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

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 126 (1946)

Artikel: Das Experiment in den mineralogischen Wissenschaften

Autor: Niggli, Paul

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-90450

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Eröffnungsansprache des Jahrespräsidenten der SNG

bei Anlass der 126. Jahresversammlung, in Zürich

Das Experiment in den mineralogischen Wissenschaften

Von

PAUL NIGGLI, Zürich

Meine Damen und Herren!

In zweifacher Hinsicht mahnt uns die 126. Versammlung der Schweizer Naturforscher zur Besinnung. Die Schweizerische Naturforschende Gesellschaft und ihre älteste, nun 200 Jahre alt gewordene, regionale Vorläuferin sind in einer Epoche gegründet worden, in der die Naturforschung in das den gegenwärtigen Zustand entscheidend bestimmende Entwicklungsstadium eintrat. Sie sind Kinder der « Zeit der Aufklärung ». Da mag für uns HUIZINGAS Wort gelten: « Es ist wohl gut, dass, wer vorwärts schreitet in den Wind der Jahrhunderte, einen Augenblick stille stehe und sich umsehe nach der Stelle, von wo er am Morgen ausgezogen ist. » Ja dieses Verweilen wird zur Pflicht, weil kein sanfter Morgenwind einen hellfrohen Frühlingstag der Zukunft anzeigt, und Wolken einer schweren Gewitternacht, in der alle wilden Gewalten entfesselt waren, den Ausblick noch nicht frei geben, so dass keine Gewissheit, sondern nur die Hoffnung uns erfüllt, sie möchten sich nicht erneut zusammenballen, sondern jener Klarheit Raum gewähren, die so oft dem Sturme folgt. Da wissenschaftliche Kenntnisse mithalfen, die Grösse der kulturzerstörenden Gewalten der letzten Vergangenheit ins Ungeahnte zu steigern, und da trotz « Aufklärung » ein Rückfall in Barbarei nicht vermieden werden konnte, ist der Wert dessen, was Werkzeuge zum Handeln lieferte und mindestens äusserlich dem letzten Jahrhundert den Stempel

aufdrückte, nämlich die Mehrung der Naturerkenntnis und die Zunahme der Herrschaft über Naturgewalten, fragwürdig geworden.

So nüchtern das Thema meiner Ausführungen « *Das Experiment in den mineralogischen Wissenschaften* » klingt, sinngemäss lässt es sich kaum behandeln ohne Hinweise auf Methoden und Ziel der Naturwissenschaften im allgemeinen. Es wird deshalb versucht werden müssen, Standort und Aufgabe dieser umstrittenen kulturellen Betätigung, vom subjektiven Gesichtspunkt eines Einzelnen aus, zu umreissen.

Mineralogische Wissenschaften steht nach altem Sprachgebrauch für alle Wissenschaften, die sich mit dem anorganischen Aufbau der Erde befassen, umschliesst somit Disziplinen, die oft als beschreibende, individuelle, systematische oder idiographische den exakten, allgemeinen oder nomothetischen, wie Physik und Chemie, gegenübergestellt werden. Und es hat Zeiten gegeben, daran erinnert die Anlage älterer mineralogischer und biologischer Institute, in denen die Zusammenstellungen « experimentelle Mineralogie » oder « experimentelle Pflanzen- und Tierkunde » als Widersprüche empfunden wurden.

Heute ist das Experiment, das seit den Zeiten eines Galilei und Newton zum Hauptträger des allgemeinwissenschaftlichen und des technischen Fortschrittes wurde, in den mineralogischen Wissenschaften so heimisch geworden, dass bereits 1937 Norman L. Bowen an der Versammlung der « Mineralogical Society of America » vorschlug, den alten Wahlspruch der Geologen: «Mente et malleo» in « Mente et malleo atque catino » zu verändern, und in den zwanziger Jahren schien es sogar eine Zeitlang, als ob der in der Natur beobachtende Mineraloge weniger hoch eingeschätzt werde als der experimentierende. Was bedeutet die Entwicklung, von der befürchtet wurde, sie führe zur Verkümmerung des unmittelbaren Beobachtungsvermögens und der Erlebnistiefe? Ist sie verbunden mit einer Umgestaltung der Ziele, die sich die Naturforscher gestellt haben?

Alle von hervorragenden Forschern stammenden Umschreibungen der Naturwissenschaften rücken das *Erkenntnisziel,* werde es nun als Gestaltung, als Aufsuchen von Ordnung und Gesetzlichkeit, Nachbildung und Beschreibung oder Rückführung der Naturerscheinungen auf Ideen und Beziehungen bezeichnet, in den Vordergrund, während in Rechenschaftsberichten und Ansprachen an

Volk und Behörden der *volkswirtschaftliche Nutzen* einer selbst reinen und abstrakten Forschung und die Bezwingung der Naturgewalten hervorgehoben werden. Wie ist der Naturforscher, der in Ehrfurcht und in liebevoller Versenkung die Geheimnisse der Natur ergründen wollte, zu einem nicht unerheblichen Teil Zweckforscher und Grundlagenforscher für die Ingenieurwissenschaften geworden?

Sorgfältige Beobachtungen der Naturerscheinungen führten zu den Ideen und Gedanken, die ermöglichten, Ordnung und Gesetzlichkeit in eine zunächst unübersehbar scheinende Mannigfaltigkeit zu bringen. Die Wiederholung von Ähnlichem oder Gleichartigem liess Korrelationen ahnen und gab da, wo es möglich war, Veranlassung, durch *Experimente* nachzuprüfen, ob diese zu Recht bestehen und wie sie am einfachsten formulierbar sind. In ausgeklügelten Versuchsanordnungen eliminierte man gewisse Einflüsse, um die Wirkung anderer beurteilen zu können, und selbst wenn dies nur unvollkommen gelang, wurde anschliessend und gestützt auf die Ergebnisse ein nur in Gedanken ausführbares oder idealisiert gedachtes Experiment als Gesetz formuliert. Dreierlei geschah:

1. Durch Selektion und Vereinfachung entfernte man sich immer mehr vom komplexen Naturgeschehen und von der Beschreibung des Unmittelbar-Naturgegebenen und fand dafür die Grundprinzipien, aus deren Überlagerung und Zusammenwirken die Welt aufbaubar schien.

2. Die Experimentierkunst wurde *autonom*, so dass von einer der Wissenschaften, die dieser Erkenntnisrichtung besonders huldigten, ein Physiker noch vor wenigen Jahren glaubte schreiben zu dürfen: « Die Physik im eigentlichen Sinne behandelt überhaupt keine Naturerscheinungen, sie beobachtet nicht, sie stellt Versuche an, sie stellt sich die Erscheinungen, die sie studiert, erst selber her » (F. Auerbach).

3. Deshalb entwickelten sich auch notwendigerweise aus den Experimentalwissenschaften die Grundlagen der *wissenschaftlichen Technik*, d. h. man benützte die gewonnenen Erkenntnisse nicht nur zum Verständnis der unmittelbaren Umweltserscheinungen, sondern zur Bändigung von Naturgewalten und zur Konstruktion von Neuartigem. Von selbst ergab sich, dass Vorgänge und allgemeine Erscheinungen wie Wärme, Elektrizität, Magnetismus leichter in Elementares zerlegbar und durch Versuche erforschbar waren als Form und Gestalt von Naturkörpern oder die Tektonik

der Sinnenwelt. Ja es erweckte schon Aufsehen, als die Synthese von Mineralien oder von in Lebewesen auftretenden chemischen Verbindungen gelang. Die Physik, oft als Lehre von den Naturkräften und Vorgängen (oder moderner als Energielehre) bezeichnet, schien zunächst mit wenigen Prinzipien auszukommen, in denen von einfachen, unveränderlichen Kraftwirkungen im Sinne der klassischen Mechanik ausgegangen wurde. Die Abstraktion ging soweit, dass vielfach das, was Materie genannt wurde, durch Massenpunkte ersetzbar schien, wobei allerdings bereits die Tatsachen der Chemie nur noch im allgemeinsten Sinne verständlich wurden.

Dadurch vertiefte sich der Gegensatz zwischen den sogenannten exakten Naturwissenschaften und der *Naturgeschichte,* die von der *Existentia* handelt. Auf der einen Seite das in neue Gefilde führende Experiment, auf der andern die Liebe zum Objekt, die sorgfältige Beobachtung des Naturgegebenen, der Sinn für Gliederung, Systematik und geschichtlichen Werdegang. Doch auf die Nebeneinanderentwicklung folgte bald wieder die heute unzweifelhaft im Aufschwung befindliche Zusammenarbeit. Einerseits wurde deutlich, dass selbst in allgemeinster und abstraktester Fassung Naturgesetzliches ohne Untersuchung der geometrischen Eigenschaften der Welt und ohne Annahme eines ganz bestimmten diskontinuierlichen Aufbaues nicht widerspruchslos darstellbar ist. Anderseits hielt das Experiment in seiner ursprünglichen Form, als Hilfsmittel, einen natürlichen ablaufenden Vorgang oder eine Formserie besser verstehen zu können, Einzug in alle Wissenschaften.

Wenn wir von der *Rolle des Experiments* in den historisch-beschreibenden Naturwissenschaften, z. B. in der Mineralogie, sprechen, so ist es selbstverständlich, dass wir eine bestimmte Art experimenteller Untersuchungen meinen. Die mannigfachen Hilfsmittel und Apparaturen, die zur Charakterisierung der Naturkörper dienen, die präparativen Methoden, die analytisch-chemischen, goniometrischen, mikroskopischen, röntgenographischen Verfahren zur stofflichen Kennzeichnung gehören naturgemäss nicht dazu. Für sie steht im Wahlspruch des Geologen « Malleo, der Hammer », muss doch heute das, was man seinem Wesen nach erkennen will, sowohl im Felde wie im Laboratorium untersucht werden. Benutzt anderseits ein Physiker oder Chemiker ein Mineral statt eines künstlichen Festkörpers zu Experimenten, so hat auch dies mit Mi-

neralogie im engern Sinne nichts zu tun. Gewiss sind fundamentale Erscheinungen der Kristalloptik am natürlichen Calcit, der Piezoelektrizität am Quarz, der Pyroelektrizität am Turmalin studiert worden und ist die Lehre vom kristallinen Aufbau der Materie aus der Mineralienkunde hervorgegangen; aber das Typische in allen diesen Fällen ist, dass bewusst von den erdgebundenen Eigentümlichkeiten des Ausgangsmaterials zugunsten einer allgemeinen Kristallkunde abgesehen wurde. Zu über 90 % bildet das, was man auf den Hochschulen « Allgemeine Mineralogie » nennt und das vielfach Forschungsgebiet der Mineralogen ist, nur eine physikalisch-chemische und geometrische Grundlage und Einführung für das eigentliche Fachstudium. Letzteres will Auskunft erteilen, warum ganz bestimmte Kristallarten in charakteristischen Ausbildungsweisen und Vergesellschaftungen in der Natur auftreten. Mit ihren Schwesterwissenschaften Petrographie und Geologie sucht die Mineralogie den Aufbau, die Entstehung und Umbildung der festen Erdkruste zu ergründen. Ein gegebener Tatbestand ist, um wissenschaftlich bearbeitbar zu werden, ohne Zerstörung natürlicher Zusammenhänge zu sichten und zu ordnen. Dieser Prozess der Beschreibung und Systematik ist zum Teil lediglich eine *Vorbedingung,* in den natürlichen genetischen Klassifikationen jedoch ein wichtiges *Schlussresultat* der eigentlichen Forschung.

Für den Naturkundler im engern Sinn sind somit eigentliche Experimente *Teste* oder *Rekonstruktionsversuche,* die er ausführt, um das Sein als Gewordenes, als Resultat natürlicher Prozesse deuten zu können. Er fühlt sich als Nachgeborener in eine Umwelt gestellt, die er als Ergebnis von Vorgängen neu erleben möchte. Damit wird er zum *Naturhistoriker,* der Gegenwärtiges aus Vergangenem abzuleiten hat.

Man sieht schon daraus, wie einseitig manche Definitionen der einzelnen Wissenschaften sind, denn von den Vorgängen sollen ja nach der Meinung vieler die Physik und die chemische Physik handeln, die Mineralogie aber nur von gewissen Objekten. In Wirklichkeit sind auch für den Mineralogen die Objekte weitgehend nur Offenbarungen von Bildungs- und Auswahlgesetzen, und jede Inventar- oder Bestandesaufnahme ist für ihn mit dem Versuch verbunden, das So- und Nichtanderssein zu erklären. Die in Praxis bemerkbare Trennung, die sich im Laufe der Zeiten zwischen Physik im alten Sinne und sogenannter beschreibender Natur-

wissenschaft bemerkbar gemacht hat, beruht auf dem schon erwähnten Umstande, dass, um Vorgänge überhaupt zu verstehen, der Physiker die natürlichen Erscheinungen zergliedern musste. Im Laboratorium suchte er in der Natur gekoppelte Vorgänge zu trennen, gewissermassen Reinkulturen darzustellen, um Grundgesetze zu finden.

Die Produkte, die der Mineraloge und Geologe als Gewordenes verstehen will, sind im natürlichen Laboratorium der Erde gebildet worden, in welchem nichts, was der Experimentalphysiker als Zufallsfaktoren ausschalten möchte, von vornherein gefehlt hat. Aus den Besonderheiten, die für den Physiker lästiges Beiwerk sind, muss versucht werden, vergangenes Geschehen lebendig zu gestalten und bis in Einzelheiten zu rekonstruieren.

Man könnte gegenüber den großzügigen Darstellungen der physikalischen Weltbilder, die gar nicht beabsichtigen und ausserstande sind, eine Realität wie eine meteorologische, mineralogische oder biologische Erscheinung in ihrer individuellen Eigenart völlig zu durchschauen, von *den exakten* Wissenschaften sprechen, wäre diese Wortbildung nicht gerade im umgekehrten Sinne gebraucht worden. Auch wäre es möglich, für die beschreibenden Wissenschaften den Begriff der *synthetischen Naturforschung* im Gegensatz zur analytischen einzuführen, da diese Disziplinen die Einzelerscheinungen wieder zur natürlichen Komplexheit zusammenfügen.

Doch wäre dies alles nur halbrichtig, da die Sprache ein so unbeholfenes Werkzeug ist, daß sie den Nuancenreichtum der Gedankenarbeit niemals zu fassen vermag. Uns aber gestatten diese Überlegungen, die Eigenart des Experimentes in den mineralogischen Wissenschaften näher zu umreißen.

Ein *erster Typus* zeichnet sich durch das Bestreben aus, die speziellen Konstanten physikalischer und chemischer Art für ein System zu bestimmen, das einigermassen einer natürlichen Gegebenheit nahekommt. Nur so ist es möglich, die Beobachtungen zur Urteilsbildung über die Genesis und das weitere Verhalten im natürlichen Verband richtig heranzuziehen. Kein Geringerer als J. H. van t'Hoff hat in diesem Sinne bei der Erforschung der Kalisalzlagerstätten mit einem grossen Stabe von Mitarbeitern die Mineralbildung bei Verdunstung von Meerwasser beispielhaft abzuklären versucht. Es handelt sich um das letzte Werk dieses grossen Forschers, das nach G. Bredig zwar nicht in Phantasie und

Originalität, wohl aber in Kraft und Tiefe wissenschaftlicher Vorbildlichkeit und Tragweite den übrigen Leistungen des Schöpfers der Stereochemie und der Theorie der Lösungen ebenbürtig ist. Probleme der Technik, in diesem Falle der Kalisalz- und Gipsindustrie, fanden Beachtung, immer aber führte das Genie VAN T'HOFF « in grössere kosmische Ferne, immer wieder wurden seine Salzstudien zu einem Teleskop, in die geologische Vergangenheit und Zukunft zu schauen » (G. BREDIG). Die Untersuchungen über die Bildung der ozeanischen Salzablagerungen verhalfen der synthetischen Petrographie und Geologie, die, Anregungen von HORACE BÉNÉDICT DE SAUSSURE und JAMES HALL folgend, von französischen Forschern, wie dem Meister experimenteller Fragestellung, A. DAUBRÉE, begründet wurde, zum endgültigen Durchbruch.

Wie notwendig die vollständige Durcharbeitung der natürlichen Salzsysteme, an der sich nach dem Tode VAN T'HOFFS noch viele beteiligten, war, geht schon daraus hervor, dass sich die Unrichtigkeit der Ansichten ergab, von denen der Physikochemiker und die Petrographen ausgegangen waren. Die beobachtbaren Salzparagenesen können auf Grund der Laboratoriumsversuche gar keine normalen Verdunstungsparagenesen sein, sie haben ihren derzeitigen Charakter durch spätere Vorgänge einer Metamorphose erhalten. Derartige recht häufige Widerlegungen plausibler Annahmen durch das Experiment erfüllen den wirklich Naturkundigen Bemühungen gegenüber, allgemeine Theorien (seien sie noch so hübsch mathematisch formulierbar) auf Spezialerscheinungen anzuwenden, ohne die exakten Daten zu kennen, mit grösster Skepsis. Naturgemäss handelt es sich bei diesen Nichtbestätigungen einer vorgefassten Meinung um keine Misserfolge an sich; sie klären ab, führen zu erneuter sorgfältiger Beobachtung und beweisen im Grunde genommen nur, dass man sich noch nicht genügend frei gemacht hatte von dem Reichtum an Voraussetzungen, der so vielen Formulierungen der allgemeinen Physik und Chemie innewohnt. Es ergibt sich hieraus eine Situation, die durch das Verantwortungsbewusstsein und Temperament der Forscherpersönlichkeit in verschiedener Weise gemeistert wird. Glaubt der eine durch mathematische Fassung allgemeiner Prinzipien die Wissenschaftlichkeit seiner Methode beweisen zu müssen, so schreckt ein anderer vor leicht in Formeln fassbaren, jedoch voraussetzungsreichen Vereinfachungen zurück. Nur wenigen ist es vergönnt, am

richtigen Ort und in souveräner Beherrschung der Gesetzlichkeiten den Übergang vom Allgemeinen zum Speziellen zu vollziehen, die grossen Züge zu erkennen, die Mannigfaltigkeit nicht zu ignorieren und Trugschlüsse zu vermeiden. Es beweist nämlich eine erfolgreiche Synthese niemals, dass ein Naturprodukt auf gleichem Wege entstanden ist, wie umgekehrt Abweichungen von Künstlichem und Natürlichem nicht ohne weiteres sicherstellen, dass in der Natur und im Versuch *prinzipiell* verschiedene Wege benutzt wurden. Missachtung dieses Gesetzes der Vieldeutigkeit eines Endzustandes hat zu vielen Streitigkeiten, ja sogar zu ungerechtfertigten Angriffen gegen das Experiment in den beschreibenden Naturwissenschaften geführt. Engste Zusammenarbeit von Beobachtung unter Benutzung aller Hilfsmittel (wie Hammer, Waage, Mikroskop und Röntgenapparatur) mit Urteilskraft auf Grund der Kenntnisse allgemeiner Gesetze und mit spezifischer Experimentierkunst ist in allen Stadien der Untersuchung notwendig. Im Grunde genommen hat A. Daubrée mit der Forderung, dass der geologische Versuch durch denjenigen selbst zur Ausführung kommen sollte, der in der Natur beobachtet, alle Umstände, die bei der Lösung der Frage in Betracht kommen, überlegt und sich so über die möglichen Ursachen des Phänomens unterrichtet hat, vollkommen recht, und wenn die Gegenwart infolge des Umfanges mancher Arbeiten zum « team work » tendiert, so ist es die wichtigste Aufgabe des Leiters, seine Arbeitsgruppe so zusammenzustellen, dass Unter- und Überschätzungen der einen Richtung unterbleiben.

Es liessen sich aus der neuen Zeit Dutzende von Beispielen anführen, wie durch voreilige Verallgemeinerungen im positiven oder negativen Sinne Missverständnisse entstanden sind. Neptunisten und Plutonisten, Magmatiker, Migmatiker und Metasomatiker haben sich ebenso bekämpft wie die Anhänger der Lehre von der Bildung der Erzlagerstätten durch aszendierende, deszendierende oder lateralsekretionäre Lösungen, und nicht selten haben sie ihren Gegnern das Fehlen einer Erfahrung in der Feldbeobachtung oder mangelnde Kenntnis der Experimentalwissenschaften vorgeworfen, ohne zu beachten, dass Natur *und* Laboratorium den beweglichen und unvoreingenommenen Geist und sorgfältigen Beobachter benötigen.

Untersuchungen, wie wir sie an einem Beispiel kennen gelernt haben und die gewissermassen dem Entwerfen spezieller Karten-

werke entsprechen, sind übrigens keineswegs eine reine Routinearbeit oder blosses Detailstudium. Neue fundamentale Einsichten werden durch sie vermittelt, manches, was die kühne Theorie übersehen hat, wird ins richtige Licht gestellt. Mannigfaltige Methoden müssen ausgearbeitet werden, um komplexe Verhältnisse darzustellen, Methoden, ohne die sich auch viele technische Aufgaben nie bewältigen liessen.

In ausgesprochenem Masse gilt dies für einen *zweiten Typus* von Experimenten in den beschreibenden Naturwissenschaften. Die allgemeine Physik und Chemie bevorzugt im Laboratorium Stoffe, die unter leicht realisierbaren Bedingungen die momentan besonders interessierenden Reaktionsweisen praktisch für sich allein studieren lassen. Im Naturgeschehen ist der Stoffbestand gegeben und nicht nach Gesichtspunkten leicht realisierbarer Experimentiertechnik ausgewählt; zudem können sich zu gleicher Zeit Temperatur, Druck und andere Faktoren ändern und hiebei Grössen annehmen, die der Experimentator zu vermeiden sucht. Der Naturkundler muss dann nicht nur das Zusammenwirken der verschiedenen Faktoren durch Experimente an komplexen Systemen zu ergründen suchen, den Einfluss von Spurenelementen nicht vernachlässigen, sondern abklären, er muss auch sehr häufig eine *völlig neue Experimentaltechnik* entwickeln. Ein Beispiel möge dies erläutern.

Beobachtungen und Überlegungen führten zur Auffassung, dass viele Gesteine Erstarrungsprodukte glutflüssiger Schmelzen sind. Nach Vorversuchen von F. Fouqée, A. Michel-Lévy, J. Morocewicz und vielen andern sowie Studien an Schlacken, besonders durch J. H. L. Vogt, hat in systematischer Arbeit das *Geophysikalische Laboratorium der Carnegie-Stiftung in Washington* begonnen, die Kristallisationsverhältnisse analoger Silikatschmelzen experimentell abzuklären. Allein das Studium der vulkanischen Erscheinungen liess erkennen, dass die natürlichen Silikatschmelzen, die Magmen, Bestandteile fast aller Flüchtigkeitsgrade enthalten, so dass unter Umständen neben Kristallisationsvorgängen auch Verdampfungen, Destillationen, Sublimationen, kritische Erscheinungen auftreten, ja dass die Gegenwart von Wasser und ähnlichen Substanzen in Magmen für eine Fülle natürlicher Prozesse verantwortlich ist. Es mussten daher, ausgehend von der Phasenlehre und allgemeinen Thermodynamik, wie sie W. Gibbs

und die holländischen Physikochemiker (besonders H. W. Backhuis-Roozeboom, A. H. Schreinemakers und A. Smits) geschaffen hatten, die theoretischen Grundlagen des Verhaltens derartiger komplexer Systeme ausgearbeitet werden (Niggli). Die Erfahrungen der hydrothermalen Mineralsynthese (z. B. französische Forscher, ferner J. Koenigsberger, E. Baur, P. Niggli, G. W. Morey, W. Noll) mussten zu Hilfe genommen werden, und man ist heute mehr als je bemüht, die Experimentaltechnik auszubauen, damit gleichzeitig hohe Temperaturen und Drucke gemessen und feste, flüssige und gasförmige Phasen in beliebigen Zeitmomenten analysiert werden können. Es hat somit die Naturbeobachtung gebieterisch die Untersuchung von Systemen verlangt, die dem Physikochemiker zu verwickelt schienen. Ja es mussten schliesslich den geophysikalischen Erkenntnissen gemäss Kombinationen von Temperaturen und Drucken berücksichtigt werden, die erst in den letzten Jahren (L. H. Adams, P. W. Bridgman, R. E. Gibson, D. Griggs, R. W. Goranssen) versuchstechnisch verwirklicht werden konnten. Selbstverständlich resultierten auch hierbei viele neue Erkenntnisse von zum Teil sehr grosser technischer Bedeutung.

Berücksichtigen wir schliesslich die für das Naturvorkommen gültigen geologischen Massstäbe, so ergibt sich, dass unter Umständen, selbst bei vollkommener Entwicklung der Experimentierkunst, direkte Nachahmungsversuche zur Abklärung natürlicher Bildungsweisen überhaupt unmöglich sind. Nicht nur widerstehen Erscheinungen, die grosse Räume und Massen beanspruchen, dem Laboratoriumsversuch, der Faktor Zeit verhindert den unmittelbaren Test. Deshalb benötigen die beschreibenden und historischen Naturwissenschaften einen *dritten,* auch in der Technik notwendig gewordenen *Typus,* den *Modellversuch* an künstlichen Materialien, jedoch unter strenger Wahrung der sogenannten *Ähnlichkeitsgesetze.* Er ist u. a. in jenem Zweige der mineralogischen und technisch-angewandten Wissenschaften entwickelt worden, der zur Hydraulik, Aerodynamik und dem Erdbau in engster Beziehung steht. H. Helmholtz, O. Reynolds, L. Prandtl und Lord J. Raleygh haben die hydraulischen Ähnlichkeitsgesetze formuliert und so ermöglicht, in Versuchsanstalten Ergebnisse zu erhalten, die, ins Grosse übertragen, zum mindesten keine wesentlichen Widersprüche ergeben. In der Sedimentpetrographie spielt besonders die Reynoldsche Zahl bei der Vergleichswertung eine wichtige Rolle.

Es ist selbstverständlich, dass auch der geologisch-tektonische Versuch immer den Charakter eines Modellversuches annehmen muss, dass es aber nicht leicht ist, die Eigenschaften massstabsgetreu zu reduzieren. Erstens sind uns die Stoffe und Bedingungen in erheblicher Erdtiefe nur sehr unvollkommen bekannt, und zweitens bleibt unsicher, ob nicht bei gewissen plausibeln Ähnlichkeitsrelationen andere Faktoren irreduzibel bleiben. Reibungs-, Viskositätsverhältnisse, Dichtigkeitsverhältnisse, Dimensions- und Zeitverhältnisse bestimmen sicherlich nicht allein ein Ähnlichkeitsgesetz; der chemische Bestand und das Reaktionsgeschehen sind jedoch kaum in analoger Art wie die mechanischen Bedingungen modellartig ersetzbar. Neuerdings haben u. a. M. K. Hubbert und Fr. F. Grout die Grundlagen geologischer Modellversuche diskutiert, nachdem seit A. Daubrée viele Geologen die experimentelle Geologie zu Demonstrationszwecken und als Veranschaulichungsmittel ausbauten.

Bei einer zweiten Gruppe von Modellversuchen will man nicht völlig massstabsgetreu Naturgeschehen reproduzieren, sondern nur dem Prinzip nach ein bestimmtes Verhalten an leichter zugänglichen oder reaktionsfähigeren Stoffen studieren. Man ersetzt beispielsweise Silikatstrukturen durch energetisch verwandte, leichter synthetisierbare Kristallverbindungen (z. B. V. M. Goldschmidt).

In allen bis jetzt genannten Fällen ist der Experimentator von einem gegebenen Tatbestand und einer Idee über die Bildungsweise ausgegangen, ohne vorerst zu fragen, warum die Natur diese und keine anderen Stoffe und Bedingungen erzeugt. Die Untersuchungen haben sich auch darauf beschränkt, Daten von *allgemeiner* physikalisch-chemischer Bedeutung festzulegen. Benutzt man z. B. die Phasenregel, so ist es hierfür von einer gewissen Grösse der Kristalle an gleichgültig, ob ein Festkörper in vielen Einzelindividuen oder als Einkristall auftritt, auch wird auf Habitus und Tracht der Kristalle, die ein Mineralaggregat kennzeichnen helfen, keine Rücksicht genommen. Das entspricht der ungeheuren Schematisierung der klassischen physikalischen Chemie. Um Grundgesetze zu finden, mussten individuelle Unterschiede als belanglos, ja in einem gewissen Sinne als Zufälligkeiten betrachtet werden. Die Baugesetze und die Architektonik der Natur wurden als etwas Sekundäres angesehen, und man vergass, gleichberechtigt neben

den dynamischen auch allgemein morphologische Gesetze aufzustellen.

Deshalb erscheinen wenigstens in der gegenwärtigen Zeit *zwei weitere Typen experimenteller Untersuchungen* innerhalb der mineralogischen Wissenschaften, die Besonderheiten wie *Struktur* und *Textur* einer Mineralvergesellschaftung, äussere Form und innere Variabilität der Einzelkristalle oder das *So-* und *Nichtanderssein* und die *natürliche Selektion* dem Verständnisziel erschliessen wollen, noch disziplingebunden zu sein. Immer wieder versucht der Mineraloge, das, was Naturspiel scheint, in seiner Gesetzmässigkeit zu fassen, Eigentümlichkeiten, die man, um vorerst einen Gesamteindruck zu erhalten, übersehen musste, zu neuer Fragestellung zu benützen. Hat die Wertung der Sinneseindrücke nach ihrer wissenschaftlichen Erklärbarkeit infolge der notwendigen Abstraktion und dadurch möglich werdenden Verallgemeinerung zur Entfremdung von der Realität geführt, so stellen die Versuche, das *Lokalkolorit* eines Minerals oder einer Mineralvergesellschaftung sukzessive der wissenschaftlichen Behandlung zu erschliessen, die Naturnähe wieder her.

Es ist der besondere Reiz der beschreibenden Naturwissenschaften, aus der Spannung des Individuell-Einmaligen und des Allgemein-Typischen fortlaufend neue Erkenntnisse zu gewinnen, als Beobachter zum Urquell der Natur zurückzukehren und sozusagen tagtäglich den Akt zu vollziehen, den die allgemeine Physik nur periodisch vollführt. Experimentaluntersuchungen auf diesen Gebieten sind besonders schwierig, da sehr häufig theoretische Grundlagen fehlen. Aber gerade weil es sich oft um die Kinetik und nicht um die teilweise von der Energielehre her fassbare Statik handelt, um morphologische Aussagen im Gegensatz zu atektonischen Allgemeinsätzen, oft auch um eine Geometrisierung statt eine Algebraisierung der Natur, werden nicht nur enge Beziehungen zu den experimentell-biologischen Wissenschaften hergestellt, es wird eine Naturforschung der Zukunft vorbereitet, die sich von der Alleinherrschaft der Energetik befreit hat. Beziehungen zwischen Kristallwachstum, Kristallgestalt, Kristallverwachsungen, Strukturanlagen und Milieufaktoren sind auf Grund sorgfältiger Beobachtungen und statistischer Bearbeitung ableitbar, *doch kann auch hier nur das Experiment gewonnene Ansichten widerlegen oder wahrscheinlich machen.* Das Kristallindividuum, an sich einmalig

in bezug auf äussere Gestalt und inneren Realbau, ist mit andern zu Arten zusammenzufassen, deren Variationsbreite bestimmt werden muss. Begeht der Physikochemiker oft den Fehler, Untersuchungen an Einzelkristallen bereits als typisch für eine Kristallart anzusehen, so hat der Mineraloge seinerseits zu versuchen, die Abhängigkeit der Eigenschaften von Spezialbau und den Besonderheiten der Entstehung und Vorgeschichte herauszufinden. Ist in grossen Zügen die Idealstruktur einer Kristallverbindung bekannt, so setzt die Kristallchemie mit ihren für mineralogische Erkenntnisse wichtigen Spezialaufgaben ein: sie hat die Deformationsmöglichkeiten, Substitutions- und Einlagerungseffekte, die pathologischen Erscheinungen, die Verwandtschaftsbeziehungen mit andern Strukturen, die Haltbarkeits- und Stabilitätsbeziehungen, das paragenetisch verschiedene Auftreten in der Natur abzuklären.

Auch diese Detailarbeiten müssen zu allgemeinen Einsichten zusammengefasst werden, die letzten Endes das Ziel verfolgen, zu verstehen, warum uns die Natur in keiner anderen als der gegebenen Mannigfaltigkeit und Struktur gegenübertritt. Gerade die mineralogisch-kristallographischen Wissenschaften haben *Rahmengesetze* und innerhalb dieser *Selektionsprinzipien* oder *Auswahlgesetze* von grossem Geltungsbereich entdeckt, die das Sosein der anorganischen Umwelt beherrschen und die zeigen, dass auch Morphologisches exakt und mathematisch behandelbar ist.

Aber diese ursprünglich typische mineralogische Fragestellung *(die Berücksichtigung von Form und Gestalt der Einzelkörper, von Struktur und Textur der Aggregate, von der Variabilität der Konstitution im einzelnen)* beginnt auch in der Technik, die fortlaufend komplexere Materialien herstellt, eine grosse Rolle zu spielen. Man hat sich überzeugt, dass die sogenannten allgemeinen physikalischen und chemischen Konstanten zur Charakterisierung des Verhaltens völlig ungenügend sind, dass man wie in der Mineralogie auch bei den Werkstoffen die einzelnen Kristallindividuen und deren Verbandsverhältnisse gründlich studieren muss, um zu vertrauenswürdigen Aussagen zu gelangen.

Damit aber kehren wir zu einigen allgemeinen Fragen der Wissenschaftslehre zurück. Physik und Chemie waren genötigt, ihr früheres Ideal eines mechanischen Weltbildes, einer Aufteilung des Weltgeschehens in Materie und Energie, aufzugeben. Ein Teil dessen, was man heute Physik nennt, ist reine Spezialwissenschaft,

z. B. Lehre vom Atombau, geworden, und keine Disziplin birgt so viele beschreibende und systematische Elemente in sich wie jene Chemie, die auf präparativem Wege die Mannigfaltigkeit der molekularen und kristallinen Verbindungstypen zu realisieren sucht.

In einer zurzeit noch keinen besonderen Namen tragenden Grundwissenschaft, analog der klassischen Physik, wird nicht nur versucht, allgemeine dynamische Aussagen unter Zuhilfenahme weitreichender Abstraktionen festzulegen; Struktur- und Feldgesetze sowie generell morphologische Prinzipien haben in ihr Eingang gefunden. Eine Gliederung und Quantisierung der Natur, hierarchische Aufbauprinzipien, die zum philosophisch etwas unbestimmten Begriff der Ganzheiten Veranlassung gaben, lassen sich nicht mehr übersehen. Die Naturwissenschaft beginnt die notwendige Periode der ersten erfolgreichen, aber auch so vieles ausser Betracht lassenden Schematisierungen zu überwinden, sie wird wieder naturverbundener, sie erinnert sich, dass Sein und Werden, Quantität und Qualität, Form und Energie zusammengehören. Sie strebt erneut nach Mannigfaltigkeit in der Einheit.

Die mineralogischen und biologischen Wissenschaften sind deshalb in bezug auf allgemeine Zielsetzung, Methodik und Darstellungsart kaum mehr nach den überlieferten Vorstellungen von den übrigen Wissenschaften abtrennbar, selbst wenn nach wie vor die Objektgebundenheit, die historische Komponente, das Erkennenwollen in mehr künstlerischem Sinne, d. h. das Bedürfnis, die Natur gedanklich neu zu gestalten, sie besonders auszeichnen.

Auch für sie gilt jedoch, dass der wahrheitsliebende und sozial denkende Mensch erworbene Erkenntnisse nutzbar zu machen sucht, um Probleme des Tages zu meistern. Es wäre unnatürlich, wenn sich sein Tun und Handeln in verschiedene, nicht zur Interferenz geeignete Sphären aufspalten liesse. Es sei neben dem schon Gesagten nur daran erinnert, dass die mineralogischen Wissenschaften durch die Lehre von den zur Verfügung stehenden Rohstoffen die Grundlagen der Entwicklung der Technik vom Steinzeitalter bis zur Epoche der Nutzung von Stoffen mit günstigem Atomkernzerfall bedingt haben und die biologischen Wissenschaften den Aufschwung der Hilfeleistung durch die Medizin.

Aber diese verpflichtende und an sich selbstverständliche Einordnung jeglicher kulturellen Tätigkeit in ein übergeordnetes Ganzes als einziges Ziel anzusprechen und einen sogenannten

«Nutzen», meist gemessen an materiellen Gütern, zum endgültigen Wertmassstab zu machen, verfälscht den Sinn des Lebens und lässt dieses in einen Konkurrenzkampf ausarten, in dem Wörter wie Fortschritt, soziales Verständnis, Gemeinschaft nur noch Tarnschilder für etwas ganz Andersartiges, Hintergründiges sind. Besinnung ist gerade heute, und bis das Gleichgewicht zwischen technischem Fortschritt, moralisch-geistiger Entwicklung und Verschärfung des Gewissens wieder hergestellt ist, wichtiger als Tempo und Dynamik.

In einem Gespräch unter Studenten an den Hochschulen Zürich über « zweckfreie Wissenschaft » sind vor kurzem von einer sich besonders sozial gebärdenden Seite jene, die vergessen, dass Wissenschaft in erster Linie dazu dienen soll, den Menschen von seiner Umwelt so frei als möglich zu machen und die Kräfte dieser Umwelt in seinen Dienst zu stellen, gebeten worden, sich nicht mehr Jünger der Wissenschaft zu nennen. Wohl dürfe eine gewisse Forscherneugierde als Moment persönlicher Belebung des Geistes hinzukommen, aber jeder, der aus reiner Freude am Erkennen und an der Wahrheit arbeite, stelle sich ausserhalb einer echten Gemeinschaft und sei ein privatisierender und parasitierender Einzelgänger. Das Verwunderliche an dieser Verkennung vom Menschsein und Sinn des Lebens, an dieser Loslösung der Naturwissenschaften von den Geisteswissenschaften und der Kunst, ist eigentlich nur, dass es sich um einen Ausspruch handelt, der nach den grauenvollen Tagen erfolgte, in der sich in nie geahntem Umfange wissenschaftlicher Scharfsinn staatlichen Machtinteressen zur Verfügung gestellt hat, um Kräfte der Zerstörung ins Ungemessene zu steigern oder sogenannten sozialen Fortschritt rücksichtslos und auf Kosten anderer zu verwirklichen. Nur die geistige Weite und Unabhängigkeit einer Persönlichkeit, die Liebe zur wissenschaftlichen Wahrheit, der Drang zum Erkennenwollen an sich, können vor missbräuchlicher Verwendung fachlichen Könnens schützen und auf die wahre Dienstleistung an der Menschheit vorbereiten.

Wissenschaftliches Erkennen soll in erster Linie den Geist befreien und erheben, Einsichten vermitteln, die neben religiösem und künstlerischem Erlebnis die menschliche Kultur bereichern. Eine harmonische Entwicklung aller Fähigkeiten und Anlagen des Menschen führt schliesslich zu jenem Gleichgewicht, in dem es zur Selbstverständlichkeit wird, dass nicht *gegen,* sondern *mit* der

Natur und im Interesse wirklicher Gemeinschaft gearbeitet wird. Und so wird, ohne in den Verdacht des Überflüssigen zu kommen, die beschreibende Naturwissenschaft, d. h. die *Forschung um der Gestaltung eines Naturbildes willen,* stets ein Korrektiv sein gegenüber einer Geschäftigkeit, die, ohne Rücksicht auf die Folgen, sofort eine Erkenntnis auszunützen sucht, lediglich um mächtiger und materiell unabhängiger zu werden.

Ja es wäre erwünscht, wenn die Ergriffenheit, das Erstaunen in Ehrfurcht vor den Wundern der Natur wieder so lebendig würden, wie sie es zu Beginn der neuen Epoche naturwissenschaftlichen Aufschwunges waren. Weder das wissenschaftliche Experiment als wichtiges Hilfsmittel der Forschung noch ein gesunder Fortschritt der Zivilisation würde dadurch Schaden erleiden, denn die reine Freude an der Erkenntnis und an der Wahrheit benötigen gleichfalls ein wohlüberlegtes verantwortbares Experiment, das den humanistisch Gesinnten ebenso wertvoll ist, wenn es Vergangenes beleuchtet und erleuchtet, wie wenn es der äusseren Lebensgestaltung neue Möglichkeiten erschliesst. Nur so wird sich der Mensch seiner Pflichten und Beziehungen gegenüber den Mitmenschen, den Ahnen und Enkeln, der Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft bewusst.

Wissenschaftliche Forschung ist ein Kind der Zeit, in die sie hineingeboren ist, und zugleich ein Formfaktor dieser Zeit selbst. Uns, die wir bald die Fackel weiterzugeben haben, war es vergönnt, den erfolgreichen Aufstieg des Experimentes in den mineralogischen Wissenschaften aktiv miterleben zu dürfen. Die anfängliche Überschätzung hat einer unbestrittenen Wertschätzung Platz gemacht, auch konnten die Gefahren einer Verkümmerung des Sinnes für unmittelbare Beobachtung, der Vernachlässigung morphologischer Einsichten sowie der Bedeutung der Systematik gebannt werden. Ja als im politischen Leben von Materialismus, Mechanismus und von der Bedeutungslosigkeit des Individuellen viel die Rede war, hat die Naturwissenschaft als Ganzes, gezwungenermassen und ihren eigenen Gesetzen folgend, begonnen, ein naturnäheres Weltbild zu formen, das diejenigen Einseitigkeiten der Betrachtungsweise zu vermeiden sucht, die zur Überbetonung der reinen Zahl und der formlosen Masse führten.

Noch haben viele Anbeter und Kritiker naturwissenschaftlicher Methoden den Sinn dieser Entwicklung nicht richtig erfasst,

uns aber scheint sich durch diese Evolution eine Zukunft vorzubereiten, in der Schlagworte von gestern (und leider auch noch von heute) ihre Suggestivkraft einbüssen werden und in der sich der Forscher, der, gestützt auf Beobachtung, Experiment und Urteilskraft, im Geiste die Natur neu erlebt und gestaltet, von den Fesseln befreit, die so oft, durch die einem Werk innewohnenden Möglichkeiten, den Schöpfer der Freiheit des verantwortungsbewussten Handelns berauben.

Erfüllt von dieser Zuversicht, erkläre ich die 126. Jahrestagung der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft und das 201. Jahr der Tätigkeit der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich für eröffnet.