponente bezeichnen, gilt es doch, etwas Gegebenes in seiner Auswahl, seiner Gesamtheit, seiner Form und Gestalt zu charakterisieren. Wir würden es in der modernen Atomlehre, der sogenannten Atomphysik, der Chemie, beispielsweise der Topochemie, der Stereo-

chemie und der Lehre vom periodischen System der chemischen Elemente, bereits vorfinden, aber zum ersten Male wird äusserlich in der Mineralogie diese Betrachtungsweise derjenigen biologischer Disziplin analog. Denn die Mineralogie hat es, in Anlehnung an die WHEWELL'sche Definition mit den zur sichtbaren Grösse ausgewachsenen anorganischen Individuen zu tun.

Die Einheit, in der sich uns die anorganische Natur in erster Linie offenbart, ist der Kristall. Die Lehre von den Bauelementen unserer festen Erde, die Mineralogie, ist daher zu einem wesentlichen Teil Kristallkunde. Es ist durchaus kennzeichnend, dass es äussere, echt gestaltliche Erscheinungen waren, die eine erste Präzisierung des Kristallbegriffes ermöglichten, dass aber ausschliesslich innere, von der Begrenzung nicht nur unabhängige, sondern die Unbegrenztheit in der Definition an sich voraussetzende Eigenschaften die Aufstellung eines einfachen, mathematisch präzisierten Ideals „Kristall“ gestatteten. Dass nur eine Idealisierung zum Ziele führt, braucht nicht zu verwundern und ist allen Wissenschaften, die sich mit einer Summe von Einzelindividuen beschäftigen, gemeinsam. Es ist dies übrigens durchaus mit der Tatsache in Parallele zu setzen, dass auch die Vorgänge nur nach Zerlegung in einfache (an sich nur gedachte) Elementarprozesse der gesetzmässigen Behandlung zugänglich sind.

So haben die Erfahrungen gezeigt, dass es unter Vernachlässigung mancher, wie wir jetzt sagen sekundären, Einzelheiten möglich ist, ein das Wesentliche enthaltendes Idealbild vom Feinbau des Kristalles zu entwerfen. Wir müssen die kristalline Materie als diskontinuierlich struiert ansehen und ihr Homogenität und Anisotropie zuschreiben. Im statischen Bild läuft dies darauf hinaus, dass die Raumerfüllung oder die Lokalisierung der den Kristall aufbauenden Massenteilchen bestimmten geometrischen Gesetzen gehorchen muss. Wir können die Gesetze dem von kristalliner Materie besetzten Raum als Ganzes zuschreiben und daher von bestimmten Eigenschaften des Kristallraumes sprechen. Grundphänomene sind die folgenden:

1. Im unendlich ausgedehnt gedachten Kristallraum lässt sich im allgemeinen jeder Punkt von jedem seiner Nachbarpunkte unterscheiden. (Diskontinuum.)

2. Es gibt jedoch zu jedem Punkte unendlich viele, durch keinerlei Mittel von ihm unterscheidbare, gleiche, bzw. identische Punkte (Periodizität, Raumgitterstruktur).

Es ist nun selbstverständlich, dass es eine der ersten Aufgaben der Kristallographie sein muss, dieses Idealstrukturbild vollständig zu beschreiben und in seiner ihm noch zukommenden Variationsmöglichkeit zu überblicken. So ist auch eine grosse Zahl von Arbeiten des Zürcher Institutes diesem Thema gewidmet. Zunächst handelt es sich um analytisch-geometrische Untersuchungen und Definitionen, die gestatten sollen, jede mit dem Grundprinzip verträgliche Massenverteilung eindeutig zu charakterisieren und nach verschiedenen Gesichtspunkten zu analysieren. Es ergeben sich hierbei mannigfache Beziehungen zur Arithmetik, Zahlen- und Gruppentheorie. Die Forderung, dass zu jedem Punkt unendlich viele identische Punkte gehören, ist gleichbedeutend mit der Aussage, dass es möglich sein muss, unendlich viele Punkte zu finden, für die sich nach blosser Parallelverschiebung des Koordinatensystems Invarianz der Beschreibung ergibt. Es muss daher auch Deckoperationen (in diesem Fall Parallelverschiebungen, Translationen) geben, die den Kristallraum in sich selbst überführen. Diese Tatsache ruft aber sofort die Frage wach, ob mit den Eigenschaften des Kristallraumes nicht weitere Decktransformationen verträglich sind, welcher Art diese Operationen sein dürfen, mit anderen Worten, welche möglichen Symmetrieeigenschaften die Strukturen besitzen können. Bekanntlich führte gerade die Prüfung dieser Frage die Klassiker der Kristallstrukturlehre, wie BRAVAIS, SCHOENFLIES und FEDOROW, zur Überzeugung, eine das Wesentliche umfassende Theorie des Kristallaufbaues gefunden zu haben. Damit aber ergibt sich die Notwendigkeit, weitere mathematische Untersuchungen anzugliedern, so z. B. über die Beziehungen der verschiedenen Symmetriefälle zueinander und die Möglichkeiten, durch verschiedene Anordnungen gleiche Gesamtsymmetrie zu erlangen.

Sind die Kristallräume in ihrer Bestimmtheit und ihrer möglichen symmetriebedingten Eigenart bekannt und miteinander in Beziehung gesetzt, so lassen sich durch Lokalisierung von Massenteilchen alle irgendwie denkbaren, mit der Grundannahme verträglichen Massenverteilungen, das heisst alle denkbaren Kristallstrukturen aufbauen. Dabei werden verschiedene Zusammenhänge innerer

Art deutlich, die als Ganzes in der sogenannten topologischen Strukturanalyse einer systematischen Bearbeitung fähig sind.

Alle derartigen, trotz der Einfachheit der Voraussetzungen noch nicht abgeschlossenen Untersuchungen haben zum Ziel, einen vollständigen Überblick über die Möglichkeiten zu erlangen, die unter den allgemeinsten Annahmen dem Kristallbau zur Verfügung stehen. Nichts anderes will man, als ein umfassendes Rahmenwerk schaffen, das gewisse generelle Gesetzmässigkeiten bereits in sich enthält, und das ausserdem so umfassend ist, dass die gesamte Wirklichkeit darin Platz hat. Jetzt erst kann man sich wieder dieser Wirklichkeit zuwenden und versuchen, sie als Teilausschnitt des Reiches der Möglichkeiten zu verstehen. Dabei ist natürlich notwendig, die Methoden, die eine Zuordnung gestatten, das heisst die Methoden der Strukturbestimmung, möglichst eindeutig zu gestalten, und auch diesem Problem wurden manche Arbeiten gewidmet.

Wenn wir heute den Feinbau vieler Kristallarten wenigstens in den Grundzügen kennen, dürfen wir nicht vergessen, dass dazu nicht nur die geniale Tat v. LAUES und der beiden BRAGGS, Röntgenstrahlen zur Kristalldurchleuchtung anzuwenden, nötig war, sondern auch die Übertragung der Kristallstrukturgeometrie auf die Deutung der physikalischen Effekte. Der hierzu vor allem notwendige Schritt war die Untersuchung, ob es möglich sei, Auswahlregeln aufzustellen, die zur Bestimmung genau definierter Unterabteilungen der Strukturmöglichkeiten, sogenannter Raumsysteme, dienen. Systematisch konnte diese Problemstellung erst vor kurzem zum Abschluss gebracht werden.

Dass die Verteilung der wirklichen Kristallstrukturen auf die mathematisch gegebenen Möglichkeiten keine gleichmässige oder regellose ist, zeigt uns die Erfahrung allüberall. Die näher bekannten Mineralien bevorzugen jedoch ausgesprochenerweise einzelne Klassen. Ein einfaches Beispiel möge an dieser Stelle genügen.

Die Symmetrieuntersuchung ergibt, dass man die Strukturen in 32 bereits makroskopisch voneinander unterscheidbare, an sich gleichberechtigte Klassen einteilen kann.

Es beginnt nun die eigentliche Aufgabe der Kristallstrukturlehre: Prinzipien zu suchen, die gestatten, in Abhängigkeit von dem Charakter der Aufbauelemente das Auftreten bestimmter Strukturen und Strukturtypen

zu verstehen, mit andern Worten, die Selektion gesetzmässig zu erfassen. Wenn z. B. Na- und Cl-Ionen zu einem Kristallgebäude zusammentreten, so ist dies, ohne dass etwas von den Kristalleigenschaften als solchen verlorengehen würde, auf unendlich viele verschiedene Arten möglich. Wir aber wollen wissen, ob es möglich ist, gewisse Prinzipien von grossem Geltungsbereich zu finden, die uns verstehen lassen, warum die Kristallisation nach den ganz bestimmten Regeln der Steinsalzstruktur erfolgt.

Wir wollen wissen, welches die Voraussetzungen sind, die beim Zusammentritt zweier Teilchen A und B im Verhältnis 1 : 1 diesen und keinen andern Strukturtypus bedingen. Dass gewisse Vorbedingungen erfüllt sein müssen, zeigt uns der Umstand, dass sich z. B. Cs- und J-Ionen zu einem andern, K- und Cl-Ionen, jedoch zum gleichen Strukturtypus vereinigen.

Um einen Einblick in diese Bedingtheit zu erlangen, sind verschiedene Wege gangbar und auch mit Erfolg im letzten Jahrzehnt beschritten worden. Bei einigermassen komplexen Substanzen ist natürlich die genaue analytische Untersuchung der chemischen Variationsbreite eines Strukturtypus erstes Erfordernis, das verlangt die Mitarbeit eines zuverlässig arbeitenden mineral-chemischen Laboratoriums. Im übrigen kann man, wie GOLDSCHMIDT und andere, von bestimmten Eigenschaften, wie der Grösse der Einzelteilchen, ausgehen, oder, wie das in Zürich versucht wurde, durch eine vergleichende Betrachtung der Strukturtypen das Gemeinsame und Unterscheidende herausarbeiten und auf diese Weise Grundprinzipien empirisch finden. An sich scheint die Aufgabe lösbar zu sein.

Eine vergleichende Kristallstrukturlehre lässt die Verwandtschaft zwischen den einzelnen Strukturtypen erkennen und auf Grund des Wechselspiels anziehender und abstossender Kräfte verstehen, unter welchen Umständen der eine Typus den anderen ablösen muss. Gewisse Grundtendenzen treten deutlich hervor, so dass sich individuelle Fälle als durch niedriger symmetrische Kräftewirkung bedingte Deformation deuten lassen. Als Ganzes beherrscht das Symmetrieprinzip weitgehend die beobachtbare Selektion. Gleichgestaltigkeit bei verschiedenem Chemismus, d. h. Isomorphismus als Konvergenzerscheinung, und Strukturvariabilität bei gleichem Chemismus, d. h. Polymorphismus in Abhängigkeit von den äusseren Bedingungen, sind nur Sonderfälle dieser Verwandtschaftslehre, die den Bau der kristallisierten anorganischen Körper in einem natür-

lichen System darstellt. Die physikalischen Eigenschaften der Körper müssen teils als typenbedingt, teils als Folge der individuellen Zusammensetzung verstanden werden.

Obschon diese Bemerkungen dargetan haben, dass bereits eine Kristallkunde, die von der Struktur ausgeht, notwendig morphologische Probleme zu behandeln hat, mag es doch scheinen, dass die Analogie mit den Methoden und Darstellungsformen biologischer Wissenschaften weniger deutlich sei als diejenige, die unsere Wissenschaft mit Atomphysik und Molekularchemie verbindet. Es beruht dies im wesentlichen auf der Homogenität des Feinbaues, die zur Folge hat, dass die Probleme, wie sich besondere Organe zum Ganzen verhalten, nicht aktuell werden. In einem gewissen Grade allerdings lässt sich damit in manchen Kristallstrukturen die Frage nach der Gestaltung und Anordnung innerer Bauzusammenhänge, die als Inseln, Ketten, Netze in Erscheinung treten, parallelisieren.

Nun aber müssen wir uns erinnern, dass das uns unmittelbar Gegebene, einzelne, endlich begrenzte Kristallindividuen sind, genau wie das Pflanzenreich die Summe einer grossen Zahl, durch gemeinsame Merkmale nur lose verbundene Individuen darstellt. Die geometrischen Grundgesetze der Kristallstrukturlehre geben uns keine Anhaltspunkte, warum eine derartige Begrenztheit der Körper zum Wesen der Wirklichkeit gehört, im Gegenteil, eine einfache Formulierung war nur möglich unter der Annahme, jeder Kristall sei unendlich ausgedehnt. In Übereinstimmung mit den Beobachtungstatsachen über das Wachstum der Kristalle müssen wir somit die Begrenztheit eines Kristalles, die Bildung besonderer Kristallindividuen, deren Form und Gestalt und schliesslich als Ganzes die Heterogenität im Aufbau der Erdrinde genetisch zu verstehen suchen, als Folge einer vorgegebenen Mannigfaltigkeit der Aufbauelemente und als Resultat der Wechselwirkung der bei der Bildung wirksamen inneren und äusseren Umstände. Das erste führt uns zu Problemen der Geochemie und der Genesis der chemischen Elemente, das zweite zu den Fragen der phänomenologischen Kristallmorphologie.

Wie in den biologischen Wissenschaften, ist eine der schwierigsten und selten mit genügender Schärfe formulierten Aufgaben diejenige der Zusammenfassung gewisser Individuen zu Arten unter genauer Charakterisierung des neuen Kollektivgegenstandes. Dem

Laien mag es ja scheinen, dass dies in der Mineralogie weit einfacher sei als bei Pflanzen und Tieren. Allein die nähere Untersuchung zeigt uns die Variabilität der sogenannten Konstanten. Statistische Berechnungen lassen sich auch hier nicht vermeiden. Ganz besonders treten sie in Erscheinung, wenn es sich darum handelt, auf Grund der äusseren Formen, der Morphologie freigewachsener Individuen, Zusammenfassungen und Trennungen vorzunehmen. Man braucht nur in der Geschichte der Mineralogie zurückzuverfolgen, wie lange es gedauert hat, bis überhaupt das Gestaltliche als etwas Gesetzmässiges erkannt wurde, bis feststand, dass der Gesamtheit aller zu den Individuen einer Art gehörigen Gestalten, die sich bei ungehindertem Wachstum bilden, trotz grosser Variabilität eine statistische und eine messbare, deutliche Eigenart zukommt. Man musste von vielem absehen, um das Beharrende zu finden, man musste auch hier typisieren und idealisieren, um mathematisch fassbare Grössen zu erhalten.

Die ebenflächige Umgrenzung, als das eine Gemeinsame, ist die elementarste Feststellung, das relativ Beharrende der Flächenlagen gegenüber der Flächengrösse die zweitwichtigste. Daraus ergab sich die Konstruktion der Kristallmodelle, wobei zugunsten genauer Darstellung dieser Verhältnisse von allen übrigen Phänomenen abgesehen wurde. Ein wesentlicher Fortschritt war die Beobachtung, dass die Flächenlagen einer Kristallart untereinander in einer engen Beziehung stehen, die als Rationalitäts- oder Zonengesetz bekannt ist. Aber auch hier wiederholt sich etwas, das bei der Betrachtung der Strukturgesetze bereits unsere Aufmerksamkeit erregte. Das Rationalitätsgesetz verbietet wohl gewisse Flächenlagen und Kombinationen, so wie die Grundgesetze des Kristallaufbaues nur gewisse Voraussetzungen erfüllende Strukturmöglichkeiten zulassen, aber es bringt, wie jene, weitere unzweifelhaft vorhandene Selektionen und Eigentümlichkeiten dem Verständnis nicht näher. Es ist ein erstes, aber nicht das letzte Auswahlgesetz. Deshalb gilt es, genau so wie in der Kristallstrukturlehre innerhalb des durch das Gesetz gegebenen Rahmens des Möglichen, die Wirklichkeit näher zu erfassen, zu beschreiben und zu präzisieren. Da gerade in dieser Hinsicht manche methodische Unklarheit bestund, schien es eine der wichtigen Aufgaben, nach Verbesserungen der Darstellungen zu forschen. Die Aussagen des Rationalitätsgesetzes gestatten innerhalb

einer Art, jede Flächenlage durch drei ganze, teilerfremde Zahlen zu charakterisieren. Nun zeigt sich, dass unter den denkbaren primitiven Tripeln ganzer Zahlen nur wenige häufigen oder überhaupt realisierten Flächenlagen entsprechen und, dass je grösser das Beobachtungsmaterial, d. h. die Zahl der Individuen, wird, um so deutlicher eine charakteristische Abstufung, eine durch Häufigkeitszahlen gegebene Reihenfolge der Flächenlagen in Erscheinung tritt.

Genau Analoges gilt für beobachtete Kombinationen von Flächenlagen, so dass statistische Behandlung verbunden mit graphischer Veranschaulichung ermöglicht, die Formenvariationen einer Art gesetzmässig zu erfassen. Jede Kristallart scheint ihre individuelle Variationsbreite zu besitzen; die zunächst chaotisch erscheinende Formenmannigfaltigkeit löst sich in empirisch feststellbare statistische Gesetzmässigkeiten auf, die nicht selten relativ einfachen mathematischen Regeln gehorchen.

Ist so die Grundlage für eine Beschreibung der Formverhältnisse gegeben, so kann die besonders reizvolle Aufgabe in Angriff genommen werden, das Bestreben nach bestimmter äusserer Form mit der Struktur in Beziehung zu setzen. Dieser den biologischen Wissenschaften sicherlich nicht fremden Problemstellung sind wiederum manche Arbeiten gewidmet worden. Schon der Vergleich der mathematisch formulierbaren Gesetzmässigkeiten führt zu interessanten Beziehungen. Aber sowohl eine genaue Untersuchung der Korrelation innerhalb der Formenvariation als auch eine experimentelle Behandlung der Frage zeigen sehr deutlich, wie die an sich einmalige äussere Gestalt das Produkt zweier Faktoren ist, nämlich der gegebenen Struktur als Innenanlage und dem Milieu, aus dem das Wachstum erfolgt, als innerhalb gewisser Grenzen modifizierend wirkendem Aussenfaktor. Aus einer Gesamtheit unter möglichst verschiedenen Entstehungsbedingungen entstandenen Individuen einer Kristallart muss das Generelle, der Phänotyp, abgeleitet werden. Es ist mit der Struktur, dem Genotyp, in Beziehung zu setzen. Es gilt, gewissermassen das Korrespondenzprinzip, das beide Erscheinungen verbindet, aufzusuchen. Andererseits muss durch Spezialversuche und Berechnungen besonderer, unter jeweiligen gleichen Bedingungen entstandenen Gesamtheiten der Wachstumsprozess in seiner Beeinflussung durch äussere Umstände untersucht werden.

All das hat bereits schöne Resultate gezeitigt, gleichzeitig aber dargetan, dass die mineralogische Forschung nicht bei der Beschreibung der Einzelminerale stehen bleiben darf. Denn deutlich zeigt diese Betrachtungsweise, dass das Mineral, soll es seiner ganzen Erscheinungsweise nach verstanden werden, nicht von der Umwelt losgelöst werden darf. Es steht in der Erdrinde in einem natürlichen Verband, der seine Entstehungsbedingungen charakterisiert und seine spezielle Ausbildung zur Folge hatte. Die Zahl der gleichzeitig gebildeten Individuen einer Kristallart ist durch das Verhalten der Lösungen, der Art der Keimbildung und der für das Wachstum günstigen Umstände bestimmt, die Ausbildung, Verwachsungsart eine Folgeerscheinung aller äusseren Faktoren, die zugleich festlegten, was für andere Kristallarten bei dem gegebenen Chemismus mitausfallen konnten oder in bestimmter Succession sich bilden mussten. So tritt als neue Einheit und neues Untersuchungsobjekt die natürliche Mineralassoziation oder Mineralvergesellschaftung auf, so etwa wie die Pflanzengesellschaft als Ganzes Gegenstand botanischer Forschung ist. Auch in diesem Fall ist es möglich, die wissenschaftliche Untersuchung unter relativ günstigen Auspizien zu beginnen. Wiederum zeigt sich, dass unter gewissen Voraussetzungen wesentliche Erscheinungen, die eine Mineralassoziation kennzeichnen, durch relativ einfache Abhängigkeiten bedingt werden. Chemische Zusammensetzung, Temperatur und Druck sind in allererster Linie zu berücksichtigen. Ein ordnendes, umfassendes und an sich genau so morphologisches Prinzip, wie die früher genannten, ist durch die Phasenregel gegeben. Sie umschreibt den nach Phasenzahl morphologisch gegliederten an sich möglichen Zustand eines Systems in Abhängigkeit von Chemismus, Temperatur und Druck. Auch sie schafft nur ein Rahmenwerk, in das die Wirklichkeit oder die idealisierte Wirklichkeit einzuordnen ist.

Wie man, ausgehend von der Grundannahme, über die Struktur der Kristalle alle Möglichkeiten, z. B. ihrer Symmetrie nach, überblicken kann, so lassen sich, ausgehend von thermodynamischen Prinzipien, die ja der Phasenregel zugrunde liegen, alle Phasengemeinschaften, Phasenbildungen und -Umbildungen ihrer Bedingtheit nach aufstellen.

Diese ganze Betrachtungsweise liegt dem Kristallographen wohl viel näher als dem zur Atomphysik tendierenden modernen Physiko-

chemiker. Es ist daher nicht zu verwundern, dass am Ausbau dieses Abschnittes der physikalischen Chemie die Mineralogen regen Anteil genommen haben. Für sie liegt ja auch die Notwendigkeit vor, in Anpassung an die natürlichen Mineralbildungsprozesse komplexe Systeme unter für das Laboratorium anormalen Bedingungen zu untersuchen. Es sei hier nur auf zwei Problemstellungen hingewiesen, die im Zürcher Institut mitbearbeitet wurden. Sie betreffen das Verhalten komplexer magmatischer Systeme, an denen sich Komponenten ganz verschiedenen Flüchtigkeitsgrades beteiligen, und das Verhalten von praktisch nur aus festen Phasen bestehenden Systemen, wenn sie unter andere Bedingungen gelangen, d. h. einer Metamorphose anheimfallen.

So folgt die physikalisch-chemische und genetische Betrachtungsweise zwangsläufig aus den Problemen, die eine natürliche Mineralassoziation darbietet. Dass die Mineralvergesellschaftungen, zu denen als Sonderfälle die Gesteine gehören, in ihren Einzel-elementen und nach ihren inneren Verbandsverhältnissen genau beschrieben und statistisch erforscht werden müssen, ist selbstverständlich. Denn letzten Endes wollen wir ja etwas schon Vorhandenes, früher Entstandenes verstehen, indem wir die Eigenschaft auf Umstände zurückführen, die bei der Genesis, die wir nicht miterlebten, wirksam waren. Das ist nur möglich, wenn minutiös alle Einzelheiten registriert werden, so dass unter Berücksichtigung theoretischer und experimenteller Erkenntnisse eine Folgerung von der Wirkung auf die Ursache möglich wird. Hier wird die Betrachtungsweise eine solche, wie sie historischen Wissenschaften eigen ist.

Die Verbindung mit der Geologie, der sie Grundlagen schafft (beispielsweise in der Zonen- und Gefügelehre der Gesteine) und von der sie selbst Ergebnisse zur Deutung benötigt, ist hergestellt. Wir erlangen Einblicke in längst abgeschlossene Prozesse, die bei der Bildung eines Erdrindenstückes wirksam waren und die den Mineralvergesellschaftungen den besonderen Charakter gaben.

Allerdings darf gerade, um dieses Ziel zu erreichen, die Untersuchung nicht bei der Charakterisierung der Einzelassoziationen stehen bleiben. Denn auch diese Assoziationen haben in unserer heterogenen Erde einen beschränkten Bildungsraum, sie werden durch andere abgelöst, die vielleicht in der gleichen geologischen

Epoche mitgebildet oder neugebildet wurden. Den Zusammenhang der verschiedenen Bedingungskomplexe können wir daher nur erfassen, wenn wir die Untersuchung auf geologische Einheiten ausdehnen und das Charakteristische der Verbandsverhältnisse der Mineralassoziationen in den Kreis der Betrachtungen ziehen. Mit andern Worten, eine gegebene natürliche Mineralvergesellschaftung muss selbst wieder Einheit eines Kollektivgegenstandes werden. Die neue Gesamtheit ist der Verband genetisch zusammengehöriger Lagerstätten, die Lagerstättenprovinz, die als Folge regionalweiter Mineralisierungsprozesse der Erdrinde selbst wieder durch gewisse Kennzeichen sich von anderen Provinzialeinheiten unterscheidet. Über die Gesteinsvergesellschaftungen hatte ich die Ehre, vor zehn Jahren an der Versammlung in Neuenburg berichten zu können, so dass diese kurze Bemerkung genügen wird. Erwähnt sei nur, wie gerade die Mitberücksichtigung der akzessorischen Minerallagerstätten, z. B. der mit Eruptivgesteinsbildung verbundenen Erzlager, erst gestattet, die ganze Folge notwendigerweise miteinander verbundener Prozesse zu überblicken.

So mündet, von der Lehre der Bauelemente der Kristalle, der Atome, ausgehend, die Mineralogie in der Geologie, die ihrerseits die Erde als Ganzes und in ihrer Veränderung im Laufe der Zeiten betrachtet.

Und wenn wir versuchen, das Gemeinsame aller dieser Fragestellungen herauszuschälen, so scheint uns *WHEWELL's* Definition: „Man sucht ein vollständiges, festklassifiziertes System aller unorganischen Körper“ heute noch zutreffend zu sein. Im kristallisierten Zustand beginnt sich die anorganische Materie zu sichtbaren Einheiten zu individualisieren. Diese Einheiten für sich und als Glieder weiterer Gesamtheiten sind Untersuchungsobjekt. Und da es sich um die Beschreibung einer gegebenen Wirklichkeit handelt, wird jeder Fortschritt klassifikatorisch auswertbar sein, denn nur durch natürliche Zusammenfassungen und Untersuchungen lässt sich das Ganze überblicken. All das ist, wie die Betrachtungen gezeigt haben, jeweilen bloss möglich, durch eine Idealisierung, die bezweckt, Wesentliches vom Unwesentlichen zu unterscheiden. Man hat, da die wissenschaftliche Wahrheit Leitstern aller Untersuchungen sein muss, oft die Naturwissenschaften als rein deskriptive menschliche Tätigkeiten in Gegensatz zu den künstlerischen

gestellt, die aus der Fülle der Eindrücke für sie Wesentliches herausgreifen. Dass dies eine Verkennung der Tatsache ist, weiss jeder Naturforscher. Das naturwissenschaftliche Weltbild ist kein photographisches Abbild der Wirklichkeit, sondern eine durch Intuition und auf dem mühsamen Wege der Nachprüfung erworbene Synthese einer idealisierten Wirklichkeit. Die Aufgabe, aus der grossen Mannigfaltigkeit das herauszugreifen, was für die wissenschaftliche Behandlung zum Typischen, zum umspannenden Grundbegriff wird, ist die vornehmste und fruchtbarste Tätigkeit des Forschers.

Fast mag es überflüssig scheinen, in aller Kürze noch zu erwähnen, dass auch in der Mineralogie die aus reinem Erkenntnistrieb erfolgte Problemstellung die besten Aufschlüsse gewährt für die Fragen der Anwendung. So ist die Strukturforschung berufen, über das Verhalten aller kristallisierten, technischen Materialien wertvolle Auskunft zu geben, wobei nicht nur der Einzelkristall, sondern auch der Verband der Kristalle, die künstliche Mineralassoziation, in Rechnung zu stellen sind.

Andererseits bedarf gerade die Lehre von den natürlichen Mineralassoziationen, den Gesteinen und Minerallagerstätten, des vorhin skizzierten Ausbaues, um für die Fragen der Rohstofflieferung von Bedeutung zu werden. Denn hier gilt es, auf Grund der Kenntnisse über das Zusammenvorkommen von Mineralien und Mineralvergesellschaftungen die nutzbaren Vorkommnisse aufzusuchen. So schliessen sich auch die im mineralogischen Institut der Hochschulen Zürichs ausgeführten Arbeiten über die Bausteine der Schweiz, die chemischen Verhältnisse der schweizerischen Gesteine, die Gesteinsverwitterung, die Erzlagerstätten in den Rahmen des Ganzen zwanglos ein.

Überblicken wir diese rohe Skizzierung des Stoffgebietes mineralogischer Teilforschung, so erkennen wir, dass wohl einzelne Teile enge an andere Wissenschaften anschliessen, dass jedoch alle zusammen wieder eine ausgesprochene Einheit bilden. Sicherlich wird der Physiker häufig mit Kristallen zu experimentieren haben, der Chemiker die Kristallisation zum Nachweis neuer Molekülbildungen benötigen, der Geologe die Gesteine kennen müssen; den Kristall und die Mineralassoziation als eigentliches Untersuchungsobjekt zu betrachten, fällt jedoch der Mineralogie zu. Genau wie in der Wissenschaft von den Pflanzen und Tieren

ergibt sich hierbei von selbst eine Gliederung, je nachdem innerer Aufbau, äussere Morphologie, die Beziehung zwischen beiden, oder die Lehre von den Vergesellschaftungen in den Vordergrund gestellt werden. Diese methodische Analogie darf für die Probleme des Lebens nicht überschätzt, für die formale Behandlung aber auch nicht unterschätzt werden. Jeder, der sich in die Mineralogie vertieft, weiss, wie viele Begriffe biologischer Wissenschaft, die fälschlicherweise mit dem Nimbus vitalistischer Bedingtheit umgeben werden, bereits in voller Schärfe in der Mineralogie auftreten. Der Biologe, dem es wirklich darum zu tun ist, die Eigenart des Lebens zu erforschen, wird zur Vorbereitung nichts Zweckmässigeres tun können, als Wesen und Begriffsbildung der Mineralogie kennen zu lernen. Denn diese versucht (um es zum Schlusse zusammenzufassen) ein Teilgebiet, in dem das natürliche, der Beobachtung direkt zugängliche Individuum anorganischer Natur zum erstenmal deutlich in Erscheinung tritt, vollständig zu behandeln, gestützt auf die Erkenntnis, die Physik und Chemie gewonnen haben, und bewusst der besonderen Aufgabe, die eine Beschreibung des natürlich Gegebenen verlangt.