

Paul Heinrich von Groth

Entwicklungsgeschichte der Mineralogischen Wissenschaften

ENTWICKLUNGSGESCHICHTE DER MINERALOGISCHEN WISSENSCHAFTEN

VON

P. GROTH

MIT 5 TEXTFIGUREN



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH 1926

ISBN 978-3-662-40910-7 ISBN 978-3-662-41394-4 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-41394-4

ALLE RECHTE, INSBESONDERE DAS DER ÜBERSETZUNG
IN FREMDE SPRACHEN, VORBEHALTEN.

COPYRIGHT 1926 BY SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG
URSPRÜNGLICH ERSCHIENEN BEI JULIUS SPRINGER IN BERLIN 1926
SOFTCOVER REPRINT OF THE HARDCOVER 1ST EDITION 1926

Vorwort.

Ein Gebiet der hier unter dem Namen der „mineralogischen“ zusammengefaßten Wissenschaften, die Krystallkunde, hat in jüngster Zeit für die Anschauungen über die Natur der Materie eine früher ungeahnte Bedeutung erlangt, indem durch die Einführung der Röntgenanalyse in die Erforschung der Krystalle eine völlig neue Periode dieser Wissenschaft begonnen hat. Es scheint daher der jetzige Zeitpunkt geeignet zu dem Versuche einer übersichtlichen Darstellung der allmählichen Entwicklung der geometrischen, der physikalischen und der chemischen Kenntnis der Krystalle von den Anfängen dieser Wissenschaft bis zum Ende des 19. Jahrhunderts. Ein solcher wird in der ersten Abteilung des vorliegenden Werkes gegeben.

Die zweite Abteilung schildert zunächst das Hervorgehen der Kenntnis der Mineralien aus dem deutschen Bergbau des 16. Jahrhunderts bis zur Schaffung einer selbständigen Wissenschaft durch WERNER, welche zugleich zur Begründung der Geologie führte. Aus diesem Anfangsstadium hat sich die Mineralogie im Laufe des 19. Jahrhunderts in drei Richtungen entwickelt: Erstens durch Untersuchung der kristallographischen Eigenschaften der Mineralien, welche auch zu mannigfachen Fortschritten der allgemeinen Krystallkunde führte, außerdem aber die Mittel schuf, die Bestandteile der Gesteine, selbst bei mikroskopischer Kleinheit derselben, zu bestimmen, so daß hieraus als eine geologische Spezialwissenschaft die Petrographie hervorging. Zweitens das Studium des Zusammenvorkommens der Mineralien hatte zur Folge die Entstehung eines anderen Zweiges der geologischen Wissenschaften, der Kunde von den Lagerstätten der Mineralien („Praktische Geologie“). Drittens schuf die Erforschung der chemischen Natur der Mineralien endlich die Grundlage für die „Geochemie“. In den drei diese Entwicklung darstellenden Abschnitten werden natürlich nur die Wurzeln der drei entsprechenden geologischen Disziplinen dargelegt; die Entwicklung, welche dieselben in neuerer Zeit erfahren haben, zu schildern, wird die sehr dankbare, aber schwierige Aufgabe eines Geschichtsschreibers der allgemeinen Geologie sein.

Für eine Anzahl der Forscher, namentlich für die der älteren Zeit, schien es wünschenswert, die Angaben des Textes durch eine Skizze ihres Lebensganges und Anführung einiger ihrer wichtigsten Schriften zu ergänzen. Um die Übersichtlichkeit des Buches nicht zu beeinträchtigen, sind diese „biographischen Notizen“ am Schluß zusammengestellt.

Bei seiner Arbeit hatte sich der Verfasser mannigfacher Unterstützung zu erfreuen: Vorher schon hatte sein Freund, der Mathematiker L. BURMESTER, durch Abfassung seiner Schrift über die geschichtliche Entwicklung des Krystallzeichnens eine wertvolle Vorarbeit geleistet, und während der Ausarbeitung hatte er die Güte, die auf Geometrie bezüglichen Teile des Textes einer prüfenden Durchsicht zu unterziehen. Bei der Beschaffung der Literatur wurde der Verfasser vielfach unterstützt durch die Verwaltungen der Staatsbibliotheken in München und Berlin, besonders durch den Vorstand der „Dokumentensammlung Darmstädter“ an letzterem Orte, Herrn Dr. SCHUSTER, welcher ihm den gesamten handschriftlichen Nachlaß von WEISS zur Verfügung stellte. Für Benutzung der vom Verfasser zusammengebrachten, im mineralogischen Institut der Universität München aufgestellten und jetzt in den Besitz dieses Instituts übergegangenen Bibliothek, waren ihm dessen Beamte, voran sein langjähriger Mitarbeiter Professor Dr. H. STEINMETZ, in unermüdlicher Weise behilflich. Bei den Korrekturen wurde er außer von Professor STEINMETZ besonders unterstützt durch seinen Enkel Dr. PAUL-MAX GROTH. Endlich will der Verfasser auch nicht verfehlen, dem Verleger Herrn JULIUS SPRINGER für die zweckmäßige Ausstattung des Buches und der Firma BREITKOPF & HÄRTEL für die treffliche Ausführung des Druckes seinen Dank zu sagen.

München, im April 1926.

P. GROTH.

Inhaltsverzeichnis.

Krystallkunde

	Seite
Beobachtung der Winkelkonstanz und Beschreibung der Formen der Krystalle	3
Erforschung der physikalischen Eigenschaften und der Struktur der Krystalle	10
Einführung der Achsen und allmählicher Aufbau des Grundgesetzes der geometrischen Krystallographie	59
Erkennung des gesetzmäßigen Zusammenhanges zwischen Form und optischen Eigenschaften der Krystalle	93
Symmetrieverhältnisse der Krystallformen und Theorien der Krystallstruktur	107
Entwicklung der physikalischen Krystallographie	115
Entwicklung der chemischen Krystallographie	126
Schlußbetrachtungen	140

Mineralkunde

Beschreibung, Systematik und Nomenklatur der Mineralien. Entwicklung der Kenntnis ihrer Verbreitung. Geschichte der mineralogischen Sammlungen und Institute	147
Entwicklung der krystallographischen Kenntnis der Mineralien. Erweiterung der Physiographie durch die mikroskopische Untersuchung	173
Zusammenvorkommen (Paragenesis) der Mineralien und Entwicklung der Lagerstättenkunde	194
Erforschung der chemischen Zusammensetzung der Mineralien, ihrer Umwandlungerscheinungen, ihrer natürlichen und künstlichen-Bildung	212
Rückblick und Ausblick	228
Biographische Notizen	241
Sachregister	257
Namenregister	260
Nachtrag	262
Druckfehler (umstehend).	

Druckfehler.

S. 94, Z. 4 v. o. lies 1862 statt 1842.

S. 148, Anm. 1, Z. 2 lies Geßner statt Gesner.

KRYSTALLKUNDE.

Groth, Entwicklungsgeschichte.

Beobachtung der Winkelkonstanz und Beschreibung der Formen der Krystalle.

Der Umstand, daß die Größe und Gestalt der Krystallflächen infolge ungleicher Menge der beim Wachstum auf ihnen angelagerten Substanz scheinbar einem regellosen Wechsel unterworfen sind, veranlaßte es, daß die Griechen, trotz des hohen Standes, den bei ihnen die Geometrie erreicht hat, keinerlei Gesetzmäßigkeit an den Krystallen wahrnahmen. Erst in der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts wurde eine solche erkannt am Bergkrystall („cristallus“ nach dem Vorgange der Alten, welche ihn für Eis hielten, das durch starke Kälte in den hochgelegenen Regionen seines Vorkommens eine so hohe Härte erhalten habe) durch NILS STENSEN (NICOLAUS STENO) (1). Dieser beschreibt den „cristallus“ als gebildet von zwei hexagonalen Pyramiden, zu denen meist noch ein sechsseitiges Prisma hinzutritt (nach MIELEITNERS wohl richtiger Vermutung lagen ihm hauptsächlich Quarze von Poretta vor), aber mit ungleicher Größe der Flächen der einen wie der anderen Art, weil sich die „krystalline Materie“ auf ihnen nicht in gleicher Menge absetzt, ja sogar die Teile einer Fläche oft ein ungleiches Wachstum erkennen lassen; die Streifung der Flächen des Prismas erklärt er daraus, daß die Anlagerung der Substanz nur auf denen der Pyramiden stattfindet und daher die ersteren nur als Scheinflächen zu betrachten seien. Er hat somit nicht nur den Unterschied des Wachstums der Krystalle von dem aller anderen Körper, sondern auch die Ungleichwertigkeit bzw. Gleichwertigkeit der Flächen klar erkannt und die Unvollkommenheiten der Pyramidenflächen vollständig richtig gedeutet. Die wichtigste seiner Beobachtungen ist aber nun die, daß die Winkel sowohl der Pyramiden- als der Prismenflächen konstant bleiben, wie auch deren relative Größe wechselt; diese Gesetzmäßigkeit wird erläutert durch eine Anzahl von Querschnitten sogenannter verzerrter Krystalle, sowohl nach der durch die „Achse“ und die Höhenlinie der gleichschenkeligen Dreiecke der Pyramide gehenden Ebene, als nach der „Basis“ des sechsseitigen Prismas, Figuren, welche auf der beigegebenen Tafel neben diejenige für einen symmetrisch ausgebildeten Krystall gestellt sind; während bei den Querschnitten des Prismas sämtliche Winkel 120° betragen, ist der Winkel zwischen zwei an der Spitze einander gegenüberliegenden

Pyramidenflächen stets der gleiche, wie auch die Größe und Gestalt dieser Flächen wechselt (nach seinen Zeichnungen beträgt der Kantwinkel der Pyramide an der Spitze etwa 79° , also nur $2\frac{1}{2}^\circ$ abweichend von dem mit dem damals noch unbekanntem Goniometer bestimmten Werte). Außer dem „crystallus“ beschreibt er auch andere „angulata corpora“. Als solche des Eisens bezeichnet er die Krystalle des Eisenglanzes, von dem ihm offenbar diejenigen von Elba vorlagen, deren gewöhnlichste Ausbildung er durch einen horizontalen und einen vertikalen Querschnitt, sowie durch eine abgewinkelte Ansicht der sechs Seiten eines symmetrischen Krystalls der Kombination $\{100\} \{31\bar{1}\} \{211\} \{332\}$ darstellt. Weniger vollkommen waren die von ihm erwähnten Krystalle des Diamanten, an denen er Oktaeder und 24-Flächner erwähnt, während er wichtigere Beobachtungen am Pyrit (von ihm „marcasites“ genannt) anstellte; die eingewachsenen Krystalle des letzteren beschreibt er als Würfel, deren Flächen sämtlich die gleichen Wachstumserscheinungen zeigen und zwar eine Streifung, welche auf gegenüberliegenden Flächen einen parallelen, auf benachbarten einen dazu senkrechten Verlauf hat; hier ist also außer der Winkelkonstanz auch die Gleichwertigkeit dreier aufeinander senkrechter Richtungen bei einem kubischen Krystall richtig erkannt. Endlich gibt er noch an, daß es auch Körper gebe, welche sich in rhomboidische Lamellen oder Rhomboeder auflösen (offenbar Gyps bzw. Kalkspat) und viele andere, welche noch näher studiert werden müßten, um die für sie gültigen Naturgesetze zu erkennen.

Den wichtigen Beobachtungen STENSSENS folgen in den nächsten Jahrzehnten nur wenige, mehr beiläufige Angaben, wie die der Winkel der rhomboidischen Spaltungslamellen von Gyps durch LEEUWENHOOK (1695) und die Annahme von vier Grundformen (der Würfel des Kochsalzes, das Oktaeder des Alauns, das sechsseitige Prisma des Salpeters und das schiefe Prisma des Vitriols) durch GULIELMINI (1707). Einen wesentlichen Fortschritt in der Beschreibung der Krystalle liefern erst die Schriften von M. N. CAPPELLER (2), in welchen zum ersten Male das Wort „Krystallographie“ erscheint, allerdings in dem Sinne einer Beschreibung der Bergkrystalle, von welcher jene Schriften nur Vorläufer sein sollten. Die hauptsächlichste derselben, der „Prodromus Crystallographiae“ behandelt nun die übrigen Körper, welche wie der Bergkrystall eine eigene geometrische Gestalt besitzen und daher, wenn auch „uneigentlich“, mit dem Namen „Krystalle“ bezeichnet werden. Diese Gestalt bietet, wie eingehend auseinandergesetzt wird, eine viel wichtigere Charakteristik eines Körpers als z. B. die Farbe, welche früher zur Unterscheidung der Edelsteine u. a. benutzt worden war, daher sie der Ordnung der Körper zugrunde gelegt werden müsse. Die einem Stoffe eigentümliche Gestalt lasse sich im allgemeinen am besten an

kleinen Krystallen erkennen, da diese meist am besten ausgebildet seien; in vielen Fällen sei es nötig, zur Erkennung der Krystallform das Mikroskop zu benutzen. Wenn auch CAPPELLERS Ansichten über die Ursachen der Krystallisation noch in den naturphilosophischen Ideen seiner Zeit befangen waren, so unterscheidet er doch ganz richtig die verschiedenen Arten der Krystallbildung aus Lösungen und durch Sublimation, sowie die Ausbildung der Krystalle aus Lösungen von verschiedener Beschaffenheit. Auf zwei Tafeln gibt er nicht weniger als 40 Abbildungen mikroskopisch beobachteter Krystallisationen einer Reihe von Stoffen aus dem Mineral- und dem Pflanzenreich, wie Steinsalz, Salpeter, Salmiak, Borax, Kaliumsulfat, Weinstein und anderer Kalisalze, welche sich allerdings zum Teil nicht mehr identifizieren lassen, weil sie aus schwefelsaurer Lösung zur Ausscheidung gebracht wurden und daher Formen des Kaliumsulfates zeigten. Unter den durch Sublimation entstandenen Krystallen wird ausdrücklich der Hagel angeführt; ferner wird erwähnt die Beständigkeit der Form des durch Gefrieren von reinem Wasser oder solchem, dem verschiedene lösliche Substanzen zugesetzt sind, entstehenden Eises. Im speziellen Teile seiner Schrift zählt CAPPELLER die sogenannten krystallisierten Körper auf Grund der bisherigen und zahlreicher eigener Beobachtungen auf, geordnet nach ihrer Gestalt in acht Klassen, innerhalb einer jeden in der damals bei den Mineralogen üblichen Einteilung getrennt in „Steine“, „Erze“ und „Salze“: I. kugelige, gerundete und sphäroidische Körper; II. keilförmige, spindelförmige; III. zylindrische; IV. pyramidale und kegelförmige; V. prismatische, parallelepipedische, rautenförmige und trapezförmige; VI. polyedrische und polygonale; VII. trauben- und federnförmige; VIII. aus Krusten, Schuppen oder Lamellen bestehende Körper. Hier sind unter den von den früheren Naturforschern beschriebenen Gestalten auch viele aufgenommen, welche sich nicht auf Krystalle beziehen, nämlich Versteinerungen, Erstarrungsformen von Gesteinen (wie Basaltsäulen) und Außenformen von Mineralaggregaten. Die eigenen Beobachtungen des Verfassers beziehen sich aber im wesentlichen auf wirkliche Krystalle und sind durch Figuren illustriert, welche nach BURMESTER (Zeitschr. f. Krystallogr. 1922, 57, S. 19f.) die ersten nach dem Ansehen tunlichst richtig entworfenen Krystallzeichnungen darstellen, wenn auch die beigefügten Winkelangaben naturgemäß noch ungenau sind. Von diesen Figuren mögen erwähnt werden die des Rohrzuckers, des Kupfervitriols, des Kaliumsulfats, des Hyazinths, des Granats und des Pyrits; auch die Unvollkommenheiten der Diamantkrystalle und die Verzerrungen der Spinelloktaeder sind sehr gut wiedergegeben.

Das erste Werk, welches eine Beschreibung der Krystalle, dieses Wort in dem heutigen Sinne genommen, liefert, ist ROMÉ DELISLES (3) „Essai de Cristallographie ou Description des figures géométriques, propres

à différens Corps du Règne Minéral, connus vulgairement sous le nom des Cristaux“. Paris 1772 (Deutsch „mit Anmerkungen und Zusätzen — nebst HILLS Späterzeugung und BERGMANS Abhandlung von Spatgestalten, aus dem Englischen und Lateinischen übersetzt“ — von C. E. WEIGEL in Greifswald 1777). In diesem der Kurfürstlich Mainzischen Akademie in Erfurt, welche seine ersten Arbeiten so günstig beurteilte und ihn zum Mitglied wählte, gewidmeten Werke setzt ROMÉ DELISLE einleitend auseinander, daß nur vollständig ausgebildete Krystalle die wahre Form einer jeden Mineralart zu bestimmen gestatten und deshalb der Verfasser bemüht gewesen sei, eine Sammlung derartiger isolierter Krystalle zusammen zu bringen; diese habe er dann mit den bisherigen Abbildungen, soweit solche vorhanden waren, namentlich mit denen in LINNÉ'S System der Natur, verglichen und die Formen der ihm fehlenden in Ton nachgebildet. In dem allgemeinen Teile des Werkes „Discours préliminaires sur les Cristaux en général“ wird darauf hingewiesen, daß in der unter LINNÉ'S Leitung verfaßten und in dessen Werken veröffentlichten Abhandlung von KAEHLER über die Entstehung der Krystalle (Upsala 1747) dieser Name seine allgemeine Bedeutung für die regelmäßigen und konstanten Gestalten fester Stoffe erhalten habe, und die dort gegebene Systematik der Krystalle wird von ROMÉ DELISLE auch der Anordnung der in seinem Werke nach eigenen und fremden Beobachtungen zusammengestellten Beschreibungen zugrunde gelegt. Danach werden alle bekannten Krystalle in folgende vier Klassen gebracht: 1. Salzkryrstalle (Cr. salins), in Wasser löslich; 2. Steinkryrstalle (Cr. pierreux), im Feuer nicht rauchend; 3. Kieskryrstalle (Cr. pyriteux), welche im Feuer einen unangenehmen Rauch geben; 4. Erzkryrstalle (Cr. métalliques), schmelzbar. Auch in bezug auf die Ursachen der Krystallisation und die Ansicht, daß die Form der Krystalle durch ihren Salzgehalt bestimmt werde, schließt sich ROMÉ DELISLE vollständig den früheren Ansichten an.

Unter 1. werden hauptsächlich die Krystallformen folgender „Salze“ beschrieben: Kaliumsulfat, Glaubersalz, Alaun, Kupfer- und Eisenvitriol, Kali- und Natronsalpeter, Natriumchlorid, Ammoniumphosphat (?), Seignettesalz, Brechweinstein, Kupferacetat, Borax, Rohrzucker. Die Beschreibungen enthalten niemals Angaben der Winkel, sondern nur solche über die Gestalt der Flächen, daher die Unterschiede der einzelnen „Arten“ einer Substanz oft ganz unwesentliche sind; die zugehörigen Figuren, nach dem Ansehen in schräger Projektion recht sorgfältig ausgeführt, sind aber doch zum Teil stark verzeichnet und gestatten mehrfach nicht, die betreffenden Stoffe sicher zu identifizieren. Im allgemeinen handelt es sich um Laboratoriumsprodukte; nur gelegentlich wird auch das natürliche Vorkommen erwähnt.

2. Zu den „Steinkryrstallen“, den gewöhnlichsten der natürlichen Krystalle, wurden, wie damals üblich, wegen ihrer regelmäßigen Form

auch die Basaltsäulen gerechnet. Beim Kalkspat werden das Grundrhomboeder (dessen Kantenwinkel nach LA HIRE angegeben wird), die Kombination des ersten Prismas mit der Basis, mit dem gewöhnlichen stumpfen Rhomboeder und die mit dem häufigsten Skalenoeder nach LINNÉ als verschiedene „Spezies“ aufgezählt; die Formen sind meist aus den Figuren zu erkennen, bis auf wenige, welche mit denen gewisser Salze, z. B. von „Natron“, absolut identisch sein sollen. Die Kombinationen des Gyps, für den ebenfalls Messungen von LA HIRE angeführt werden, sind aus den Abbildungen gut zu identifizieren. Dagegen ist dies nicht möglich bei einigen Figuren von Flußspatkrystallen, unter denen als besondere „Spezies“ auch ein Pseudorhomboeder aufgezählt wird (offenbar die aus nur drei Flächenpaaren bestehende Spaltungsform), während die Spaltbarkeit des Minerals keine Erwähnung findet. Unter dem Namen Glimmer werden u. a. auch von Glimmer bedeckte Krystalle von Staurolith beschrieben. Beim Quarz beschränkt sich der Verfasser auf die Angabe der früheren Beobachter, namentlich STENSENS, und die Abbildung der Kombinationen des Prismas mit den beiden primären Rhomboedern; hier werden, wie damals üblich, zahlreiche „Spezies“ unterschieden. Ziemlich unvollkommen sind die meisten Angaben über die Edelsteine mit Ausnahme einiger abgebildeter Kombinationen des Topas, bei denen auch die Zusammensetzung aus dünnen Lamellen (Spaltbarkeit) erwähnt wird.

3. Unter den „Kieskrystallen“ oder „Pyriten“ werden die verschiedensten Schwefel- und Arsenverbindungen aufgeführt, außer Pyrit z. B. Auripigment und Arsentrionyd, sowie der natürliche Schwefel, dessen Abbildungen eine rektanguläre Abstumpfung der Pyramide zeigen.

4. Zu den „metallischen Krystallen“ zählt der Verfasser u. a. Zinnober, Zinkblende, Zinnerz, Galenit, Eisenglanz, Kupferlasur und Rotgiltigerz. Die ihnen beigegebenen Figuren sind weniger charakteristisch als manche der auf die ersten Klassen bezüglichen.

Einen großen Fortschritt in der Kenntnis der Krystalle stellt die elf Jahre später erschienene zweite Auflage dar; dieses vierbändige Werk hat den Titel: „Cristallographie ou Description des formes propres à tous les corps du règne minéral, dans l'état de Combinaison saline, pierreuse ou métallique. Avec fig. et tabl. synopt. de tous les cristaux connus.“ 2^e éd. Paris 1783. In der Widmung an die Berliner Akademie wird wieder die Konstanz der Winkel für die Krystalle jeder Art betont und in der Vorrede erwähnt, daß ein und dieselbe Art sowohl in ausgebildeten Krystallen wie in derben Massen auftreten könne und deshalb auch auf die letzteren eingegangen worden sei; das Werk liefere daher nicht nur eine nach dem damaligen Stande des Wissens vollständige Beschreibung der Krystalle, sondern auch eine Lithologie, welche im Einklang mit der Mineralogie die Grundlagen für die An-

sichten über die Theorie der Erde biete. Die nun in weit größerer Zahl als in der ersten Auflage gegebenen Krystallbeschreibungen beruhen auf des Verfassers inzwischen zur damals vollständigsten gewordenen Sammlung ausgebildeter Krystalle, zu der auch zahlreiche Modelle in gebranntem Ton und anderem Material gehörten. In den beigegebenen Tabellen und Tafeln sind die Formen in einer anderen Reihenfolge angeordnet als in dem Werke selbst, weil gewisse Formen mehreren Substanzen gemeinsam sind und daher nur einmal aufgeführt zu werden brauchen.

In der Einleitung werden die Betrachtungen über die bisherigen Ansichten betreffend das Wesen der Krystallisation, die Natur der die Stoffe zusammensetzenden Moleküle usw. gegen die der ersten Auflage erweitert und die „Primitivformen“, d. h. die für die einzelnen Substanzen wesentlichen und charakteristischen Formen ihrer „molécules intégrantes“ in sechs Klassen eingeteilt: 1. Das Tetraeder, 2. der Kubus, 3. die rektangulären Oktaeder, 4. die rhomboidalen Parallelepipede, 5. die rhomboidalen Oktaeder, 6. die Dodekaeder mit triangulären Flächen (hexagonale Dipyramiden). Während es nur ein Tetraeder und ein Oktaeder mit gleichseitigen Dreiecken als Flächen und nur einen Würfel mit rechtwinkligen Kanten gibt, existieren zahlreiche Vertreter der übrigen Klassen, z. B. hat das rektanguläre Oktaeder des Alaun einen stumpfen Winkel von 110° , das des Salpeters einen von 120° , das des Zuckers einen von 100° ; ebenso sind die Winkel der Primitivformen des Quarzes und des Kaliumsulfates, welche beide zur 6. Klasse gerechnet werden, verschieden. Die in CAPPELLERS Einteilung noch aufgenommenen „kugeligen“, zylindrischen und ähnlichen Formen werden hier zuerst richtig aufgefaßt als Produkte rascher und verworrener Krystallisation, an denen die Primitivform nur angedeutet ist durch Linien, Streifen, Blätter oder vorragende Krystallecken. Unter den am Schlusse der Einleitung zusammengefaßten allgemeinen Prinzipien sind besonders bemerkenswert die Sätze, daß das Vorhandensein einspringender Winkel nur möglich sei bei Verwachsungen mehrerer Krystalle, daß die Abstumpfungen der Ecken und Kanten der Primitivform zu den sekundären Flächen der betreffenden Substanz führen, welche auch ganz oder teilweise fehlen können, daß die in Spalten und Hohlräumen sitzenden Krystalle jüngerer Entstehung seien als ihre Unterlage und daher ein Überzug von Quarz, Pyrit oder einem anderen Mineral auf einem Krystall die äußere Form des letzteren zeigen müsse, endlich, daß beim hexagonalen Prisma zu unterscheiden sei, ob seine Flächen oder seine Kanten den Flächen der hexagonalen Pyramide entsprechen.

1. *Salze.* Wie in der ersten Auflage, aber weit ausführlicher, werden hier zunächst die „Säuren“ und die „Alkalien“ besprochen, unter letzteren Krystalle des „Natrons“, die, jetzt als rhomboidale Oktaeder mit

Basis bezeichnet, sich durch Abbildung und Winkelangaben als die gewöhnliche Kombination der Soda $\{110\}$ $\{\bar{1}\bar{1}\bar{1}\}$ $\{010\}$ erweisen. Unter den „neutralen Salzen“ werden folgende näher behandelt: Rohrzucker, dessen wichtigste Ausbildungsweisen so gut abgebildet sind, daß sie trotz des Fehlens von Winkelangaben sicher zu identifizieren sind; beim Weinstein ist letzteres zwar nicht möglich, aber die disphenoidische Symmetrie ist aus der Figur deutlich zu ersehen; beim Seignettesalz geht aus dem Prismenwinkel und der Abbildung hervor, daß die Kombination $\{110\}$ $\{001\}$ $\{010\}$ $\{210\}$ $\{100\}$ vorlag; für Brechweinstein wird das „Tetraeder“ $\{111\}$ und die Kombination $\{111\}$ $\{\bar{1}\bar{1}\bar{1}\}$ $\{001\}$ durch die Winkel sicher festgestellt; die Formen $\{100\}$ $\{110\}$ $\{001\}$ $\{010\}$ $\{\bar{1}\bar{1}\bar{1}\}$ und $\{22\bar{1}\}$ des Borax gehen aus Abbildung und Winkelangaben deutlich hervor; unter den Figuren des Schwefels befinden sich auch solche von disphenoidischem Habitus; für die als hexagonal betrachtete Dipyramide des Kaliumsulfates wird ein ziemlich genauer Winkelwert angegeben; die Abbildungen des Bittersalzes zeigen sowohl die Kombination des Prismas mit einem Disphenoid, als die scheinbar dipyramidale, endlich auch einen rechten und einen linken Krystall mit ungleich großen Disphenoiden.

2. *Steine.* Hier werden nunmehr alle ursprünglich in formlosen Massen entstandenen Stoffe, welche durch Austrocknen oder durch Abkühlung geometrische Formen angenommen haben, aber nicht mit bestimmten Winkeln und ohne Parallelismus gegenüberliegender Flächen, wie z. B. die Säulen des Basalts, als „falsche Krystalle“ ausgeschlossen und nur die „eigentlichen Krystalle“ behandelt. Begonnen wird mit denjenigen, welche durch ihre Löslichkeit den „Salzen“ am nächsten stehen, wozu besonders der Gyps gehört, dessen Beschreibung und Abbildung allerdings noch einen Irrtum infolge inkonsequenter Aufstellung der Krystalle enthält. Sehr zahlreich sind die neu beobachteten Formen am Kalkspat, für dessen Spaltungsgestalt ebenfalls Messungen angegeben werden, ebenso wie für die des Dolomits; von Baryt werden alle häufigen Kombinationen abgebildet und die Winkel der wichtigsten prismatischen Formen angeführt. Sehr erweitert und durch krystallographische Angaben ergänzt sind auch die Abschnitte über den Quarz, die Edelsteine, die Granat- und Schörl-Mineralien und den Feldspat. Die Gesteine werden als „pierres composées“ in einen Anhang verwiesen.

3. Als *metallische Krystalle* werden die in der ersten Auflage unter 3. und 4. behandelten Stoffe zusammengefaßt, und zwar werden in krystallographischer Beziehung ausführlicher behandelt: Antimonglanz, Zinkblende, Bleiglanz, Magnetit, Eisenglanz, Pyrit, Fahlerz, Kassiterit und Rotgiltigerz. Wenn auch verhältnismäßig wenig Winkel angegeben werden, so sind doch alle wichtigeren Kombinationen der damals bekannten Vorkommen jener Mineralien so vortrefflich abgebildet, daß über die beobachteten Formen kein Zweifel obwalten kann.

In den Tafeln sind die Figuren geordnet nach den sechs Grundformen (s. oben), von denen sie abgeleitet werden, also die Eisenglanzkombination mit vorherrschendem Grundrhomboeder, welches als Kubus angesehen wurde, beim Würfel, die mit vorherrschender Dipyramide neben den Korundformen; ferner unter den vom rektangulären Oktaeder abgeleiteten Formen auch die des Zirkons, Baryts, Zuckers, Topases; unter das rhomboidale Parallelepipid werden außer dem Rhomboeder auch eingereiht die Formen des Borax, des Granats u. a., unter das rhomboidale Oktaeder auch der Gyps usw. Was die im ganzen wenig zahlreichen Angaben über die Winkel betrifft¹⁾, so sind sie meist bis auf 1° oder 2° richtig, entsprechend der Genauigkeit der Messung mit dem inzwischen von CARANGEOT, einem Schüler ROMÉ DELISLES, der einen Teil von dessen Krystallmodellen angefertigt hat, konstruierten Anlegegoniometer. Vergleicht man aber die Figuren, deren Zahl ungefähr auf die dreifache angewachsen ist, mit denen der ersten Auflage, so ersieht man, welche große Zahl neuer sorgfältiger Beobachtungen der Verfasser inzwischen angestellt hat, so daß durch dieses Werk die Kenntnis der Krystallformen eine Bereicherung erfahren hat, welche die bisherige weit übertraf. Allerdings handelt es sich bei dem dadurch erreichten Stande dieser Kenntnis nur um die der äußeren Form der Krystalle, auf deren Beschreibung und bildliche Darstellung sich die Forscher dieser ersten Periode der Geschichte der Krystallkunde beschränkten.

Einige der in den folgenden Abschnitten behandelten Fortschritte sind nach C. M. MARX, „Geschichte der Chrystallkunde“ 1825 (S. 216f.) bereits angedeutet in den Schriften des deutschen Mathematikers CHR. KRAMP.

Erforschung der physikalischen Eigenschaften und der Struktur der Krystalle.

In demselben Jahre (1669), in welchem STENSEN das Gesetz der Winkelkonstanz der Krystalle veröffentlichte, erschien die Schrift eines

¹⁾ Welche übrigens in einer Zusammenstellung im 4. Bande noch einige Ergänzungen erfahren, wobei aber bemerkt wird, daß sie noch sehr der Vervollständigung bedürfen. Als eine Art Fortsetzung veröffentlichte ROMÉ DELISLE 1784 noch eine kleine Schrift „Des Caractères extérieurs des minéraux“, in welcher er die Krystallform in Verbindung mit spezifischem Gewicht und Härte als die stets ausreichenden Kennzeichen erklärt und eine kritische Übersicht über die bisherigen Versuche der Systematik gibt, deren Unvollkommenheit er mit der Unvollständigkeit der Kenntnis der chemischen Zusammensetzung vieler Stoffe begründet. Auch eine übersichtliche Tabelle der wichtigsten krystallinischen Substanzen mit Angabe der Winkel u. a. Eigenschaften wird am Schlusse hinzugefügt.

Landsmannes von ihm, E. BERTHELSEN (ERASMUS BARTHOLINUS) (4), in welcher die Entdeckung der Doppelbrechung des Lichtes im Kalkspat mitgeteilt wird und mit der das Studium der den Krystallen eigentümlichen physikalischen Eigenschaften seinen Anfang nimmt. Hier werden die kurz vorher aus Island nach Kopenhagen gekommenen Spaltungsstücke des durchsichtigen Kalkspats beschrieben als Rhomboeder von 101° Kantenwinkel, deren Bruchstücke immer wieder die gleiche Form zeigen, und ausführlich die Versuche zur Erforschung ihres optischen, von dem bis dahin bekannten aller anderen durchsichtigen Körper abweichenden Verhaltens geschildert; aus diesen Versuchen ergibt sich, daß in den Krystallen des genannten Minerals außer einem dem gewöhnlichen Brechungsgesetz folgenden Lichtstrahl noch ein zweiter, außerordentlicher entsteht, welcher auch bei senkrechter Inzidenz eine Ablenkung erfährt, und zwar in der Hauptschnittebene des Rhomboeders, so daß das von ihm hervorgebrachte zweite Bild eines unter dem Kalkspat befindlichen Gegenstandes beim Drehen des Krystalls um die zur Eintrittsebene des letzteren senkrechte Seherichtung einen Kreis um das erste (feste) beschreibt. Vollständiger wurden die Verhältnisse der Fortpflanzung dieses extraordinären Strahls zu der des ordentlichen dann erforscht von CHR. HUYGHENS (5) und beschrieben in der Schrift: „*Traité de la lumière*“. Leyden 1690 (deutsch von E. LOMMEL in OSTWALD, *Klass. d. exakten Wiss.* Nr. 20), deren Inhalt bereits im Jahre 1678 der Pariser Akademie mitgeteilt worden war bis auf die erst beim Druck hinzugefügten Annahmen über den Bau des isländischen Doppelspats und eine neue Bemerkung über die Strahlenbrechung des Bergkrystalls, aus welcher hervorgeht, daß der Verfasser auch an diesem die Erscheinung der Doppelbrechung beobachtet hat. In der genannten, für die Entwicklung der Optik grundlegenden Schrift sind nun die Gesetze der Fortpflanzung des Lichtes im Kalkspat vollständig festgestellt und nachgewiesen, daß der außerordentliche Strahl nicht eine Kugel, sondern ein Rotationsellipsoid zur Wellenfläche hat, welches in der Richtung der Achse des Rhomboeders von der kugelförmigen Wellenfläche des ordentlichen Strahles berührt wird, und daß alle an den Kalkspatkrystallen beobachteten optischen Erscheinungen sich daraus ableiten lassen. Auf S. 92—96 (81—84 der deutschen Ausgabe) wird ferner eine „wahrscheinliche Vermutung über den inneren Bau des isländischen Spats und die Gestalt seiner Teilchen“ aufgestellt, welche man als den Ausgangspunkt der Entwicklung der theoretischen Anschauungen über die Struktur der Krystalle betrachten kann. HUYGHENS nimmt an, daß die unsichtbar kleinen gleichen Teilchen, aus denen der Kalkspat besteht, die Gestalt flacher Rotationsellipsoide besitzen, welche alle mit ihrer Rotationsachse der Achse des Rhomboeders parallel gestellt und in regelmäßiger Weise so aufeinander geschichtet sind, daß ein jedes drei der darüber oder darunter liegenden Schicht in

gleicher Weise berührt. Dann müsse sich nämlich jede einer Fläche des Rhomboeders parallele Schicht beim Zerspalten des Krystalls leicht von der benachbarten trennen, weil jedes Sphaeroid sich nur von dreien der benachbarten Schicht losreißt, von denen es nur eines in der abgeplatteten Oberfläche, die beiden andern nur längs der Ränder berührt. Daß senkrecht zur Achse keine Spaltbarkeit existiert, erklärt sich dann daraus, daß hierbei jedes Rotationsellipsoid von dreien losgerissen werden müßte, welche es sämtlich mit den abgeplatteten Flächen berühren und daher stärker festhalten, als bei der Berührung mit den Rändern. Dagegen könnte eine Trennung, aber schwieriger als nach den Flächen des Grundrhomboeders, stattfinden nach den Ebenen, welche die Polkanten jenes gerade abstumpfen, weil hierbei jedes Teilchen von zwei es mit den abgeplatteten Oberflächen berührenden Nachbartheilchen getrennt werden muß. In der Tat beobachtete HUYGHENS eine Trennung nach einer derartigen Ebene, welche sich, obgleich die beiden Stücke noch zusammenhielten, durch die über die ganze Ebene verbreiteten Regenbogenfarben offenbarte (letztere war natürlich eine der bekannten Zwillingslamellen nach einer Gleitfläche). Zur Stütze seiner Ansicht über den Bau der Kalkspatkrystalle führt HUYGHENS auch die Beobachtung an, daß in den beiden entgegengesetzten Richtungen der kurzen Diagonale einer Spaltungsebene die Substanz dem Ritzen einen verschiedenen Widerstand entgegengesetzt, da das Messer in dem einen Falle über die einzelnen Rotationsellipsoide hingeleitet, in dem anderen sie aber von unten faßt, etwa wie die Schuppen eines Fisches.

Die Ansicht, daß die Krystalle des Kalkspats aus „rautenförmigen“ Stücken zusammengesetzt seien, hat schon WESTFELD 1767 in seinen „Mineralogischen Abhandlungen“ I. St. S. 50 geäußert, aber die Ableitung einer bestimmten Form dieses Minerals, des Skalenoeders, von dem Spaltungsrhomboeder wurde erst gegeben in der Abhandlung von TORBERN BERGMAN (6): „Variae crystallorum formae a Spatho ortae, explicatae a T. B.“ Nova Acta Reg. Societ. Scient. Upsalensis, Vol. I, Upsala 1773, 150—155 (eine deutsche Übersetzung von WEIGEL erschien 1777 als Anhang zu dessen Ausgabe von ROMÉ DELISLES Versuch einer Krystallographie, s. S. 6). Hier wird zum ersten Male der Satz ausgesprochen, daß die Mannigfaltigkeit der Formen, welche manche Krystallarten zeigen, von sehr wenigen „Primitivformen“ abzuleiten seien, und dieser Satz am Beispiel des Kalkspats erläutert. Letzterer besteht, wie BERGMAN als bekannt voraussetzt, aus einem Parallelepipet, dessen Flächen Rhomben von $101\frac{1}{2}^\circ$ sind, und nach ihm können durch eine geeignete Akkumulation solcher „Parallelogramme“ die verschiedensten Krystallformen entstehen. In Abb. 1 der zugehörigen Tafel IX hat er das Grundrhomboeder als zentralen „Kern“ (wie ihn nach einer An-

merkung S. 154 zuerst sein Schüler J. G. GAHN (7) aus einem Kalkspat-skalenoeder erhalten hatte) zur Konstruktion eines mit ihm gleiche Mittelkanten besitzenden Skalenoeders, sowie der Kombination des durch dieselben Mittelkanten gehenden hexagonalen Prismas (zweiter Art) mit dem durch die Polecken des Skalenoeders gelegten Grundrhomboeder benutzt und an dieser Figur erläutert, daß durch parallele Anlagerung von ebensolchen „Rhomben“ an dem Kern um dessen Achse herum die zuletzt genannte Kombination entsteht, während, wenn die sich anlagernden Rhomben in einem bestimmten Verhältnis abnehmen, statt derselben die Form des Skalenoeders zustande kommt. Die Länge der Achse dieser letzteren Form hängt notwendig von dem „Gesetze der Dekreszenz“ der angelagerten Rhomben ab, und im Falle die Anlagerung derselben vor der Bildung der Polecken aufhört, entsteht die Kombination des Skalenoeders mit dem Grundrhomboeder als Zuspitzung. Den Beweis dafür, daß die Kalkspatkrystalle in der Tat in der angegebenen Art aufgebaut sind, sieht BERGMAN in der leichten Trennung ihrer Bausteine, welche notwendig so stattfinden muß, daß nur die stumpfen Polkanten des Skalenoeders in ihre Teile zerfallen, da nur in diesem Falle die zum Spalten ausgeübte Kraft in der Richtung wirkt, welche der Fläche des Grundrhomboeders entspricht. Die Krystalle des Turmalins und des Granats, deren Formen eine gewisse geometrische Verwandtschaft mit denen des Kalkspats zeigen, lassen zwar wegen ihrer Härte eine derartige Trennung nicht zu, aber der lamellare Aufbau ist doch durch die Oberflächenbeschaffenheit, namentlich beim Granat, unschwierig zu erkennen.

In dem 1780 erschienenen 2. Bande seiner „Opuscula“ (S. 1—25) wiederholt BERGMAN zunächst den fast unveränderten Wortlaut seiner Abhandlung, fügt aber noch weitere, bereits im ersten Abdruck in Aussicht gestellte Bemerkungen hinzu. Für die Annahme einer regelmäßigen Form der kleinsten Teile der Krystalle spricht nach ihm die Beobachtung, daß bereits die „Moleküle“ des Kalkspats, welche sich in dem der Luft ausgesetztem Kalkwasser bilden und dem bewaffneten Auge sichtbar werden, die Kalkspatform zeigen, ferner die die innere Struktur ver ratende Streifung vieler größerer Krystalle desselben Minerals, die regelmäßige „Dekreszenz“ der Kochsalzwürfel, wie sie ebenso am Kaliumchlorid, am Bleisulfid (Hüttenprodukt von Fahlun) u. a. Substanzen beobachtet wird; ebenso offenbaren auch die Krystalle des Seignettesalzes und die des Harnstoffs häufig ihren schaligen Aufbau. Diesen Krystallisationserscheinungen sind zu vergleichen diejenigen beim Gefrieren des Wassers, welche zur Bildung der Schneesterne führen. Damit die regelmäßig gestalteten kleinsten Teile sich den zwischen ihnen wirkenden Kräften entsprechend aneinander lagern können, müssen sie sich frei beweglich in einem Krystallisationsmittel befinden; das gewöhnlichste ist das Wasser als Lösungsmittel der Salze, aber

auch die darin unlöslichen Stoffe können bei feinsten Verteilung dann krystallisieren, wie es das Auftreten vieler Krystalle in der Natur zu beweisen scheint. Da die Wärme ebenso die kleinsten Teilchen beweglich macht, wie die Auflösung, so erklärt sich auch die Bildung von Krystallen, z. B. von Schwefel, Zink, Antimon oder diejenige in Schlacken, beim langsamen Abkühlen eines Schmelzflusses, und hierzu ist auch die Entstehung der Eiskrystalle zu rechnen. Endlich sind auch für die kleinsten Teile der durch Hitze in Dampf verwandelten Substanzen die Bedingungen zur regelmäßigen Aneinanderlagerung gegeben, und als Beispiele sublimativer Krystallbildung werden Realgar, arsenige Säure und andere Hüttenprodukte angeführt. Am Schlusse erörtert BERGMAN die Gründe, welche dagegen sprechen, daß, wie vielfach angenommen wurde, die Krystallform eines jeden Stoffes durch ein darin befindliches Salz bestimmt werde, auch wenn die Anwesenheit eines solchen durch kein chemisches Mittel nachzuweisen sei. Zu diesen Gründen gehört auch das Auftreten so mannigfacher Formen, wie sie der Kalkspat bei unverändert gleicher chemischer Beschaffenheit zeigt.

Daß die im Vorstehenden wiedergegebenen Ansichten BERGMANS vielleicht größtenteils auf GAHN zurückzuführen sind, der wohl auch die zuletzt angeführten Beobachtungen an Hüttenprodukten in Fahlun zu machen Gelegenheit hatte, geht aus Mitteilungen hervor, welche HAUSMANN (Reise durch Skandinavien im Jahre 1806 und 1807) noch zu Lebzeiten GAHNS in Schweden erhielt; danach habe BERGMAN die Ansichten und Entdeckungen anderer mehrfach als seine eigenen veröffentlicht, gerade so, wie es manche berühmte französische Chemiker um dieselbe Zeit mit Entdeckungen ihrer englischen Fachgenossen gemacht hätten. Wie dem auch sei, jedenfalls finden wir die gleichen Ansichten über die Struktur des Kalkspats und Granats bald darauf, wenn auch eingehender ausgearbeitet und auf andere Substanzen angewandt, in den Veröffentlichungen desjenigen französischen Forschers, dem bisher allgemein die Begründung der Theorie von der Struktur der Krystalle und die Entdeckung des gewöhnlich nach ihm benannten Grundgesetzes der Krystallographie zugeschrieben worden ist, RENÉ HAÛY (8).

Dieser überreichte Ende des Jahres 1780 der Pariser Akademie eine Abhandlung, welche von dieser am 21. Februar 1781 begutachtet und in den „Observations et Mémoires sur la Physique, sur l'Histoire Naturelle et sur les Arts et Métiers (Journal de Physique T. XIX, p. 366—370, 4°, Paris 1782) u. d. T.: „Extrait d'un Mémoire sur la structure des Cristaux de Grenat“ veröffentlicht wurde. Der Inhalt derselben ist im wesentlichen der folgende: „Wenn die Moleküle einer anorganischen Substanz sich infolge ihrer attraktiven Kräfte vereinigen können, so bilden sie fast immer Krystalle, die bei ein und derselben Substanz oft

eine große Mannigfaltigkeit von Gestalten zeigen, welche anscheinend nicht auf die gleiche Form zurückgeführt werden können, oft aber auch eine ganz verschiedenen Stoffen gemeinsame Gestalt, wie den Würfel und das Oktaeder einer Anzahl von Mineralien. Um diese Schwierigkeit zu beseitigen, habe ich zunächst die Struktur der Krystalle zu erforschen gesucht durch die Feststellung der spiegelnden Trennungsflächen, welche man mit einem schneidenden Instrument in gewissen Krystallen hervorrufen kann, während nach anderen Richtungen ein unregelmäßiger Bruch entsteht. Sind die Krystalle zu hart, um ‚par coupes nettes‘ geteilt zu werden, so habe ich aus Analogiegründen auf die Struktur geschlossen, besonders aus den Streifungen der Flächen, welche die Lamellen andeuten, deren Vereinigungen in diesen Krystallen vorliegen. Aus meinen Beobachtungen ergibt sich, daß jeder Krystall einer Substanz, welche Form er auch habe, als ‚Kern‘ eine Primitivform enthalte, d. h. daß man, wenn nach und nach die den Krystall aufbauenden Lamellen abgespalten werden, schließlich einen eingeschriebenen Körper erhält, einen Würfel oder ein Parallelepipèd, dessen Flächen Rhomben sind, oder ein reguläres Oktaeder. Jeder Krystall ist daher in seiner übrigen Masse zusammengesetzt aus Körpern der gleichen ‚Primitivform‘, welche bei verschiedenen ‚Varietäten‘ der gleichen Substanz nur in verschiedenen Verhältnissen kombiniert sind. Der Unterschied der Struktur des Kerns von der übrigen Masse des Krystalls besteht darin, daß z. B. beim Kalkspat ersterer nur von ‚rhomboidalen Molekülen‘, letztere zum Teil, nämlich an den Rändern der sie zusammensetzenden Lamellen, von halben Rhomboedern gebildet wird. Meine Theorie erklärt auch, daß die verschiedenen Substanzen gemeinsamen Formen einen ungleichen Aufbau gleichsam verbergen; z. B. besteht der Würfel des Steinsalzes aus lauter kleinen Würfeln, während der des Flußspates sich nur in Lamellen von gleichseitig dreieckiger Gestalt mit Randflächen, welche einen bestimmten Winkel einschließen, spalten läßt, wie in einer späteren Abhandlung gezeigt werden soll. Die Berechnung der Winkel, namentlich der Primitivform, kann auf Grund der Struktur erfolgen; wo dies nicht möglich war, habe ich sie mit möglichster Genauigkeit gemessen.“

Auf diese allgemeinen Erörterungen folgt diejenige der Granatkrystalle, welche zwar keine Teilung in Lamellen gestatten, deren Streifung und andere Anzeichen jedoch ihre Struktur erkennen lassen, und von denen drei Varietäten unterschieden werden: 1. Rhombendodekaeder; dieses ist als die „forme originaire“ anzusehen und kann betrachtet werden als zusammengesetzt aus vier Rhomboedern mit den Kantewinkeln $109^{\circ} 28'$ und $70^{\circ} 32'$ (berechnet unter der Annahme, daß das Dodekaeder „regulär“ sei), deren eine stumpfe Polecke nach außen, die andere nach innen gekehrt ist und die sich mit den letzteren in der Mitte des Krystalls vereinigen; jedes dieser Rhomboeder kann wieder

als bestehend aus einer kubischen Anzahl sehr kleiner Krystalle der gleichen Form angesehen werden. Man muß daher die Bildung eines derartigen Granatkrystalles sich vorstellen als beginnend mit der Vereinigung von vier kleinen Rhomboedern, welche sich mit dreien ihrer Flächen aneinander lagern, und das Wachstum fortschreitend durch Auflagerung von aus ebensolchen kleinen Krystallen bestehenden Schichten. 2. Sechsenddreißigflächner (Komb. $\{110\}$ $\{211\}$); diese Form bildet sich dadurch, daß auf jeder Fläche des Rhombendodekaeders sich rhomboidale Lamellen auflagern, deren Größe nach einem gleichförmigen Gesetze derart abnimmt, daß die beiden an einer Dodekaederkante liegenden Randflächen der Lamellen in eine Ebene fallen, bis die Substanz vollständig fehlt und die letzte Lamelle in Form eines Rhombus die betreffende Krystalloberfläche bildet. 3. Der Vierundzwanzigflächner ($\{211\}$) endlich entsteht, wenn das eben beschriebene Wachstum sich fortsetzt, bis die sich anlagernden Lamellen auf einen Punkt reduziert sind; bei genauerem Studium zeigen diese Krystalle in der Tat ihren Aufbau aus ähnlichen, immer kleiner werdenden Rhomben und offenbaren damit ihre Beziehung zum dodekaedrischen Granat. Mit 24 Vierecken, deren Winkel die sich hieraus durch Rechnung ergebenden Größen besitzen, kann man einen Körper konstruieren, dessen Gestalt vollkommen mit der der Krystalle übereinstimmt; zur Konstruktion eines Körpers von der obigen Kombination 2 müßte man von den Vierecken rechts und links von ihrer Symmetriediagonale gleiche Teile abschneiden und die entstehenden Sechsecke so vereinigen, daß die Schnittlinien die bekannten Winkel der Rhombendodekaederkanten miteinander bilden.

Bald darauf veröffentlichte HAÛY eine zweite Abhandlung unter dem Titel: „Extrait d'un Mémoire sur la structure des Spaths calcaires, approuvé par l'Académie Roy. des Sciences, le 22. Décembre 1781 (Journ. de Physique T. XX, P. 1782, p. 33—39) folgenden Inhalts: „Die Beziehungen der verschiedenen Formen einer Krystallart zu deren Primitivform, welche ich für den Granat nachgewiesen habe, gelten, wie jetzt gezeigt werden soll, auch für den Kalkspat, dessen Zusammensetzung man durch seine Spaltbarkeit feststellen kann. Es ergibt sich, daß alle Kalkspatkrystalle einen rhomboidalen Kern von der Form des isländischen Doppelspats besitzen, welchen man durch Abspalten des übrigen Materials bloßlegen kann; letzteres ist zusammengesetzt aus rhomboedrischen Lamellen, ähnlich denen des isländischen Spates, welche stets wieder in ebenso gestaltete kleinere Lamellen zerlegt werden können, auch wenn sie, wie es an den Rändern der Fall sein muß, die Form halber Rhomben besitzen. Den Winkel dieses Rhombus konnte ich berechnen aus der Struktur der Kalkspatkrystalle, welche die Kombination des hexagonalen Prismas mit der Basis bilden, und diese (erst

in einer späteren Veröffentlichung angegebene) Berechnung gibt für den ‚exakten‘ Wert des stumpfen Kantenwinkels am Rhomboeder des isländischen Spates $101^{\circ} 32'$, während LA HIRE 1710 durch Messung $101^{\circ} 30'$ fand und NEWTON in seiner Optik den Wert $101^{\circ} 52'$ annahm. Diese Differenzen rühren daher, daß man den Winkel bisher nur durch Beobachtung bestimmte, was natürlich nur angenähert möglich ist.“

Es wird alsdann zuerst die Zerlegung der häufigen Kalkspatkrystalle, welche von dem flachen Rhomboeder $\{110\}$ gebildet werden, ausführlich besprochen. Durch Spalten von den Polkanten aus nach einer Ebene, welche mit der Achse 45° einschließen muß, erhält man Lamellen von der Form eines gleichschenkeligen Dreiecks, dessen stumpfer Winkel = $101^{\circ} 32'$, und die sich zerlegen lassen in Rhomben mit demselben Winkel, bis auf die am unteren Rande, welche Dreiecke derselben Form, also halbe Rhomben sind; und wenn die Teilung an allen sechs Polkanten fortgesetzt wird, bis die drei Spaltungsebenen eines Poles sich in einem Punkte treffen, verwandelt sich das flache Rhomboeder in dasjenige mit dem Kantenwinkel von $101^{\circ} 32'$, und daraus berechnet sich derjenige des stumpfen Rhomboeders zu $114^{\circ} 20'$. Daß letzteres wirklich die angegebene Struktur besitzt, wird nicht nur durch die Zerlegung in Spaltungslamellen bewiesen, sondern auch durch seine Streifung, welche genau den kurzen Diagonalen der Rhomben von $114^{\circ} 20'$ parallel ist und dadurch hervorgebracht wird, daß die Randflächen der den Krystall aufbauenden Lamellen mit der Ebene derselben den gleichen Winkel bilden, wie beim isländischen Spat.

Die Kombination des stumpfen Rhomboeders $\{110\}$ mit dem hexagonalen Prisma $\{\bar{2}11\}$ betrachtet HAÜY als den unvollständigen Krystall der vorigen Form, an dem die sechs Mittelecken fehlen, d. h. durch sechs senkrechte Flächen ersetzt werden, daher die entsprechenden Lamellen nicht vorhanden sind und die beim Spalten unter 45° zur Achse resultierenden kleiner ausfallen als im vorigen Falle. Der sich schließlich ergebende Kern ist, wie bei allen Kalkspatkrystallen, das Rhomboeder von $101^{\circ} 32'$.

Die gleiche Kombination mit größer ausgebildetem Prisma, in welcher sämtliche Flächen die Gestalt von Pentagonen haben, liefert beim Spalten von den Polkanten aus natürlich die gleichen Lamellen wie die vorhergehende, bis je drei Spaltungsebenen an einer Polecke des flachen Rhomboeders zusammenstoßen; alsdann hat man die Kombination des Prismas $\{\bar{2}11\}$ mit dem Grundrhomboeder $\{100\}$, und setzt man die Teilung fort, so erhält man die Form des isländischen Spats, an dem die sechs Mittelecken durch die dreieckigen Flächen des Prismas ersetzt sind, und schließlich die erstere allein als Kern. Alle hierbei nach und nach resultierenden Lamellen können betrachtet werden als zusammengesetzt aus gleichen ganzen oder halben Rhomben von $101^{\circ} 32'$.

(Hier wird nun zum ersten Male die Abhandlung von BERGMAN erwähnt und gesagt, in dieser sei der eben betrachteten Kombination eine ganz andere Struktur zugrunde gelegt worden, indem sie von dem Rhombendodekaeder des Granats durch Abstumpfung von den sechs Kanten einer Zone abgeleitet werde. Allerdings hat BERGMAN eine solche Deutung der in Rede stehenden Kalkspatform durch eine Figur erläutert; aus dem zugehörigen Text, in welchem dieser Fall nur kurz besprochen wird, geht nicht hervor, daß er für sie eine andere Struktur annehme als für die übrigen Kalkspatkrystalle. Als viel glücklicher bezeichnet HAÛY die BERGMANSche Erklärung der Struktur des Skalenooeders $\{20\bar{1}\}$, da sie mit der Beobachtung vollständig übereinstimme.)

Als besonders wichtig für seine Theorie wird dann von HAÛY die Kombination des hexagonalen Prismas $\{\bar{2}11\}$ mit der Basis $\{111\}$ (deren Erklärung BERGMAN nicht gelungen war) eingehend behandelt; ihre Teilung gelingt nur an den drei abwechselnden Seiten des basischen Hexagons und nur dann, wenn die Spaltungsebene die betreffenden Kanten gerade abstumpfe, d. h. 45° mit der Basis bilde. Es wird nun ausführlich angegeben, welche Gestalt die so nach und nach von der Kombination abgespaltenen Lamellen besitzen, und gezeigt, daß sie stets in ganze oder halbe Rhomben von $101^\circ 32'$ zerlegt werden können, daß also auch diese Krystalle die gleiche Struktur besitzen wie die übrigen des Kalkspats.

Zum Schluß wird die Ansicht ausgesprochen, daß der zu beobachtende Anfang der Bildung der Kalkspatkrystalle wohl nicht immer der rhomboedrische Kern gewesen sei, sondern, wie es die kleinen Krystalle mancher Kalkspatdrusen zeigen, schon im Anfang die Kombination der größeren Krystalle vorhanden war, und die weitere Anlagerung so stattfand, daß der rhomboedrische Kern immer in gleichem Verhältnis zu der äußeren Form, wie in den kleinen Krystallen, sich vergrößerte¹⁾.

Die beiden hier skizzierten Abhandlungen wurden von den maßgebenden Gelehrten in Paris gewissermaßen als der Beginn einer ganz neuen Wissenschaft begrüßt und fanden namentlich in der Akademie so großen Beifall, daß diese den Verfasser schon im Anfang des Jahres 1783 in ihren Schoß aufnahm. Daß ohne eine genaue Vergleichung mit der Abhandlung der schwedischen Forscher die nahe Beziehung derselben zu den beiden HAÛYSchen nicht erkannt wurde, erklärt sich leicht aus der Art, wie in letzteren die von BERGMAN erwähnt wird. Auffallender noch ist der Umstand, daß darin der Name ROMÉ DELISLES ganz verschwiegen ist, während doch alle behandelten Krystallformen des Granat und des Kalkspat schon 1772 von diesem in seinem „Essai

¹⁾ Wie man sich ein solches proportionales Wachstum von Kern und Hülle vorzustellen habe, wird erst an einer späteren Stelle (im letzten Abschnitt des Essai d'une théorie etc.) erklärt.

de Crystallographie“ abgebildet und (wenn auch in bezug auf die Winkel recht ungenau) beschrieben, inzwischen aber von dem Verfasser, wie aus der 1783 erschienenen zweiten Auflage (s. S. 7) hervorgeht, weit genauer studiert worden waren. Daß HAÜY von diesen Studien Kenntnis hatte, ist sehr wahrscheinlich, da er nach Angabe des in der „Biographie Universelle“ T. XXXVI S. 406—407 enthaltenen Lebensabrisses von ROMÉ DELISLE¹⁾ zu denjenigen gehörte, welche in jener Zeit ihre krystallographischen Kenntnisse aus dessen persönlichen Belehrungen schöpften; es geht dies aus folgender Bemerkung l. c. hervor: „Dieser Gedanke (daß die verschiedenen Winkel einer Krystallart sich aus den Abstumpfungen des ‚Kernes‘ ergeben), auf einen richtigeren Ausdruck (den der ‚Dekresenz‘) . . . gebracht und durch genauere Messungen und Berechnungen gestützt, wurde die Grundlage der Theorie seines Schülers HAÜY.“ Aber auch die Mitglieder der Akademie hatten von diesem Sachverhalt Kenntnis; denn ROMÉ DELISLE hatte, als er, von seinen Freunden dazu gedrängt, sich um eine Stelle in der Akademie bewarb, dieser sein „Essai“ und eine geologische Abhandlung, welche später im Journ. de Physique (1780) erschien, eingereicht. Über das durch die brüske Zurückweisung seiner Bewerbung an ROMÉ begangene Unrecht schreibt der Herausgeber derselben Zeitschrift, in welcher auch die Abhandlungen HAÜYs erschienen sind, DELAMÉTHÉRIE²⁾, in einer Notiz über das Leben und die Werke des mit ihm befreundeten Gelehrten (Journ. de Phys. 1790, T. XXXVI, S. 315—323) unmittelbar nach dessen Tode, daß derselbe in seinem Vaterlande nicht genügend

¹⁾ Diese Biographie ist von CHR. S. WEISS geschrieben, welcher in den Jahren 1807 und 1808 sich längere Zeit in Paris aufhielt und mit den dort lebenden Naturforschern verkehrte, u. a. auch bei DELAMÉTHÉRIE eingeführt war, dem er jedenfalls seine Kenntnis über die Schicksale ROMÉ DELISLES verdankte. Interessante Angaben über das damalige wissenschaftliche Leben in Paris und die Eindrücke, die es auf den jungen deutschen Gelehrten machte, sind enthalten in dessen Briefen, welche sich jetzt in der der preuß. Staatsbibliothek einverleibten DARMSTAEDTERSchen Dokumentensammlung in Berlin befinden (s. Festschrift für LUDWIG DARMSTAEDTER, Berlin 1922, S. 87—112 und Gedenkworte zum 100jährigen Geburtstage von CHR. S. WEISS in den Verhandl. d. geol. Ges. 1880, VI f.). Im Gegensatz zu der Biographie ROMÉs steht die viel längere HAÜYs im XVIII. Bande der Biographie Universelle S. 574—582, welche in dem bei Grab- und anderen Lobreden üblichen Tone der Verherrlichung geschrieben ist und deren tatsächliche Angaben wesentlich der von CUVIER (Recueil des éloges historiques lus dans les séances publ. de l'Institut Roy. de France III, 123—178) nach dem Tode HAÜYs in der Akademie gehaltenen Denkrede entnommen sind.

²⁾ DELAMÉTHÉRIE, geb. 1743, gest. 1817 als Professor der allgem. Naturgeschichte am Collège de France, veröffentlichte in dem von ihm bis zu seinem Tode herausgegebenen Journal de Physique jährliche Übersichten über die Fortschritte der Naturwissenschaften, in denen die Krystallographie, getrennt von der Mineralogie, unmittelbar neben der Physik behandelt wird (!).

anerkannt worden sei infolge einer Kabale, welche immer bestrebt gewesen sei, sein Talent herabzusetzen, und fährt fort: „In diesem Lande eignen sich die Akademiker die Ideen anderer an, die nicht zu ihnen gehören, ohne sie jemals zu zitieren, und reißen sie vielmehr herunter. Deshalb halte ich es für meine Pflicht, in diesem Journal allen Gelehrten Gerechtigkeit widerfahren zu lassen.“ Nach Erwähnung der hohen Anerkennung, welche ROMÉ DELISLES Leistungen im Auslande gefunden haben, heißt es weiter: „Nicht so in Frankreich, wo, wie jedermann weiß, die Intrigue viel sicherer zu literarischen Titeln führt, als die Talente. ROMÉ DELISLE verstand es nicht, sich zur Geltung zu bringen und seine Konkurrenten herabzusetzen. Die Schande (ihn zurückgewiesen zu haben) fällt ganz auf die Akademie und auf dasjenige ihrer Mitglieder, welches, um einen Günstling zu bevorzugen, ihn als einen ‚Katalogmacher‘ bezeichnete, weil er von 1767—1782 acht Kataloge von Sammlungen veröffentlichte. Diese enthalten viele wertvolle Beobachtungen, ebenso wie die Abhandlungen über die chemischen Theorien von SAGE und über das zentrale Feuer, die selbst BUFFON anerkennen mußte, ganz zu schweigen von seinem Essai de Crystallographie.“

Unmittelbar nach den im vorhergehenden geschilderten Erfolgen HAÜYS erschien die umfangreiche Neubearbeitung der Krystallographie von ROMÉ DELISLE, in welcher er an einer Stelle seiner begreiflichen Erbitterung Ausdruck verleiht. Es handelt sich daselbst um den Begriff der „Abstumpfung“, aus welchem sich nach ihm die an einer neu entdeckten Varietät auftretenden neuen Winkel aus den die Krystallart charakterisierenden Hauptwinkeln ergeben, und dieser Begriff wird verteidigt gegen die „Krystalloklasten“, welche ihn verwerfen, weil die Natur nicht eine vorhandene Kante oder Ecke nachträglich abstumpfe. „Ich weiß auch, daß in Nachahmung des berühmten BERGMAN gewisse Physiker den Bau einiger Krystalle, welche sich leicht spalten lassen, durch Figuren und geometrische Berechnungen zu erklären suchen; aber ich glaube, statt in das Geheimnis der Mannigfaltigkeit der Anordnung der Moleküle einer Substanz eindringen zu wollen, es besser wäre, erst alle Formen, welche die Substanz anzunehmen vermag, zu studieren, weil man sonst zu Theorien kommt, welche einigen Formen entsprechen, durch andere aber widerlegt werden. So erklärt ABBÉ HAÜY, von dessen Theorien jetzt so viel Geräusch gemacht wird, den Aufbau des Granat aus rhombischen Lamellen, während ich Krystalle besitze, deren Streifung nach abnehmenden Quadraten (d. i. parallel den kurzen Diagonalen der Rhombendodekaederflächen) stattfindet, also einen Aufbau aus sechs flachen, denen des Zinnerzes ähnlichen Oktaedern (Pyramiden) andeuten würde“¹⁾.

¹⁾ Diesen Einwurf hat HAÜY in einer Anmerkung in seinem „Essai“ zu widerlegen versucht durch die Behauptung, die betreffenden Krystalle

In dem auf das Erscheinen der zweiten Auflage von ROMÉ DELISLES Krystallographie folgenden Jahre veröffentlichte HAÜY das Werk, welches allgemein als grundlegend für die Lehre von der Struktur der Krystalle angesehen wird: „Essai d'une théorie sur la structure des cristaux appliquée à plusieurs genres de substances cristallisées“ par l'ABBÉ HAÜY, de l'Acad. Roy. de Sciences, Professeur d'Humanité dans l'Université de Paris, P. 1784 (approbiert von der Akademie nach dem Bericht von DAUBENTON und DE LA PLACE), 230 Seiten, mit 8 Tafeln, und dessen Inhalt hier näher betrachtet werden soll¹⁾.

In der *Einleitung* wird zunächst hingewiesen auf die Fähigkeit der in einer Flüssigkeit suspendierten Moleküle einer Mineralsubstanz — wenn sie (wie DAUBENTON es in seinen „Leçons de Minéralogie“ treffend ausdrückt) Zeit, Raum und Ruhe haben —, sich zu regelmäßigen Formen mit ebenen Flächen zu vereinigen, deren Studium erst seit kurzem zur Erkenntnis der ihrer Regelmäßigkeit zugrunde liegenden

hätten einer anderen Substanz angehört. Meist vermeidet er aber die Erwähnung des Namens von ROMÉ DELISLE, ausgenommen in solchen Fällen, in denen er einen Irrtum desselben nachweisen zu können glaubt. Dem scheint die Angabe von POGGENDORFF in seinem Biogr.-lit. Handwörterbuch 1, S. 1038 zu widersprechen, nach welcher er einen Aufsatz über das Verdienst ROMÉ DELISLES um die Wissenschaft im Journ. des Mines veröffentlicht habe; in der Tat hat HAÜY 1796 im Journ. des Mines 4 (Ann. IV, XIV. Prair., S. 10) eine Randbemerkung unter dem Titel „Service rendu à la science par ROMÉ DELISLE“ geschrieben; diese ist aber in einer Abhandlung „Description de la Cymophane, avec quelques réflexions sur les couleurs de Gemmes“ untergebracht, und es ist das große Verdienst des Herrn Staatsbibliothekars Dr. SCHUSTER in Berlin, diese von mir übersehene Notiz aufgefunden und damit die außerordentliche Gewissenhaftigkeit POGGENDORFFS glänzend gerechtfertigt zu haben. Die Bemerkung HAÜYS lautet: „ROMÉ DELISLE trug durch seine exakten Beobachtungen über die Krystallformen, verbunden mit der Härte und dem spezifischen Gewicht, mehr als irgend jemand dazu bei, Ordnung und Genauigkeit in diesen so interessanten Teil der Lithologie zu bringen, und führte die Bedeutung eines Kennzeichens, welches bis dahin die Unterscheidung der Mineralarten nur allzusehr beeinflusst hatte, auf die eines solchen für nur leichte Modifikationen zurück, mit Hilfe deren die Natur, gleichsam spielend, von einer Varietät zur andern übergeht. Die Vollendung der Wissenschaft und die wahren Grundlagen der Klassifikation der Mineralien wird die Analyse schaffen, welche noch entscheidender ist als die Anwendung physikalischer und mineralogischer Kennzeichen, und wir haben schon eine gewisse Gewähr dessen, was uns die Anwendung dieses Instrumentes verspricht, in der geschickten Hand dessen, dem wir die Kenntnis des Urans und des Titans verdanken.“ Hiernach schreibt offenbar HAÜY die Entdeckung dieser beiden Elemente seinem Landsmann VAUQUELIN zu und beweist damit, daß er von den Forschungen KLAPROTHS, wie überhaupt von denjenigen nichtfranzösischer Gelehrter im allgemeinen keine Notiz zu nehmen für gut fand.

¹⁾ Die im folgenden (zum Teil auch im vorhergehenden) mit „“ versehenen Abschnitte geben in verkürzter Form, aber im wesentlichen mit den eigenen Worten des Verfassers, die betreffenden Sätze des Originals wieder.

Gesetze geführt hat. Diese Erkenntnis wird dadurch erschwert, daß einerseits die gleiche Substanz ganz verschiedene Formen, anderseits völlig verschiedene Stoffe die gleiche Form zeigen können. „Um diese Schwierigkeit zu überwinden, versuchte ich, den inneren Mechanismus der Struktur der Krystalle zu entwickeln, d. h. die Form der konstituierenden Moleküle und die Art, wie sie im Krystall angeordnet sind, zu bestimmen, und es wird sich im Verlauf dieses Werkes zeigen, daß diese Struktur einer kleinen Anzahl von Gesetzen unterworfen ist, deren ‚kombinierte Modifikationen‘ alle erwähnten Varietäten der Krystallformen hervorbringen.“ „Diese Zurückführung der bisher in so viele Dunkelheiten eingehüllten Krystallkunde auf eine Wissenschaft mit festen Prinzipien erfordert die Anwendung streng mathematischer Methoden unter Ausschluß jeder willkürlichen Annahme.“

„Die Grundidee der ganzen Theorie wurde mir suggeriert durch eine Beobachtung an einem mit der Basis kombinierten hexagonalen Prisma von Kalkspat, welches, zufällig von einer Druse abgebrochen, eine schiefe Spaltungsfläche zeigte; es gelang mir, durch Hervorbringen weiterer Spaltungsflächen ein die Mitte des Krystalls einnehmendes Rhomboeder herauszulösen, welches vollkommen dem isländischen Spat glich, und denselben rhomboidalen Kern fand ich in mehreren anderen Formen des Kalkspats. Ähnliche Versuche mit anderen, leicht spaltbaren Substanzen lieferten mir ebenfalls Kerne von anderer, aber für jede Substanz bestimmter Form. Daraufhin glaubte ich aus Gründen der Analogie auch für diejenigen Krystalle, deren Härte das Spalten unmöglich macht, das allgemeine Prinzip aufstellen zu können, daß jeder Krystall einen Kern enthalte, welcher die Primitivform seiner Art darstelle.“ „Den Kern spaltbarer Krystalle kann man parallel seinen Flächen weiter teilen und ebenso die umhüllende Masse des Krystalls in ebenso gestaltete Stücke, ausgenommen die Partien, welche die Ränder der abgespaltenen Lamellen bilden. Daß die letzteren eine andere Form haben müssen, geht daraus hervor, daß ein Oktaeder in kleine Würfel, ein hexagonales Prisma in kleine Rhomboeder zerlegt werden kann, soweit das Innere des Krystalls in Frage kommt, während die die Oberfläche bildende Substanz nur Teile der Primitivform liefern kann. Dies führt zu der Annahme, daß die Flächen der sekundären Formen keine wirklichen Ebenen seien, sondern treppenförmig durch Zurücktreten der einzelnen, den Krystall aufbauenden Lamellen sind und daß in manchen Fällen der Rand der Lamellen einen gezähnelten Verlauf nimmt. Nach dieser, der natürlichsten und wohl allein rationablen Hypothese würden die sich ergebenden Lücken nur scheinbar vorhanden sein, denn sie würden verschwinden, sobald man die Teilung bis zur äußersten Grenze, d. h. bis zur Isolierung der konstituierenden Moleküle, fortsetzt. Wenn man deren außerordentliche Kleinheit berücksichtigt, so sieht man leicht ein, daß, wenn alle Bedingungen einer voll-

kommen regelmäßigen Krystallisation erfüllt sind, jene Hohlräume und Ungleichheiten für unsere Sinne verschwinden müssen, bei Vorhandensein der geringsten Ursache zu Unvollkommenheiten der Krystallbildung jedoch an der Oberfläche Streifen und dergleichen auftreten müssen, welche nicht nur die Stellung der Lamellen, sondern auch ihr Zurückweichen andeuten, sowie Rauigkeiten, welche die kleinen Vorsprünge verraten, mit denen die Ränder derselben Lamellen herausragen.“

„Um die vorstehende Annahme durch die Rechnung prüfen zu können, müßte man die exakte Form der konstituierenden Moleküle kennen; durch die Spaltung erhalten wir aber nur die Winkel, nicht die Längenverhältnisse der Kanten der Primitivform. Ich habe deshalb zunächst solche Krystalle gewählt, von deren Molekülen man nicht zweifeln kann, daß sie eine vollkommen regelmäßige Gestalt haben, nämlich die wahrer Würfel beim Steinsalz, wahrer Rhomboeder beim Kalkspat. Denn wenn z. B. im zweiten Falle ein Flächenpaar größer wäre, als die beiden anderen, so müßten alle großen Flächen der den Krystall zusammensetzenden Lamellen dem größeren Flächenpaare der Primitivform, ihre Randflächen den beiden anderen Flächenpaaren entsprechen; dies ist aber nicht vereinbar mit der Struktur und der Form der sekundären Krystalle, weil bei diesen meist die auf verschiedene Flächen des Kerns aufgesetzten Pyramiden eine übereinstimmende Form besitzen. Diese symmetrische Anordnung der den Kern umhüllenden Substanz scheint mir zu beweisen, daß dieser selbst aus wahren Rhomboedern (schiefen Parallelepipeden mit gleichlangen Kanten) bestehe.“ „Nachdem so die Gestalt der Moleküle der betreffenden Substanzen bestimmt war (!), habe ich durch Rechnung gefunden, daß unter unendlich vielen möglichen Gesetzen der Dekreszenz nur eine kleine Anzahl existiert, denen die Krystalle unterworfen sind. Um eine Idee von diesen Gesetzen zu erhalten, stelle man sich den Aufbau einer quadratischen Säule aus kleinen Würfeln vor, deren unterste Schicht aus einer beliebigen Quadratzahl solcher besteht, während jede der folgenden Schichten um eine, zwei, drei oder mehr Reihen von Würfeln ringsum kleiner wird; denkt man sich diese Bausteine unendlich klein, so resultiert eine tetragonale Pyramide, deren Höhe von der Dekreszenz der aufeinander folgenden Schichten abhängt. Es gibt aber auch Fälle, in denen das Zurücktreten der Schichten nicht nach den Kanten, sondern nach den Ecken stattfindet; immer aber bilden die in jeder folgenden Lamelle ausfallenden Teile Reihen von Molekülen, deren Form genau dieselbe ist, wie die derjenigen, welche den Kern zusammensetzen. Die Existenz dieser Gesetze wird bewiesen durch die Übereinstimmung der nach ihnen berechneten Winkel mit den beobachteten. Unter der Annahme, daß sie auch für andere Krystalle gelten, bei denen die Dimensionen der Moleküle nicht bestimmt waren,

ermittelte ich die letzteren durch Rechnung, wie weiterhin gezeigt werden soll. Aber auch abgesehen von den Dimensionen der Moleküle wären jene Gesetze bewiesen, nur wüßte man nicht, ob die Dekreszenz nach einer, zwei, drei oder mehr Reihen von Molekülen stattfände, sondern nur, daß die Anzahl der Reihen in dem einen Fall z. B. doppelt so groß wäre, als im andern. Die Theorie ist also unabhängig von der Hypothese, daß die gewöhnlichsten Dekreszenzen nach einer oder nach zwei Molekülreihen statthaben, obgleich ich diese Hypothese wegen ihrer Einfachheit und deshalb für sehr wahrscheinlich halte, weil sie allein in Übereinstimmung steht mit der Struktur der sekundären Krystalle, wie ich oben bewiesen habe (!).“

„Die Aufgabe meiner Untersuchung der Krystalle und der von mir aufgestellten Theorie ist die Lösung des Problems, die genaue Form der konstituierenden Moleküle, die Art ihrer Anordnung und die Gesetze der Änderung der den Krystall bildenden Lamellen zu bestimmen. Die Lösung der ersten dieser Aufgaben hängt ziemlich häufig von der Beobachtung der Identität gewisser Winkelwerte und der absoluten Rechtwinkeligkeit gewisser Kanten ab, welche ich deshalb als richtig annahm, weil bei Grenzesetzen bekanntlich der absolute Wert der wahrscheinlichste ist; daher wir, wenn sich Differenzen zwischen den absoluten und den beobachteten Werten ergeben, die ersteren als die wahren betrachten müssen (!). Selbst wenn diese Annahme nicht ganz exakt wäre, würden die danach sich ergebenden Werte als Näherungen betrachtet werden müssen, welche von den wahren Werten nur um für unsere Sinne nicht mehr wahrnehmbare Größen abweichen. Durch den Mangel erforderlicher Daten war ich manchmal gezwungen, einen oder zwei Winkel an den Krystallen zu messen und die anderen nach geometrischen Gesetzen der gegenseitigen Abhängigkeit der Krystallwinkel daraus zu berechnen. In allen Fällen, in denen der Beobachtung eine genügende Genauigkeit zukam, habe ich die Winkel auf Sekunden berechnet, und um die Resultate der Messung mit denen der Theorie zu vergleichen, habe ich mich zu ersterer eines mit möglichster Sorgfalt konstruierten Instruments bedient; wenn sich überhaupt Differenzen ergaben, so waren sie so klein, daß sie nicht anderen Gesetzen der Dekreszenz, sondern besonderen Ursachen einer Unvollkommenheit der Krystallbildung zugeschrieben werden müssen.“

„So einfach und wahrscheinlich auch nach meiner Ansicht die Anschauungen sind, zu denen ich gelangte, so hätte ich mich doch nicht auf mein eigenes Urteil verlassen, wenn ich nicht die Zustimmung meines Lehrers DAUBENTON, dessen Vorlesungen beweisen, daß ihm keinerlei Unklarheit entgeht, und für die Anwendung der Geometrie den Rat BEZOUTS gefunden und wenn nicht G. DE LA PLACE mir gestattet hätte, ihm meine Theorie auseinanderzusetzen, so daß ich die genannten Autoritäten zu meinen Gunsten anführen kann.“

„Als ich mein Studium über die Struktur der Krystalle begann, hatte ich Gelegenheit, eine Abhandlung über die Krystallisation von BERGMAN in den Memoiren der Akademie zu Upsala von 1779 (irrtümlich statt 1773!) zu lesen, in welcher die Ausbildung verschiedener Krystalle auf die Form des isländischen Spates bezogen wird, nämlich diejenige mehrerer Kombinationen von Kalkspat, Hyazinth, Granat, Schörl und Schwefelkies¹⁾. Richtig ist dagegen die Erklärung des Kalkspatskalenoeders, und wenn der Verfasser ebenso bei den anderen Krystallen verfahren wäre, statt rein hypothetische Begriffe aufzustellen, so würde sein Verdienst, zuerst befriedigende Ansichten über die Struktur der Krystalle geäußert zu haben, von vollständigem Erfolg gekrönt worden sein. Seitdem hat BERGMAN in seine „Opuscula“ dieselbe Abhandlung in erweiterter Form aufgenommen und durch Ansichten über die Bildung der ersten Krystallmoleküle ergänzt, welche jedoch in keiner Beziehung zu der Art stehen, in der ich die Krystallisation betrachte.“

„In den beiden ersten Artikeln des vorliegenden Werkes werden nun die Prinzipien dargelegt, welche der Theorie der Krystallstruktur zugrunde liegen, und an Beispielen der einfachsten Formen erläutert; in den folgenden Abschnitten wird die Theorie angewandt auf Kalkspat, Baryt, Flußspat, Gyps, Granat und Topas.“

i. Artikel. *Über die Struktur der Krystalle im allgemeinen und über die Existenz der in jedem eingeschlossenen Primitivform.*

„Als konstituierende Moleküle werden diejenigen betrachtet, welche in der Lösung vorhanden sind und sich infolge anziehender Kräfte im Krystall zu regelmäßigen Polyedern vereinigen. Unter den verschiedenen Formen einer Substanz ist die Primitivform diejenige, von der die übrigen als bloße Modifikationen abzuleiten sind, ihre Wahl ist also keine willkürliche, sondern durch die Natur gegeben, wie die eines wahren Würfels beim Steinsalz, eines regulären Oktaeders beim Flußspat, eines rhomboidalen Parallelepipeds bei anderen Krystallarten. Alle anderen Formen werden als sekundäre bezeichnet.“ „Alle Krystalle einer Art, welche deutliche Spaltbarkeit zeigen, liefern den gleichen Kern, daher man dieses Gesetz auch für diejenigen annehmen muß, welche sich ihrer Härte wegen nicht spalten lassen.“

„Löst man an allen Ecken eines Flußspatwürfels oktaedrische Lamellen ab und setzt dies fort, bis die Spaltungsflächen sich in den Mittelpunkten der Würfelflächen schneiden, so resultiert das reguläre Oktaeder als Kern, welchen man nach seinen eigenen Flächen weiter spalten kann. Da diese Operation an jeder Stelle vorgenommen werden kann, existiert dieser Kern eigentlich überall im Krystall, aber es scheint mir für das Verständnis der Struktur richtiger, die Primitivform als die, die

¹⁾ Wie S. 12 erwähnt, stimmt dies nicht ganz mit dem Wortlaut des BERGMANSchen Textes überein.

Mitte eines jeden Krystalls gleicher Art einnehmende Fundamentalpartie anzusehen, an welche sich die übrige Substanz in verschiedener Weise angelagert hat, je nach der Varietät, welcher der Krystall angehört. Da auch die kleinsten Krystalle einer Flußspatdruse die Würfelform zeigen und häufig die Schichten von verschiedener Färbung oder Durchsichtigkeit den Aufbau nach den Würfelflächen erkennen lassen, so glaube ich, daß stets zuerst ein unsichtbarer Würfel entsteht, der aber schon ein kleines Oktaeder als Kern enthält, welches sich gleichzeitig mit dem ganzen Krystall vergrößert, so daß beide immer dasselbe Größenverhältnis zueinander bewahren. Wenn ich also von Lamellen spreche, so meine ich damit nur die Struktur, ohne Rücksicht auf die Bildung des Krystalls. Die Ansichten, auf welche diese Unterscheidung sich gründet, werden weiterhin entwickelt werden, ebenso die Art, wie sich das Wachstum der Krystalle mit ihrer Struktur zu verbinden scheint.“

2. Artikel. *Dekreszenzgesetze, denen die einen Krystall aufbauenden Lamellen beim Übergang von der primitiven zu den sekundären Formen unterworfen sind.*

„Die Existenz der Primitivform in den sekundären Krystallen verschafft uns die Einsicht in eine bereits von mehreren Autoren, aber ohne klaren Beweis, behauptete Tatsache, daß alle Varietäten einer Krystallart sich von einer einzigen Form ableiten, deren Änderungen von dem Einflusse abhängen, welchen besondere Umstände auf das primitive Gesetz der Krystallisation ausüben. Das Studium der Struktur der bei der Bildung der sekundären Formen zum Kern hinzutretenden Teile führt zur Feststellung der Gesetze der Dekreszenz der sie zusammensetzenden Lamellen, auf Grund deren man die Gestalt der konstituierenden Moleküle exakt bestimmen und die Winkel aller primitiven und sekundären Formen genau berechnen kann.“

Als einfaches Beispiel wird nun der Aufbau der Pyramidenwürfel eines hexaedrisch spaltbaren Krystalls, wie Steinsalz, aus abnehmenden Lamellen erläutert und erwähnt, daß dieser Aufbau sich auch auf den Rhombendodekaederflächen anderer, wegen ihrer Härte nicht spaltbarer Krystalle durch Streifung nach der kurzen Diagonale verrate, daß die Natur dieser Krystalle (es sind offenbar die von ROMÉ DELISLE erwähnten, s. S. 20, gemeint) jedoch noch nicht sicher bestimmt sei, während der Granat, der ebenfalls das Rhombendodekaeder zeige, eine ganz andere Struktur besitze. Als Beispiel der Abnahme der Lamellen nach den Ecken (statt, wie im vorigen Falle, nach den Kanten) wird das oktaedrische Steinsalz betrachtet, aus welchem man den hexaedrischen Kern erhält, wenn man an allen sechs Ecken des Oktaeders bis zum Verschwinden seiner Flächen Lamellen abtrennt, deren Ränder natürlich anfangs ganz, später nur noch teilweise von Oktaederflächen gebildet werden, daher ihre vorherrschenden Ebenen durch die beiden

dazu senkrechten Spaltungsflächen an den betreffenden Rändern nur in halbe Quadrate (gleichschenkelige Dreiecke) geteilt werden. „Da nach der halbierenden Ebene eine Trennung nicht ausführbar ist, müßte man annehmen, daß die betreffenden Teile des Krystalls aus zweierlei Molekülen bestehen, was sehr unwahrscheinlich ist. Diese Schwierigkeit wird behoben durch eine viel einfachere und naturgemäße Hypothese, welche außerdem durch Beobachtung und Berechnung bestätigt wird; diese besteht in der Annahme von Subtraktionen von Molekülen oder Krystallen, welche vollkommen denen des Kernes gleichen, in der Dekreszenz der sich anlagernden Lamellen, d. h. daß jede folgende Lamelle an den Kanten oder an den Ecken um eine oder zwei, selten drei Reihen konstituierender Moleküle weniger hat, als die vorhergehende; denn ich habe bald das eine, bald das andere dieser Dekreszenzgesetze beobachtet. Denken wir uns z. B. auf den hexaedrischen Kern eines Steinsalzkrystalls quadratische Lamellen aufgelegt, deren jede durch Subtraktion einer einfachen Reihe von Molekülen exakt kubischer Form an den Kanten entsteht, so wird jede der entsprechenden Rhombendodekaederflächen die Summe aller ein- und ausspringenden Kanten darstellen, welche, wegen der Kleinheit der konstituierenden Moleküle, einander unendlich genähert, den Anblick einer Ebene darbieten. Dasselbe gilt für eine Subtraktion von zwei Molekülreihen, nur daß dann die entstehende quadratische Pyramide nur die halbe Höhe hat usf. In Wirklichkeit wird aber der treppenartige Aufbau der sekundären Flächen für unsere Sinne nicht wahrnehmbar sein, wenn die Natur ihr Werk vollkommen vollenden konnte; wurde jedoch die Krystallisation durch irgendeine zufällige Ursache gestört, so verraten sich die Unregelmäßigkeiten durch deutliche Streifung der sekundären Flächen, wie sie so häufig beobachtet wird. Betrachtet man nun den zweiten Fall, den des oktaedrischen Steinsalzes, so müssen hier in der ersten auf je einer Fläche des Kernes aufgelagerten hexaedrischen Lamelle die vier an den Ecken liegenden Moleküle subtrahiert werden, in der zweiten an jeder Ecke die beiden benachbarten, auf der dritten drei anstoßende in einer Diagonale gelegene usf., bis in der letzten Lamelle nur das mittelste Molekül übrig bleibt; die Ränder der Lamellen werden also immer mehr überwiegend, weiterhin nur noch von Molekülreihen gebildet, welche den Diagonalen der Würfelflächen entsprechen, und da die Moleküle von äußerster Kleinheit sind, müssen alle in je einer der Oktaederflächen liegenden Ecken eine scheinbar einheitliche Ebene bilden, deren Lücken jedoch im Falle unvollkommener Krystallisation mit der Lupe erkannt werden können.“ „Die von uns ausgeführten Trennungen täuschen uns also über die wahre Struktur in einem wesentlichen Punkte, indem sie uns zweierlei Partikel zu liefern scheinen. Aber der letzte dieser Teile ist immer noch zusammengesetzt, und bei fortgesetzter Teilung werden die Dreiecke an den Rändern der

Lamellen immer kleiner; endlich würden sie ganz verschwinden, wenn unser Instrument und unsere Sinne fein genug wären, um uns zu gestatten, die mechanische Teilung bis zu dem Punkt fortzusetzen, wo eine Teilung nicht mehr möglich ist¹⁾“.

„Diese Theorie wird bestätigt durch die leichten und natürlichen Erklärungen, welche sie uns für gewisse Krystallisationserscheinungen liefert, und durch die Übereinstimmung der aus der Dekreszenz der Lamellen berechneten Winkel mit den beobachteten, wie ich sogleich durch einige einfache Anwendungen auf die oben erwähnten Krystalle zeigen werde.“

Es folgt nun zunächst ein umständlicher (übrigens durch einige Druckfehler und einen Zeichnungsfehler der zugehörigen Figur entstellter) Beweis dafür, daß bei der Dekreszenz nach den Kanten um eine Molekülreihe die entstehenden Flächen der auf benachbarten Ebenen des Kernwürfels aufgesetzten Pyramiden paarweise in eine Ebene (die des Rhombendodekaeders) fallen, wobei als wichtiges Hilfsmittel der Beweisführung das als „triangle mensurateur“ bezeichnete rechtwinkelige Dreieck benutzt wird, dessen Katheten die Höhe und die Breite der Treppenstufen der Pyramidenflächen sind, zwei Größen, welche in diesem Falle im Verhältnis 1 : 1 stehen. „Dieses Zusammenfallen benachbarter Pyramidenflächen, welches so oft beobachtet wird, ist zunächst auffallend, da unter den vielen verschiedenen Neigungen der Pyramidenflächen dieser besondere Fall eigentlich sehr selten sein sollte; jetzt begreift man aber, warum er im Gegenteil der gewöhnliche ist, denn er entspricht dem einfachsten Dekreszenzgesetze.“ — In ebenso umständlicher Weise wird dann die oben betrachtete Dekreszenz nach den Ecken des Würfels behandelt; hier entsprechen die Katheten des „triangle mensurateur“ der Seite und der Diagonale der Elementarwürfel, stehen also im Verhältnis $1 : \sqrt{2}$; daraus folgen dann die Neigung der Oktaederfläche und der Kantenwinkel des Oktaeders (60°). „Die

¹⁾ Es ist klar, daß durch diese Betrachtung die oben erwähnte Schwierigkeit in keiner Weise behoben ist. Überdies würde auf die oben geschilderte Art des Aufbaues von oktaedrischem Steinsalz kein Oktaeder entstehen, sondern ein Gebilde, in welchem auf dem Kernwürfel sechs Fortwachsungen aufgesetzt sind, deren jede von vier zur Basis senkrechten halben Quadraten (Würfelflächen) und von vier in einer Ecke zusammenstoßenden Oktaederflächen gebildet wird (ebensowenig entsteht ein Würfel durch Wachstum des Kerns bei gleichbleibender Größe und Gestalt der aufgelagerten Lamellen, sondern ein Gebilde, bestehend aus dem Kern und sechs auf seine Flächen aufgesetzten ebenso großen Würfeln). Die in einem solchen Gebilde verbleibenden Lücken müßten durch Fortwachsen der benachbarten Teile der aufgelagerten Lamellen ausgefüllt werden, und zwar erfordert die Symmetrie des Krystalls, daß die einander entsprechenden Ränder zweier benachbarter Lamellen wachsen bis zu der ihren Winkel halberenden Rhombendodekaederebene, d. h. zur Erklärung der Flächen der Sekundärformen muß die Bildung von sekundären Flächen angenommen werden!

Genauigkeit, mit welcher man mit Hilfe der Theorie die in runden Zahlen ausgedrückten Winkel, wie sie sich schon durch den bloßen Anblick mit unendlich großer Wahrscheinlichkeit ergeben, findet, stellt die Resultate der Berechnung, angewendet auf solche Winkel, die sich nur durch Grade, Minuten und Sekunden ausdrücken lassen, sicher. Wir werden weiterhin mehrfach derartige Auswertungen benutzen, um das Verhältnis der Dimensionen der konstituierenden Moleküle zu bestimmen, wenn diese sich nicht aus der Struktur der Krystalle ergeben.“

„Ogleich ich bisher nur Dekreszenzen beobachtet habe, welche auf der Subtraktion von einer oder zwei Reihen von Molekülen beruhen, sehr selten von drei Reihen, so ist doch möglich, daß es auch Krystalle gibt, in denen jedesmal vier, fünf oder noch mehr Molekülreihen wegfallen, die aber um so seltener sein müssen, je mehr sie sich von dem einfachsten Gesetze der Dekreszenz entfernen, von welchem wir sahen, daß es das am häufigsten verwirklichte ist. Das Resultat aller vorhergehenden Betrachtungen besteht also darin, daß ein Krystall ebenso viele verschiedene Formen anzunehmen imstande ist, als die ihn zusammensetzenden Lamellen verschiedenen Dekreszenzen an ihren Kanten oder Ecken unterworfen werden können in der Weise, daß die Seiten oder Ecken der kleinen randlichen Moleküle in einem Niveau liegen. Dadurch wird die Zahl der sekundären Formen notwendig eine begrenzte, während bei beliebiger Verstümmelung des Krystalls ohne Rücksicht auf seine Struktur sich eine unendliche Anzahl von verschiedenen Formen ergeben würde.“

Aus der vorstehenden Wiedergabe des wesentlichen Inhaltes des zweiten Abschnittes geht deutlich hervor, wieweit HAÜY noch von einer klaren Erkenntnis des irrtümlich nach ihm benannten Grundgesetzes der geometrischen Krystallographie entfernt war, und was die von ihm als besonders wichtigen Beweise seiner Theorie angeführten Berechnungen der Winkel betrifft, so sind die hier gegebenen wegen der Einfachheit der gewählten Fälle überflüssig, sie sind aber wenigstens richtig, was bei denen des folgenden Abschnitts nicht mehr zutrifft.

3. Artikel. *Anwendung auf die Krystalle des Kalkspats.*

Hier wird nun die durch Spaltung bewirkte Zerlegung des isländischen Doppelspats, welcher irrtümlich als die durch die vollkommenste Krystallisation entstehende Form des Kalkspats betrachtet wird, und dann zunächst die der häufigsten sekundären Form, des stumpfen Rhomboeders $\{110\}$, in derselben Weise beschrieben, wie in der früheren Abhandlung (S. 16 bis 18). Die letztere Form entsteht, analog dem Rhombendodekaeder bei kubischer Struktur, durch Dekreszenz um eine Molekülreihe an den stumpfen Kanten des Kernrhomboeders; „zugleich wachsen die Lamellen aber auch seitlich über den Kern hinaus, da der Krystall ja auch an den Mittelkanten des Rhomboeders wächst, und es ist leicht zu begreifen, daß dies in derselben Weise stattfindet,

wie bei einem einfachen Rhomboeder von isländischem Spat, welcher sein Volum vergrößert, ohne die Form zu ändern. Es gibt also in dieser Beziehung keine Schwierigkeit.“ Es wird nun durch Figuren erläutert, wie die sich auf den Kern auflagernden Lamellen durch seitlich anlagerte rhomboedrische Moleküle vergrößert werden müssen, damit die Summe der Lamellen der Oberseite und der Unterseite die sekundäre Form $\{110\}$ bilden. Fertigt man aber nach dieser Anleitung ein Modell, so überzeugt man sich auch in diesem Falle, daß hierbei Lücken entstehen, deren Ausfüllung durch Lamellen, welche die Winkel des Grundrhomboeders besitzen, nur möglich ist, wenn man für die Randflächen eine teilweise Begrenzung durch Ebenen von Sekundärformen annimmt. Es liegt hier derselbe Irrtum vor, welcher S. 28 (Anmerkung) erwähnt wurde, daß nämlich die Vergrößerung des Volumens eines Würfels ohne Änderung seiner Form erfolge durch Auflagerung hexaedrischer Lamellen, während es hierzu doch der Flächen des Rhombendodekaeders als seitlicher Begrenzung der Lamellen bedarf. Der vorliegende Fall des Kalkspats, den HAÜY als einen der günstigsten bezeichnet, um seine Theorie zu beweisen, lehrt also ebenfalls, daß diese Theorie die Existenz der sekundären Flächen, die sie beweisen soll, vorauszusetzen genötigt ist.

Den Erörterungen der beiden erwähnten Kalkspatformen, sowie den darauffolgenden der Kombination des stumpfen Rhomboeders $\{110\}$ mit sechs gleichschenkelig dreieckigen Flächen von $\{211\}$ (sogenannten Zweckendrusen der sächsischen Bergleute) und der gleichen Kombination mit vorherrschendem hexagonalem Prisma erster Art, dessen Flächen durch Dekreszenz um zwei Molekülreihen zustande kommen, fügt nun HAÜY berechnete Werte aller an diesen Krystallen vorkommenden Kantenwinkel bei, und zwar sämtlich berechnet auf Sekunden. Nach seiner Angabe diene ihm als Grundlage zu deren Berechnung eine Beobachtung an der Kombination des hexagonalen Prismas mit der Basis (s. S. 18); als er nämlich an einer der Seiten des basischen Hexagons ein Spaltungsstück abtrennte und dann um die Normale der Trennungsebene 180° gedreht wieder auflegte, konnte er nicht die kleinste Verschiedenheit der Stellung der beiden hierbei vertauschten Ebenen wahrnehmen und schloß daraus als sehr wahrscheinlich, daß die Neigung der Spaltungsebene gegen die Flächen von Prisma und Basis genau gleich groß, also $45^\circ 0' 0''$ sei¹⁾. Aus diesem irrtümlichen

¹⁾ In Wirklichkeit beträgt der Winkel $\{111\} : \{100\}$ bei gewöhnlicher Temperatur $44^\circ 36\frac{1}{2}'$; derjenige, welchen bei obigem Versuch HAÜYS eine Fläche der Basis mit einer des Prismas bildet, also mehr als $\frac{3}{4}^\circ$, d. h. eine immerhin merkbare Größe. Berechnet man aus FIZEAUS Werten der thermischen Ausdehnungskoeffizienten die Temperatur, bei der jener Winkel 45° beträgt, so ergibt sich, daß man den Kalkspat hierzu auf nahe 900° erhitzen müßte. Offenbar ist der Irrtum HAÜYS entstanden durch die vorgefaßte Meinung der notwendigen absoluten Gleichheit zweier ähnlicher Winkel, zu der ihn die S. 24 erwähnte Ansicht über „Grenzgesetze“ geführt hat.

Wert ergibt sich das Verhältnis der kurzen und der langen Diagonale des Rhombus der Primitivform zu $\sqrt{2} : \sqrt{3}$, und daraus werden nun die oben erwähnten Kantenwinkel des Grundrhomboeders wie die aller übrigen Kalkspatformen berechnet, welche somit, trotz ihrer scheinbaren Genauigkeit auf Sekunden, sämtlich unrichtig sind.

Das gleiche gilt natürlich auch für die berechneten Winkel der dann folgenden Kalkspatformen, des gewöhnlichen Skalenoeders $\{20\bar{1}\}$ und des spitzen Rhomboeders $\{11\bar{1}\}$. Wie schon in BERGMANS Abhandlung angegeben ist, entsteht die erstere durch Dekreszenz an den Mittelkanten, und zwar, wie HAÜY exakt beweist, durch Subtraktion von zwei Molekülreihen (bei dem vorher behandelten Prisma findet die Dekreszenz nicht nach den Kanten, sondern nach den Mittelecken statt). Das spitze Rhomboeder, dessen Polkanten von den Spaltungsebenen gerade abgestumpft werden, entsteht aus dem Grundrhomboeder durch Subtraktion einer Molekülreihe an den Seitenecken des letzteren und die im vorhergehenden erwähnte Basis ebenfalls durch einfache Dekreszenz, aber von den Polecken des Grundrhomboeders aus. Man vermißt hier den Fall der Subtraktion einer Molekülreihe an den Seitenkanten, welcher zu dem hexagonalen Prisma zweiter Art $\{10\bar{1}\}$ führt, dessen diesbezügliche Ableitung vom Grundrhomboeder in der Figur BERGMANS gegeben ist, der es aber, wie HAÜY wohl richtig vermutet, mit dem hexagonalen Prisma erster Art verwechselt hat. Es bleibt aber seltsam, daß HAÜY diese Form, die doch nach seiner Theorie derjenigen des Skalenoeders, dessen Mittelkanten sie abstumpft, ihrer Einfachheit wegen vorgehen müßte, nicht erwähnt, denn wenn, wie er so oft betont, die Einfachheit des Dekreszenzgesetzes für die Entstehung einer Krystallfläche ausschlaggebend wäre, so müßte die Reihenfolge der wichtigsten Formen die folgende sein: 1. Das primäre Rhomboeder (Dekreszenz Null), 2. das negative Rhomboeder mit halber Hauptachse (Subtraktion *einer* Molekülreihe an den Polkanten des Grundrhomboeders), 3. das hexagonale Prisma zweiter Art (Subtraktion *einer* Molekülreihe an den Mittelkanten), 4. die Basis (Subtraktion *einer* Molekülreihe an den Polecken), 5. das negative Rhomboeder mit doppelter Hauptachse (Subtraktion *einer* Molekülreihe an den Mittelecken), 6. die hexagonale Dipyramide zweiter Art mit $\frac{2}{3}$ der Hauptachse des Grundrhomboeders (Subtraktion *zweier* Molekülreihen an den Polkanten), 7. das Skalenoeder mit der dreifachen Hauptachse (Subtraktion *zweier* Molekülreihen an den Mittelkanten), 8. das positive Rhomboeder mit $\frac{1}{4}$ der Hauptachse des Grundrhomboeders (Subtraktion *zweier* Molekülreihen an den Polecken), 9. das hexagonale Prisma erster Art (Subtraktion *zweier* Molekülreihen an den Mittelecken). In Wirklichkeit ist aber bekanntlich die Reihenfolge der Kalkspatformen eine ganz andere.

4. Artikel. *Anwendung auf die Krystalle des Schwerspats.*

Als Primitivform wird die Kombination des Flächenpaares der vollkommenen Spaltbarkeit mit denen der beiden deutlichen und als Form der konstituierenden Moleküle ein Parallelepipid mit zwei Rhomben und vier Quadraten als Seitenflächen angenommen. Da die Winkel des Rhombus zufällig sehr nahe dieselben sind, wie die von ihm angenommenen Kantenwinkel des Kalkspatrhomboeders, und er beim Auflegen einer Spaltungslamelle von Schwerspat auf eine solche von Kalkspat keinen Unterschied der Kantenwinkel wahrnehmen konnte, nimmt HAÜY den Winkel des Rhombus genau gleich $101^{\circ} 32' 13''$ an und berechnet auf Grund dieser Annahme die Winkel anderer Barytformen, und zwar hier ebenso wie beim Kalkspat, auf Sekunden. So findet er für die gewöhnlich vorherrschende prismatische Form des Schwerspats, welche sich von der Primitivform durch Dekreszenz von zwei Molekülreihen ableitet, $76^{\circ} 39' 27''$ statt $77^{\circ} 44'$ und für das am Cölestin von Girgenti herrschende, durch Dekreszenz nach einer zu jener senkrechten Molekülreihe entstehende Prisma $104^{\circ} 28' 38''$ statt $105^{\circ} 24'$ (beim Cölestin, der, wie die Fundortsangabe zeigt, hier mit dem Baryt verwechselt wurde, beträgt dieser Winkel $104^{\circ} 8'$).

5. Artikel. *Anwendung auf die Krystalle des Flußspats.*

Hier kann nach HAÜY die wahre Gestalt der konstituierenden Moleküle nur durch eine „Konjektur“ bestimmt werden. Während nämlich bei allen anderen Krystallen die Primitivform durch Spaltbarkeit in gleichgestaltete kleine Krystalle zerlegt werden kann, ist dies bei der Primitivform des Flußspates, dem regulären Oktaeder, nicht möglich; z. B. erhält man durch Spalten von den Mitten seiner Kanten aus sechs Oktaeder und acht Tetraeder, von denen jedes wieder in vier kleinere Tetraeder (Volum je $\frac{1}{8}$) und ein Oktaeder mit dem Volum $\frac{1}{2}$ zerlegt werden kann usf.; man kann aber auch aus der Primitivform spitze Rhomboeder mit dem Kantenwinkel 60° erhalten, deren jedes aus einem Oktaeder und zwei Tetraedern besteht, und auf keine Weise gelingt es, nur Tetraeder daraus zu erhalten. Um nun nicht annehmen zu müssen, daß der Flußspat, entgegen den bisher betrachteten Krystallen, aus zweierlei Molekülen bestehe, macht HAÜY die Konjektur, daß eine der beiden Arten von Molekülen, entweder die oktaedrischen oder die tetraedrischen, gar nicht vorhanden seien, daß aber die durch ihr Fehlen im Krystall hervorgebrachten Hohlräume ihrer Kleinheit wegen nicht wahrzunehmen seien. Um die gewöhnliche Form, den Würfel, als sekundäre aus dem Oktaeder abzuleiten, muß er dementsprechend annehmen, daß sich auf die Oktaederflächen des Kerns Lamellen auf-lagern, bestehend aus abwechselnden Reihen von Elementaroktaedern und -tetraedern, von denen aber die eine Art aus Hohlräumen besteht. „Die Ränder der Lamellen sind daher von einer Reihe von Spitzen gebildet, was man auf den Würfelflächen bemerken würde, wenn unsere

optischen Instrumente genügend vollkommen wären.“ Danach müßten die Oktaederflächen des Flußspats stets glänzender und vollkommen eben sein, verglichen mit denen des Würfels, während gerade das Umgekehrte der Fall ist.

6. Artikel. *Anwendung auf die Gypskrystalle.*

Als Primitivform wird angenommen die Kombination der Ebene vollkommenster Spaltbarkeit $\{010\}$ mit denen zweier dazu senkrechter, weniger vollkommener $\{\overline{101}\}$ (Faserbruch) und $\{100\}$ (muscheliger Bruch). Die gewöhnliche Kombination $\{010\}$, $\{111\}$, $\{110\}$ wird als Sekundärform davon abgeleitet und auf Grund der Annahme gleicher Dekreszenzgesetze, wie bei den vorhergehenden Krystallarten, und aus angenäherten Messungen der Winkel $(101) : (100)$, $(\overline{101}) : (100)$ und $(111) : (\overline{111})$ berechnet, daß an dem die Primitivform darstellenden geraden rhomboidischen Prisma die beiden Seitenkanten und die Höhe sich verhalten, wie 12 : 13 : 32. Das Auftreten gerundeter Flächen an den stumpfen Ecken der gewöhnlichen Gypskombination bis zur vollständigen Verdrängung der übrigen Flächen, wie sie in der bekannten Linsenform vorliegt, wird als eine Wirkung unvollkommener und überstürzter Krystallisation angesehen. Der Artikel schließt mit einer eingehenden Erörterung der Fehler, welche die ältere Beschreibung der Gypskrystalle von LA HIRE (1710) enthält, während nicht erwähnt ist, daß inzwischen (1783) die ausführliche und im wesentlichen richtige Beschreibung aller wichtigen Kombinationen einfacher und verzwillingter Gypsformen von ROMÉ DELISLE erschienen war.

7. Artikel. *Anwendung auf die Krystalle des Granats.*

Das Rhombendodekaeder als Primitivform wird hier, ebenso wie in der ersten Abhandlung (s. S. 14), aus vier Rhomboedern zusammengesetzt gedacht, aber jedes dieser Rhomboeder könnte, wenn der Granat nach den Dodekaederflächen spaltbar wäre, zerlegt werden in sechs gleiche Tetraeder, deren Flächen die Gestalt gleichschenkeliger Dreiecke, nämlich der durch die kurze Diagonale getheilten Hälften der Rhomben der Primitivform besitzen. „Diese Tetraeder scheinen mir nun die wahren konstituierenden Moleküle des Granats zu sein, weil man sonst nicht in befriedigender und der Theorie entsprechender Weise die Dekreszenzen beim Übergang des Rhombendodekaeders zu den sekundären Formen erklären könnte.“ Das gewöhnliche Ikositetraeder entsteht als sekundäre Form durch Auflagerung von Lamellen auf die Primitivform, wie man sie von einem Rhombendodekaeder ablösen könnte, wenn nach dessen Flächen Spaltbarkeit vorhanden wäre, durch Dekreszenz einer Reihe von Molekülen, falls deren Gestalt rhomboidisch angenommen wird, wobei aber immer ein nur aus Tetraedern bestehender Rest bleibt; deshalb wird die letztere Form als diejenige der Moleküle angenommen, für deren Dekreszenz sich aber notwendig dann die weniger einfache nach zwei Reihen ergibt. Wenn die Auf-

lagerung der Lamellen auf den Rhombenflächen des Kerns unterbrochen wird, ehe die Spitze der entstehenden Pyramide erreicht ist, so entsteht die Kombination des Ikositetraeders mit dem Rhombendodekaeder. — Die von HAÜY für den Granat nur theoretisch angenommene Teilbarkeit beobachtete er nun tatsächlich an den Krystallen der Zinkblende und erklärt daher deren Struktur als absolut identisch mit derjenigen der Granatkrystalle.

8. Artikel. *Anwendung auf den Topas von Brasilien und Sachsen.*

Als Primitivform wird angenommen die Kombination des Prismas $\{110\}$ von $124\frac{1}{2}^\circ$ (gemessen) mit der Spaltungsebene $\{001\}$. Beschrieben und (allerdings meist ganz verunglückt) abgebildet werden die an den beiderlei Fundorten häufigsten Kombinationen der Formen: $\{110\}$, $\{120\}$, $\{112\}$, $\{011\}$, $\{001\}$, $\{021\}$ und $\{113\}$. Gemessen wurden ferner die Winkel $(112) : (110)$ und $(011) : (001) = 136^\circ$. Unter der Annahme, daß diese beiden Winkel identisch seien und unter der fernerer Annahme, daß die Dekreszenz statffinde nach einer einfachen Molekülreihe für $\{021\}$, nach zwei Reihen für $\{011\}$, nach ebensoviel für $\{112\}$ und nach drei Molekülreihen für $\{113\}$, werden dann die Dimensionen der konstituierenden Moleküle und die an den angeführten Formen auftretenden Winkel der Kombinationskanten berechnet, hier jedoch nur mit einer Genauigkeit auf Minuten.

9. Artikel. *Anwendung auf den krystallisierten Sandstein von Fontainebleau.*

Wie der Verfasser bereits 1783 der Akademie mitteilte, zeigen die Krystalle die Form des spitzen Rhomboeders $\{1\bar{1}\bar{1}\}$ und spalten ebenso wie diejenigen des Kalkspats, wenn auch etwas gestört durch die eingelagerten Sandkörner. „Die Quarzsubstanz trägt also nichts zur Form der Krystalle bei, aber ihre Moleküle, zu wenig voneinander getrennt, um einer wahren Krystallisation fähig zu werden, sind nur einbezogen und gewissermaßen unterworfen worden durch die des Kalkspats, welche allein den zum Krystallisieren nötigen Grad von Winzigkeit besitzen.“

10. Artikel. *Beobachtungen und Betrachtungen über die Bildung und über das Wachstum der Krystalle.*

Wie schon bemerkt (s. S. 18), bleibt die Form der Krystalle vom Beginn ihrer Bildung an unverändert, solange sie unter gleichbleibenden Verhältnissen fortwachsen. „Man muß daher bei einem sekundären Krystall unterscheiden zwischen seiner Struktur und seinem Wachstum, welches im allgemeinen in einem der ersteren entgegengesetzten Sinn verläuft. Z. B. sind bei den Würfeln des Flußspats die die Struktur bestimmenden Lamellen parallel den Oktaederflächen, während das Wachstum nach den Würfelflächen statffindet. Die Ursache hierfür ist, daß die nacheinander abgesetzten Schichten keine glatten Ebenen sein können, sondern notwendig aus den Ecken kleiner Oktaeder oder

Tetraeder bestehen müssen (s. S. 32). Infolgedessen greifen die Zacken der einen Schicht in die der nächsten ein, und da das Messer dem fortwährenden Wechsel der Richtung der Grenze beider nicht zu folgen vermag, ist es nicht möglich, den Krystall nach der Würfelfläche zu spalten. Eine einfache Betrachtung beweist, daß das Wachstum der Krystalle meist in der angegebenen Weise erfolgt. Die Krystallisation einer Substanz in einer bestimmten Form findet notwendig infolge einer besonderen Ursache statt oder vielmehr infolge einer Änderung der allgemeinen Ursachen, welche diese Operation der Natur bedingen. Es kann z. B. eine bestimmte Ausbildung der Krystalle teilweise verursacht sein durch die Beschaffenheit der Flüssigkeit, in welcher sie entstehen, oder: die letztere Ursache wirkt nur, wenn die Moleküle einander so angenähert sind, daß sie sich zum Elementarkrystall vereinigen können, der, anfangs unendlich klein, sich einfach vergrößert, ohne seine Form zu ändern. Als Beispiel möge das gewöhnlichste Skalenoeeder des Kalkspats betrachtet werden. Der kleinste Kern, welcher diese sekundäre Form liefern kann, besteht aus 27 rhomboedrischen Molekülen, d. h. jede Fläche desselben besteht aus 9 Rhomben der Primitivform. Da die Dekreszenz in diesem Falle nach zwei Reihen von Molekülen stattfindet (s. S. 31), so müssen sich auf die drei eine Polecke des Kerns bildenden drei Elementarrhomben drei neue Rhomboeder, zwischen diese drei weitere und über der bisherigen Polecke ein siebentes auflagern, so daß das Element des sekundären Krystalls aus $41 = 27 + 7 + 7$ kleinen Rhomboedern besteht. Wenn dieser Körper nach demselben Gesetze unter kleinstmöglicher Substanzzunahme weiterwächst, so wird der Kern im nächsten Stadium eine Zusammensetzung aus $5^3 = 125$ Molekülen (25 Rhomben auf jeder Fläche) annehmen und sich an jeder seiner Polecken mit kleinen Rhomboedern bedecken; der nun entsprechend vergrößerte Kern im dritten Stadium (7^3) mit $91 + 37 + 7$ usw.; allgemein wird in der n -ten Wachstumsperiode an jeder der beiden Polecken eine Zunahme um $12n^2 - 6n + 1$ Moleküle stattfinden. Wenn zugleich mit der Dekreszenz um zwei Molekülreihen nach den Mittelkanten des Grundrhomboeders auch eine solche nach den Polkanten stattfindet, so wäre die Anzahl der Moleküle des Elementarkerns entsprechend größer anzunehmen, immer aber die kleinstmögliche von der entstehenden Sekundärform erforderte; wenigstens ist diese Annahme ihrer Einfachheit wegen die wahrscheinlichste.“

Den Schluß des Artikels bilden Betrachtungen über die Wirkung der möglichen Kombinationen verschiedener Dekreszenzgesetze, deren Zahl wegen der Einfachheit der letzteren eine beschränkte sein muß. Eine Lamelle z. B., welche auf einen aus einer kubischen Anzahl von Molekülen bestehenden Kern von Kalkspat aufgelagert wird, kann Dekreszenz erfahren: an ihrer Polecke, an ihrer gegenüber liegenden Seitenecke,

an den beiden anderen Seitenecken, an den Polkanten, endlich an den Mittelkanten; schon wenn das betreffende Dekreszenzgesetz auf ein oder zwei Molekülreihen beschränkt wird, ergibt sich eine große Zahl von Möglichkeiten, je nachdem von jenen Arten der Dekreszenz je eine und eine, je zwei und zwei, je drei und drei usf. miteinander und mit der Nulldekreszenz (unveränderten Begrenzung der Lamellen) kombiniert wird. Hierbei entsteht aber nur eine beschränkte Zahl von Krystallformen, weil verschiedene Arten der Dekreszenz einander notwendig bedingen, ebenso wie die gesetzmäßige Abnahme in einem Teile einer Lamelle eine Zunahme in einem anderen Teile erfordert. Als Beispiel wird die Struktur einer Form hergeleitet, welche bis dahin noch niemals beobachtet worden war, nämlich das durch Dekreszenz von zwei Molekülreihen an den Polecken des Kerns entstehende flache Rhomboeder $\{112\}$, welches hiernach, wenn es existierte, das vierte in der Reihe der Kalkspatrhomboeder sein müßte. Denkt man sich die Subtraktion von zwei Molekülreihen an den Polkanten des Kerns, so erhält man die hexagonale Pyramide zweiter Art $\{201\}$, welche ebenfalls damals noch nicht beobachtet worden war. „Es können selbst an einer Krystallart zwei einander gleichende Formen mit verschiedener Struktur vorkommen: die Subtraktion einer Molekülreihe an den Mittelkanten des Kerns liefert ein hexagonales Prisma mit dem Grundrhomboeder an den Enden (die von BERGMAN beschriebene Kombination); wenn aber die aufgelagerten Lamellen zu gleicher Zeit an den Polecken um eine Molekülreihe dekreszieren, so entsteht die Kombination des Prismas zweiter Art mit der Basis, welche sich von der S. 18 beschriebenen durch die andere Orientierung der Spaltungsebenen unterscheidet. Übrigens, obgleich schon viele Krystallformen bekannt sind und man noch eine große Zahl entdecken wird, darf diese Betrachtung doch kein Vorurteil gegen die Krystallographie erwecken. Wir müssen vielmehr uns bemühen, die Natur zu sehen, wie sie ist, ihr Studium zu vereinfachen und festen Grundsätzen zu unterwerfen, sowie einen Teil der Schwierigkeiten dieses Studiums zu beseitigen, indem wir die Einzelheiten durch allgemeine Anschauungen verbinden, zu denen es möglich ist zu gelangen auf Grund unserer geringen Kenntnis von den letzten Ursachen, denen der Schöpfer die verschiedenen Erscheinungen des Universums unterworfen hat.“

Als Fortsetzungen der im Vorhergehenden analysierten Schrift können betrachtet werden die in den folgenden Jahren von HAÜY veröffentlichten Abhandlungen, welche sich mit der Krystallstruktur des Feldspats, verschiedener metallischer Krystalle, der des Bergkrystalls und des Schörls, beschäftigen. Die erste derselben „Mémoire sur la Structure des Cristaux de Feld-Spath“ (gel. 26. Juni 1784) erschien in *Histoire de l'Académie Roy. des Sciences, Année MDCCLXXXIV; avec l. Mém. d. Math. et d. Phys., Paris 1787, S. 273—286.* Einleitend werden

die früheren Beobachtungen über Feldspatkrystalle von VALLERIUS, DESMAREST und PINI erwähnt, ohne mit einem Worte der ausführlichen und durch vortreffliche Abbildungen und Krystallmessungen erläuterten Beschreibung aller wichtigen Ausbildungsweisen und Zwillingungsverwachsungen des Feldspats zu gedenken, welche ROMÉ DELISLE 1783 in der 2. Auflage seines „Essai de Crystallographie“ gegeben hat. Als Primitivform wird ein Prisma von 120° angenommen, dessen Basisflächen auf einem Flächenpaare des Prismas senkrecht stehen; nach letzterem und nach der Basis ist die Spaltbarkeit vollkommen, nach dem anderen Flächenpaare des Prismas unvollkommen. Ausführlich behandelt und durch eine (sehr fehlerhafte) Figur erläutert wird nun die bekannte pseudomonokline Kombination $\{010\}$, $\{001\}$, $\{\bar{2}01\}$, $\{110\}$, $\{130\}$, $\{021\}$, und es werden auf Grund der Annahme, daß die Winkel von $\{110\}$ und $\{010\}$ genau dem hexagonalen Prisma und die von $\{130\}$ demjenigen zweiter Art entsprechen, nach der im „Essai“ benutzten Methode, die Dimensionen der Primitivform und die Kantenwinkel aller Flächen der vorliegenden Kombination bis auf Sekunden berechnet und die entsprechenden Dekreszenzgesetze abgeleitet; obgleich für die Form $\{130\}$ sich hierbei notwendig die ungewöhnliche Abnahme um drei Molekülreihen ergibt, muß diese doch angenommen werden, weil nur so für alle übrigen Formen die gewöhnlichen Dekreszenzgesetze (Subtraktion von ein oder zwei Reihen) resultieren. In derselben Weise wird dann die Kombination $\{010\}$, $\{110\}$, $\{001\}$, $\{\bar{1}01\}$ behandelt.

Die zweite Abhandlung, erschienen 1788 in derselben Zeitschrift (a. MDCCLXXXV, S. 213—228), hat den Titel: „Mém. s. l. Structure de divers Cristaux métalliques“ und beschäftigt sich mit dem Eisenkies, dem Kobaltglanz von Tunaberg und dem Eisenglanz von Elba. Von diesen zeigt das erste Mineral die Spaltbarkeit nach dem Würfel besonders deutlich, wenn eine Oxydation begonnen hat, während das zweite auch in frischen Krystallen die ziemlich vollkommene Teilbarkeit nach dem Würfel erkennen läßt.

Von den Formen des Pyrits wird zuerst das gewöhnliche Pentagondodekaeder behandelt und auf einem sehr umständlichen Wege nachgewiesen, daß hier die Dekreszenz nach zwei Reihen von Molekülen stattfindet (natürlich an benachbarten Kanten des hexaedrischen Kernes in entgegengesetztem Sinne), die einfache nach einer Reihe aber hier nicht möglich sei, womit das Auftreten des Rhombendodekaeders an dem Mineral ausgeschlossen wäre (!). Dagegen wird ganz richtig die Form der gestreiften Pyritwürfel als eine Kombination mit dem Pentagondodekaeder gedeutet, dessen Flächen nur durch eine störende Ursache an ihrer vollständigen Entwicklung gehindert worden seien. Die bekannte, von 20 Dreiecken (12 gleichschenkeligen und 8 gleichseitigen) gebildete Form des Eisenkieses aus dem kubischen Kern und hexaedrischen Lamellen aufzubauen, erforderte eine weitläufige Auseinander-

setzung; diese ergab aber das richtige Resultat, daß die erste Art von Flächen denen des gewöhnlichen Pentagonododekaeders entsprechen, die der zweiten Art denen des Oktaeders, d. h. durch Dekreszenz nach den Ecken des Kerns um eine Molekülreihe entstehen, sowie endlich, daß das reguläre Ikosaeder der Geometrie nicht möglich sei. Natürlich sind hier auch alle auf Sekunden berechneten Winkel richtig.

Anders liegt die Sache bei den Krystallen des elbanischen Eisenglanzes, von dem die Kombination $\{100\} \{211\} \{3\bar{1}\bar{1}\}$ untersucht und Spaltbarkeit nach $\{100\}$ beobachtet wird. Hier betrachtet HAÜY nach dem Vorgange von STENSEN (s. S. 4) das Grundrhomboeder noch als Kubus (obgleich die Differenz von 4° seit der Erfindung des CARANGEOT'schen Goniometers nicht mehr zu übersehen war), leitet daraus die zweite Form durch Dekreszenz nach den Polecken von $\{100\}$ um zwei Molekülreihen, sowie die dritte um deren drei nach den Seitenecken ab und berechnet die Kantenwinkel aller Flächen der Kombination auf Sekunden!

Der in der Einleitung genannte Kobaltglanz wird in der Abhandlung nicht weiter behandelt.

Im Jahrgang MDCCLXXXVI (erschieden 1788) S. 78—94 folgte dann: „Mémoire sur la structure du cristal de roche“ (gel. 20. Mai 1786). Die Deutung der Struktur des Quarzes nach seiner Theorie bietet HAÜY ähnliche und noch größere Schwierigkeiten dar, als es beim Flußspat der Fall war, und die daher sehr komplizierte Annahmen und Auseinandersetzungen erforderten. Es gelang ihm, eine wenn auch unvollkommene Spaltbarkeit nach den Flächen der hexagonalen Dipyramide nachzuweisen, und zwar nach einem Rhomboeder etwas deutlicher als nach dem andern, weshalb er die Dipyramide als Primitivform betrachtet; weil man aber mit diesen Formen den Raum nicht lückenlos ausfüllen kann, müssen natürlich wieder Hohlräume im Innern der Krystalle angenommen werden, welche jedoch in diesem Falle eine weit unregelmäßigere Gestalt haben als im Flußspat. Da HAÜY außerdem Spuren von Spaltbarkeit auch nach dem hexagonalen Prisma zu finden glaubte, nimmt er an, daß die eigentliche Form der Moleküle die von Tetraedern sei, bestehend aus zwei äußeren in einer Basiskante zusammenstoßenden Flächen der Dipyramide und zwei inneren 60° mit einander bildenden Prismenflächen, und daß die Primitivform aus sechs solchen Tetraedern zusammengesetzt sei.

Entsprechend seinem Prinzip, ähnliche Winkel als identisch zu betrachten, nimmt er an, daß der spitze Winkel des Rhombus, welchen die an den Kombinationsecken von Prisma und Dipyramide so häufig auftretende trigonale Dipyramide zweiter Art bildet, identisch sei mit dem Winkel zwischen Pol- und Basiskante der hexagonalen Pyramide. Daraus ergibt sich der Flächenwinkel zwischen einer Pyramidenfläche und der ihre Basiskante abstumpfenden Prismenfläche zu $37^\circ 45' 40''$.

(statt $38^{\circ} 13'$), und ebenso werden auch alle Kantenwinkel der Kombinationen der gewöhnlichen Quarzformen auf Sekunden berechnet.

Die letzte der genannten Abhandlungen, erschienen 1789 im Jahrgang MDCCLXXXVII, S. 92—109, hat den Titel: „Mémoire sur la structure des cristaux de Schörl“. Als Primitivform des Turmalins wird das auch jetzt gewöhnlich als primäres bezeichnete Rhomboeder (von 47° Flächenwinkel) betrachtet, welches meist mit dem Prisma zweiter Art kombiniert ist. Während die durchsichtigen Krystalle vollkommen muscheligen Bruch zeigen, lassen die schwarzen des gewöhnlichen Schörl eine Spaltbarkeit nach den Flächen der Primitivform, sowie eine weitere nach den Flächen des zweiten Prismas erkennen, daher wie beim Granat auf eine tetraedrische Form der Moleküle geschlossen wird, nur daß hier zwei Flächen des Tetraeders ungleichseitige Dreiecke sind. Außer den genannten Formen wurde beobachtet das trigonale Prisma und durch zweifache Dekreszenz nach drei Mittelecken des Grundrhomboeders abgeleitet, ferner an einem Pol der Hauptachse das spitzere Rhomboeder, welches durch einfache Dekreszenz nach drei Mittelecken des Grundrhomboeders entsteht, endlich das stumpfe Rhomboeder, das der Subtraktion je einer Molekülreihe an den in einem Pol der Axe zusammenlaufenden Kanten der Primitivform entspricht. Der Winkel, welchen eine Fläche des spitzeren Rhomboeders mit der anliegenden Fläche des trigonalen Prismas bildet, ist nicht sehr verschieden von demjenigen, welchen eine Polkante des Grundrhomboeders mit der kurzen Diagonale der an der Polecke sie schneidenden Fläche derselben Form einschließt; unter Annahme der Identität dieser beiden Winkel werden dann die an den beobachteten Formen und Kombinationen vorkommenden Kantenwinkel wieder auf Sekunden berechnet.

Auf die gleiche Grundform werden ferner zurückgeführt Krystalle, welche vollkommene Spaltbarkeit nach einem rhombischen Prisma von 120° zeigen und nach Beschreibung und Abbildung zweifellos solche von Hornblende waren, und zwar sowohl einfache als Zwillingkrystalle ohne einspringende Winkel, wie sie in den nordböhmisches Basalttuffen so häufig vorkommen. Natürlich erforderte die Erklärung dieser Krystalle die Annahme von ungewöhnlich komplizierten Dekreszenzgesetzen.

In den bisher betrachteten Veröffentlichungen HAÜYS wird wiederholt darauf hingewiesen, daß seine Theorie ihre strenge Begründung in dem mathematischen „calcul“ finde, daher die im Jahre 1791 erschienene Arbeit „Mémoire où l'on expose une méthode analytique, pour résoudre les problèmes relatifs à la structure des Cristaux“ (Hist. de l'Acad. R. d. Sc. a. l. Mém. d. Math. et Phys. MDCCLXXXVIII, S. 13—33), welche die Methoden dieses Kalküls enthält, für die Beurteilung der

HAÜYSCHEN Theorie von besonderer Wichtigkeit ist und aus diesem Grunde hier einer in den wesentlichsten Punkten möglichst vollständigen Wiedergabe bedarf.

„Nach meinen Untersuchungen über die Struktur zahlreicher Krystalle verschiedener Art muß man mit großer Wahrscheinlichkeit annehmen, daß alle primitiven Krystallformen sich auf eine kleine Anzahl sehr einfacher Polyeder beschränken, unter denen sich das ‚Rhomboid‘ (= Rhomboeder) befindet. Hier soll nur die Theorie dieser Form behandelt werden, weil sie bei weitem die fruchtbarste in ihren Anwendungen ist.“

„Um durch die auf den rhomboedrigen Kern aufgelagerten Lamellen von derselben Gestalt eine sekundäre Form zu erhalten, welche den Kern ganz verhüllt, muß die Dekreszenz, sei es an den Kanten, sei es an den Ecken des Grundrhomboeders, gleichmäßig an allen analogen Teilen des Kerns stattfinden. Die Dekreszenz bringt ein neues Rhomboeder oder einen Zwölfflächner mit dreieckigen Flächen hervor.“ „Sei $a b d f$ (Fig. 1) eine Fläche des Kerns, dann sind sechs Arten von

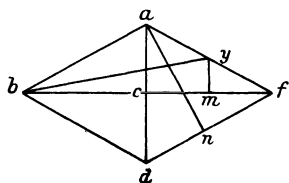


Fig. 1.

Dekreszenzen möglich, welche sekundäre Formen liefern: a) Dekreszenz an den Polkanten $a b$ und $a f$, b) Dekreszenz an der Polecke a , c) Dekreszenz an den Mittellinien $d b$ und $d f$, d) Dekreszenz an den Mittelecken b und f ; in diesen vier Fällen dürfen die Lamellen stets nur die Dicke eines Moleküls haben, denn bei zwei- oder mehrfacher Dicke derselben würden an dem entstehenden Gebilde einspringende Winkel resultieren, was den Gesetzen der regelmäßigen Krystallisation widerspräche; e) Dekreszenz an der Mittelecke d nach a hin, wobei jede Lamelle nur die Dicke eines Moleküls hat, endlich f) Dekreszenz an derselben Ecke nach der Höhe, wobei die Lamellen die zwei- oder mehrfache Dicke eines Moleküls haben.“

„Formen, welche aus nur einer dieser sechs Dekreszenzarten hervorgehen, sollen als einfache, die aus der Kombination mehrerer derselben sich ergebenden als zusammengesetzte sekundäre Formen bezeichnet werden; $a d$ heißt die schiefe, $b f$ die horizontale Diagonale der Primitivform.“

Einfache sekundäre Formen.

Sei $a d s g$ (Fig. 2) ein Viereck (Rhomboid), gebildet von zwei entgegengesetzten schiefen Diagonalen $a d$, $g s$ des Primitivrhomboeders und den dazwischen liegenden Kanten $a g$, $d s$ desselben. Um die verschiedenen Hauptlinien in dem Rhomboeder algebraisch auszudrücken, sei (Fig. 1) $b c = g$, $a c = p$, ferner (Fig. 2) die Achse

des Rhomboeders $as = a$, so erhält man, wenn $dr \perp a$, folgende Ausdrücke¹⁾:

$$\sqrt{3} : 2 : g : dr = \sqrt{\frac{4}{3}} g^2 \cdot ar = \sqrt{ad^2 - dr^2} = \sqrt{4p^2 - \frac{4}{3}g^2} = \sqrt{\frac{12p^2 - 4g^2}{3}},$$

daher as oder $a = \frac{3}{2} ar = \sqrt{9p^2 - 3g^2}$; folglich kann man aus zweien der drei Größen — Achse, schiefe und horizontale Diagonale — die dritte berechnen, denn nach obigem ist

$$a = \sqrt{9p^2 - 3g^2}, \quad p = \frac{1}{3}\sqrt{a^2 + 3g^2} \quad \text{und} \quad g = \sqrt{\frac{9p^2 - a^2}{3}}.$$

„Eine Dekreszenz an den Polkanten ab und af (Fig. 1) liefert im allgemeinen einen Zwölfflächner, dessen eine Kante mit sd (Fig. 2) zusammenfällt. Sei am eine

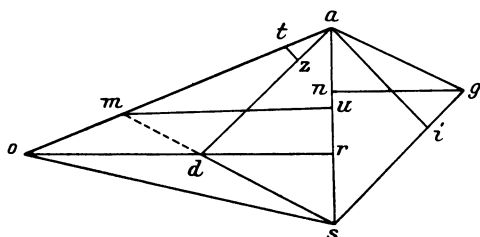


Fig. 2.

der oberen Kanten desselben und sm die entsprechende untere, und werde das Dreieck azt als ‚triangle mesurateur‘ bezeichnet, so können wir diesen Fall so betrachten, wie wenn die Dekreszenz an der Polecke a stattfindet, da das Zurücktreten um je

eine Molekülreihe an den Kanten ab und af immer einer schiefen Diagonale entspricht, welche den Abstand des Randes einer Lamelle von dem der nächsten mißt. Dann erhält man, wenn n die Zahl dieser Diagonalen,

$$dm = \frac{1}{n} \sqrt{p^2 + g^2}, \quad sm = \frac{n+1}{n} \sqrt{p^2 + g^2} \text{ usf.}$$

Aus $am = \sqrt{au^2 + mu^2}$ folgt dann alles übrige.“

„Sehen wir jetzt, ob es einen Fall gibt, wo je zwei benachbarte Dreiecke der entstehenden Sekundärform in eine Ebene fallen, so daß ein stumpfes, das primitive umhüllendes Rhomboeder entsteht. Da dann am (Fig. 2) die Kante und an gleich einem Drittel der Achse dieses Rhomboeders ist, so ergibt die Rechnung $n = 1$, d. h. dieses Rhomboeder entsteht, wenn die Dekreszenz um eine Molekülreihe an den Kanten ab und af stattfindet.“

¹⁾ Die erhaltenen Formeln beruhen auf der bereits S. 30 als irrtümlich nachgewiesenen Annahme, daß der Winkel der schiefen Diagonale zur Achse genau 45° betrage. Sie sind ferner auch deshalb nicht einwurfsfrei, weil in ihnen benannte und unbenannte Größen miteinander verbunden sind, um so mehr als für die Einführung der unbenannten Größe g keinerlei Veranlassung vorliegt.

„Sollen die Flächen der entstehenden zwölf-flächigen Sekundärform gleichschenkelige Dreiecke werden, so daß $am = sm$, so ergibt sich $n = 2$, ein Fall, den ich in der Natur noch nicht beobachtet habe“¹⁾.

„Findet die Dekreszenz an der Polecke a statt, so erhält man immer ein Rhomboeder, und wenn ao dessen schiefe Diagonale und os die zugehörige Polkante ist, so wird immer die Normale zur Achse sr diese so schneiden, daß $sr = \frac{1}{3}as$. Alsdann ergibt sich:

$$as = \frac{2n + 2}{2n - 1} \sqrt{\left(\frac{2n - 1}{3n + 3}\right)^2 (9p^2 - 3g^2) + \frac{4}{3}g^2}.$$

„Untersuchen wir nun, ob unter den diesem Fall entsprechenden Rhomboedern eines existiert, welches dem oben abgeleiteten stumpfen Rhomboeder ($\{110\}$) vollkommen gleich und ähnlich ist. Dann muß die Neigung von ao zur Achse gleich sein der von sm , welches mit der schiefen Diagonale jenes Rhomboeders zusammenfällt, also $am = sm$ und $au = su = \frac{1}{2}as$. In diesem Falle ergibt sich $n = 2$, d. h. die Dekreszenz an der Polecke a muß durch je vier Molekülreihen bewirkt werden“²⁾.

„Setzt man $n = \frac{1}{2}$, d. h. nimmt man eine Dekreszenz nach einer einfachen Molekülreihe an, so ergibt sich $ao = \infty$, also eine horizontale Fläche, d. i. beim Kalkspat die Basis des hexagonalen Prismas, welches nach einem zweiten Dekreszenzgesetze zustande kommt.“

„Hat die Primitivform die Gestalt des Würfels, ist also $p = g = n = 1$, so erhält man für ao den Wert $2\sqrt{6}$, $as = \sqrt{6}$ und für das Verhältnis der horizontalen zur schiefen Diagonale des abgeleiteten Rhomboeders $4 : \sqrt{6}$; dieser Fall liegt vor bei dem flachen Rhomboeder ($\{211\}$) des Eisenglanzes von Elba“ (vgl. S. 38).

„Findet die Dekreszenz an den Mittelkanten der Grundform bd und fd (Fig. 1) statt, so entsteht eine aus zwölf ungleichseitigen Dreiecken (Skalenen), deren eine Seite mit einer Kante bd oder fd zusammenfällt, bestehende Form. Seien $d\hat{p}$ und

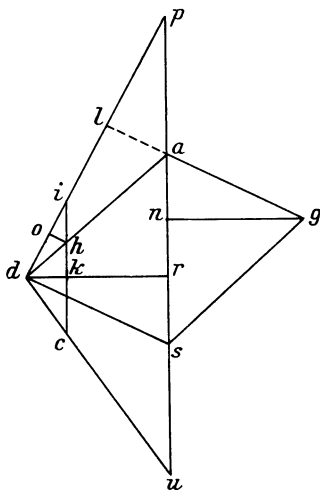


Fig. 3.

du (Fig. 3) zwei in d zusammenstoßende Polkanten derselben und werde ag verlängert bis $d\hat{p}$ und sei dho das ‚triangle mensurateur‘, so ergibt die Rechnung

¹⁾ Es ist dies die am Kalkspat nicht allzu seltene hexagonale Dipyramide zweiter Art $\{201\}$.

²⁾ Diesen Fall glaubt HAÜY verwirklicht an einigen der von ihm für Schörl gehaltenen Hornblendekrystallen (s. S. 39), was natürlich nicht zutrifft.

$$ap = \frac{1}{n-1} \sqrt{9p^2 - 3g^2} \text{ und } dp = \sqrt{\left(\frac{2n+1}{3n-3}\right)^2 (9p^2 - 3g^2) + \frac{4}{3}g^2}.$$

„Für $n = 1$ folgt hieraus $ap = \infty$, d. h. die Flächen sind der Achse des Grundrhomboeders parallel, wie es am Demantspat (Korund) vorkommt. Setzt man aber $n = 2$, so findet man $ap = \sqrt{9p^2 - 3g^2} = as^1$; aus den für den Kalkspat angenommenen Werten $p^2 = 2$ und $g^2 = 3$ ergibt sich $dp = \sqrt{29}$ und $du = \sqrt{20} = 2\sqrt{5}$, sowie $ds = \sqrt{5}$, also ist in jedem der ungleichseitigen Dreiecke des Skalenoeders die mittlere Seite doppelt so groß als die kürzeste; die Gestalt eines solchen Dreiecks ist $\sim \triangle bay$ (Fig. 1), wo y die Mitte von af und $by = \frac{1}{2}\sqrt{29}$.“

„Dekreszenzen von der Mittelecke d aus nach der Polecke a hin, wobei die Lamellen nur die Dicke eines Moleküls haben, liefern im allgemeinen Rhomboeder. Ist cp (Fig. 4) die Hälfte der schiefen Diagonale des entstehenden Rhomboeders, so ergibt die Rechnung, daß für $n = 1$ (Dekreszenz um eine Molekülreihe) die Achse ∞ wird, d. h. es entsteht das gleiche hexagonale Prisma wie beim Korund, aber mit anderer Struktur²⁾. Setzt man $n = \frac{3}{2}$, so erhält man ein Rhomboeder, dessen horizontale Diagonale zur schiefen sich verhält wie: $\sqrt{17} : \sqrt{3}$, woraus für den stumpfen Kantenswinkel $134^\circ 25' 24''$ folgt; eine solche Form wurde neuerdings von mir beobachtet³⁾.

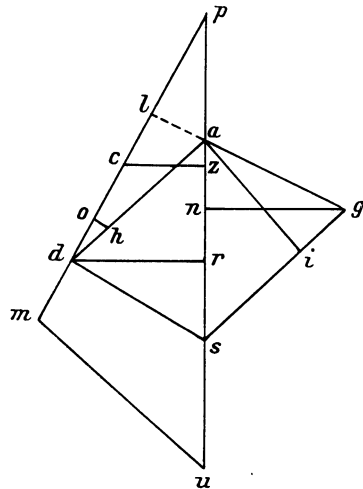


Fig. 4.

„Findet die Dekreszenz ebenfalls an der Mittelecke d , aber nach der Höhe und so statt, daß die Lamellen die zwei-, drei- und mehrfache Dicke von derjenigen der Moleküle haben, so ergibt sich für cu (Fig. 5) die Hälfte der schiefen Diagonale des entstehenden Rhomboeders, dessen Achse $= 3uz$, mit Hilfe des ‚triangle mesurateur‘ $mdh \sim gla$ eine noch kompliziertere Formel als im vorigen Falle, von dem dieser

¹⁾ Dies ist der Fall des gewöhnlichen Skalenoeders von Kalkspat, der in BERGMANS Figur (s. S. 12) abgebildet ist, aber ohne Angabe des speziellen Dekreszenzgesetzes. Merkwürdigerweise hat der sonst so zuverlässige MARX („Geschichte der Krystallkunde“, Taf. VI) diese Abbildung verändert wiedergegeben, nämlich mit Einfügung der Dekreszenz nach HAÜY.

²⁾ Dies ist natürlich unrichtig; es entsteht das um 30° bzw. 90° gegen das des Korund gedrehte hexagonale Prisma.

³⁾ Der angegebene Kantenswinkel ist unmöglich.

sich dadurch unterscheidet, daß die schiefe Diagonale des Rhomboeders nach unten statt nach oben geneigt ist. Aus der Ähnlichkeit der Dreiecke $u o p$ und $s d a$ bzw. $s d r$ und $p o x$ ergibt sich für die Dekreszenz $n = 2$ ein der Primitivform vollständig ähnliches Rhomboeder, dessen

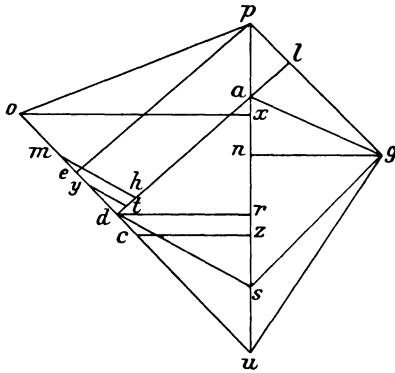


Fig. 5.

Achse $\frac{5}{3}$ von derjenigen des Kerns ist. Aus der Gleichschenkeligkeit des Dreiecks $p g s$ und der Gleichheit der Winkel $e p s$ und $g p s$ läßt sich leicht beweisen, daß, wenn man an den sechs Kanten des Rhomboeders Schnitte macht, welche durch $p e$ gehen, diese mit den stehengebliebenen Teilen der Rhomboederflächen eine hexagonale Dipyramide bilden. Dieser Fall wäre derjenige des Bergkrystalls ohne Prismenflächen, wenn alle ihn zusammensetzenden kleinen Dodekaeder durch Verschwinden der inneren Hohlräume (vgl. S. 38) zu ebensovielen Rhomboedern würden, wie man sie durch die deutlichste Spaltbarkeit des Quarzes erhalten kann.“

Für die Dekreszenzen an den Mittelecken b und f (Fig. 1), welche Dodekaeder liefern, an denen die der schiefen Diagonale des Kerns entsprechende Polkante dieser Diagonale parallel ist, wird alsdann eine kaum minder komplizierte Formel abgeleitet, aus welcher sich ergibt, daß für $n = \frac{1}{2}$ die Sekundärform ein Rhomboeder ist, dessen Polkante der schiefen Diagonale der Grundform entspricht, wie es am „krystallisierten Sandstein“ von Fontainebleau vorkommt. In dem besonderen Falle, daß $g : p = 2 : \sqrt{2}$, ergibt sich aus der Formel als Sekundärform der Kubus, d. h. das Rhomboeder entspräche demjenigen des Granats.

Zusammengesetzte sekundäre Formen.

„Bei den hierher gehörigen Krystallen können entweder die Dekreszenzgesetze nur auf einigen Flächen des Kerns wirksam sein, so daß die anderen unbedeckt bleiben, oder der Kern kann ganz bedeckt werden mit aufgelagerten Lamellen, welche mehreren Dekreszenzgesetzen unterliegen. Wir beschränken uns auf eine kleine Anzahl von Beispielen, welche diesen beiden Fällen entsprechen.“

An der Hand der Fig. 1, in der $a n \perp d f$, läßt sich leicht beweisen, daß, wenn die Quadrate der beiden Diagonalen einer Rhomboederfläche rationale Größen sind, der Kosinus des Kantenwinkels ebenfalls einen rationalen Wert besitzt. Für ein Rhomboeder mit dieser Eigenschaft wird alsdann auf einem, infolge von Zeichenfehlern der betreffenden Figur nicht ganz klaren Wege der Satz bewiesen, daß dasselbe durch

die regelmäßigen Gesetze der Dekreszenz zu einem rechtwinkligen Parallelepiped werden kann; da die Ableitung des Kubus von einem solchen Rhomboeder jedoch nur durch komplizierte Dekreszenzgesetze, wie $\frac{5}{2}$, $\frac{3}{2}$ usw. erfolgt, kann dieser Fall in der Natur nur selten vorkommen. Einfach gestalten sich die Verhältnisse natürlich bei kubischen Krystallen wie Granat, während sich bei der Anwendung der Theorie auf andere Krystalle notwendig Widersprüche mit der Erfahrung, wie sie durch einigermaßen genaue Messung sich ergeben hätten, herausstellen; z. B. die Folgerungen, daß in der bekannten Kalkspatkombination des gewöhnlichen Skalenoeders mit dem hexagonalen Prisma erster Art, in welcher die Flächen des letzteren als Trapeze erscheinen, diese Trapeze aus einem stumpfen gleichschenkeligen und einem *gleichseitigen* Dreieck bestehen, ferner daß verschiedene Kanten an der Kombination derselben Formen mit dem gewöhnlichen flachen Rhomboeder $\{110\}$ Längenverhältnisse zeigen müßten, welche mit denen der Quadratwurzeln einfacher rationaler Zahlen übereinstimmen, u. a. Statt einer Prüfung dieser Übereinstimmung schließt die Abhandlung mit der Bemerkung: „Ich begnüge mich mit der Angabe dieser Eigenschaften, welche den Geometern leicht sein wird zu bestätigen.“

Der im Vorhergehenden analysierten Abhandlung folgte im nächsten Jahre eine Ergänzung unter dem Titel „Mémoire sur la manière de ramener à la théorie du parallélépipède, celle de toutes les autres formes primitives des cristaux“ (Hist. de l'Acad. d. Sc. avec l. Mém. d. Math. et de Phys. MDCCCLXXXIX, Paris 1793, S. 519—533). „Die in der vorigen Abhandlung für das Rhomboeder gegebenen Formeln können leicht in die für jedes beliebige Parallelepiped gültigen umgewandelt werden. Nun gibt es aber Krystalle, welche, obgleich in bezug auf die Herleitung der sekundären Formen den gleichen Dekreszenzgesetzen unterworfen, eine vom Parallelepiped verschiedene Primitivform besitzen und daher einen anderen und gewissermaßen isolierten Gesichtspunkt der Theorie erfordern. Beide Arten von Problemen können jedoch auf die Betrachtung des Parallelepipeds zurückgeführt werden, wenn man bedenkt, daß immer eine kleine Gruppe von Molekülen zu einem Parallelepiped vereinigt werden kann, aus dessen Wiederholung die Lamellen aufgebaut sind, gleichgültig, ob in ihrem Innern Hohlräume angenommen werden müssen oder nicht. Alsdann sind drei Arten von Formen der Moleküle vollkommen ausreichend zur Erklärung der beobachteten Tatsachen: Das Parallelepiped, das Tetraeder und das trigonale Prisma. Die Primitivform, d. i. die des Kerns, kann mit der der integrierenden Moleküle¹⁾ übereinstimmen oder davon verschieden,

¹⁾ Hier wird zum ersten Male statt „molécules constituantes“ der Ausdruck „molécules intégrantes“ gebraucht.

aber aus solchen zusammengesetzt sein; der erstere Fall findet immer statt, wenn die integrierenden Moleküle die Form von Parallelepipeden haben; sind es aber Tetraeder oder trigonale Prismen, so fallen meist ihre Zentren nicht mit der Mitte der Primitivform zusammen und diese kann ihnen nicht ähnlich sein, ohne regelmäßig eingeschrieben zu sein in die Krystalle von sekundärer Form. Die Gestalt der integrierenden Moleküle wird uns unmittelbar von der Natur geliefert, die der Primitivform ist eine, wenn auch durch die Natur indizierte, Annahme der Theorie, welche für die Lösung der Probleme bequem ist, indem sie die gemeinsame Basis für die Konstruktion der verschiedenen sekundären Formen aus einer Art von integrierenden Molekülen darbietet. Primitivformen habe ich bisher folgende aus der Beobachtung geschlossen: Das Parallelepipid, das Oktaeder (auch das nicht reguläre), das Tetraeder, das Rhombendodekaeder, die hexagonale Dipyramide und das hexagonale Prisma.“

Auf Grund vorstehender Erwägungen wird nun der bereits früher behandelte Fall des Flußspats (vgl. S. 32) näher erörtert, und für das von drei Paaren paralleler Spaltungsflächen gebildete Rhomboeder werden die entsprechenden Formeln und daraus die Dekreszenzgesetze zur Ableitung der Sekundärformen des Würfels und des Rhombendodekaeders aufgestellt. Natürlich kann der Aufbau eines Oktaeders aus solchen Rhomboedern nur bis an die ihrer Basis entsprechende Außenschicht erfolgen, in welcher tetraedrische Räume unausgefüllt bleiben.

Geht man von dem Rhomboeder von $109^{\circ} 28'$ aus, wie es nach früheren (s. S. 14 und 33) den Krystallen des Granats zugrunde gelegt werden kann, so ergeben sich selbstverständlich ebenfalls die einfachsten Dekreszenzgesetze für die Ableitung der übrigen Formen. Denkt man sich die Dekreszenz um eine Molekülreihe nur an einer der beiden Polecken der vier Rhomboeder, aus dem das Rhombendodekaeder zusammengesetzt ist, stattfindend, so entsteht ein Tetraeder, ein Fall, wie er bei der Zinkblende vorliegt.

Nachdem noch kurz auf den Fall des Quarzes (vgl. S. 38) hingewiesen ist, für den das Rhomboeder von $93^{\circ} 22' 20''$ Kantenwinkel (berechnet aus dem angenommenen Verhältnis der beiden Diagonalen seiner Flächen = $3 : \sqrt[3]{8}$) als Parallelepipid zugrunde zu legen ist, behandelt der Verfasser am Schlusse die Beziehung des hexagonalen Prismas zum Parallelepipid. Dasselbe besteht bekanntlich aus sechs trigonalen Prismen, von denen je zwei zu einem rhombischen von 60° und 120° Kantenwinkel an der Basis zusammengefaßt werden können; es ist klar, daß alle Dekreszenzgesetze sich auf diese Parallelepipede beziehen lassen.

Drei Jahre, nachdem HAÜY die zuletzt besprochene Arbeit der Akademie vorgelegt hatte, gab er in dem „Journal d'Histoire naturelle“ (Choix d. Mém. d. div. obj. d'Hist. nat. p. LAMARCK etc., Paris 1792,

S. 156 bzw. 158—222) unter dem Titel: „Exposition abrégée de la théorie sur la structure des Crystaux“ eine Zusammenfassung seiner bisherigen Resultate, welche für die Beurteilung seiner Anschauungen so wichtig ist, daß es geeignet scheint, auch auf diese Abhandlung hier etwas näher einzugehen¹⁾. In der Einleitung werden die Prinzipien behandelt, auf denen die Theorie des Verfassers beruht. „Diese wurde durch die bisherigen Untersuchungen zu einem früher nicht vermuteten Grade von Allgemeinheit erhoben, was aber nur bei Anwendung des in der Abhandlung von 1791 (s. S. 39f.) gegebenen analytischen Kalküls zu erreichen ist, durch welchen nicht nur die Lösung einer Menge verschiedener Probleme auf eine einzige Formel gebracht, sondern auch der Theorie der Charakter der Gewißheit verliehen wird und mit der Erfahrung vollständig übereinstimmende Resultate erhalten werden. Hier will ich mich auf eine rasonnierende Darstellung der Theorie beschränken, um eine Idee der Gesetze zu geben, auf denen sie beruht, und die Folgerungen aus derselben an leicht verständlichen Figuren zu erläutern. Wenn dieser Weg auch weniger direkt und nicht so streng ist, so hat er wenigstens den Vorteil, daß man die Beziehungen zwischen den einzelnen Teilen besser übersieht und sich leichter Rechenschaft von den erreichten Kenntnissen gibt.“

Im ersten Abschnitt wird alsdann die Spaltbarkeit der Krystalle behandelt, unter Hinweis auf die beim Kalkspat, Flußspat, Baryt und Feldspat früher erhaltenen Resultate, und die Tatsache hervorgehoben, daß man aus jeder dieser Krystallarten einen eingeschriebenen Körper herauspalten kann, welchen man als die wahre Primitivform ansehen muß. „Allerdings sind einige Mineralien nicht mechanisch teilbar, aber diese lassen durch ihre bestimmte Streifung und durch die Beziehung zwischen ihren verschiedenen Formen Anzeichen ihrer Struktur erkennen, so daß man aus der Analogie mit teilbaren Krystallen auf die letztere mit großer Wahrscheinlichkeit schließen kann. Denkt man sich die Teilung so weit fortgesetzt wie es möglich ist, ohne die Natur der Substanz zu zerstören, so erhält man die *integrierenden Moleküle*, d. h. die wahrscheinlich in der Lösung enthaltenen kleinsten Teile der Krystalle. Diese haben sämtlich die gleiche Gestalt, wenn der Kern die Form eines Parallelepipeds hat; andernfalls entsteht eine Schwierigkeit, welche aber nur eine scheinbare ist“ (vgl. z. B. S. 32).

„Nachdem die Form der integrierenden Moleküle durch die Spaltbarkeit bestimmt ist, handelt es sich um die Erkennung der Gesetze, nach denen diese Moleküle sich zusammenfügen, um die verschiedenen

¹⁾ Von dieser teilte GREN in dem von ihm herausgegebenen Neuen Journal der Physik, 1795, 2, S. 418—454, eine deutsche Übersetzung mit, offenbar auf Wunsch HAÜYS, da er sie als „vom Verfasser selbst“ herrührend bezeichnet. Es ist die von SOHNCKE („Entwicklung einer Theorie der Krystallstruktur“ 1879 S. 11 Anm. 1) erwähnte Abhandlung.

einer Substanz zugehörigen Polyeder durch Umhüllung der Primitivform zu liefern. Der Mechanismus der diesen Gesetzen unterworfenen Struktur ist derart, daß alle Teile einer sekundären Form von auf den Kern aufgelagerten Schichten gebildet werden, welche regelmäßig kleiner werden durch Abnahme um eine oder mehrere Reihen von Molekülen, so daß die Theorie die Zahl dieser Reihen und dadurch die exakte Form des sekundären Krystalls liefert.“ „Beispielsweise ist offenbar der Kern des Rhombendodekaeders derjenige Würfel, dessen Kanten den kurzen Diagonalen der Flächen jener Form entsprechen; denkt man sich z. B. diesen Kern aus 9^3 kleinen Würfeln bestehend und bedeckt von Schichten aus 7^2 , 5^2 , 3^2 und 1 solcher Würfel, so wird, wenn statt dessen die Würfelchen so klein gedacht werden, daß die ein- und ausspringenden Kanten nicht mehr wahrnehmbar sind, eine vierseitige Pyramide über jeder Fläche entstehen, welche aus Ebenen des Rhombendodekaeders besteht, und das Problem ist gelöst. Hört das Wachstum früher auf, so entsteht die Kombination derselben Form mit dem Würfel, und findet die Abnahme der Schichten um 2, 3 oder 4 Reihen von Molekülen statt, so entsteht eine Sekundärform mit 24 gleichschenkeligen Dreiecken. Denkt man sich eine Abnahme um zwei Molekülreihen nach nur einem Seitenpaar jeder Würfelfläche, so daß dieses auf benachbarten Flächen des Würfels senkrecht gekreuzt ist, so entsteht das Pentagonododekaeder des Pyrits¹⁾); dieses zeigt so nahe genau die berechneten Werte seiner Winkel, daß hieraus die strenge Richtigkeit der Theorie hervorgeht, und dies gilt für alle anderen Resultate, denn wenn sie falsch wäre, würden sich große Differenzen zwischen den berechneten und den gemessenen Winkelwerten ergeben.“ „Konstruiert man um den kubischen Kern eine Sekundärform, indem man die aufgelagerten Lamellen nicht nach den Seiten, sondern nach den Diagonalen der Würfelflächen abnehmen läßt, und zwar jedesmal um eine Molekülreihe, so entsteht das reguläre Oktaeder, dessen Flächenmitten den Ecken des Kerns entsprechen; hierbei müssen allerdings die Lamellen an den Seiten zum Teil eine Zunahme erfahren, weil sonst einspringende Winkel entstehen würden, was den Gesetzen der Bildung einfacher Krystalle widerspricht. Der Krystall wächst also in den Teilen, auf die sich die Abnahme nicht erstreckt, da aber die Abnahme allein genügt, um die Sekundärform zu bestimmen, so kann man von allen andern Variationen, welche nur subsidiär einwirken, absehen, außer wenn man das den Krystall darstellende geometrische Gebilde künstlich konstruieren und sich von allen Einzelheiten der Struktur

¹⁾ Der Unterschied dieser Form von dem regulären Pentagonododekaeder der Geometrie ist von den früheren Forschern nicht klar erkannt worden, und es ist ein unbestreitbar großes Verdienst HAÜYS, nachgewiesen zu haben, daß die Ableitung des sogenannten „regulären“ Pentagonododekaeders durch kein einfaches Dekreszenzgesetz möglich ist.

Rechenschaft geben will“¹⁾). „Den beiden besprochenen Arten der Abnahme, der nach den Kanten und der nach den Ecken (d. i. nach den Diagonalen), und ähnlichen Gesetzen, sowie deren Kombinationen sind im allgemeinen die Metamorphosen der Krystalle unterworfen. Die Abnahme kann aber auch nach intermediären Geraden stattfinden und es können z. B. je drei oder vier gleich große Schichten aufeinander folgen und dann jedesmal ein Zurücktreten um zwei oder drei Molekülreihen stattfinden. Bei dieser Ausdehnung der Theorie ergibt sich eine außerordentlich große Zahl von möglichen Sekundärformen für jede Krystallart, aber die Kraft, welche die Art der Abnahme bedingt, scheint eine sehr beschränkte Tätigkeit auszuüben, denn gewöhnlich handelt es sich nur um eine Dekreszenz von ein oder zwei, selten von vier Molekülreihen.“ „Einen neuen Beweis für die Richtigkeit der Theorie liefert die Streifung der Flächen, da diese stets nach den Rändern der aufgelagerten Lamellen geht und nicht sichtbar wäre, wenn die Ursache der Krystallisation ohne Störung gewirkt hätte; sie verrät also den wahren Mechanismus der Struktur, welcher eine befriedigende Lösung der früher erwähnten Schwierigkeit liefert, daß die an der Oberfläche der Sekundärformen durch Spaltung erhaltenen Stücke nicht mit denen aus dem Innern übereinstimmen; die scheinbare Verschiedenheit rührt eben daher, daß die sekundären Flächen in Wirklichkeit aus abwechselnd ein- und ausspringenden Ebenen bestehen, welche wegen ihrer Kleinheit nicht zu sehen sind, so daß, wenn man die Teilung bis zur Grenze durchführen könnte, alle Teilstücke sich in die gleichen Moleküle auflösen würden.“

Der folgende Abschnitt über die Formen der integrierenden Moleküle enthält „Betrachtungen, welche die delikatesten Teile der Theorie berühren“. Zunächst werden hier die früheren (s. z. B. S. 32) Auseinandersetzungen über die Struktur des Flußspats wiederholt und alsdann darauf hingewiesen, daß es noch andere Substanzen gibt, z. B. Quarz (s. S. 38), welche beim weiteren Spalten als bis zum Rhomboeder oder einem andern Parallelepipet, Partikel von verschiedener Form liefern, die in komplizierterer Weise als beim Flußspat miteinander verbunden sind.

¹⁾ Unter „künstlicher Konstruktion“ ist offenbar hier die Herstellung von Modellen verstanden, auf welche HÄÜY, im Gegensatz zu ROMÉ DELISLE, geringen Wert gelegt zu haben scheint. Hätte er, wie es der Verfasser für den in der Anmerkung S. 28 erwähnten Aufbau des Oktaeders, sowie für die Ableitung der Form $\{110\}$ und der Kombination $\{2\bar{1}\bar{1}\}$, $\{111\}$ des Kalkspats (vgl. S. 17 und 31) ausgeführt hat, Modelle der nach HÄÜYs Theorie sich ergebenden geometrischen Gebilde konstruiert, so würde er gesehen haben, daß diese gegenüber den vollständigen Krystallformen Lücken aufweisen, für deren Ausfüllung durch Wachstum ganz dasselbe gilt, was S. 28 Anmerk. für den Aufbau des oktaedrischen Steinsalzes gesagt wurde (Abbildungen dieser Modelle sind in der weiter unten zitierten Abhandlung des Verfassers enthalten).

„Diese gemischten Strukturen machen natürlich die Bestimmung der wahren Gestalt der integrierenden Moleküle unsicher. Indessen habe ich beobachtet, daß immer das Tetraeder an der Bildung der durch die erste Teilung erhaltenen Rhomboeder bzw. Parallelepiped teilnimmt, und außerdem gibt es Substanzen (Granat, Zinkblende, Turmalin), welche, wenn sie nach allen möglichen Ebenen geteilt werden, sich einheitlich in Tetraeder auflösen; z. B. kann man jedes Rhomboeder eines Granatkrystalls (vgl. S. 33) in sechs Tetraeder zerlegen, deren gleichschenkelig dreieckige Flächen einander berühren, also keine Hohlräume liefern. Endlich gibt es auch Mineralien, welche nach einem trigonalen Prisma und dessen Basis spalten, z. B. der Apatit, dessen Primitivform das hexagonale Prisma mit Basis ist. Adoptiert man in obigen zweifelhaften Fällen als Molekülgestalt das Tetraeder, so reduzieren sich im allgemeinen alle Formen der integrierenden Moleküle auf drei besonders einfache: das Parallelepiped, das trianguläre Prisma und das Tetraeder. Diese Einfachheit läßt die Annahme der letztgenannten Form für den Flußspat und die anderen besprochenen Substanzen als die plausibelste erscheinen. Allerdings gestattet der Mangel direkter und präziser Beobachtungen der Theorie hier nur mehr oder weniger wahrscheinliche Annahmen. Aber wesentlich ist, daß die verschiedenen Formen, zu denen die gemischten Strukturen führen, in einer solchen Beziehung zueinander stehen, daß ihre Vereinigung einer Summe kleiner Parallelepipede entspricht und daß die dem Kern angelagerten Lamellen abnehmen um eine oder mehrere Reihen solcher Parallelepipede, so daß das Wesen der Theorie bestehen bleibt unabhängig von der Wahl einer der Formen, die man durch mechanische Teilung erhält. Mit Hilfe dieses Resultates erweisen sich alle Dekreszenzen der Krystalle, welches auch ihre Primitivform ist, zurückgeführt auf diejenigen Fälle, wo diese Form, wie die der Moleküle, ein Parallelepiped ist. Die Theorie hat dadurch den Vorteil der Allgemeinheit und den, die Mannigfaltigkeit der Tatsachen auf ein einziges Prinzip zurückführen zu können.“

Der letzte Abschnitt beschäftigt sich mit dem Unterschied zwischen der Struktur und dem Wachstum der Krystalle. „Alles was ich über die Abnahme der angelagerten Lamellen sagte, war nur bestimmt, die Gesetze der Struktur zu entwickeln, und ich bin weit entfernt zu glauben, daß z. B. in einem rhombendodekaedrischen Krystall, dessen Kern ein Würfel ist, dieser Kern so, wie man ihn aus dem Dodekaeder erhält, entstanden und dann durch sukzessive Anlagerung der Lamellen in die Form des Dodekaeders übergegangen sei. Im Gegenteil scheint es bewiesen, daß der Krystall schon im Anfang ein kleines Dodekaeder war, welches einen entsprechend kleinen kubischen Kern enthielt, und daß dieses Gebilde durch neue, ihn allseitig umgebende Schichten ohne Formänderung wuchs, während der ebenfalls wachsende Kern fortwährend die gleiche Beziehung zum ganzen Dodekaeder behielt.“ Durch

Figuren, welche dekreszierende hexaedrische Durchschnitte eines aus kleinen Kuben aufgebauten Rhombendodekaeders darstellen, sucht der Verfasser zu erläutern, „wie die Struktur sich mit der ohne Veränderung der Form stattfindenden Volumvergrößerung kombiniert, während das schon im entstehenden Krystall wirkende Gesetz der Dekreszenz dasselbe bleibt für jede beliebige Größe des wachsenden Krystalls“, und schließt mit folgenden Sätzen: „Die auseinandergesetzte Theorie geht, wie andere, von einer grundlegenden Tatsache aus, von der sie alle Tatsachen derselben Art abhängen läßt, welche sämtlich gleichsam Korollare sind; diese Tatsache ist die Dekreszenz der der Primitivform hinzugefügten Lamellen, und durch Zurückführung dieser Dekreszenz auf einfache regelmäßige und einem strengen Kalkül zugängliche Gesetze gelangt die Theorie zu Resultaten, deren Richtigkeit bewiesen wird durch die mechanische Teilung der Krystalle und durch die Beobachtung ihrer Winkel. Aber um sich der Erkennung der primitiven Gesetze noch weiter zu nähern, denen der Schöpfer die Krystallisation unterworfen hat, und die selbst nichts anderes sind, als die unmittelbaren Wirkungen seines höchsten Willens, bedarf es noch neuer Untersuchungen. Eine dieser Untersuchungen würde den Zweck haben zu erklären, warum diese kleinen Polyeder, welche gleichsam die Rudimente der Krystalle von wahrnehmbarem Volumen sind, einmal die reine Primitivform, das andere Mal eine durch ein Dekreszenzgesetz bestimmte Sekundärform darstellen, und die Umstände zu erforschen, welche einmal zu der Dekreszenz nach den Kanten, das andere Mal zu der nach den Ecken führen. Ich habe mich bereits mit der Lösung dieser ebenso delikaten, wie interessanten Probleme beschäftigt, bin aber bis jetzt nur zu Konjekturen gelangt, welche erst durch fortgesetzte und tiefer durchdachte Arbeiten zu bestätigen wären.“

Wesentlich denselben Inhalt, wenn auch eine etwas geänderte Form und Reihenfolge der einzelnen Teile hat eine bald darauf in den *Annales de chim.* I, 17, Juniheft 1793, S. 225—319 erschienene Abhandlung: „Exposition de la théorie sur la structure des Cristaux.“ Hier findet sich in dem Abschnitte über die Gesetze der Dekreszenz nach den Ecken der Satz: „Die Beobachtung, aus welcher die Theorie entstanden ist, die Stellung des rhomboedrischen Kerns im hexagonalen Prisma des Kalkspats, führte nicht unmittelbar zur Bestimmung der Gesetze der Abnahme, welche die sekundären Formen hervorbringen; es mußten vorher einfachere Resultate gefunden werden, welche sich aus einer Abnahme nach den Diagonalen der Flächen der Grundform ergeben.“ Es folgen nun die gleichen Erörterungen über die Dekreszenz nach den Ecken, wie in der vorher besprochenen Abhandlung; unter den Beispielen wird hier für den Eisenglanz abgeleitet der Winkel des flachen Rhomboeders $\{211\} = 146^{\circ} 26' 33''$ (statt $142^{\circ} 58'$) und derjenige der hexagonalen Dipyramide (an der Basiskante) der nach $\{111\}$ tafelig

Krystalle von Framont, jedenfalls durch Annahme einer unrichtigen Dekreszenz zu $135^{\circ} 34' 31''$ (statt $122^{\circ} 26'$). Die weiteren, ebenfalls inhaltlich mit der vorigen Abhandlung übereinstimmenden Betrachtungen über die Krystalle, „deren Moleküle reguläre Tetraeder sind“, bieten nichts neues. Als Krystalle, deren Moleküle trigonale Prismen sind, werden die Korundvarietäten Rubin, Saphir und „orientalischer Topas“ (= gelber Saphir) angeführt, welche unter dem Namen „Orientale“ zusammengefaßt werden; „hier ist die Primitivform ein hexagonales Prisma mit der Basis, nach welcher die Teilbarkeit stattfindet; die Theorie deutet aber auch eine Spaltbarkeit nach den Seitenflächen an, woraus folgt, daß das Molekül ein trigonales Prisma ist; wie der theoretische Kalkül ergibt, ist die Höhe dieses Prismas etwas weniger als das Dreifache von derjenigen der gleichseitig dreieckigen Basisfläche“; durch Dekreszenz um eine Reihe von Molekülen (eigentlich eine Doppelreihe abwechselnd umgekehrt gestellter trigonaler Prismen) an allen Basiskanten des hexagonalen Prismas wird die Dipyramide $\{4\bar{1}2\}$ mit dem sehr nahe richtigen Flächenwinkel an der Basiskante = $139^{\circ} 54'$ abgeleitet, durch gemischte Dekreszenz von drei Molekülreihen in der Breite und zwei in der Höhe eine weniger spitze Dipyramide, deren entsprechender Flächenwinkel = $122^{\circ} 36'$; die an den abwechselnden Polkanten der spitzen Pyramiden des edlen Korunds auftretenden gleichschenkeligen Dreiecke entstehen durch Dekreszenz nach drei Reihen kleiner rhombischer Prismen von 120° (gleich je zwei trigonalen) auf drei Ecken der oberen und drei alternierenden Ecken der unteren Basis des Kerns. Das Schlußkapitel über den Unterschied zwischen Struktur und Wachstum stimmt wörtlich mit demjenigen der vorigen Abhandlung überein.

Eine dritte, ebenfalls inhaltlich gleiche Darstellung seiner Theorie veröffentlichte HAÜY im Juli 1793 in der Zeitschrift „Observations et Mémoires s. l. physique, s. l'hist. nat et s. l. arts.“, Par. XLIII, S. 103—145, deren Herausgeber DELAMÉTHÉRIE im Januarheft (S. 21 f.) in der alljährlichen Übersicht der Fortschritte der Naturwissenschaften im abgelaufenen Jahre über die der Krystallographie berichtet, welche nach ihm eingeteilt werden könne in die von ROMÉ DELISLE begründete, rein deskriptive Behandlung und in die mechanische Analyse der Krystalle; letztere sei von GAHN entdeckt und von BERGMAN verallgemeinert worden; HAÜY habe dann denselben Weg verfolgt und die Analyse der Struktur mehrerer Krystalle gegeben. Diesen Bemerkungen schließt

¹⁾ Damit ist offenbar die Form $\{3\bar{1}1\}$ gemeint, deren abwechselnde Polkanten durch das Grundrhomboeder abgestumpft werden; die abgebildete Kombination ist aber diejenige mit einer spitzeren Dipyramide; die häufigsten dieser Formen sind $w \{4\bar{1}2\}$ und $v \{5\bar{1}3\}$, deren Flächenwinkel an der Basis = $139^{\circ} 42'$ bzw. $149^{\circ} 14'$ betragen.

sich eine kurze Darstellung der eigenen Ansichten des Verfassers über die Struktur der Krystalle an.

Zu der im Juliheft enthaltenen Abhandlung HAÜYS „Théorie de la structure des cristaux“ bemerkt DELAMÉTHÉRIE in einer einleitenden Notiz, daß der Verfasser sie soeben in den Ann. de chim. veröffentlicht hätte, aber ohne die allgemeinen Formeln, auf welche durch ihn die Theorie der Krystallstruktur zurückgeführt worden sei; der Herausgeber habe daher den mathematischen Teil mit Hilfe des Herrn GILLOT nach HAÜYS Abhandlungen, Werken und Vorträgen hinzugefügt. Die eigentliche Abhandlung HAÜYS ist, abgesehen von einigen einleitenden Sätzen, die wörtliche Wiederholung derjenigen in den Ann. de chim.; die als „Fortsetzung“ bezeichnete Abhandlung GILLOTS (S. 146—161) beginnt mit der geometrischen Betrachtung des Würfels als des rechtwinkeligen Rhomboeders und entwickelt dann die Verhältnisse des Rhomboeders überhaupt; aus den vollkommen korrekten Formeln geht hervor, daß dessen Winkel gegeben sind, wenn man das Verhältnis der beiden Diagonalen seiner Flächen kennt. Für den Kalkspat wird nun, auf Grund der irrümlichen Annahme HAÜYS für die Neigung der Spaltungsfläche zur Achse, dieses Verhältnis = $\sqrt{2} : \sqrt{3}$ gesetzt und hieraus die Winkel der durch die verschiedenen Dekreszenzen entstehenden Formen abgeleitet. Die Formeln weichen nur insofern von denen HAÜYS ab, als der Verfasser mit g nicht das Verhältnis der beiden Diagonalen, sondern die halbe horizontale Diagonale bezeichnet und dadurch den Fehler der Verbindung benannter und unbenannter Größen vermeidet.

In den folgenden Jahren hat HAÜY nur kürzere Aufsätze (meist in den A. d. mines) veröffentlicht, in welchen er seine Theorie auf einzelne, früher nicht behandelte Mineralvorkommen anwendete, während er das umfangreichste seiner Werke ausarbeitete, das er bereits im Jahre 1792 im Journ. d'Hist. nat. (s. S. 46) angekündigt hatte als einen „Versuch die Mineralogie nach allen den Gesichtspunkten zu behandeln, welche dazu geeignet sind, sie zu einer wahren Wissenschaft zu machen.“ Es ist dies das „Traité de Minéralogie“, Paris 1801, 4 Bde. mit einem Atlas von 86 Tafeln (als „Lehrbuch der Mineralogie“ ins Deutsche übersetzt von KARSTEN und WEISS, Paris und Leipzig 1804—1810), in dessen Einleitung die Grundsätze der Systematik der Mineralien und die Wahl der Eigenschaften, welche zur Unterscheidung derselben und zur Charakterisierung einer „Mineralspezies“ dienen, ausführlich besprochen werden.

In diesem Werke wird nun zunächst, nach allgemeinen Bemerkungen über den Begriff der Mineralien und das Wesen der Krystallisation, die Theorie der Struktur der Krystalle entwickelt, inhaltlich entsprechend den früheren Darstellungen; nur kürzer und übersichtlicher werden hier behandelt die Primitivformen, die verschiedenen Gesetze der Dekres-

zenzen einschließlich der „gemischten“ und „intermediären“, die zusammengesetzten sekundären Formen und diejenigen, deren Primitivformen von dem Parallelepiped verschieden sind, der Unterschied zwischen Struktur und Wachstum sowie die Zwillingsverwachungen. Hierauf folgen Abschnitte über die aus der Theorie abgeleiteten Bezeichnungen der Krystallformen und über mineralogische Methoden, dann wieder solche über Nomenklatur der Mineralien und Krystalle, endlich Erörterungen über Kennzeichen der Mineralien, unter deren physikalischen Eigenschaften das spez. Gewicht näher behandelt wird. Ein weiterer „geometrischer“ Abschnitt bringt eine erneute, mehr mathematische Darstellung der „Gesetze, denen die Struktur der Krystalle unterworfen ist“. Wenn dieser die zweite Hälfte des ersten Bandes und einen kleineren Teil des zweiten umfassende Abschnitt sich ebenso wie die vorhergehende kürzere Darstellung der Theorie inhaltlich mit den früheren Veröffentlichungen deckt, so enthält er doch mancherlei Ergänzungen; z. B. wird für den Aufbau des stumpfen Kalkspatrhomboiders $\{110\}$ eine von Abbildungen begleitete Anleitung gegeben, durch welche die S. 29 erwähnten Lücken vermieden werden sollen; zu dem Zwecke müssen aber die aufeinander zu schichtenden Lamellen mit ihren oberen Kanten um eine Molekülreihe „verschoben“, nicht „verkleinert“ werden, und die an ihrer Unterseite angegebene „Dekreszenz“ ist in Wirklichkeit ein „Wachstum“; aber auch so lassen sich die abge bildeten Lamellen nur dann zu dem Rhomboeder zusammenfügen, wenn man an einem Teile ihrer Außenränder die Hälfte der Moleküle wegschneidet, genau so, wie man aus an Größe zunehmenden hexaedrischen Lamellen einen größeren Würfel nur aufbauen kann, wenn man die Lamellen seitlich durch die Flächen des Rhombendodekaeders begrenzt (vgl. hierüber den Aufsatz von P. GROTH, „Zur Geschichte der Krystallkunde“ in: Die Naturwissenschaften, Berlin 1825, S. 51—55).

Den umfangreichsten Teil des Werkes bildet die „Beschreibung der mineralogischen Spezies“, unter deren Krystallformen aber auch diejenigen aufgenommen sind, welche nur als Produkte von Krystallisationsversuchen erhalten worden waren, wie die von Bittersalz, Salpeter u. a. Hier ist nun alles zusammengestellt, was damals über die Mineralstoffe bekannt war, vereinigt mit zahlreichen eigenen Beobachtungen des Verfassers, und das gesamte Material einheitlich verarbeitet vom Standpunkte seiner Theorie. Dadurch stellt das Werk einen sehr großen Fortschritt in der krystallographischen Kenntnis der einzelnen Mineralstoffe dar. Es werden bei jedem derselben nach einer allgemeinen Charakteristik die krystallisierten Varietäten aufgezählt und für jede die aus der Strukturtheorie abgeleitete Bezeichnung der einzelnen Flächenarten angegeben, wofür beispielsweise beim Kalkspat nicht weniger als zwanzig Dekreszenzgesetze in Betracht kommen. Ebenso wie die in den früheren Veröffentlichungen behandelten Stoffe werden auch

die übrigen in Krystallen beobachteten der Theorie unterworfen, d. h. für die Dimensionen ihrer Grundformen bestimmte Annahmen gemacht; meist werden sie den Quadratwurzeln einfacher oder auch komplizierter ganzer Zahlen gleich gesetzt, und aus diesen Größen werden dann die Winkel der Krystalle berechnet, im allgemeinen auf Minuten, in einzelnen Fällen, wie es in den früheren Abhandlungen geschah, auf Sekunden. Außer der allgemeinen Anwendung seiner Methode zur Bestimmung der Krystallformen werden aber bei einigen Mineralien die Grundsätze der Theorie nochmals besprochen, wie z. B. beim Flußspat die Annahme der regelmäßigen Hohlräume, andererseits aber auch einzelne frühere Angaben verbessert, wie die Annahme des Wertes 90° für den Rhomboiderwinkel des Eisenglanzes.

Zu den wesentlichen Fortschritten in der Kenntnis der Krystalle sind ferner zu rechnen eine Reihe von Angaben über physikalische Eigenschaften einzelner Mineralien. Durch Beobachtung einer feinen Spitze durch ein Prisma gelang es HAÜY in verschiedenen Mineralien die bis dahin nicht erkannte Doppelbrechung des Lichtes nachzuweisen, und besonders wichtige Untersuchungen stellte er über polare Pyroelektrizität an. Während er sich früher¹⁾ in dieser Beziehung fast nur mit dem Turmalin beschäftigt und die Polarität seiner Achse festgestellt hatte, war es ihm inzwischen gelungen, an den kleinen Krystallen des Boracit die Existenz von vier mit den Diagonalen des Würfels zusammenfallenden elektrischen Achsen nachzuweisen, deren Pole eine gesetzmäßige Lage zu den ebenfalls in bezug auf die Würfeldiagonalen polaren Krystallflächen besitzen, ebenso wie das elektrische Vorzeichen eines Poles des Turmalins sich als verbunden mit dem Auftreten gewisser Endflächen erwies.

Endlich darf noch ein anderer Fortschritt nicht unerwähnt bleiben, die Ausführung der Figuren in dem beigegebenen Atlas, die sich wesentlich dadurch von derjenigen in den früheren Abhandlungen unterscheidet, daß sie nach einer exakten Projektionsmethode stattgefunden hat. Wie L. BURMESTER (Geschichtliche Entwicklung des krystallographischen Zeichnens usf., Zeitschr. f. Kryst. 1922, 57, S. 21 f.) nachwies, beruht diese auf der kurz vorher von MONGE geschaffenen deskriptiven Geometrie; merkwürdigerweise erwähnt aber HAÜY weder diesen

¹⁾ Außer den vorher zitierten Abhandlungen kommt hier besonders in Betracht der Aufsatz im „Observ. s. l. Phys., s. l’Hist. nat. etc.“, Paris 1791, 38, S. 323—324, in welchem mitgeteilt wird, daß die Boracitkrystalle der Kombination {100}, {110}, {111} beim Erwärmen elektrisch werden, und zwar auf den vier Tetraederflächen positiv. Ferner wird erwähnt, daß die übrigen durch Wärme elektrisch polar werdenden Krystalle, nämlich der Turmalin, der Calamin und der brasilianische Topas, zum Unterschied von Boracit, nur eine einzige elektrische Achse besitzen. Spätere Beobachtungen über elektrische Eigenschaften der Mineralien, namentlich ihr Verhalten beim Reiben, enthält die von HAÜYS Assistenten und Mitarbeiter DELAFOSSE redigierte Abhandlung in den Ann. de chim. et de phys., Paris 1818, 8, S. 383—401.

Umstand, noch gibt er irgend etwas an über das zur Herstellung der Figuren des Atlas benutzte Verfahren. Dieses wird erst 21 Jahre später in seinem „Traité de Cristallographie“ Vol. II, S. 583, „Méthode pour représenter en projection des cristaux“ in einer Form behandelt, welche dasselbe als vollständig eigene Erfindung HAÜYS erscheinen läßt (Näheres s. BURMESTER I. c.).

In den auf das Erscheinen des „Traité de Minéralogie“ folgenden letzten zwanzig Jahren seines Lebens hat HAÜY fortgesetzt an Ergänzungen des Inhaltes jenes Werkes gearbeitet. Die hieraus hervorgegangenen Veröffentlichungen sind teils in dem Journ. d. Mines, teils in dem 1809 erschienenen „Tableaux comparatif de la Cristallisation et de l'Analyse chimique, relativement à la classification des minéraux“ enthalten und bestehen in Anwendungen der Theorie auf früher nicht beobachtete oder nicht genauer untersuchte Krystallformen, sowie Untersuchungen über physikalische Eigenschaften von Mineralien. Alle diese Arbeiten galten der Vorbereitung für eine zweite Auflage des „Traité“, von welcher aber nur ein Vorläufer herausgekommen ist in Form eines zweibändigen Werkes mit dem Titel „Traité de Cristallographie, suivi d'une application de cette science à la détermination des espèces minérales et d'une nouvelle méthode pour mettre les formes cristallines en projection“ Paris 1822 (mit Atlas von 84 Tafeln). Da der Inhalt dieses Werkes, abgesehen von dem oben bereits erwähnten Anhang über Krystallzeichnen, im wesentlichen mit den früheren Veröffentlichungen des Verfassers übereinstimmt, genügt es hier einiges aus den Betrachtungen über die Primitivformen und über die Winkelmessungen der Krystalle anzuführen: „Da die regulären Formen Grenzformen sind, so muß man annehmen, daß die Beziehungen der Dimensionen der Primitivformen stets durch Wurzelgrößen mehr oder weniger einfacher Zahlen gegeben sind, und daß die bei der Messung der Winkel gefundenen Abweichungen auf Fehlern beruhen. So z. B. führt die Messung von Quarzkrystallen mit dem (inzwischen von WOLLASTON erfundenen) Reflexionsgoniometer durch MALUS zu dem Verhältnis $\sqrt[3]{149} : \sqrt[3]{240}$ (oder eigentlich zu noch größeren Zahlen), wofür $\sqrt{5} : \sqrt[3]{8}$ als das einfachste und daher richtige Verhältnis zu setzen ist.“ „Für den Rhomboederwinkel des Kalkspats haben zwar WOLLASTON, MALUS und BIOT mit dem Reflexionsgoniometer übereinstimmend gefunden $105^{\circ} 5'$ statt des aus der Theorie sich ergebenden Wertes von $104^{\circ} 28' 40''$, aber ihre Methode ist eine indirekte (!) und das einfachste daraus folgende Verhältnis der beiden Flächendiagonalen ist $\sqrt{111} : \sqrt[3]{73}$ statt $\sqrt{3} : \sqrt{2}$.“ Hier zeigt sich deutlich, wie selbst die einwurffreiesten Beweise der Unrichtigkeit seiner Annahmen ihn nicht mehr zu überzeugen vermochten. In der Beschreibung des Instrumentes, welches in der Folge das Mittel darbot, die Winkel der Krystalle mit der erforderlichen

Genauigkeit zu bestimmen und auf dessen Benutzung die gesamte Entwicklung der Krystallkunde als Wissenschaft beruht (Philosoph. Transactions of the Roy. Soc. of London 1809, I, S. 253—258), hat WOLLASTON durch sorgfältige Messungen an Spaltungsstücken von isländischem Kalkspat gezeigt, daß deren Winkel unmöglich die von HAÜY angenommene Größe haben könne, sondern einen Wert besitze, der sehr genau mit dem schon von HUYGHENS und von NEWTON adoptierten übereinstimmt. Zu dem gleichen Resultat gelangte nach einer ebenfalls auf der Reflexion des Lichtes beruhenden Methode MALUS („Mém. prés. à l'Institut d. sc. p. div. sav. Sc. math. e. phys.“ II, Paris 1811, S. 307f.).

Zwei Jahre nach diesem letzten Werke HAÜYS erschien eine Arbeit, welche sich eingehend mit seiner Theorie beschäftigt und den Titel führt: „Versuch einer Erklärung des inneren Baues der festen Körper“ von Dr. SEEBER, Prof. der Physik zu Freiburg im Breisgau, in GILBERTS Ann. d. Phys., Leipzig 1824, 76, S. 229—248, 349—372. Diese Abhandlung beginnt mit der Feststellung, daß weder die atomistische noch die dynamische Hypothese genügend mit der Erfahrung übereinstimme, um einer Theorie der inneren Natur der festen Körper zugrunde gelegt werden zu können, daß man vielmehr hierbei von der Annahme auszugehen habe, daß die kleinsten Teilchen durch anziehende Kräfte, analog der Gravitation, zusammengehalten werden; die Elastizität der festen Körper beweise aber, daß sie aus Teilchen bestehen, welche einander nicht unmittelbar berühren, sondern Abstände haben, welche dem stabilen Gleichgewichte jener anziehenden mit einer abstoßenden Kraft entsprechen. Wie die thermische Ausdehnung zeigt, wird das Verhältnis beider von der Temperatur beeinflußt. Der Zustand des Gleichgewichts hängt offenbar ab von der Masse und der Form der Teilchen, von ihrer Anordnung und von dem Gesetze, nach dem sich die Intensität der anziehenden und abstoßenden Kräfte mit der Entfernung ändert. Da in einem solchen System nur dann Gleichgewicht statthaben kann, wenn bei jedem der materiellen Teile die Resultante der übrigen Null ist, so müssen die Teile in ihrer gegenseitigen Lage nach einem gewissen Gesetz geordnet sein, worauf sowohl die Bildung ebener Begrenzungsflächen als auch die Eigenschaft der Spaltbarkeit hindeutet. Die Untersuchung über den inneren Bau der festen Körper habe also mit den Krystallen zu beginnen. HAÜY suchte eine Erklärung der Formen und der natürlichen Trennungsflächen der Krystalle durch eine Hypothese über die Form und die Stellungsart ihrer mechanisch einfachen Teile zu geben, welche deshalb nicht als genügende Erklärung zu betrachten ist, weil die äußere Form sich bei der Entstehung der Krystalle dadurch bildet, daß sich aus einer Flüssigkeit ein Bestandteil ganz oder zum Teil abscheidet und in festen Zustand übergeht, d. h. aus einem Zustand des Gleichgewichts in einen andern. Die Krystall-

flächen entsprechen bei dem neuen Zustande dem Gleichgewichte zwischen festen und flüssigen Teilen. Die Form der Krystalle ist daher von der Art abhängig, wie zwischen den Atomen¹⁾ beider Teile Gleichgewicht möglich ist, mithin nicht bloß von der Stellungsart der Atome, sondern auch von dem Gesetz ihrer wechselseitigen Wirkung. Die Spaltungsflächen der Krystalle sind Ebenen, nach denen ihr Zusammenhang geringer ist als nach anderen. Bei der Erklärung der Gesetze der Krystallisation, und der Spaltbarkeit müssen daher nicht nur die Form und die Anordnung der kleinsten Teile, sondern auch die Gesetze ihrer wechselseitigen Wirkungen berücksichtigt werden.

Ein zweiter Einwand SEEBERS gegen die HAÜYSche Theorie betrifft die Annahme von zweierlei Molekülen bei den Substanzen, welche nach mehr als drei Ebenen spalten, d. h. die Zerlegung der parallelepipedischen „molécules soustractives“ in mehrere Tetraeder usw., welche als die eigentlichen „molécules intégrantes“ betrachtet werden. Beide Einwände werden nun dadurch beseitigt, daß in der Mitte der einander berührenden HAÜYSchen Moleküle in gegenseitigen Abständen, welche den oben besprochenen Eigenschaften der festen Körper entsprechen, kleinere etwa kugelförmige Moleküle (Atome) angenommen werden. Durch diese Substitution werden die HAÜYSchen Erklärungen beträchtlich vereinfacht; denn wenn man bei den Substanzen, für welche die Annahme tetraedrischer und anderer Moleküle nötig war, die neuen Atome nicht in diese, sondern in die „mol. soustractives“ einsetzt, so lassen sich nach allen Richtungen der Spaltbarkeit durch den Krystall Ebenen legen, welche kein Molekül schneiden. Man braucht also nur eine Stellungsart der Atome zueinander, die *parallelepipedische*, und legt man durch die Mitte der Seiten der Parallelepipede Ebenen, welche deren Flächen parallel sind, so schneiden sich diese in den Schwerpunkten der Atome und teilen den Raum lückenlos in kleine Parallelepipede. Von den Werten der Kanten und Winkel dieser „Elementarparallelepipede“ hängt die Möglichkeit des stabilen Gleichgewichtes des Systems ab.

Hier ist also diejenige Anschauung zuerst ausgesprochen, welche später die Grundlage der in neuester Zeit durch die röntgenometrischen Untersuchungen bestätigten Theorie der „Gitterstruktur“ der Krystalle geworden ist. Um so mehr muß es befremden, daß diese wichtige Arbeit fast ganz unbeachtet geblieben ist. Nur L. SOHNCKE in seiner meisterhaften Übersicht der historischen Entwicklung der Krystallstruktur („Entwicklung einer Theorie der Krystallstruktur“, Leipzig 1879, S. 12) hat darauf hingewiesen und die gleichen Einwände, sowie den der Willkür gegen die HAÜYSche Theorie erhoben.

¹⁾ Zur Unterscheidung zwischen den von ihm (der Einfachheit wegen) kugelförmig angenommenen kleinsten Teilen und den polyedrischen HAÜYS gebraucht SEEBER von „den an sich gleichbedeutenden Namen *Atom* und *Molekül*“ jenen nur für die ersteren, diesen für die letzteren.

Einführung der Achsen und allmählicher Aufbau des Grundgesetzes der geometrischen Krystallographie.

Wie S. 53 erwähnt, erschien von HAÜYS „*Traité de minéralogie*“ eine deutsche Ausgabe, besorgt von Bergrat D. L. G. KARSTEN, dem Lehrer der Mineralogie und Aufseher des K. Mineralienkabinetts in Berlin; zur Ausführung der Übersetzung zog dieser heran seinen Neffen C. J. B. KARSTEN in Rostock und einen angehenden Leipziger Privatdozenten CHRISTIAN SAMUEL WEISS (9). Letzterer hat nicht nur den größten Teil der Übersetzungsarbeit geleistet, sondern auch durch gründliches Studium des Werkes wesentliche Mängel der HAÜYSchen Theorie klar erkannt. Infolgedessen stellte er ihr eine eigene entgegen und setzte es durch, daß eine Darlegung derselben unter dem Titel: „*Dynamische Ansicht der Krystallisation*“ in den 1804 erschienenen ersten Band der deutschen Ausgabe (S. 365—389) eingefügt wurde¹⁾.

¹⁾ Der ursprüngliche und an mehreren Stellen von dem gedruckten Texte abweichende Entwurf zu dieser Darlegung befindet sich in dem handschriftlichen Nachlaß von WEISS, welcher in der Dokumentensammlung DARMSTÄEDTER (Staatsbibliothek Berlin) aufbewahrt wird und dem Verfasser durch den Vorstand derselben, Dr. SCHUSTER, freundlichst zur Verfügung gestellt wurde (s. auch S. 19). Eine Widerlegung der WEISSschen Theorie versuchte im gleichen Jahr 1804 (*Ann. de chim.* **52**, S. 307—339) ein englischer Chemiker, CHENEVIX, in einem französisch geschriebenen Aufsätze, der mit einem Angriff auf die deutschen „Naturphilosophen KANT und SCHILLING“ (sic!) beginnend, WEISS und KARSTEN, wem Letzterer es verschuldet habe, daß dieser unberechtigte Angriff auf die einzig richtige Theorie von HAÜY in dessen „*Mineralogie*“ eingefügt worden sei, im hochfahrendsten Tone mit „Widerlegungen“ überschüttet. In WEISS' Nachlaß befindet sich nun das Manuskript einer im entsprechenden Tone gehaltenen Erwiderung, welche aber nicht zum Drucke gelangt ist, außerdem aber eine Anzahl französischer Schriftstücke, deren erstes die Überschrift trägt: „*Exposition de la théorie sur la cristallisation, fondée sur les principes dynamiques des sciences naturelles, par . . .*“ Offenbar hatte WEISS die Absicht, statt jener Erwiderung, deren Abdruck ihm vermutlich von der Redaktion der *Ann. de chim.* verweigert worden war, anderswo in Paris eine französische Abhandlung über seine Theorie zu veröffentlichen. Es wäre sehr erwünscht, wenn Herr Dr. SCHUSTER seiner früheren Arbeit über CHR. S. WEISS und die Naturphilosophie (vgl. S. 19) noch weitere Mitteilungen aus dessen Nachlaß folgen lassen würde, nämlich die Publikation dieser beabsichtigten Darstellung seiner Theorie, sowie den vorher erwähnten ersten Entwurf und eventuell einen Auszug aus dem Aufsätze von CHENEVIX.

WEISS setzt sich vor, das von KANT in seinen metaphysischen Anfangsgründen der Naturwissenschaft gestellte Problem, die Form des Starren aus dem Flüssigen zu erklären, im Gegensatz zur Atomistik vom Standpunkte des Dynamikers aus zu lösen. Zu dem Zwecke nimmt er an, daß nicht nur chemische Anziehung (Verwandtschaft), sondern auch chemische Abstoßung existiere, und die Krystallisation auf einer Hemmung dieser Repulsivkraft beruhe, welche nach bestimmten Richtungen wirke, so daß einer Krystallisation stets ein bestimmter Abstoßungswinkel entspreche und hierdurch die Richtung der Blätterdurchgänge, d. i. die Spaltbarkeit, bestimmt werde. Hieraus wird dann geschlossen, daß die sogenannten sekundären Krystallflächen nicht bloß als äußere Begrenzung entstehen können, sondern als der inneren Struktur entsprechende „versteckte Blätterdurchgänge“ in allen Krystallen einer Art vorhanden sind. Dies ist allerdings eine Folgerung, welche gerade umgekehrt für den atomistischen Aufbau der Krystalle spricht, denn sie steht im Einklang mit der Regelmäßigkeit der Anordnung der Atome, d. h. mit dem Vorhandensein von Ebenen verschiedener Dichtigkeit der Besetzung mit Atomen. Nichtsdestoweniger bilden die in der Abhandlung ausgesprochenen Ideen die Grundlage für einen großen Fortschritt in der Entwicklung der Krystallkunde; denn hier ist zum ersten Male die Grundeigenschaft der krystallisierten Stoffe, die Vektorialität, klar erkannt und deutlich ausgesprochen worden, daß die *Richtungen* die Krystallart charakterisieren und daß von der Beschaffenheit des Krystalls in den primären Richtungen sich die in den sekundären nach bestimmten (noch nicht festgestellten) Gesetzen ableiten lasse. Dies ist aber die Idee, welche WEISS auf die Einführung der „Achsen“ in die Krystallographie geführt und die es ermöglicht hat, das Grundgesetz, das der Rationalität der Indices, dessen Kenntnis durch die Forschungen HAÜYS vorbereitet worden war, in korrekter

An den seiner „Dynamischen Theorie“ zugrunde liegenden Ideen hat WEISS bis zu seinem Lebensende festgehalten, wie u. a. ein Vortrag „Vorbegriffe zu einer Cohäsionslehre“. Erste Abtheilung, beweist, den er am 28. Juni 1832 vor der Akademie d. Wiss. in Berlin (Abhandlungen der k. pr. Akad. d. Wiss. zu Berlin aus dem Jahre 1832, Berlin 1834, S. 57—83) hielt und von dem eine Fortsetzung nicht erschienen ist. Die Auseinandersetzungen dieses Aufsatzes bilden ein lehrreiches Beispiel dafür, daß Probleme, wie die Bildung und das Wachstum der Krystalle, nicht durch philosophische Betrachtungen gelöst werden können. Ein wie scharfsinniger Denker hier jedoch am Werke war, geht daraus hervor, daß besonders auf die Schwierigkeiten hingewiesen wird, die gerade die genannten Fragen darbieten, weil es sich um Aufstellung der Bedingungen handelt, welche an der Grenze zweier verschiedener Medien gelten (bekanntlich gehören die „Grenzbedingungen“ zu den schwierigsten Aufgaben aller physikalischen Theorien). Erst die fast märchenhaften Fortschritte der Atomtheorie in den letzten Jahren lassen auf eine baldige Lösung jener für den krystallisierten Zustand der Materie grundlegenden Probleme hoffen.

Form aufzustellen. Dazu bedurfte es jedoch nicht nur der erfolgreichen Erforschung der einzelnen geometrischen Gesetzmäßigkeiten der Krystallformen in den folgenden Jahrzehnten durch WEISS und seine Schüler, sondern auch der Kenntnis der Gesetze der thermischen Ausdehnung der Krystalle, welche durch MITSCHERLICHs wichtige Entdeckung am Kalkspat begründet wurde.

Seine Ideen fand nun WEISS noch während der Ausarbeitung der deutschen Ausgabe von HAÜYS Mineralogie bestätigt durch eine Untersuchung des Feldspats, welche ergab, daß dieser nicht, wie HAÜY beobachtete und dessen Theorie es verlangte, nur nach $P \{001\}$, $M \{010\}$ und $T \{110\}$, sondern auch nach $l \{1\bar{1}0\}$ spalte — und zwar nach den beiden letzteren Ebenen gleich unvollkommen (da es sich um Mikroklin mit sehr feiner Zwillingslamellierung handelte, ist die WEISSsche Beobachtung unzweifelhaft die richtige). In dem im zweiten Bande des Werkes (S. 711—723) eingefügten „Nachtrag über die Krystallisation des Feldspates“ knüpft WEISS an diese Beobachtung eine Darlegung der Beziehungen der verschiedenen Formen des Feldspats zueinander, welche nach seiner Ansicht darauf beruhen, daß durch je zwei Krystallflächen die Bildung einer dritten, ihre Kante abstumpfenden Fläche bedingt ist und sich dadurch alle sekundären Formen von den primären ableiten lassen. Es ist also hier das Gesetz der „Zonen“ (auch dieser Name wird verwendet) als ein Fundamentalgesetz der Krystallographie ausgesprochen. Ähnliche Zusätze hat WEISS auch in dem 1806 erschienenen dritten Band beim Epidot (S. 132f.) und beim Glimmer (S. 269f.) gemacht.

Nachdem er Professor der Physik an der Universität Leipzig geworden war, hielt er am 8. März 1809 die vorgeschriebene Antrittsrede „De indagando Formarum crystallinarum caractere Geometrico principali Dissertatio“ und verteidigte die derselben beigelegten, dem Fache seines neuen Lehramtes angehörigen Thesen; gleichzeitig veröffentlichte er eine Ergänzung jener Rede unter dem Titel „De Caractere Geometrico principali Formarum crystallinarum octaedricarum Pyramidibus rectis basi rectangula oblonga Commentatio“ und trug diese drei Tage nach der ersten vor. Eine nur wenig verkürzte Übersetzung dieser beiden Abhandlungen von dem Bergingenieur BROCHANT DE VILLIERS erschien 1811 im 29. Band des Journal des Mines, S. 349—437, mit Hinzufügung eines ausführlichen Inhaltsverzeichnisses und eines alphabetischen Registers der darin behandelten Mineralien (S. 438—444)¹⁾. Die oben besprochenen im ersten Bande der Übersetzung von HAÜYS Mineralogie niedergelegten „dynamischen Ansichten“ über die Kry-

¹⁾ BROCHANT war übrigens ein kenntnisreicher und verdienter Mineraloge, mit dem sich WEISS einige Jahre vorher bei seinem Aufenthalt in Paris besonders befreundet hatte.

stallisation hatten inzwischen eine wesentliche Klärung dadurch erfahren, daß der junge WEISS sich durch mehrjährige Studienreisen und namentlich durch einen längeren Aufenthalt in Freiberg als Schüler von G. A. WERNER zu einem Mineralogen ausgebildet hatte, dessen Wissen bei seinem Besuch in Paris das Erstaunen der dortigen Fachgenossen hervorrief, besonders dasjenige von HAÜY, der jedoch sein Benehmen gegen ihn plötzlich änderte, als er erkannte, daß WEISS ganz andere Ansichten über die Struktur der Krystalle habe als er (s. S. 19). Ferner hatte Letzterer durch die nunmehr fast vollendete Übersetzung des HAÜYSchen Werkes Gelegenheit gehabt, sich mit den darin zusammengestellten krystallographischen Beobachtungen über sämtliche einzelnen bis dahin bekannten Mineralien gründlich vertraut zu machen, und war daher nun in der Lage, eine kritische Übersicht des bisher auf diesem Gebiete Erreichten zu liefern.

In der Einleitung geht er aus von der Anschauung, daß die Krystallform der Ausdruck der die Krystallisation erzeugenden Kräfte sei und daher abhängen von dem Verhältnis dieser Kräfte in den verschiedenen Richtungen im Krystall. Die Aufgabe der Erforschung jeder einzelnen Krystallart sei es daher, diejenigen Zahlengrößen zu bestimmen, deren Verhältnisse den in den „Hauptrichtungen“ des Krystalls wirkenden Kräften derart entsprechen, daß sich aus ihnen die in den sekundären Richtungen wirkenden Kräfte am einfachsten ableiten lassen. Diese Größen bestimmen den „geometrischen Hauptcharakter“ der Krystallart und werden daher die „Elemente“ derselben genannt. Als solche dienen ihm beispielsweise beim Kalkspat, nicht wie HAÜY, das Verhältnis der beiden Diagonalen der Rhomboederfläche, sondern das Verhältnis $\sin : \cos$ des Neigungswinkels der Spaltungsebene zur Achse des Rhomboeders, bei einer hexagonalen Krystallart nicht das von HAÜY angenommene Verhältnis der Normalen aus der Mitte auf die Seite der Basis zur Höhe des Prismas, sondern dasjenige von $\sin : \cos$ der Neigung einer Fläche der hexagonalen Dipyramide zu deren Achse. Erst durch die Vergleichung der so aus dem Studium der verschiedenen Krystallarten sich ergebenden Werte könne das allgemeine geometrische Gesetz der Krystallformen abgeleitet werden, und um die Richtigkeit der dynamischen Erklärung der Krystallisation zu beweisen, müsse man außerdem die Gesetze kennen, welche die Beziehungen verschiedener Krystallarten zueinander bzw. zu ihrer chemischen Natur ergeben. Nach diesen allgemeinen Bemerkungen, welche gewissermaßen das Programm für die späteren Fortschritte der Krystallkunde enthalten, gibt WEISS eine kurze Würdigung der Verdienste von ROMÉ DELISLE und von HAÜY, mit Dessen Mineralogie eine neue Ära in der krystallographischen Wissenschaft beginne; denn wenn seine Ideen über die Struktur der Krystalle auch schon früher von BERGMAN aufgestellt worden seien, so habe er sie doch gewissermaßen zu seinem Eigentum gemacht,

indem er sie in ganz selbständiger Weise weiter verfolgt, durch scharfsinnige geometrische Betrachtungen verziert und versucht habe, sie auf das gesamte Gebiet der Mineralogie anzuwenden¹⁾). Infolgedessen müsse man auch die Besprechung der bisher erkannten Gesetzmäßigkeiten der Krystalle beginnen mit dem, was HAÜY in seiner „Mineralogie“ gelehrt habe.

Hierbei können zunächst ausscheiden die sogenannten regulären Krystallarten, weil deren geometrischer Charakter keiner besonderen Bestimmung bedarf. Derjenige der hexagonalen Krystalle wird, wie oben erwähnt, jedesmal durch das Verhältnis der später als „Zwischenachse“ bezeichneten Größe zur Länge der Hauptachse der Dipyramide bestimmt. Da damals noch keine genaueren Messungen vorlagen, als die in HAÜYS Werke, so werden hier die dort adoptierten Werte (Quadratwurzeln) beibehalten. Von den Krystallen, deren Primitivform ein Parallelepiped ist, werden zuerst diejenigen behandelt, welche den wichtigsten Fall der parallelepipedischen Grundformen, den des Rhomboeders, darstellen, und die einfachen Methoden der Berechnung ihrer Elemente (d. i. $\sin : \cos$ des Neigungswinkels) aus den HAÜYSCHEN Daten angeben. Zum Vergleich werden daneben gestellt auch die „entsprechenden Elemente“ der hexagonalen Krystalle und diejenigen mit einem Grundrhomboeder von 90° ($\sin : \cos = 1 : \sqrt{2}$); hierbei zeigt sich, daß diese Zahlenverhältnisse im allgemeinen auf einen einfacheren Ausdruck führen, als die Verhältnisse der Diagonalen der Rhomboederflächen. WEISS entwickelt im Anschluß daran die Formeln, welche die Berechnung anderer Größen an einem rhomboedrigen oder hexagonalen Krystall aus den „Elementen“ gestatten. Hierauf folgen die tetragonalen Krystalle, welche HAÜY teils auf das Oktaeder mit quadratischer Basis (die tetragonale Dipyramide) teils auf das zugehörige Prisma zurückgeführt hatte; hier werden die Elemente für jede Krystallart dargestellt durch das Verhältnis der halben Seite der Basis zur Höhe der Pyramide, welches in dem speziellen Falle des regulären Oktaeders $= 1 : \sqrt{2}$ beträgt, und ebenso werden die Methoden zur Berechnung der verschiedenen kristallographischen Größen aus jenem Verhältnis angegeben. In der ergänzenden zweiten Abhandlung werden diejenigen Krystalle behandelt, deren Formen „Oktaeder mit oblonger Basis“,

¹⁾ In der oben zitierten Übersetzung ist die Würdigung ROMÉ DELISLES ganz verschwiegen und diejenige HAÜYS, obgleich als „wörtlich wiedergegeben“ bezeichnet, insofern geändert, als darin behauptet wird, „es stehe fest, daß HAÜY keinerlei Kenntnis von der Arbeit BERGMANS gehabt habe, als er die ersten Bemerkungen über seine Theorie veröffentlichte“ (sollten diese beiden auffallenden Änderungen lediglich auf unfreiwilligem Versehen des Übersetzers beruhen?). Viel schärfer wird HAÜY von WEISS in den S. 19 (Anm.) erwähnten Briefen, besonders in dem an OKEN gerichteten, beurteilt.

also immer noch „gerade Pyramiden“, jedoch solche sind, deren Flächen zweierlei Neigung zur Höhenlinie haben. Einige von diesen, wie Kalisalpeter und Aragonit, charakterisiert HAÜY durch die Verhältnisse der Höhe der Pyramide a zu den beiden Perpendikeln $p : p'$ von der Mitte auf die Seiten ihrer Basis, also durch vier Größen (für Salpeter $a : p = \sqrt{32} : \sqrt{15}$; $a : p' = \sqrt{3} : 1$), andere dagegen (wie Baryt, Staurolith) durch Parallelepipede, welche aus einem Prisma mit dazu senkrechter rhombischer Basis bestehen und daher durch die Längen der beiden Diagonalen der letzteren, D und d , sowie durch den auf eine der Diagonalen bezogenen Wert der Höhe des Prismas a (beim Staurolith z. B. $D : d = 3 : \sqrt{2}$; $D : a = 6 : 1$) bestimmt sind; eine dritte Art der Wahl der von HAÜY zur Bestimmung des Hauptcharakters einer Krystallform benutzten Größen beruht auf der Annahme eines rektangulären Parallelepipeds als Primitivform (so gibt er z. B. für dessen drei Seiten l, l' und a beim Peridot an: $5 : \sqrt{5} : \sqrt{8}$). Welche dieser Methoden man für die Angabe der Elemente, d. h. des geometrischen Charakters einer der hierher gehörigen Krystallarten wählt, ist natürlich willkürlich; nach WEISS können aber auch solche Krystalle wie Hornblende, Augit und Borax, deren Primitivform ein rhombisches Prisma mit schiefer Basis ist, auf den Fall der Oktaeder mit rektangulärer Basis zurückgeführt werden, denn die Dimensionen dieser Primitivformen sind so gewählt, daß stets eine bestimmte Dekreszenz eine mögliche Krystallfläche liefert, welche dieselbe Neigung zur Kante des Prismas besitzt wie die Basis³⁾. Wieder eine andere Grundform hat HAÜY für den Schwefel angenommen, nämlich eine gerade Pyramide mit rhombischer Basis, aus der man aber sehr einfach das Oktaeder mit oblonger Basis erhält, indem man durch die vier an jeder der beiden Polecken zusammenlaufenden Kanten die sie gerade abstumpfenden Ebenen legt; während HAÜY für die beiden Diagonalen der Basis und für die Höhe der Pyramide sehr einfache ganze Zahlen annimmt, gestalten sich hier die Verhältnisse, wenn man sie auf einen Ausdruck bringt, sehr kompliziert. Für den Fall einer rhombischen Pyramide mit rhomboidaler Basis als Primitivform wird von WEISS auf die Angabe der „Elemente“ ganz verzichtet, da hier die Annahme der „Achse“ willkürlich ist. Dagegen werden für sämtliche auf ein Oktaeder mit oblonger Basis zurückführ-

³⁾ Hier hat die hypothetische Annahme der Höhe der Primitivform durch HAÜY auch einen Irrtum von WEISS veranlaßt, indem dieser eine derartige Ebene nicht nur als möglich, sondern auch als gleichwertig mit der Basis betrachtet. Hierauf beruht sein späteres Festhalten an der Adoption rechtwinkliger Achsen für die monoklinen und triklinen Krystalle, speziell an der Annahme, daß, wenn die Primitivform eines monoklinen Krystalls ein Prisma mit schiefer Basis sei, das Perpendikel von der stumpfen Ecke derselben auf die hintere Prismenkante diese in zwei Strecken teile, deren Verhältnis ein rationales sei.

baren Krystallarten nach Angabe der zur Berechnung dienenden Methoden die „Elemente“ $s : s' : c$ zusammengestellt, wo s und s' die sin der beiderlei Neigungswinkel der Flächen zur Achse und c die halbe Achsenlänge, d. h. die Höhe der Pyramide, bedeutet. Die Behandlung solcher Krystallarten, welche nicht auf „gerade Pyramiden“ als Primitivformen zurückgeführt werden können, wie Feldspat, Axinit u. a., verspricht der Verfasser bei einer späteren Gelegenheit zu geben.

Als „Achse“ definiert er in dem „Physica“ überschriebenen zweiten Teile der ersten der beiden Abhandlungen eine Gerade, welche die ganze Form des Krystalls derart beherrscht, daß alle Teile desselben um sie herum gleichartig angeordnet sind, und betont besonders, daß dieselbe nicht nur eine geometrische Bedeutung habe, sondern die Richtung erkennen lasse, in welcher hauptsächlich die Kristallisationskräfte wirken, daher auch die Existenz mehrerer Achsen in einem Krystall ihm einen höheren Grad von Regelmäßigkeit nicht nur in geometrischer, sondern auch in physikalischer Beziehung verleiht, wie er bei den kubischen und den rhomboedrischen Krystallen hervortritt. Hier zeigt sich also das Bestreben von WEISS, den Weg zu einer (bis dahin völlig fehlenden) rationellen Systematik der Gesamtheit der Krystalle zu finden, die sich naturnotwendig aus der Kenntnis des allgemeinen Gesetzes der Krystallisation ergeben müsse, welche oben als Ziel der Forschung angegeben wurde. Wie weitblickend sich hier der Verfasser erwies, geht daraus hervor, daß er sogar die fundamentale Auffassung von HAÜY, daß die Dimensionen der Primitivform durch Quadratwurzeln bestimmt sein müßten, anzweifelt, da sie ja durch die Verhältnisse der in den betreffenden Richtungen wirkenden Krystallisationskräfte bestimmt werden, also ebensogut einfachen ganzen Zahlen oder Kubikwurzeln entsprechen könnten.

Eine sehr klare Darstellung der Mängel und Widersprüche der HAÜYschen Theorie, sowie eine solche der WEISSschen Ansichten über die Krystallisation ebenfalls vom Standpunkte des Dynamikers aus, gab der Erfurter Naturforscher J. J. BERNHARDI¹⁾ in seiner Abhandlung „Gedanken über Krystallogenie und Anordnung der Mineralien, nebst einigen Beilagen über die Krystallisation verschiedener Substanzen“ (GEHLENS Journal für die Physik, Chemie und Mineralogie, Berlin 1809, 8, S. 360—423). Die an die erwähnte Darstellung angeknüpften eigenen Betrachtungen des Verfassers, welche zum Teil seiner Zeit weit voraus-eilen, beziehen sich wesentlich auf die Abhängigkeit der Krystallform von der chemischen Zusammensetzung und enthalten wichtige Mitteilungen, z. B. den ersten Nachweis der Übereinstimmung der Krystallformen von Bittersalz und Zinkvitriol.

¹⁾ J. J. BERNHARDI, geb. 1. 9. 1774, gest. 13. 5. 1850, Prof. d. mediz. Fak. der damaligen Universität Erfurt, Mitherausgeber des oben zitierten Journals, war hauptsächlich auf dem Gebiete der Botanik tätig.

Das Ziel des oben erwähnten Strebens, die Aufstellung einer Systematik des Reiches der Krystalle, erreichte WEISS wenige Jahre später, wenn es sich natürlich hierbei auch nur um einen ersten, noch keineswegs vollkommen gelungenen Versuch handeln konnte. Derselbe ist enthalten in der Abhandlung „Übersichtliche Darstellung der verschiedenen natürlichen Abteilungen der Krystallisationssysteme“, welche am 14. Dezember 1815 in der physikalischen Klasse der Berliner Akademie der Wiss. vorgelesen wurde (Abhandl. d. k. Akad. d. Wiss. in Berlin in den Jahren 1814—1815, Berlin 1818, S. 289—336 und 1 Tabelle).

Den Ausgangspunkt der Entwicklung seiner Systematik bildet für den Verfasser die prinzipielle Verschiedenheit des sogenannten *regulären* von den „nichtregulären“ Systemen infolge der Gleichheit der Krystalle des ersteren nach drei aufeinander senkrechten Richtungen, sowie nach allen Richtungen, welche zu diesen „drei Hauptdimensionen gleiches Verhältnis haben“. Zwar sei der Name „regulär“ für die Krystalle dieses Systems insofern nicht richtig, als auch alle übrigen „regelmäßig“ sind, ebensowenig bezeichnend der Name „tessular“; besser wäre „gleichgliedrig“ oder „sphäroedrisch“, weil alle gleichen Stellen einer jeden hierher gehörigen Form in eine und dieselbe Kugelfläche fallen und die Formen dieses ersten Systems sich um so mehr der Kugel nähern, je größer die Zahl ihrer gleichwertigen Flächen wird. Nach den drei Hauptkörpern, dem Oktaeder, dem Würfel und dem Rhombendodekaeder (für welches der Name „Granatoeder“ vorgezogen wird) werden zunächst behandelt die geometrischen Verhältnisse der Ikositetraeder, von denen das die Kanten des Granatoeders abstumpfende als „Leucitoeder“, die anderen als „Leucitoide“ bezeichnet werden; dann folgt die Besprechung der Formen, welche die Zuschärfung der Kanten der drei Hauptkörper bilden und die als „Pyramidenwürfel, Pyramidenoktaeder“ und „Pyramidengranatoeder“ unterschieden werden; alle übrigen möglichen Formen sind, wie die zuletzt erwähnten, „Hexakisoktaeder“. Da die Flächen eines sphäroedrischen Krystalls die drei Achsen stets in rationalen Verhältnissen schneiden müssen, so stellt die Zahl 48 die höchste der gleichwertigen Flächen und zugleich den allgemeinen Fall dar, welcher durch Zusammenfallen mehrerer Flächen in die speziellen Fälle der sechs Formen mit je 24, 12, 8 bzw. 6 Flächen übergeht. Außer diesen Formen umfaßt das erste Krystallsystem aber noch eine Anzahl von Gestalten, an welchen nur die nach einem bestimmten Gesetze ausgewählte Hälfte der Flächen gleichwertig ist, die andere Hälfte fehlt oder wenigstens nicht „gleichnamig“ ist; die so entstehenden „halbflächigen“ Formen werden hier zum ersten Male von den „vollflächigen“ richtig abgeleitet und zu ihrer Beschreibung zum Teil die noch jetzt üblichen Bezeichnungen, z. B. „zwei- und einkantige Ecken“ usw., angewendet; sie werden unterschieden in „tetraedrische“ (geneigtflächige) und „pentagon-dodekaedrische“ (parallelfächige), so daß also das

sphäroedrische System eingeteilt wird in eine Hauptabteilung, die vollflächige, und zwei Nebenabteilungen, die beiden Arten von halbflächigen; es wird sogar noch eine dritte Art von Halbflächigkeit als möglich erwiesen und die betreffenden rechten und linken 24-Flächner („gedrehten Leucitoide“ = Pentagon-Ikositetraeder) von den Hexakisoktaedern ganz richtig abgeleitet und beschrieben, obgleich damals noch kein Körper dieser Art beobachtet worden war.

Die vom sphäroedrischen abweichenden Systeme haben entweder ebenfalls drei rechtwinklige Dimensionen, aber nicht alle drei gleichwertig, zur Grundlage oder drei nicht zueinander rechtwinklige. Die ersteren zerfallen in die viergliedrigen mit zwei gleichen Grunddimensionen und die zwei- und zweigliedrigen, die zwei- und eingliedrigen und die ein- und eingliedrigen Krystallisationssysteme mit drei ungleichen Dimensionen, von denen die beiden letzteren bloße Unterabteilungen sind, wie die halbflächigen im gleichgliedrigen (regulären) System. Eine zweite Art von Krystallisationssystemen beruht auf dem Verhältnis einer Hauptdimension zu drei dazu senkrechten gleichen, welche einander unter 60° schneiden, und besteht aus zwei Unterabteilungen, der sechsgliedrigen und der drei- und dreigliedrigen.

Jedem der einzelnen *viergliedrigen* Krystallisationssysteme, charakterisiert durch zwei gleichwertige und eine dazu senkrechte (Haupt-) Achse, liegt ein bestimmtes Verhältnis der Hauptdimensionen zugrunde, und zwar, der Verschiedenheit der terminalen und lateralen Teile entsprechend, als erster Hauptkörper ein viergliedriges Oktaeder (Quadratoktaeder), als zweiter (dem Würfel analog) die Kombination des rechtwinkligen Prismas mit gerader Basis, während dem Rhombendodekaeder die Kombination eines viergliedrigen Oktaeders mit einer rechtwinkligen Säule entspricht. Wie im sphäroedrischen System das Hexakisoktaeder, so stellt hier die vier- und vierkantige Doppelpyramide (4 + 4 kant. Dioktaeder) den allgemeinsten Fall der vollständigen Formen mit 16 Flächen dar, welche sich in speziellen Fällen auf 8, 4 oder 2 reduzieren. Die der Hauptachse parallelen Flächen bilden im allgemeinen vier- und vierkantige Säulen mit zweierlei Kanten. Eine Halbflächigkeit, welche den beiden Unterabteilungen des regulären Systems analog wäre, ist noch nicht nachgewiesen worden.

In den *zwei- und zweigliedrigen* Systemen mit drei rechtwinkligen Achsen von ungleichem Werte bildet der jedesmalige erste Hauptkörper ein Rhombenoktaeder mit dreierlei ungleichen Ecken und Kanten, dessen durch je vier Kanten und den Mittelpunkt gelegte Ebenen drei verschiedene Rhomben darstellen; wie der Würfel zum Oktaeder, so verhält sich zu ihm das rechtwinklige Parallelepipid mit dreierlei Wert der verschiedenen Flächen, und einen dem Granatoeder ähnelnden Körper würde man erhalten, wenn man die Kanten des Rhombenoktaeders bis auf zwölf Rhomben abstumpft. Die drei hierbei entstehenden

Formen treten aber als ungleichwertige gewöhnlich nicht in gleicher Entwicklung auf; sind nur zwei ausgebildet, so kann die Kombination die Form eines Oblongoktaeders annehmen, und zwar entstehen aus je zwei der „zusammengehörigen Paare“ (wie WEISS diese prismatischen Formen nennt) dreierlei solche rektanguläre Oktaeder. Sehr häufig tritt aber das eine Paar vorherrschend auf, und dann erscheint die Kombination als Säule mit symmetrischer Zuschärfung, an deren Stelle auch das betreffende der drei Flächenpaare des Rektangulär-Parallelepipedes als gerade angesetzte Endfläche treten kann, während je eine der beiden anderen die Seitenkanten der Säule symmetrisch abstumpft oder eine symmetrische Zuschärfung an zwei ihrer gleichwertigen Kanten stattfindet. Als Endigung eines säulenförmigen Krystalls können endlich auch die beiden anderen Paare, also ein zwei- und zweiflächiges Oktaeder, oder ein Rhombenoktaeder, also ein zwei- und zweikantiges Oktaeder, auftreten. Letztere Form enthält das Maximum der Flächenzahl 8, welche nur Reduktionen auf 4 und auf 2 erfahren kann.

Wenn in der vorbeschriebenen Kombination einer schiefwinkligen Säule mit einer symmetrischen Zuschärfung am Ende zwei parallele dieser Endflächen fehlen, so entsteht die „geschobene Säule mit schief angesetzter Endfläche“, der einfachste charakteristische Körper einer neuen Abteilung, welche sich zur vorigen verhält, wie die halbflächige zur vollflächigen im sphäroedrischen System, und als *zwei- und eingliedriges* System bezeichnet wird. Tritt an Stelle der schiefen Endfläche ein Paar von Flächen mit schief laufender Endkante, so entspricht diese Kombination derjenigen des unvollständigen Rhombenoktaeders mit der Säule. Beide Kombinationen werden von einer durch ein Kantenpaar der Säule gelegten Ebene in symmetrische Hälften zerlegt, während an den Enden der Säule die Vorder- und die Hinterseite verschieden sind. Diese Verschiedenheit kann auch nur soweit gehen, daß die Flächen der anderen Hälfte zwar nicht ganz fehlen, aber doch weniger groß, mit anderer Flächenbeschaffenheit, eventuell sogar verschiedener Spaltbarkeit auftreten, ja es könne sogar angenommen werden, daß unter Umständen die zweite Hälfte der Flächen die gleiche Rolle spielen könne, wie die erste, oder daß beide in vollkommenes Gleichgewicht treten.

Es kann aber auch, wie es z. B. beim Epidot und Sphen der Fall ist, das Umgekehrte stattfinden, indem in der Kombination zweier zusammengehöriger Paare des zwei- und zweigliedrigen Systems das vorherrschende in zwei ungleichwertige Flächen (nebst der parallelen) zerfällt, so daß dann die Einzelflächen mehrerer Paare (jedesmal mit ihrer Gegenfläche) eine unsymmetrische Säule bilden, an deren Enden das zweite, der Halbflächigkeit nicht unterworfenen Paar als Zuschärfung mit einer zur Säulenachse senkrechten Kante erscheint. Ein solches System wird ein *ein- und zweigliedriges* genannt.

Es gibt jedoch einige Krystallisationssysteme (Axinit, Kupfervitriol), in welchen jeder Fläche nur ihre parallele als gleichwertig zugehört; diese leiten sich dadurch von den zwei- und zweigliedrigen ab, daß das gegenseitige Verdrängungsverfahren der Flächen des einen Paares, durch welches die beiden letzten Unterabteilungen entstehen, auch das zweite Paar ergreift und daher auch von diesem und auch von weiteren nur eine einzelne (mit ihrer Gegenfläche) übrig bleibt. Der natürliche Hauptkörper eines solchen Systems ist ein irreguläres Parallelepipet mit drei geometrisch und physikalisch ungleichwertigen Flächen. Ein derartiges Krystallisationssystem wird als ein *ein- und eingliedriges* (eigentlich „ein-, ein- und eingliedriges“) bezeichnet.

Das Verhältnis der beiden letzten Arten von Systemen, der *sechsgliedrigen* und der *drei- und dreigliedrigen*, ist das früher als „homoedrisch“ und „hemiedrisch“ bezeichnete, indem in ersteren die Flächen mit vollzähligen Gliedern erscheinen, in letzteren aber die eine Hälfte entweder ganz fehlt oder sich geometrisch und physikalisch ungleichwertig erweist, so daß auch der Fall nicht ausgeschlossen ist, daß beide Hälften im Gleichgewicht ausgebildet sein können. Die Hauptkörper der ersten Abteilung sind die sechsstellige Doppelpyramide (von WEISS „Dihexaeder“ genannt), sowie die Kombination der Basis mit dem sechsstelligen Prisma, die abgeleiteten Flächen sind diejenigen von anderen sechsstelligen und von zwölfseitigen ($6 + 6$ kantigen) Doppelpyramiden, ferner die von ebenfalls $6 + 6$ kantigen Prismen, endlich die eines zweiten sechsstelligen Prismas. Das Maximum der Flächenzahl ist 24, welches auf 12, 6 und 2 reduziert werden kann. Der Hauptkörper der drei- und dreigliedrigen Krystallisationssysteme, das Rhomboeder, wird seiner Wichtigkeit entsprechend, in seinen geometrischen Beziehungen zur sechsgliedrigen Doppelpyramide ausführlicher behandelt und seine Auffassung als halbflächiger Form damit begründet, daß die darin hervortretende Polarität der entgegengesetzten Lateralecken der sechsgliedrigen Dipyramide physikalisch ein weniger einfaches Verhalten darstelle, als es der vollflächigen Form zukomme. Unter den abgeleiteten Formen dieses Systems sind ihm die beiden regulären sechsstelligen und die $6 + 6$ kantigen Säulen mit dem sechsgliedrigen gemeinsam; eigentümlich ist ihm die oft sehr große Mannigfaltigkeit von Rhomboedern und eine zuweilen in nicht geringerer Mannigfaltigkeit auftretende Art von Formen, die $3 + 3$ kantigen Dodekaeder (Skalenoeder). Die letzteren stellen den allgemeinen Fall dieses Systems dar, von dem sich die übrigen durch Zusammenfallen von Flächen ableiten, z. B. die $6 + 6$ kantigen Prismen als unendlich spitze Formen dieser Art. Wie man den Würfel als Rhomboeder auffassen kann, indem man eine seiner Diagonalen als Hauptachse nimmt, kann auch jede der übrigen Formen des sphäroedrischen Systems als eine Kombination des rhomboedrischen betrachtet und so die nahe Beziehung dieser beiden Systeme erkannt

werden. Im Gegensatz dazu entfernt sich das sechsgliedrige allerdings am meisten von jenem sozusagen „Normalsystem“.

Die vorstehende Einteilung der Krystalle bildet, verglichen mit dem Chaos, welches die Beschreibungen derselben in allen bisherigen krystallographischen Werken bieten, einen so großen Fortschritt, daß von keinem anderen mit dem gleichen Rechte behauptet werden könnte, mit ihm beginne eine neue Epoche in der Krystallkunde. Der einzige wesentliche Mangel besteht in der falschen Auffassung des Verhältnisses, in welchem die Krystalle des monoklinen und triklinen Systems zu denen des rhombischen stehen. Diese Auffassung beruht auf dem S. 64 Anm. 1 bereits erwähnten Irrtum, und es ist bezeichnend, daß WEISS in der Folge mehrfach auf diesen Punkt zurückkam und die Richtigkeit seiner Ansicht über denselben erneut zu stützen versuchte¹⁾.

¹⁾ Besonders bemerkenswert sind hierfür seine Betrachtungen in der Arbeit „Über die Verhältnisse in den Dimensionen der Krystallsysteme und insbesondere des Quarzes, des Feldspats, der Hornblende, des Augites und des Epidotes“ (Abh. d. k. Akad. d. Wiss. in Berlin aus dem Jahre 1825, Berlin 1828, S. 163—200). Von dem Gedanken ausgehend, daß eine physikalische Theorie der Krystallisation nur auf einem streng geometrischen Begriff der Krystallisationssysteme gegründet werden könne, gelangt er hier zu der Anschauung, daß für diesen Begriff die Winkelwerte von geringerer Wichtigkeit seien, als die inneren Dimensionen in bestimmten Richtungen, und zwar seien es die in zueinander senkrechten, welche die Hauptrolle spielen. Bekanntlich stehen diese im Verhältnis der Quadratwurzeln der einfachsten rationalen Zahlen in den Krystallen des kubischen Systems, dessen Häufigkeit es möglich erscheinen lasse, daß jede Substanz unter gewissen Umständen fähig sei, kubisch zu krystallisieren. Der Umstand, daß auch in anderen Abteilungen der Krystalle sich die allgemeine Vorbildlichkeit des sogenannten regulären Systems dadurch zeigt, daß aufeinander senkrechten Richtungen eine besondere Wichtigkeit zukommt, überhaupt viele Krystalle den kubischen sehr nahe stehen, erscheint ihm als wichtiges Argument für die Zurückführung der monoklinen und triklinen Krystalle auf rechtwinklige Achsen, ebenso wie für das Festhalten an den Quadratwurzeln für die Werte der Dimensionen in allen Krystallen. Diese Ideen verleiteten ihn auch dazu, wie HAÜY nicht nur die Identität ganz verschiedenartiger Winkel am Krystalle einer Substanz anzunehmen, sondern auch gesetzmäßige Beziehungen zwischen gewissen Dimensionen ganz verschiedenartiger Substanzen, wie von Feldspat und Epidot einerseits, Gyps und Quarz andererseits, zu vermuten. Die Schwierigkeit, daß solche Beziehungen durch die inzwischen veröffentlichten genaueren Messungen mit dem Reflexionsgoniometer nicht bestätigt wurden, sucht er durch die Behauptung zu beseitigen, daß wegen der häufigen Störungen der Krystallbildung es nicht möglich sei, mit diesem Instrumente wesentlich genauere Resultate zu erhalten, als mit dem Anlegegoniometer. In demselben Bande der Abh. d. Berliner Akademie, unmittelbar auf die Abhandlung von WEISS folgend, erschien die erste Publikation MITSCHERLICH'S „Über die Ausdehnung der krystallisierten Körper durch die Wärme“ (S. 201—212), an deren Schlusse angegeben wird, daß der Winkel zwischen den Kanten der beiden

Dies geschah schon in der sechs Monate danach der Berliner Akademie vorgelegten Abhandlung „Krystallographische Fundamentalbestimmung des Feldspats“ (Abhandl. d. k. Akad. d. Wiss. in Berlin aus den Jahren 1816—1817, Berlin 1819, S. 231—285, mit 1 Tafel). Wie bei den meisten Mineralien liegen den Bestimmungen in HAÜYS Mineralogie die sorgfältigen Messungen ROMÉ DELISLES zugrunde; während aber Dieser die Kombination PMk $\{001\}$ $\{010\}$ $\{100\}$ zur Primitivform gewählt hatte, nahm HAÜY aus Rücksicht auf seine unrichtige Bestimmung der Spaltbarkeit (s. S. 36) ein aus P , M und T $\{110\}$ bestehendes Parallelepipèd als Grundform an und hob damit jeden Zusammenhang mit der zwei- und eingliedrigen Symmetrie der Krystalle auf, so daß die offenbar gleichwertigen, zu beiden Seiten der Symmetrieebene mit gleichen Winkeln erscheinenden Flächen, zum Teil durch verschiedene Dekreszenzgesetze abgeleitet werden mußten. Es fehlte eben damals noch gänzlich an einem festen Prinzip für die Bestimmung der geometrischen Grundverhältnisse eines Krystallisationssystems, infolge der früheren irrthümlichen Annahme, daß nur den primären und nicht den sekundären Flächen eine reelle Existenz in der inneren Struktur der Krystalle zukomme. Das Wesen eines Krystalls beruht aber auf der Auszeichnung gewisser Richtungen in bezug auf Kohäsion gegenüber der in benachbarten Richtungen, sowie in bezug auf die Einfachheit, mit der sich die übrigen, für die Bildung der Krystallflächen maßgebenden Richtungen von ihnen ableiten lassen, so daß sich nach dem Grade dieser Auszeichnung die verschiedenartigen Richtungen eines Krystalls in eine Reihe ordnen lassen, welche den geometrischen Beziehungen zwischen den Flächen von verschiedenem Wert entspricht. Dadurch erhält man dann die Reihenfolge der Krystallflächen einer Substanz geordnet nach ihrer abnehmenden Wichtigkeit und kann sie als primäre, sekundäre usw. bezeichnen, ohne damit einen prinzipiellen Unterschied festzustellen. Nach diesen Grundsätzen ist es nicht möglich, einen geeigneteren Ausgangspunkt für die Betrachtung des Feldspatsystems zu wählen als die Kombination der vollkommensten Spaltungsfläche P $\{001\}$ mit dem unvollkommen spaltbaren Prisma T , l

prismatischen Formen der gewöhnlichen Gypskrystalle bei einer Temperaturänderung eine sehr beträchtliche Änderung seiner Größe erfahre. Hierdurch war die Unmöglichkeit der Zurückführung monokliner Krystalle auf rechtwinklige Achsen erwiesen, ebenso wie durch die hier zuerst von MITSCHERLICH beobachtete thermische Winkeländerung der doppelbrechenden Krystalle, überhaupt die Unmöglichkeit, deren Achsenverhältnisse durch konstante Werte (rationale Zahlen oder deren Quadratwurzeln) auszudrücken. WEISS' starres Festhalten an diesen Irrthümern (s. oben) hat es offenbar bei dem Einflusse, den er berechtigterweise auf die deutsche Wissenschaft ausgeübt hat, veranlaßt, daß diese Erkenntnis sich sehr langsam Bahn gebrochen hat, genau ebenso, wie die Autorität HAÜYS den irrthümlichen unter seinen Anschauungen eine so lange Lebensdauer verschafft hat.

{110}, zu denen als nächstwichtige Ebene die der zweitbesten Spaltbarkeit M {010} hinzutritt, so daß dann ein regulär sechseitiges Prisma¹⁾ mit schiefer Basis die Primitivform darstellen würde. Entsprechend seiner Auffassung der monoklinen Krystalle nimmt nun WEISS als feststehend an, „daß die einfache Kombination $P T l$ als rhombisch-hemiedrische, d. h. als ein zwei- und zweigliedriges Oktaeder betrachtet werden müsse, in welchem das vierte Flächenpaar durch Halbflächigkeit zum Verschwinden gebracht worden sei“ und als Beweis führt er an, daß er beim Zerschlagen von Karlsbader Zwillingen mehrmals einen versteckten Blätterdurchgang nach x des einen Krystalls beobachtet habe, „welcher genau in die Verlängerung des vollkommenen blättrigen Bruches des anderen Individuums fiel“. Auf Grund dieser Beobachtung betrachtete er dann im Gegensatz zu ROMÉ DELISLE und HAÛY die Neigung der Flächen P und x zu der Vertikalachse des Feldspats als genau gleich groß und berechnete aus dieser Annahme die Verhältnisse der drei zueinander senkrechten Achsen der Grundform $a : b : c = 1 : \sqrt{3} : \sqrt{\frac{3}{13}} (= \sqrt{13} : \sqrt{39} : \sqrt{3})$ und für die hierauf bezogenen Verhältnisse der Achsen der wichtigsten Flächen des Minerals die folgenden Werte (diese Verhältnisse werden hier zum ersten Male als Symbole der Flächen benutzt):

für P :	($a : \infty b : c$)	für M :	($\infty a : b : \infty c$)
„ x :	($a' : \infty b : c$)	„ T, l :	($a : b : \infty c$)
„ y :	($a' : \infty b : 3c$)	„ z, z' :	($3a : b : \infty c$)
„ q :	($3a' : \infty b : c$)	„ o, o' :	($2a' : b : 2c$)
„ k :	($a : \infty b : \infty c$)	„ n, n' :	($4a : b : 4c$)

Die Einfachheit dieser Verhältnisse²⁾ und der Umstand, daß die (ebenfalls unter Zugrundelegung der älteren ungenauen Messungen) berechneten Winkel sehr nahe dieselben Werte besitzen, wie die von HAÛY abgeleiteten, sieht WEISS als weitere Beweise der Richtigkeit seiner Auffassung des monoklinen Systems an. Diese wird natürlich dadurch ebensowenig bewiesen, wie durch die in der Abhandlung, namentlich an den Bavenoer Zwillingen, ausführlich erörterten Zonenverhältnisse und durch die irrtümlich für Identität gehaltene Ähnlichkeit gewisser Winkelwerte an den Feldspatkrystallen.

Einen wichtigen Fortschritt bezeichnet dagegen die Einführung der in dieser Abhandlung zum ersten Male verwendeten Parameterverhältnisse als Symbole der Krystallflächen, durch welche die Grundlage für

¹⁾ Der Winkel desselben wird hier noch, wie in HAÛYS Mineralogie, nach ROMÉ DELISLE = 60° angenommen.

²⁾ Die natürlich nicht mit derjenigen zu vergleichen ist, welche diese Verhältnisse annehmen, wenn das naturgemäße schiefwinklige Achsensystem zugrunde gelegt wird.

eine rationelle krystallographische Bezeichnungsweise gewonnen wurde. Sie erfolgte in der am 20. Februar 1817 der Berliner Akademie vorgelegten Schrift: „Über eine verbesserte Methode für die Bezeichnung der verschiedenen Flächen eines Krystallisationssystems nebst Bemerkungen über den Zustand von Polarisierung der Seiten in den Linien der krystallinischen Struktur“ (Abhandl. d. k. Akad. d. Wiss. Berlin aus d. Jahren 1816—1817, Berlin 1819, S. 287—336). Hier wird zunächst ausführlich gezeigt, daß die von HAÜY vorgeschlagene Methode für die Bezeichnung der Krystallflächen, welche auf der Ableitung der Flächen von der Grundform, also auf der Dekreszenzlehre beruht, notwendig zu zahlreichen Verwechslungen und Irrtümern führen müsse, weil sich in vielen Fällen für eine und dieselbe Fläche ganz verschiedene Zeichen ergeben, wenn man bei Ableitung durch Dekreszenz in verschiedener Weise vorgeht, z. B. von einer anderen Seite der durch die zu bezeichnende Fläche abgestumpften Ecke der Grundform ausgeht. Nachdem jedoch die Beziehungen einer Krystallfläche zu gewissen ausgezeichneten Richtungen im Krystall als das für sie Bestimmende erkannt waren, ergab sich die Notwendigkeit, sie durch die Grundverhältnisse in jenen Dimensionen zu bezeichnen, also durch die Verhältnisse der Längen, welche die Fläche auf drei zueinander senkrechten Achsen oder auf einer Hauptachse und drei in der zu ihr senkrechten Ebene unter 60° zueinander geneigten Achsen abschneidet. Dementsprechend wird im einzelnen angegeben, wie in den verschiedenen Abteilungen der Krystalle diese Bezeichnungen der Flächen am geeignetsten geschrieben werden, namentlich mit Rücksicht auf die Differenzierung der beiden Seiten einer Richtung in den halbflächigen Formen, zu denen hier ja auch die monoklinen und triklinen gerechnet werden. Daß die auf die Achsen bezogenen Symbole außerdem den Vorteil haben, die Einsicht in die Zonenverhältnisse außerordentlich zu erleichtern, wird auch schon hier hervorgehoben und hat zweifellos mit dazu beigetragen, daß die „WEISSschen Zeichen“ so rasch allgemeine Anwendung in der deutschen Wissenschaft fanden.

Eine noch größere Schwierigkeit als der Feldspat hatte der WEISSschen Auffassung der monoklinen Krystalle der Epidot dargeboten, welcher nach dieser den Fall eines ein- und zweigliedrigen oder „gewendeten zwei- und eingliedrigen“ Krystallisationssystems, d. h. eines solchen darstellen mußte, in welchem die Zone der vorherrschend entwickelten Flächen die der Hemiedrie unterworfen sei, während diejenigen der Endflächen als vollflächige Gestalten (prismatische Formen) zu betrachten wären. In einer sehr sorgfältigen Arbeit „Über die Theorie des Epidotsystems“ (Abh. d. k. Akad. d. Wiss. in Berlin aus den Jahren 1818—1819, Berlin 1820, S. 242—269) gibt er nun eine vollständige Entwicklung des Komplexes der damals bekannten Formen des Epi-

dots, bezogen auf drei zueinander senkrechte Axen und ein Grundverhältnis $a : b : c = \sqrt{150} : \sqrt{75} : 2$, aus welchem sich folgende Parameter der wichtigsten Formen des Minerals ergeben:

$$\begin{array}{ll} n = (a : b : \infty c) & T = (a : \infty b : 5 c) \\ r = (a : \infty b : \infty c) & o = (\frac{1}{3} a' : \frac{1}{8} b : c) \\ P = (\infty a : b : \infty c) & u = (\frac{1}{3} a : \frac{1}{4} b : c) \\ M = (a' : \infty b : 3 c) & z = (\frac{1}{3} a : \frac{1}{8} b : c) \end{array}$$

Diese Symbole bilden das Resultat einer eingehenden Diskussion der Zonenverhältnisse der Epidotkrystalle, und obgleich sie mit den damals bekannten Winkelwerten derselben in deren Genauigkeitsgrenzen übereinstimmen, befriedigen sie doch wegen ihrer Kompliziertheit den Verfasser nicht ganz. Es könnte auffallend erscheinen, daß er es nicht versucht hat, dieselben durch neue Messungen zu prüfen, da inzwischen das Mittel bekannt geworden war, die Winkel der Krystalle viel genauer als früher zu bestimmen; denn WOLLASTON hatte bereits im Jahre 1809 sein Reflexionsgoniometer beschrieben (s. S. 56), und in demselben Jahre (1819), in welchem WEISS seine Abhandlung der Akademie vorlegte, wurde dieses Instrument in Berlin im chemischen Laboratorium der Akademie der Wissenschaften von einem seiner eifrigsten Schüler, G. ROSE, benutzt, um die Krystalle der phosphorsauren und arsensauren Salze zu messen, an welchen damals der in jenem Laboratorium mit seiner Habilitationsarbeit beschäftigte junge Chemiker MITSCHERLICH die Isomorphie entdeckt hatte (s. den Abschnitt über die Geschichte der chemischen Krystallographie). WEISS war auch jedenfalls von seiner früheren Meinung über die Brauchbarkeit des Reflexionsgoniometers (s. S. 70 Anmerk.) zurückgekommen; denn er veranlaßte zweifellos die für 1820 gestellte und für 1822 erneuerte Preisaufgabe der Berliner Akademie, welche als Fortsetzung der Arbeiten von MALUS und WOLLASTON die vollständige Bestimmung einer Anzahl von Krystallisationssystemen verlangte. Die darauf eingegangene und mit dem Preise gekrönte Arbeit „Preisschrift über genaue Messung der Winkel an Krystallen“, Berlin 1825, hatte zum Verfasser Dr. ADOLPH THEODOR KUPFFER in Mitau, welcher seine wissenschaftliche Ausbildung in Paris (noch zu Lebzeiten von HAÛY) empfangen hatte, dann als Professor der Mineralogie an der Universität Kasan und zuletzt als Akademiker in Petersburg tätig war.

Die erste Abteilung der zitierten Schrift handelt „von den Fehlern, die bei der Messung von Krystallwinkeln zu besorgen sind, und den Methoden, sie soviel als möglich zu entfernen“. Was zunächst die Beobachtungsfehler betrifft, so sucht der Verfasser sie möglichst zu verringern durch Vergrößerung der Zahl der Messungen mittels des Repetitionsverfahrens und berechnet sie nach der LAPLACESchen Methode der kleinsten Quadrate, die er näher auseinandersetzt (die Arbeiten

von GAUSS hatte er nicht kennen gelernt). Ebenso ausführlich werden die Fehler der verschiedenen Arten von Goniometern erläutert, besonders des WOLLASTONSCHEN, mit dem das vom Verfasser meist benutzte Instrument im wesentlichen übereinstimmte, bis auf den Umstand, daß ihm zur größeren Genauigkeit der Einstellung ein Fernrohr mit Fadenzug hinzugefügt worden war. In der zweiten Abteilung wird zunächst eine sehr große Zahl von Messungen eines kleinen Quarzkrystalles mitgeteilt und diskutiert; diesen folgt eine weniger ausführliche Untersuchung von Kalkspat, Zirkon, Baryt, Topas, Epidot, Vesuvian, Eisenglanz, Cölestin, Aragonit, Zinnstein, Turmalin, Euklas, Apatit, Anglesit, Cerussit und Honigstein.

Während seiner Lehrtätigkeit in Kasan arbeitete dann der Verfasser sein „Handbuch der rechnenden Krystallonomie“, Petersburg 1831, aus, eine ausführliche, hauptsächlich auf Anwendung der sphärischen Trigonometrie beruhende Anleitung zur Berechnung der Krystalle, welcher eine allgemeine Darstellung ihrer geometrischen Verhältnisse nach HAÜY und besonders nach WEISS vorgeht und an deren Schluss der Inhalt der ersten Abteilung der Preisschrift im wesentlichen wiederholt wird.

Die bei der Aufstellung der S. 66 besprochenen Systematik des Krystallreichs durch WEISS gewonnene Erkenntnis, daß dem sogenannten regulären Krystallsystem eine ganz besondere Bedeutung zukomme, veranlaßte ihn, im Anschluß an jene Arbeit, noch zu zwei weiteren Publikationen, in denen er sich speziell mit dieser Abteilung beschäftigt. In der ersten, „Betrachtung der Dimensionsverhältnisse in den Hauptkörpern des sphäroedrischen Systems und ihren Gegenkörpern, im Vergleich mit den harmonischen Verhältnissen der Töne“ (Abh. d. k. Akad. d. Wiss. in Berlin aus den Jahren 1818—1819, Berlin 1820, S. 227—241) behandelt er die übrigens den alten Geometern nicht unbekannt gebliebenen Verhältnisse gewisser Dimensionen der regulären bzw. halbregulären Körper, sowie deren Beziehungen zu den Verhältnissen der Tonschwingungen. Zu den Relationen der Längen der vierzähligen, der dreizähligen und der zweizähligen Achsen beim Oktaeder und Würfel treten hinzu: beim Granatoeder und beim Kubooktaeder die Entfernungen der Kanten von der Mitte, beim Leucitoeder zweierlei derartige Abstände und bei der sogenannten Mittelkombination der drei einfachsten Formen die Entfernungen der Mitte von den hexaedrischen Kanten, die von den oktaedrischen Kanten und die von den Ecken, welche durch die drei Arten von Flächen gebildet werden. In der zweiten Abhandlung (ebenda S. 270—304) werden diese Verhältnisse benutzt zu einer ausführlicheren Bezeichnung der Krystallflächen, welche für die mathematische Theorie der Krystalle des sphäroedrischen Systems besonders vorteilhaft ist. Die hier vorgeschlagene Bezeichnung einer

Krystallfläche gestattet allerdings einen Überblick über deren Zonenverhältnisse und ist auch geeignet, die Konstruktion der vollständigen Form, der die Fläche angehört, zu erleichtern, ist aber so kompliziert, daß sie nicht zu allgemeinerer Anwendung gelangt ist, um so mehr, als wenige Jahre darauf durch FRANZ NEUMANN, den weitaus hervorragenden Schüler von WEISS, die für die Zonenlehre so wichtigen Projektionsmethoden in die Wissenschaft eingeführt wurden. Von Interesse ist es aber, daß in jener Bezeichnung stets, sowie häufig auch in den vorher erwähnten Arbeiten, statt der in den gewöhnlichen „WEISSschen Zeichen“ üblichen Vielfachen der Achsenlängen deren reziproke Werte verwendet werden, also die später als „Indices“ bezeichneten Größen, deren Benutzung zur Bezeichnung der Krystallflächen nicht nur diese so vereinfacht, daß notwendig alle anderen Bezeichnungsweisen dadurch verdrängt werden mußten¹⁾, sondern auch erst eine präzise und übersichtliche Darstellung sämtlicher Gesetze der geometrischen Krystallographie, namentlich derjenigen der Zonenlehre, ermöglicht.

Die in den oben besprochenen Arbeiten von WEISS über Feldspat und Epidot behandelten Zonenverhältnisse dieser Krystallarten werden für das erstere Mineral ergänzt in der Abhandlung: „Über mehrere neu beobachtete Krystallflächen des Feldspates und die Theorie seines Krystallsystems im allgemeinen“ (Abh. d. k. Akad. d. Wiss. in Berlin aus den Jahren 1820—1821, Berlin 1822, S. 145—184) und eine vollständige Deduktion seines Flächenkomplexes gegeben. Es werden an diesem Beispiele die wesentlichen Begriffe und Gesetze der allgemeinen Zonenlehre entwickelt, wie z. B. die Charakterisierung der „Zonenachse“, die Bestimmung einer Fläche durch zwei Zonen, die Bedingungen der Zugehörigkeit der Flächen zu bestimmten Zonen usw.²⁾.

¹⁾ Als obiges schon niedergeschrieben war, fand der Verfasser in dem schriftlichen Nachlaß von WEISS, der ihm von der pr. Staatsbibliothek zur Verfügung gestellt wurde, ein aus dessen letzten Lebensjahren stammendes Manuskript, welches offenbar dazu bestimmt war, eine deutsche Ausgabe der von ihm als „klassisch“ bezeichneten MILLERSchen Bearbeitung von PHILLIPS' „Elementary Introduction to Mineralogy“, (London 1852,) vorzubereiten, zu der er seine Unterstützung durch Vorschlag ihm geeignet erscheinender Änderungen anbot. In diesem Manuskript beklagt er sich bitter darüber, daß WHEWELL bei Aufstellung seiner durch MILLER adoptierten Bezeichnung (deren ungeeignete Anwendung auf hexagonale Krystalle übrigens ganz richtig hervorgehoben wird) von seinen Arbeiten keine Notiz genommen hätte und ebensowenig MILLER von der Urheberschaft FR. NEUMANNs für die in seinem Werke angewandte projektive Darstellung der Zonenverhältnisse (in der Vorrede zu der später zu erwähnenden Schrift MILLERS von 1839 ist dies jedoch geschehen).

²⁾ Die WEISSsche Zonenlehre erfuhr gleichzeitig eingehende Anwendung in dem Werke des schon früher erwähnten Göttinger Professors der Mineralogie J. F. LUDW. HAUSMANN „Untersuchungen über die Formen der leb-

Dieser Teil der geometrischen Krystallographie ist es nun, der alsbald einen weiteren Ausbau erfahren hat durch den vorhin erwähnten Schüler von WEISS, den späteren großen theoretischen Physiker FRANZ NEUMANN (10). Dieser veröffentlichte in den nächsten Jahren zwei in nahem Zusammenhang stehende Werke, deren eines den Titel führt: „Beiträge zur Krystallonomie“. Erstes Heft, mit 22 Tafeln, Berlin und Posen 1823; das andere, „De lege zonarum, principio evolutionis systematum crystallinorum“. Pars prior. Berol. Typ. Acad. R. Sc. 1826, ist NEUMANNS Doktordissertation; von keinem derselben ist ein zweiter Teil erschienen. Da beide jetzt außerordentlich schwer zu beschaffen sind und da NEUMANN, der spätere Meister wissenschaftlicher Darstellung in Wort und Schrift, diese Jugendarbeiten, bedrängt durch Mangel an Zeit und durch die schwierigsten persönlichen Verhältnisse, verfaßte, so sind dieselben infolge der Art ihrer Darstellung keineswegs

losen Natur.“ 1. Bd. mit 16 Taf. Göttingen 1821. Dasselbe beginnt mit einer historisch sehr interessanten Betrachtung der Unterschiede der Formen der nicht organisierten Gebilde von denen der Organismen mit Rücksicht darauf, daß auch bei ersteren kugelige und ähnliche Formen vorkommen. Der Hauptinhalt des Werkes ist den geradflächigen, durch die Krystallisation entstehenden Formen gewidmet, in deren allgemeiner Betrachtung die gekrümmten Flächen der Krystalle erklärt werden als entstanden durch Störungen bei der Bildung oder als nur scheinbar gekrümmt durch Kombination ebener, sehr stumpf gegeneinander geneigter Flächen. In diesem allgemeinen Teile wird ferner behandelt die Symmetrie einer regelmäßigen Krystallform nach einer Ebene, welche Eigenschaft zum Unterschied von der Spaltbarkeit als „Teilbarkeit“ bezeichnet wird, sowie die verschiedenen Arten der Veränderung (Abstumpfung, Zuschärfung, Zuspitzung), welche die Ecken und Kanten der Hauptformen bei der Ableitung der Nebenformen erfahren, u. a. In der folgenden Betrachtung der Beziehungen, in welchen die verschiedenen Formen einer Krystallart zueinander stehen, kommt der Verfasser zu dem Schlusse, daß die HAÜYSche Methode ein künstliches, nicht in der Natur begründetes Hilfsmittel sei, und schließt sich im wesentlichen den Anschauungen von WEISS an, dessen Zonenlehre dann auch im speziellen Teile bei der Behandlung der einzelnen Abteilungen der Krystalle auf zahlreiche einzelne Beispiele angewendet wird. Hier aber werden **großenteils** noch die HAÜYSchen Daten zugrunde gelegt, und vielfach auch die Irrtümer in den letzteren festgehalten, selbst wenn sie inzwischen durch Beobachtungen anderer Forscher berichtigt waren, wie die trigonale Krystallform des Eisenvitriols, der unrichtige Rhomboederwinkel des isländischen Doppelspates u. a. Als Einteilung der Krystalle ist diejenige von WEISS angenommen, aber mit dem Unterschiede, daß die rhombischen, monoklinen und triklinen Krystalle ohne die bei WEISS so klare Unterscheidung in eine einzige Abteilung zusammengefaßt werden, so daß das Werk im allgemeinen nicht als ein Fortschritt in der Entwicklung der Krystallographie bezeichnet werden kann (eine Fortsetzung, welche der um die chemische Krystallographie verdiente Verfasser beabsichtigte und welche sich mit der Struktur der Krystalle, mit den Bedingungen ihrer äußeren Form und deren Abhängigkeit von ihrer chemischen Natur beschäftigen sollte, scheint nicht erschienen zu sein).

leicht verständlich und übersichtlich geschrieben. Es war daher sehr dankenswert, daß der Sohn des großen Gelehrten, der vortreffliche langjährige Professor der Mathematik an der Leipziger Universität, CARL NEUMANN, den wesentlichen Inhalt dieser beiden fundamentalen Schriften in übersichtlicher Darstellung neu herausgegeben hat (Abh. d. math.-phys. Kl. d. K. Sächs. Ges. d. Wiss. 23. Bd. III, S. I—XX, 195—458, mit 22 Tafeln, Leipzig 1916). Bei dieser Neubearbeitung wurden weitgehende Änderungen vorgenommen, durch welche allerdings das wichtigste der beiden Werke, die Beiträge zur Krystallonomie, viel von seiner Ursprünglichkeit eingebüßt hat¹⁾. Zunächst sind alle Folgerungen aus der Annahme, daß die Parameter auf den Achsen Quadratwurzeln rationaler Zahlen seien, beseitigt worden, wobei zugleich darauf aufmerksam gemacht wird, daß „NEUMANN selbst schon bei Abfassung der ersten Schrift diese damals allgemeine Annahme mit großem Mißtrauen betrachtet habe, da er in den angehängten ‚Verbesserungen‘ ausdrücklich sagt, man habe dieses Axiom nicht als ein Resultat der Erfahrung, sondern als eine *Voraussetzung* anzusehen“. Ebenso sind in denjenigen Abschnitten, welche sich mit monoklinen und triklinen Krystallen beschäftigen, diejenigen Änderungen angebracht, welche durch die Einführung schiefwinkliger Achsen bedingt werden — und der II. Teil der ersten Schrift („Über den eigentümlichen Entwicklungsgang der zwei- und eingliedrigen Systeme“) wurde, als wesentlich polemisch gegen MOHS gerichtet, ganz weggelassen. Da aber der übrige Inhalt der beiden Schriften in ausgezeichnet übersichtlicher und elementarer Darstellung wiedergegeben ist, so kann hier, namentlich in bezug auf die Projektionsmethoden, im wesentlichen auf diese jetzt leicht zugängliche Ausgabe verwiesen werden. Außer dieser Publikation hat C. NEUMANN in den Berichten der math.-phys. Kl. d. sächs. Gesellsch. d. Wiss. zu Leipzig in zwei Abhandlungen („Über die von FRANZ NEUMANN gegebene Begründung des HAÜYSchen Gesetzes“, 3. Februar 1919 und „Über die von FRANZ NEUMANN im Jahre 1823 gegebene Projektionsmethode“, 14. November 1919) eine nicht minder klare Darstellung der wichtigsten Resultate der Jugendarbeiten seines Vaters geliefert.

Die „Beiträge zur Krystallonomie“ beginnen mit einer Einleitung, in welcher zuerst der Grundbegriff eines „Krystallsystems“, d. h. der Gesamtheit der Flächen einer krystallisierten Substanz, festgestellt wird als der einer Einheit, deren Glieder durch das Gesetz der Zonen verbunden sind, wie dies WEISS zuerst gegenüber den unklaren und willkürlichen Annahmen von HAÜY nachgewiesen hatte. Die verschiedenen „Krystallsysteme“ werden dann zu Abteilungen zusammen-

¹⁾ Ein wortgetreuer Abdruck wird mit einigen bisher nicht veröffentlichten Aufsätzen demnächst in der von dem Enkel NEUMANNs (Prof. der Mathematik in Marburg) fortgesetzten Ausgabe der ges. Werke NEUMANNs in Leipzig erscheinen.

gefaßt und es tritt hier ein Fortschritt gegenüber der von WEISS aufgestellten Systematik darin hervor, daß die monoklinen und triklinen Krystalle von den rhombischen getrennte, eigene Abteilungen bilden. Die der NEUMANNschen, wie auch der WEISSschen Systematik noch anhaftenden Mängel beruhen darauf, daß damals der Begriff der Symmetrie noch nicht weiter entwickelt war, als bis zu demjenigen einer „Symmetrieebene“.

In der den Hauptteil des Werkes bildenden Auseinandersetzung der Methode, den Zusammenhang der Glieder eines Krystallisationssystems und ihre gegenseitigen Verhältnisse graphisch darzustellen, wird nun die Anschauung zugrunde gelegt, daß die Normale zu einer Krystallfläche als die Richtung der Resultante der ihre Bildung bedingenden Kräfte für die Fläche das eigentlich Bestimmende sei (NEUMANN nennt sie deshalb die „Flächenrichtung“) und daß der von ihr auf der Projektionsfläche erzeugte Pol also die Fläche vollkommen charakterisiere. Es wird dann gezeigt, daß die mathematische Behandlung der Aufgaben der Zonenlehre, z. B. die Bestimmung einer Fläche durch zwei Zonen, wesentlich vereinfacht wird, wenn man die Flächen durch die „Flächenrichtungen“ ersetzt. Da die Normalen aller krystallonomisch möglichen Flächen einer Zone in einer Ebene liegen, so müssen bei der graphischen Darstellung der Zonenverhältnisse auf einer Ebene deren Durchschnittspunkte mit den Normalen (dieselben werden als „Flächenorte“ bezeichnet) in eine gerade Linie fallen, welche die Projektion der betreffenden Zone darstellt, während der Schnittpunkt der Projektionen zweier Zonen den „Flächenort“ der beiden gemeinsamen Fläche darstellt. Eine derartige graphische Darstellung der Zonenverhältnisse einer bestimmten krystallisierten Substanz liefert also ein Schema, aus dem sich alle in diesem System von Flächen möglichen Winkel ergeben. Was zunächst die Neigungsverhältnisse innerhalb einer Zone betrifft, so liegt diesen *ein gemeinschaftliches irrationales Verhältnis zugrunde, während jedem besonderen Neigungsverhältnis eine rationale Vervielfachung jenes irrationalen entspricht*. Das irrationale Grundverhältnis der Zone hängt ab von der Richtung der Zonenachse und den drei Grunddimensionen des Systems, d. h. in dem von NEUMANN behandelten Falle eines rhombischen Krystalls von den drei Achsenlängen a , b , c . Die von NEUMANN entwickelten Formeln lassen also nicht nur die Berechnung der gegenseitigen Neigungen aller krystallonomischen Flächen innerhalb einer jeden Zone zu, sondern auch die Prüfung der Genauigkeit jener drei Grunddimensionen, wenn mehr Messungen vorliegen als zu ihrer Bestimmung erforderlich ist. Dementsprechend wird an Beispielen gezeigt, daß die gemessenen Werte dreier, der gleichen Zone angehöriger Flächenwinkel niemals genau den gleichen Werten von a , b und c entsprechen, daß also diese von der Annahme, nach welcher sie gleich den Quadratwurzeln rationaler Zahlen zu setzen sind, mehr oder weniger

abweichende Werte besitzen müssen. Wäre damals die ungleiche thermische Ausdehnung der rhombischen Krystalle nach den drei Achsen schon bekannt gewesen, hätte NEUMANN also gewußt, daß a , b und c drei mit der Temperatur stetig (und zwar jedes nach einem anderen Gesetze) veränderliche Größen sind, die deshalb niemals durch die Quadratwurzeln rationaler Zahlen ausgedrückt werden können, so wäre ihm die Beweisführung der Richtigkeit seiner mit bewunderungswürdigem Scharfsinn durchgeführten mathematischen Entwicklung wesentlich erleichtert worden bzw. fast ganz erspart gewesen.

Wie den Neigungsverhältnissen der Flächen in einer Zone, so liegt auch *den Neigungsverhältnissen der in einer Krystallfläche liegenden krystallonomisch möglichen Kanten ein gemeinsames irrationales, von den Achsenlängen a , b und c abhängiges Verhältnis zugrunde, während jedem einzelnen Kantenwinkel ein rationales Vielfaches davon entspricht*. Bei der Ableitung dieser Beziehungen hat NEUMANN als die gestellte Aufgabe besonders erleichternd die Darstellung der Zonenverhältnisse durch Projektion auf eine Kugelfläche benutzt und bei dieser Gelegenheit die sphärische Projektion und die Wichtigkeit ihrer Anwendung in der Krystallographie gebührend erörtert, ja sogar darauf hingewiesen, daß sich noch nicht gelöste Probleme in der Geometrie der Kugel durch solche Konstruktionen auf ihr behandeln ließen und ebenso diejenigen des dreiachsigen Ellipsoides mit den drei Hauptachsen a , b und c durch analoge Konstruktion der Zonenverhältnisse eines rhombischen Krystalls mit diesen Elementen auf einem solchen Ellipsoid¹⁾.

Man sieht also, das NEUMANNsche Jugendwerk von 1823 enthält nicht nur die erste korrekte Auffassung des Grundgesetzes der geometrischen Krystallographie, sondern auch die Begründung aller der Projektionsmethoden, deren Anwendung in der weiteren Entwicklung der Krystallkunde eine so wichtige Rolle gespielt haben, ja sogar die Grundlagen für die erst in neuerer Zeit ausgearbeiteten Methoden der graphischen Berechnung der Krystalle.

In dem umfangreichen Abschnitt (IV), in welchem die Methoden der Projektion auf eine beliebige Krystallfläche auseinandergesetzt sind, wird an Beispielen gezeigt, wie man zu verfahren hat, wenn man ein gegebenes Achsensystem durch ein beliebiges anderes ersetzen will. Es geht aus diesen Erörterungen klar hervor, daß NEUMANN bereits erkannt hatte, der gesetzmäßige Zusammenhang zwischen den krystallogomischen Flächen einer Substanz bestehe darin, daß man sie auf irgendwelche ihrer Kanten als „Achsen“ beziehen könne, ohne daß ihre

¹⁾ Es ist dem Verfasser nicht bekannt, ob diese interessante Idee von den Mathematikern, welche sich mit dem Studium des dreiachsigen Ellipsoides beschäftigt haben, irgendwie benutzt worden ist.

gegenseitigen Verhältnisse aufhören, durch rationale Zahlen darstellbar zu sein — oder (was dasselbe sagen will), daß man *der Entwicklung eines krystallographischen Flächenkomplexes vier beliebige seiner Ebenen, von denen nicht drei in einer Zone liegen, zugrunde legen und durch die hieraus sich ergebenden Zonen alle übrigen ableiten kann*¹⁾. Dies ist aber bekanntlich eine der Formen, in welcher das Grundgesetz der geometrischen Krystallographie zu korrektem Ausdruck gelangt.

In seiner aus äußeren Gründen erst 1826 der Berliner philosophischen Fakultät vorgelegten Doktordissertation „De lege zonarum“ hat NEUMANN einen Punkt seiner Auseinandersetzungen in der vorbesprochenen Arbeit weiter ausgeführt, nämlich den „Gang der Entwicklung eines Krystalsystems“. Die zugrundegelegten Flächen liefern durch ihre Zonen zunächst mehrere neue, an und für sich gleichberechtigte Krystallflächen; erweisen sich nun bei einer bestimmten Substanz gewisse dieser neuen Flächen vor anderen bevorzugt, so gilt dies auch für die aus ihnen sich weiter ergebenden, und die Entwicklung des Flächenkomplexes nimmt dadurch eine bestimmte Richtung an; der hieraus folgende Gang der Entwicklung bewirkt somit eine spezielle Eigentümlichkeit des Krystalsystems der betreffenden Substanz. Den allgemeinen (gleichsam den mittleren) Entwicklungsgang bietet das reguläre Krystalsystem dar, daher dessen Entwicklung zuerst behandelt wird durch Ableitung aller aus den drei einfachsten Formen Würfel, Oktaeder und Granatoeder sich ergebenden Formen bis zu den kompliziertesten, damals bekannten Hexakisoktaedern. Bei den nun folgenden viergliedrigen Systemen geht die Ableitung entsprechend aus von der primären Dipyramide, dem zugehörigen tetragonalen Prisma und der Basis; hier tritt die spezielle Eigentümlichkeit des Entwicklungsganges für den einzelnen Krystallkomplex (abgesehen von der Verschiedenheit der Primärformen) darin hervor, daß er ein anderer wird, je nachdem das Prisma oder die Basis unter den gewöhnlich auftretenden Formen fehlt, während die letzteren ohne pyramidale Fläche natürlich keine Ableitung weiterer Formen gestatten. Den Ausgangsflächen des regulären Systems entsprechen bei den zweigliedrigen Systemen die Flächen der drei voneinander unabhängigen Pinakoide, der rhombischen Dipyramide und der drei primären prismatischen Formen; der Entwicklungsgang eines einzelnen Krystalsystems hängt wesentlich davon ab, ob von jenen Formen eines der Pinakoide ausfällt. Verhältnismäßig die ausführlichste Behandlung erfahren die zwei- und eingliedrige Systeme, deren Entwicklung ausgeht von fünf fundamentalen Flächen, welche beim Feldspat gewöhnlich durch die Buchstaben *T, l* (primäres

¹⁾ Diese Verallgemeinerung des WEISSschen Zonengesetzes ist besonders leicht verständlich dargelegt in der S. 78 zitierten zweiten Abhandlung von C. NEUMANN.

vertikales Prisma), P , x (vordere und hintere schiefe Endfläche) und M (Symmetrieebene) bezeichnet werden (von denen die letztere eigentlich überflüssig ist, da sich auch ohne sie die vollständige Zonenentwicklung ergibt). In der deutschen Bearbeitung von C. NEUMANN ist dieser letzte Abschnitt der Dissertation übrigens so abgeändert, wie es der Einführung schiefwinkliger Achsen in der Betrachtung der monoklinen Krystalle entspricht.

Wie ersichtlich, fehlt hier die offenbar für später beabsichtigte Behandlung der triklinen Krystalle, und auch in den „Beiträgen zur Krystallonomie“ finden diese keine besondere Berücksichtigung. Allerdings hat NEUMANN in der zwischen die beiden Publikationen fallenden Zeit in Poggendorffs Ann. d. Phys. u. Chem. 1825, 4, S. 63—78, einen Aufsatz „Über das Krystallsystem des Axinit“ veröffentlicht, in welchem er die Kenntnis der Krystalle dieses Minerals wesentlich verbesserte. Einmal werden darin eine Anzahl Irrtümer in den bisherigen Beschreibungen von HAÜY und MOHS festgestellt und korrigiert; alsdann werden durch eigene Messungen die Winkel dieser Krystallart erheblich genauer bestimmt¹⁾. Viel wichtiger ist aber eine spätere, erst nach seiner Übersiedelung nach Königsberg i. Pr. ausgeführte Arbeit über Feldspatminerale, welche man in gewissem Sinne als Fortsetzung bzw. als Abschluß der Jugendarbeiten NEUMANNS betrachten darf, nämlich die in den Abh. d. k. preuß. Akad. d. Wiss. zu Berlin aus dem Jahre 1830 (Berlin 1832, S. 189—231) veröffentlichte Schrift „Das Krystallsystem des Albits und der ihm verwandten Gattungen“. Die Entdeckung G. ROSES, daß die Krystallform des Albits, trotz ihrer Ähnlichkeit mit derjenigen des Feldspats, nicht der zwei- und eingliedrigen, sondern der ein- und eingliedrigen Abteilung angehöre, veranlaßte NEUMANN, zunächst Messungen am Tiroler Adular vorzunehmen und diese zu vergleichen mit den inzwischen veröffentlichten von KUPFFER, sowie mit den von G. ROSE am Ryakolith (Sanidin) angestellten, auf Grund deren Letzterer dieses Mineral als ein vom gewöhnlichen Feldspat verschiedenes betrachtet hatte; die Vergleichung der Winkel lehrte jedoch, daß die beiderlei Krystalle nur in der bei allen Feldspäten die größten Winkelschwankungen aufweisenden Zone der vertikalen Prismenflächen merklich voneinander abweichen. Diese Untersuchung führte den Verfasser zu einer Diskussion der Art und

¹⁾ Das Gleiche ist geschehen für eine andere triklone Substanz durch A. Th. KUPFFER in seiner Arbeit „Über die Krystallisation des Kupfervitriols, nebst allgemeinen Betrachtungen über das ein- und eingliedrige oder tetartoprismatische System“ (Poggendorffs Ann. d. Phys. u. Chem., 1826, 8, S. 215—228, mit einer Nachschrift von WEISS, S. 61—77, 229—230), aus welcher sich ergab, daß diese Krystallart nicht auf rechtwinklige Achsen bezogen werden kann. Eine nähere Diskussion dieses Resultates und der Frage der Zulässigkeit schiefwinkliger Achsen für monokline Krystalle gab derselbe in Poggendorffs Ann. 1828, 13, S. 209—233).

Ursache der Schwankungen der Winkelwerte an den Krystallen einer und derselben Substanz und deren Einfluß auf die Berechnung der krystallographischen Elemente des betreffenden Stoffes. Um die Genauigkeit der einzelnen Messungen mit dem WOLLASTONSchen Goniometer zu erhöhen, werden, nach Erörterung der Fehler, welche durch Ungenauigkeit der Justierung, Zentrierung und Einstellung bewirkt werden, Methoden angegeben, diese verschiedenen Fehler auf ein Mindestmaß zu reduzieren. Zu dem Zwecke wurde mittels eines zur Achse des Goniometers senkrechten Fernrohres diese Achse horizontal, d. h. parallel der genau horizontal orientierten Grundplatte des Instrumentes gestellt, alsdann jede der beiden zur Messung dienenden Krystallflächen mittels eines kleinen Hilfsapparates so orientiert, daß sie ebenfalls der Achse des Instrumentes parallel waren und bei der Einstellung sich im gleichen Niveau befanden, wobei sogar schon eine Mikrometerschraube benutzt wurde. Zu den sorgfältig diskutierten, bei dem somit durch eine Zentrier- und Justiervorrichtung ergänzten, also erheblich verbesserten Goniometer noch möglichen Fehlern der Messung treten endlich die meist viel größeren hinzu, welche durch die Beschaffenheit der Flächen, z. B. durch eine Krümmung oder durch allzu geringe Breite derselben, hervorgebracht werden. Zur Berechnung der Elemente des betreffenden Krystallsystems aus den gemessenen Winkeln genügen im allgemeinsten Falle die von vier Flächen, welche ein unregelmäßiges Tetraeder bilden, also z. B. beim triklinen Feldspat die seit HAÛY mit den Buchstaben *P*, *M*, *l* und *o* bezeichneten, deren relative Lage durch fünf Winkel bestimmt ist, aus denen sich alle übrigen in dem System möglichen Winkel durch das Zonengesetz ergeben. Ist nun eine größere Anzahl von Winkeln gemessen worden und trifft man unter diesen eine andere Wahl der der Berechnung zugrunde gelegten, so erhält man jedesmal etwas abweichende Werte der Elemente, wegen der aus der Beschaffenheit der benutzten Flächen entspringenden Fehler der Messungen selbst, wegen der dadurch hervorgerufenen Abweichungen vom Zonengesetze, sowie im Falle der Messung eines Zwillingskrystalls wegen der Abweichungen der Flächenlage von der durch die genaue Erfüllung der Symmetrie beider Krystalle in bezug auf eine ihnen gemeinsame krystallonomische Ebene. Alle diese Fehler bezeichnet NEUMANN als „natürliche Fehler“. Während er für die Berechnung der viel kleineren Beobachtungsfehler wie KUPFFER die Methode der kleinsten Quadrate anwandte¹⁾, suchte er

¹⁾ Die Wahl dieser Methode lag für das Problem der Bestimmung der wahrscheinlichsten Flächenorte auf der Kugelprojektion bei dessen vollkommener Analogie mit dem der Sternorte auf der Himmelssphäre nahe, besonders da damals der große Astronom BESSEL, welcher die hohe Begabung seines jungen Kollegen NEUMANN sofort erkannt hatte und ihn in jeder Weise förderte, auf der Höhe seiner Tätigkeit und seines Einflusses stand.

die natürlichen Fehler der gemessenen Krystalle durch ein allerdings sehr mühsames Ausgleichsverfahren möglichst zu eliminieren.

Was nun die ausführlich mitgeteilten Resultate der Untersuchung der Krystalle des Albits betrifft, so begegneten dieser Arbeit besonders große Schwierigkeiten nicht nur wegen dessen bedeutender Winkelschwankungen, sondern auch wegen der Pseudosymmetrie dieses Minerals — einerseits dadurch, daß die Winkel der dem Prisma n des Feldspats entsprechenden Flächen n und e , wie beim Orthoklas, fast genau 90° betragen, andererseits dadurch, daß das von T und l gebildete Prisma des Albits sehr nahe symmetrisch ist in bezug auf eine, natürlich von M etwas abweichende Ebene. Um diese Abweichungen zu bestimmen und sicher festzustellen, ob das Albitsystem wirklich, wie NEUMANN annahm, auf drei zueinander genau rechtwinklige krystallognomische Achsen zurückführbar sei, hätte es sehr genau meßbarer Albitkrystalle bedurft, wie sie damals noch nicht zur Verfügung standen. Die von ihm gemessenen Krystalle ergaben so große Fehlergrenzen, daß es trotz der aufgewendeten mühsamen und scharfsinnigen Arbeit unmöglich war, mit ihnen sichere Bestimmungen jener Werte zu erhalten und die damals bereits aufgeworfene Streitfrage über die Möglichkeit rechtwinkliger Achsen für monokline und triklone Krystalle zu entscheiden.

Der Erste, welcher die Notwendigkeit schiefwinkliger Achsen in diesen Krystallabteilungen behauptet und gegenüber WEISS in einer heftigen Polemik verteidigt hatte, war FR. MOHS in seinem 1822 erschienenen „Grundriß der Mineralogie“ I, S. 56 f.¹⁾ In dem Kapitel der

Jedenfalls hat NEUMANN das Verdienst gehabt, der Erste gewesen zu sein, der für die Berücksichtigung der natürlichen, d. h. für die der hauptsächlichsten Fehler der Krystallmessungen, eine streng mathematische Methode eingeführt hat.

¹⁾ FR. MOHS, einer der extremsten Vertreter der älteren naturhistorischen Richtung der Mineralogie, kann erst in der Geschichte der letzteren Wissenschaft gewürdigt werden. Für die Krystallographie hat er, trotz oder vielmehr wegen der diktatorischen Bestimmtheit seiner Definitionen vorwiegend dazu beigetragen, Verwirrung zu erzeugen. Manche der Mängel seiner Werke wurden verringert und zum Teil in eigenen Schriften korrigiert durch seinen, ihm an mathematischen Fähigkeiten weit überlegenen, langjährigen treuen Mitarbeiter WILH. HAIDINGER (1795—1871), dem Begründer des axonometrischen Krystallzeichnens, welchem er die Herstellung der vortrefflichen Figuren zu seinem Werke verdankt (s. L. BURMESTER, „Geschichtliche Entwicklung des krystallographischen Zeichnens und dessen Ausführung in schräger Projektion“, Zeitschr. f. Kryst. 1922, 57, S. 26). Was die Polemik zwischen MOHS und WEISS betrifft, so befindet sich in des Letzteren Nachlaß in Berlin (s. S. 59) ein an ihn gerichteter Brief NAUMANN'S, eines Schülers von MOHS, datiert vom 1. Juni 1830, in welchem es heißt: „Wer wissenschaftliche Diskussionen in einem so boshaften Ton führt, wie es Ihr Gegner in Baumgartners Zeitschrift (getan) hat, der legt es nur zu sehr an den Tag, daß Eitelkeit und nicht Liebe zur Wahrheit

Terminologie, welches von den regelmäßigen Gestalten der Mineralien handelt, wird eine „Achse“ definiert als „eine gerade Linie, welche durch die Mittelpunkte zweier paralleler Schnitte geht und auf den Ebenen derselben senkrecht steht.“ Hiernach sind aber die geneigte Achse eines monoklinen und die drei schiefen Achsen eines triklinen Krystalls keine krystallonomischen Richtungen — oder die zu ihnen senkrechten Ebenen keine krystallonomischen Flächen, denn der Winkel, welchen sie paarweise miteinander bilden, ist ein mit der Temperatur stetig veränderlicher. Wenn NEUMANN von dieser letzteren Tatsache bei Abfassung seiner Schrift von 1823 Kenntnis gehabt hätte, so hätte er den S. 81 erwähnten Abschnitt „Über den eigentümlichen Entwicklungsgang der zwei- und eingliedrigen Krystallsysteme“ auf wenige Sätze beschränken können. So war er veranlaßt, um die in den Veröffentlichungen von MOHS über Feldspat und über monokline Krystalle überhaupt gegebene Darstellung zu widerlegen, ausführlich nachzuweisen, daß das wenige Richtige in dessen Krystallographie den Schriften von WEISS (ohne ihn zu nennen) entnommen und daß namentlich die von MOHS eingeführte Bezeichnung der Krystallformen, ebenso wie die von HAÜY, ungeeignet und wegen ihrer Mehrdeutigkeit irreführend sei. Der Inhalt dieses Abschnittes bietet aber ein lehrreiches Beispiel für den mit äußerster Vorsicht und mit vornehmster Rücksichtnahme auf seinen Gegner gepaarten Scharfsinn dieses selten großen Mannes.

Die Ansicht von MOHS, daß die zwei- und eingliedrigen, sowie die ein- und eingliedrigen Krystalle auf ein schiefwinkeliges (monoklines bzw. triklinen) Achsensystem zu beziehen seien, adoptierte sein in didaktischer Beziehung um die krystallographische Wissenschaft hochverdienter Schüler C. F. NAUMANN (II) und gab zuerst in einem 1824 in Okens Isis (Heft IX, S. 954—959) erschienenen Aufsätze „Über plagiobasische Krystallsysteme“ die für den allgemeinen Fall dreier gegeneinander unter den Winkeln α , β , γ schiefgeneigter Koordinatenachsen geltenden analytisch-geometrischen Formeln zur Bestimmung der Lage einer Ebene mit den Achsenlängen a , b , c an. Hierbei vermied er aber den oben erwähnten Fehler von MOHS, denn seine Koordinatenachsen sind wirklich krystallonomische Kanten, seine drei Achsen-

ihn zum Streite aufforderten. Ich begreife noch nicht, wie MOHS es über sich gewinnen konnte, sich selbst ein solches schmachvolles Denkmal zu setzen, indem er sein Libell in einem eines gebildeten Mannes so gänzlich unwürdigem Tone abfaßte. Daß Ihre Erwiderung nicht freundlich ausfallen konnte, ließ sich erwarten, denn auf einen groben Klotz gehört ein tüchtiger Keil. Schade nur, daß so wichtige und interessante Kontroverspunkte dadurch der Aufmerksamkeit des größeren mineralogischen Publikums entzogen werden; denn vielen mag es kein kleiner Spaß sein, zwei der ausgezeichnetsten Männer unserer Wissenschaft im Kampf auf Tod und Leben begriffen zu sehen.“

ebenen krystallonomische Flächen. Die weitere Entwicklung und die Anwendung auf die übrigen Krystallsysteme (hier ist nur noch das monokline berücksichtigt) führt er dann aus in seinem „Grundriß der Krystallographie“, Leipzig 1826, dem ersten Lehrbuche dieser Wissenschaft, in welchem die WEISSsche Systematik der Krystalle zugrunde gelegt ist. Als „Krystallreihe“ wird darin definiert der Inbegriff aller Krystallgestalten, welche aus einer durch ihre besonderen Achsendimensionen bestimmten Grundgestalt (ergänze: „nach dem Rationalitäts- oder dem Zonengesetze“) abgeleitet werden können, also die bis dahin als „Krystallisationssystem“ bezeichnete Gesamtheit der möglichen Krystallformen einer Substanz. Jeder „Krystallreihe“ liegt ein bestimmtes „Achsensystem“, charakterisiert durch bestimmte Dimensionen und Winkel der Achsen (d. h. durch die krystallographischen Elemente der Substanz), zugrunde -- und alle Krystallreihen mit gleichen Zahl-, Neigungs- und allgemeinen Größenverhältnissen der Achsendimensionen werden zusammengefaßt als „Krystallsystem“. Solcher Krystallsysteme werden nun einzeln behandelt die folgenden sieben: 1. Das Tesseractsystem, 2. das Tetragonalsystem, 3. das rhombische System, 4. das klinometrische oder das klinorhombische System, 5. das diklinometrische oder klinorhomboidische System, 6. das triklinometrische oder diklinorhomboidische System und 7. das Hexagonalsystem. Von den Abteilungen der WEISSschen Systematik weicht demnach die NAUMANNsche nur durch die Einfügung des fünften Systems ab, welches als „diklines Krystallsystem“ und als auf Achsen mit zwei schiefen und einem rechten Winkel zurückzuführen, vom triklinen, verschieden noch mehrfach angenommen worden ist, bis durch die richtigere Auffassung des Begriffes der Symmetrie allgemein erkannt wurde, daß ein Zwischending zwischen dem monoklinen und dem triklinen Krystallsystem unmöglich sei. Für die Bezeichnung der einzelnen Formen wurden in dem Werke Symbole vorgeschlagen, welche auf einem ähnlichen Prinzip beruhen, wie die von MOHS, aber von deren Mängeln frei sind. Als Grundgestalt, von der alle übrigen Formen einer Substanz ableitbar sind, wird eine Dipyramide angenommen, dafür aber der Name „Pyramide“ vorgezogen (weil damals einfache Pyramiden in der Krystallographie noch nicht bekannt waren) und diese Form durch P bezeichnet; die übrigen Formen werden durch Anfügung ihrer Ableitungszahlen vor bzw. hinter diesem Symbol der Primärform bezeichnet, wobei erforderlichenfalls noch die Achse, auf welche sich die betreffende Ableitungszahl, m oder n , bezieht, durch ein besonderes Zeichen (– oder \vee und dergleichen) charakterisiert wird; im Tesseractsystem tritt an Stelle von P der Buchstabe O (Oktaeder); die Zahlen m und n sind nichts anderes als die Koeffizienten in den WEISSschen Symbolen, es handelt sich also lediglich um eine Abkürzung der letzteren. Außer dem Vorzug der Kürze haben sie vor ihnen noch den größeren

Anschaulichkeit, und infolge dieser didaktischen Überlegenheit haben sie in den deutschen (d. h. den meisten) Lehrbüchern der Mineralogie die WEISSschen Symbole ganz verdrängt und sind, trotzdem auch sie an gewissen Mängeln leiden, jetzt noch vielfach im Gebrauch. Die allgemeine Behandlung der Zonenlehre in dem Werke beschränkt sich auf die Entwicklung der Lage einer Kante aus den Symbolen zweier ihr paralleler Flächen und die Bestimmung einer Fläche aus zwei Zonen, und zwar sind die Formeln für den allgemeinen Fall eines beliebigen triklinen Krystalls entwickelt, aus welchem sich diejenigen für die anderen Krystallsysteme ja ohne weiteres ergeben.

Vier Jahre später gab NAUMANN unter dem Titel: „Lehrbuch der reinen und angewandten Krystallographie“ (2 Bde. Leipzig 1830) eine in vielen Beziehungen verbesserte und vervollständigte, systematische Behandlung der Krystallkunde nach der analytisch-geometrischen Methode heraus. Der allgemeine Teil dieses wichtigen Werkes, die Terminologie und Einteilung der Krystallformen überhaupt enthaltend, beginnt daher mit einem kurzen Abrisse der analytischen Geometrie der Geraden und der Ebene. Auf denselben folgt die Betrachtung der einzelnen Krystallsysteme, bestehend aus der Beschreibung der Formen eines jeden derselben, der Darstellung ihres geometrischen Zusammenhanges, der Methoden ihrer Berechnung und der Gesetze, welchen die Kombinationen der einzelnen Gestalten unterworfen sind. Unter den Formen des Tesseralsystems werden nur die wirklich beobachteten behandelt und daher die beiden Arten als theoretisch möglich bereits erkannter enantiomorpher Gestalten unberücksichtigt gelassen, dagegen eine sehr große Zahl von möglichen Kombinationen der bekannten einfachen Formen beschrieben und abgebildet¹⁾, ferner ausführlich die Berechnung ihrer Flächenwinkel, bei den einfachen Formen auch der Kantenwinkel, der relativen Dimensionen der Oberfläche und des Volumens ausgeführt (nebst dem Nachweis der Irrationalität des regulären Pentagondodekaeders und Ikosaeders). In derselben Weise erfolgt dann die Behandlung des tetragonalen Krystallsystems und, abweichend vom Grundriß, zunächst die des hexagonalen, wodurch die nahe Verwandtschaft dieser beiden Abteilungen mehr in die Augen springt, namentlich durch die vollständige Analogie ihrer drei Arten von hemiedrischen Formen. Unter letzteren spielen allerdings die rhomboedrischen wegen ihrer nahen Beziehung zu den kubischen eine besondere Rolle, die NAUMANN nicht

¹⁾ Die Konstruktion dieser Figuren erfolgte, wie BURMESTER (Zeitschr. f. Kryst. 1922, **57**, S. 30f.) nachwies, mit Benutzung eines kubischen Achsenkreuzes, welches nach dem Prinzip der „mittelschrägen Projektion“ entworfen war. Auf Grund dieses gedrehten Achsenkreuzes wurde dann dasjenige mit drei ungleichen Achsenlängen, und zwar von NAUMANN zuerst (s. BURMESTER l. c., S. 6) das Achsenkreuz für monokline und triklinen Krystalle konstruiert.

entgangen ist und welcher er dadurch Rechnung zu tragen suchte, daß er für diese so außerordentlich wichtige Abteilung eine besondere Art der Bezeichnung einführte, welche sich auf die Ableitung der Skalener von den Rhomboedern, d. h. auf die Zonenbeziehungen zwischen diesen beiden Arten von Formen gründet und daher viel anschaulicher ist als die sonst in dem Werke angewendete. Die übrigen Krystallsysteme werden in derselben Reihenfolge behandelt wie im „Grundriß“. In didaktischer Beziehung besonders wertvoll ist die in jedem Krystallsystem erfolgte Beigabe eines Schemas der Ableitung der Krystallreihen von den Primärformen, sowie der Anhang „Darstellung der tesserale Gestalten als tetragonaler und rhomboedrischer Kombinationen.“ Den zweiten Teil des Werkes bildet die angewandte Krystallographie, unter welchem Titel der Verfasser folgende Gegenstände zusammenfaßt: 1. Die Unvollkommenheiten der Krystallformen, zu denen er aber auch den Hemimorphismus des Turmalins zählt; 2. eine ausführliche Beschreibung und Abbildung der damals bekannten Zwillingskrystalle, nach den Systemen geordnet; 3. die Methoden der Krystallmessung; 4. die Zeichnung der Krystallformen und 5. die Herstellung von Modellen in Holz und Pappe.

Das Werk ist also ein erschöpfendes Handbuch der geometrischen Krystallkunde als einer beschreibenden Wissenschaft mit Fernhaltung aller Theorie, entsprechend der Richtung seines Verfassers, dessen Hauptverdienst auf den Gebieten der Geologie und der systematischen Behandlung der Mineralogie liegt. Als Hilfswissenschaft der letzteren war die Krystallographie in dem Werke zu einem befriedigenden Abschlusse gekommen, und die Übersichtlichkeit der Anordnung des Stoffes, die Klarheit und Leichtverständlichkeit der Darstellung haben ihm einen außerordentlich großen und langdauernden Erfolg verschafft. Die von da ab erschienenen Lehrbücher der Mineralogie, allen voran die zahlreichen Auflagen der NAUMANNschen „Elemente“, geben in ihrem allgemeinen (terminologischen) Teile eine mehr oder weniger abgekürzte Darstellung der Krystallkunde, meist in sehr ähnlicher Behandlung und, wie in diesem Vorbilde, ohne gemeinsame Berücksichtigung und Vergleichung der übrigen physikalischen Eigenschaften, welche man, als ihre praktische Wichtigkeit immer größer wurde, in besonderen Abschnitten hinzufügte. Während, dank zahlreicher Forschungen, hauptsächlich von Vertretern der Mathematik und der Physik, die Krystallkunde sich im Laufe des 19. Jahrhunderts zu einer Wissenschaft entwickelte, welche uns eine fast vollständige Kenntnis des gesetzmäßigen Zusammenhanges aller physikalischen Eigenschaften der Krystalle und eine theoretische Erklärung dieser Gesetzmäßigkeiten lieferte, blieb der mineralogische Unterricht, selbst an den meisten Hochschulen, bis in das 20. Jahrhundert hinein prinzipiell auf jenem Standpunkte stehen.

Fragen wir uns nun, ob das NAUMANNsche Werk in der Wissenschaft der Krystallkunde selbst irgendeinen Fortschritt gebracht hat, so müssen wir dies verneinen, denn es enthält nicht einmal die beiden schon vorher erkannten Grundgesetze, das der Zonen und das der Rationalität der Indices in vollständiger und klarer, ihrer Bedeutung entsprechender, eindeutiger Fassung. Den nächsten Schritt im weiteren Ausbau dieser fundamentalen Gesetze verdanken wir vielmehr dem Umstande, daß fast gleichzeitig das Interesse eines der größten mathematischen Denker aller Zeiten auf diese Fragen gelenkt wurde.

Ein Schüler von GAUSS, der bereits S. 57 erwähnte Physiker L. A. SEEBER in Freiburg i. Br., veröffentlichte daselbst im Jahre 1831 eine Schrift: „Untersuchungen über die Eigenschaften der positiven ternären quadratischen Formen“, in welcher er eine bereits in den „disquisitiones arithmeticae“ begonnene Untersuchung wesentlich weiterführte. In seiner Anzeige dieser Arbeit (Göttinger gelehrte Anzeigen 1831, Juli 9. — KARL FRIEDRICH GAUSS' Werke Bd. II, S. 188—196) weist GAUSS auf die geometrische Bedeutung der darin enthaltenen Theorie für die parallelepipedische Anordnung von Punkten im Raum hin, wie sie SEEBER für die Schwerpunkte der Atome in den Krystallen angenommen hatte, und darauf, daß diese Theorie auch geeignet sei zu einer allgemeinen Behandlung aller Relationen unter den Formen eines Krystalls, wozu nicht erforderlich sei, daß die Größen a , b , c , der Annahme von HAÛY entsprechend, den Wert ganzer Zahlen hätten, was ja durch die Messungen von WOLLASTON, MALUS, BIOT, KUPFFER u. A. widerlegt werde. Aus der Veröffentlichung von GAUSS' Nachlaß durch SCHERING (Werke Bd. II, 1863, S. 308—312) geht hervor, daß Dieser sich in unmittelbarem Anschluß an jene Anzeige näher mit der hier vorliegenden Frage beschäftigt und sogar selbst eine Anzahl genauer Krystallmessungen mit einem REICHENBACHschen Theodolithen angestellt hat. Die l. c. 308—310 aus dem Nachlasse mitgeteilten Notizen enthalten eine teilweise Fortführung der in der Anzeige geäußerten Ideen, z. B. die Entwicklung der Formeln, welche zur Transformation der Flächensymbole des Kalkspats beim Übergang auf eine andere Grundform anzuwenden sind. Hierbei wird das Gesetz der Rationalität der drei Koeffizienten α , β , γ , so wie es aus NEUMANNs „Beiträgen zur Krystallonomie“ hervorgeht, zugrunde gelegt und es werden die Flächen durch diese drei Größen, die später allgemein sogenannten Indices¹⁾

¹⁾ Diesen Namen hat zuerst vorgeschlagen W. WHEWELL in einer Abhandlung (Phil. Transact. Roy. Soc., London 1825, S. 87f.), welche theoretisch noch ganz auf dem Standpunkte von HAÛY steht, aber dessen Berechnungsmethoden zu verbessern bestimmt war; ihrem Verfasser waren offenbar die Arbeiten von WEISS unbekannt geblieben, ebenso wie eine noch ältere von BERNHARDI, „Darstellung einer neuen Methode, Krystalle

bezeichnet, wie es zuerst WEISS (s. S. 76) getan hatte; ja für das kubische System wird sogar eine Tabelle dieser Symbole, wie sie später immer mehr üblich geworden sind, zusammengestellt. Weitaus das Wichtigste aber, was aus den nachgelassenen Notizen hervorgeht, ist die Tatsache, daß GAUSS die Frage untersucht hat, wie sich das Grundgesetz der geometrischen Krystallographie am kürzesten aussprechen lasse. Das Resultat dieser Untersuchung ist der folgende Satz: „Zwischen je fünf Ebenen eines Krystalls gibt es folgende Relation: Sind ihre Normalen auf der Kugelfläche (0), (1), (2), (3), (4), so sind allezeit die Produkte

$$\sin (102) \cdot \sin (304) \quad \sin (103) \cdot \sin (204) \quad \sin (203) \cdot \sin (104)$$

in einem rationalen Verhältnisse; ist dies wie $\alpha : \beta : \gamma$, so ist $\beta = \alpha + \gamma$. Wie LIEBISCH in der Zeitschr. f. Kryst. 1879, 3, S. 28f. ausführlich nachgewiesen hat, ist mit diesem Satz gleichbedeutend derjenige von der Rationalität des Doppelverhältnisses einerseits zwischen vier Flächen einer Zone, andererseits zwischen vier Kanten einer Fläche.

So war nun das allgemeine Gesetz, welches die geometrischen Beziehungen des gesamten Flächenkomplexes einer Krystallart regelt und welches gestattet, aus je vier beliebigen (nicht zu dritt einer Zone angehörigen) Flächen des Komplexes alle übrigen abzuleiten, vollständig erkannt und damit die Möglichkeit geboten, auf demselben als Basis ein Lehrgebäude der Krystallkunde zu errichten, welches in logischer Folge auch die für die einzelnen, damals bekannten Abteilungen der Krystalle gültigen Gesetzmäßigkeiten zur Darstellung bringt. Dies geschah acht Jahre später durch einen englischen Forscher, W. H. MILLER (12), dessen Verdienst dadurch nicht verringert wird, daß er im Anfange seiner Laufbahn als Vertreter der Mineralogie an der Universität in Cambridge einige Zeit in Göttingen und Berlin verweilte¹⁾ und dadurch Gelegenheit hatte, Kenntnis von den großen Fortschritten zu nehmen, welche die Krystallkunde in Deutschland während der ersten drei Jahrzehnte des neunzehnten Jahrhunderts gemacht hatte. Seine Schrift „A treatise on crystallography“ erschien 1839 in Cambridge und enthält im 1. Kapitel auf nicht mehr als 21 Seiten eine meisterhafte Darstellung der allgemeinen Gesetzmäßigkeiten der Krystalle, beginnend mit dem Rationalitätsgesetz, in dessen Definition hier zum ersten Male die Abhängigkeit der „Elemente“, d. h. der drei Achsenwinkel und der

zu beschreiben“ (Gehlens Journ. f. d. Chem., Phys. u. Mineral., 1808, Bd. 5, S. 157f.), deren Verfasser die Symbole HAÜYS dadurch zu verbessern vorschlägt, daß die den Dekreszenzen entsprechenden Kantenabschnitte auf Brüche mit dem Zähler 1 gebracht und von ihnen nur die Nenner in die Symbole aufgenommen werden.

¹⁾ Die Kenntnis des Aufenthaltes MILLERS an den beiden Orten verdankt der Verfasser der mündlichen Mitteilung G. ROSES in Berlin am Ende der sechziger Jahre des vorigen Jahrhunderts.

Verhältnisse der drei „Parameter“ $a : b : c$ von der Temperatur des Krystalls ausgesprochen wird; darauf folgen die Methoden zur Berechnung der Krystalle, beruhend auf dem Prinzip, daß die Lage einer Fläche bestimmt ist durch ihren Pol auf der Kugelfläche, daher es sich stets um Anwendung der sphärischen Trigonometrie zur Lösung der gestellten Aufgaben handelt, bei welcher die Zonenverhältnisse das wichtigste Hilfsmittel bilden; es werden daher die Bedingungen entwickelt, welchen die Indices der einer Zone angehörigen Flächen genügen müssen, und der Begriff der „Indices einer Zone“ oder eines „Zonensymbols“ mit $[u, v, w]$ bezeichnet, eingeführt, aus welchem sich dann ohne weiteres die Bestimmung der Indices einer zwei verschiedenen Zonen gemeinsamen Fläche ergibt; ganz besonders eingehend werden hierauf die Beziehungen behandelt, welche zwischen je vier Flächen der gleichen Zone bestehen, und die auf der Rationalität des sogenannten Doppelverhältnisses beruhenden Formeln angegeben, durch welche man z. B., wenn ihre Symbole und die Winkel zwischen dreien derselben bekannt sind, den Winkelabstand der vierten berechnen kann. Zu den vielfachen didaktischen Vorzügen dieses allgemeinen Abschnittes gehört auch die Einführung eigener Symbole $\{h k l\}$, um die „Form“, d. h. den Inbegriff der Gesamtheit aller infolge der Symmetrie des Krystalls gleichwertigen Flächen, zu welchen eine beliebige Fläche $(h k l)$ gehört, zu bezeichnen. In den beiden folgenden Kapiteln werden die Resultate des allgemeinen Teiles nun angewendet auf das höchst symmetrische „oktahedral“ und das tetragonale „pyramidal system“ und durch instructive Beispiele erläutert. Im 4. Kapitel werden als „rhombohedral system“ die trigonalen mit den hexagonalen Krystallen vereinigt behandelt und sämtlich auf die drei Kanten eines Rhomboeders als Achsen zurückgeführt; dadurch ist für alle Krystalle von rhomboedrischer Struktur die einzige rationelle Bezeichnungsweise gewonnen, für diejenigen mit hexagonaler Krystallstruktur aber eine Inkonsequenz entstanden, indem hier zur Bezeichnung einer vollständigen einfachen „Form“ die Symbole zweier „zueinander transverser“ Formen $\{h k l\}$ und $\{p q r\}$, deren Indices durch eine bestimmte Bedingung verknüpft sind, also das Symbol einer „dirhomboedrischen Kombination“ verwendet werden muß, eine in der Natur der Sache liegende Schwierigkeit, welche nur durch Einführung vierzähliger Symbole gehoben werden kann. Die folgenden drei Kapitel enthalten das rhombische („prismatic s.“), das monokline („oblique prismatic s.“) und das triklone („doubly oblique prismatic s.“) Krystallsystem. An diese schließt sich die Behandlung der Zwillingskrystalle an, welche definiert werden als Verwachsungen zweier Krystalle, deren einer durch eine Drehung von 180° um die Normale zu einer beiden gemeinsamen möglichen Fläche in die Stellung des andern gelangt. Die Schlußkapitel des nur 139 Seiten mit 10 Tafeln umfassenden Buches, in denen auch auf die Forschungen

MITSCHERLICHs über die thermische Ausdehnung der Krystalle und auf die Benutzung ihrer optischen Eigenschaften zur Bestimmung des Krystallsystems hingewiesen wird, enthalten ferner Anleitungen zur Messung und Beschreibung der Krystalle, Hilfs- und Vergleichstabellen der sonstigen Bezeichnungsweisen, endlich die Besprechung der Methoden zum Zeichnen und Projizieren der Krystallformen.

Von dem Werke MILLERS existieren zwei deutsche Übersetzungen, die eine von JÖRRES, welche wenig Verbreitung gefunden zu haben scheint, die andere von GRAILICH, durch welche die MILLERSche Methode der Behandlung der Krystallkunde in Deutschland hauptsächlich, wenn auch recht allmählich, bekannt geworden ist. Ihr Verfasser war der Begründer der bald nach der Mitte des 19. Jahrhunderts aufblühenden Schule vortrefflicher österreichischer Krystallographen, welche sich besonders um die Förderung der chemischen Krystallographie große Verdienste erworben haben. Sie erschien unter dem Titel: „Lehrbuch der Krystallographie von Prof. W. H. MILLER. Übersetzt und erweitert durch Dr. J. GRAILICH, mit 19 Kupfertafeln“. Wien 1856. Während die ersten acht Abschnitte des Buches, abgesehen von der Hinzufügung der Zonenregeln und neuer Beispiele bei den einzelnen Systemen, getreue Übersetzungen des Originals sind, erfuhren die Abschnitte über Goniometrie und über das Zeichnen der Krystalle¹⁾ größere Zusätze und zum Teil völlige Umarbeitung. Neu hinzugefügt wurde ein umfangreicher Abschnitt (100 Seiten) über die Physik der Krystalle, auf welchen am Schlusse des der Entwicklung der Krystalloptik gewidmeten nächsten Abschnittes zurückzukommen sein wird.

¹⁾ Wie BURMESTER (Zeitschr. f. Kryst. 1922, 57, S. 40—41) gezeigt hat, enthält der Abschnitt „Zeichnen der Krystalle. Schematische Projektionen“ (S. 180—200) eine Reihe von Irrtümern (a. a. O., S. 40, Zeile 4 v. u. l. 185 st. 158).

Erkennung des gesetzmäßigen Zusammenhanges zwischen Form und optischen Eigenschaften der Krystalle.

Die Erscheinung der Doppelbrechung im isländischen Kalkspat war lange Zeit eine ganz isolierte, und auch als HUYGHENS die gleiche Eigenschaft am Quarz beobachtet hatte, war sie noch lange nicht als eine der großen Mehrzahl aller krystallisierten Körper gemeinsame erkannt. In dem 1801 erschienenen *Traité de minéralogie* gibt HAÜY allerdings bei einer etwas größeren Zahl von Mineralien an, daß sie doppeltbrechend seien, auf Grund der Beobachtung, daß eine durch ein Prisma des Minerals betrachtete feine Nadel doppelt erscheine, während, wenn eine Trennung der beiden Bilder nicht wahrzunehmen war, das Mineral als einfach brechend bezeichnet wurde. Daß es auf diesem Wege nicht möglich war, eine gesetzmäßige Beziehung zwischen den geometrischen und optischen Verhältnissen der Krystalle (abgesehen von dem Fehlen jeder Systematik der ersteren) aufzufinden, geht aus der tabellarischen Zusammenstellung der betreffenden Mineralien hervor, welche HAÜY im 1. Bande seines Werkes (S. 271 und 272) in dem Abschnitte über die „mineralogischen Charaktere“ gibt. Hier werden als „doppeltbrechend“ aufgezählt 20 krystallisierte Substanzen, als „einfach brechend“ 10, darunter allerdings die im normalen Zustande wirklich einfach brechenden Mineralien Flußspat, Spinell, Granat und Zinkblende, aber auch Apatit, Turmalin, Axinit und Disthen, während die im Text richtig als einfach brechend aufgeführten Mineralien Diamant und Steinsalz in der zweiten Tabelle fehlen.

Die Feststellung des gesetzmäßigen Zusammenhanges zwischen Form und optischen Eigenschaften konnte erst beginnen nach der Entdeckung der Polarisation des Lichtes durch F. L. MALUS¹⁾ im Jahre 1810 und

¹⁾ MALUS (1775—1812) hat in seiner „*Théorie de la double Réfraction de la Lumière dans les Substances Cristallisées*“, Paris 1810, eine Reihe von wichtigen Beobachtungen über den Kalkspat gemacht, besonders über das gegenseitige Verhältnis der Rhomboeder, deren eines die Polkanten des anderen abstumpft, welche daher eine Reihe bilden zwischen zwei Grenzgliedern senkrecht bzw. parallel zur optischen Achse, bei deren Ableitung man von jedem ihr angehörigen Gliede ausgehen könne. Durch Messung mit einem Repetitionskreis fand er den Spaltungswinkel des Kalkspats abweichend von HAÜY, ebenso den Rhomboederwinkel des Quarzes, und korrigierte dessen optische Angaben über Aragonit und Schwerspat.

nachdem ARAGO 1811 und unabhängig von ihm BREWSTER 1812 gezeigt hatten, daß die in dünnen doppeltbrechenden Krystallplatten entstehenden Interferenzfarben es gestatten, auch sehr schwache Grade der Doppelbrechung zu erkennen. JEAN BAPT. BIOT (1775—1842) machte wohl zuerst auf den Unterschied der optisch ein- und zweiachsigen Krystalle aufmerksam und begründete bei beiden die Trennung in solche mit positiver und negativer Doppelbrechung. Es war aber der genialen Intuition AUG. J. FRESNELS (1788—1827) vorbehalten, das allen doppeltbrechenden Krystallen gemeinsame Gesetz der Krystalloptik zu erkennen in der Beziehung einer doppelschaligen Wellenfläche auf eine „Elastizitätsfläche“ von der Form eines dreiachsigen Ellipsoides, welches im besonderen Falle der einachsigen Krystalle die Gestalt eines Rotationsellipsoides annimmt — eine Theorie, der schließlich 1832 FRANZ NEUMANN die streng systematische Form gab. Für die Geschichte der Entdeckungen FRESNELS ist besonders wichtig die Einleitung zu „Oeuvres compl. d'AUGUSTIN FRESNEL“ publ. p. HENRY DE SÉNARMONT, ÉMILE VERDET et Léonor FRESNEL, I, Paris 1866.

Die wesentlichsten Fortschritte in der Kenntnis derjenigen optischen Eigenschaften, welche besonders für die Krystallographie von Bedeutung sind, brachten die umfangreichen, an einer außerordentlich großen Zahl von krystallisierten Körpern angestellten Untersuchungen des schottischen Physikers DAVID BREWSTER (13). Den ersten Versuch, die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen diesen Eigenschaften und den geometrischen Verhältnissen der Krystalle festzustellen, machte Dieser in der auch für die Geschichte der Entwicklung der Krystalloptik im allgemeinen recht wichtigen Abhandlung „On the laws of polarization and double refraction in regularly crystallized bodies“. Philos. Transactions of the Roy. Soc. of London f. the year 1818, S. 199—273, deren hauptsächlich in Betracht kommender Inhalt daher hier in Kürze wiedergegeben werden soll.

Die Liste der durch BREWSTERS Untersuchung als doppeltbrechend erkannten krystallisierten Stoffe umfaßt 165 Nummern, deren Zahl aber dadurch etwas eingeschränkt wird, daß mehrere Mineralien, welche später als identisch erkannt wurden, einzeln aufgeführt sind und auch einige anomal doppeltbrechende Substanzen aufgenommen wurden. Nach der so erfolgten Trennung von den einfach brechenden Krystallen geht der Verfasser daran, für die doppeltbrechenden festzustellen, „ob die auf den außerordentlichen Strahl wirkenden Kräfte von einer oder mehreren Achsen ausgehen“. An einem hexagonalen Prisma von Beryll lehrt die Beobachtung folgendes: Geht polarisiertes Licht senkrecht durch ein Flächenpaar des Prismas hindurch und dann durch einen zweiten, mit dem ersten senkrecht gekreuzten Kalkspat, so wird es bei Diagonalstellung der Achse vollständig wieder hergestellt, „und wenn

die Dicke des Krystalles 0,035 Zoll überschreitet, ist das wieder hergestellte Licht nahezu weiß; geht aber das Licht parallel der Achse des Beryllprismas hindurch, so erblickt man eine Reihe wundervoller kreisförmiger konzentrischer Ringe, in deren Mittelpunkt sich die Arme eines dunkeln rechtwinkligen Kreuzes schneiden und welche die NEWTONSchen Farben dünner Blättchen zeigen“. „Die Achse des Prismas ist daher die scheinbare Achse der Doppelbrechung und zugleich die Achse des Ringsystems. Wir schließen hieraus, daß Beryll eine scheinbare Achse der außerordentlichen Lichtbrechung und eine damit zusammenfallende Polarisationsachse hat.“ Dieselbe Eigenschaft stellte BREWSTER fest an 23 der in der ersten Tabelle aufgezählten Substanzen, und zwar an 18 mit negativer Doppelbrechung, an 5 mit positiver. Durch ein sinnreiches Verfahren (Verbindung eines Spaltungsrhomboeders mit zwei Flintglasprismen) gelang es ihm sogar, auch im Kalkspat das Ringsystem zu beobachten¹⁾. Für alle als einachsig erkannten Substanzen wurde ferner die Gültigkeit der von BIOT am Quarz und Kalkspat entdeckten Gesetze der Abhängigkeit der Farbe der Ringe von der Neigung der Strahlen zur Achse und des Ringdurchmessers von der Dicke der Krystallplatte bestätigt gefunden. Die Änderung der Weite der Farbenringe eines negativ doppeltbrechenden einachsigen Krystalles durch Kompensation mittels eines positiven, die BIOT mit dem Quarz infolge dessen zirkularer Doppelbrechung vergeblich versucht hatte, gelang BREWSTER nach vielen mühsamen Versuchen mit Zirkon, von dem es äußerst selten möglich war, eine geeignete Platte zu erhalten. Ferner wird gezeigt, daß die Farbenringe auch in größerem Abstände von der Achse sichtbar gemacht werden können durch Kompensation der Doppelbrechung mittels einer dünnen, parallel der Achse geschnittenen Quarzplatte oder einer Spaltungslamelle von Gyps.

1812 entdeckte BIOT die optische Zweiachsigkeit des Glimmers und unabhängig davon BREWSTER Anfang des Jahres 1813 die gleiche Eigenschaft am Topas (von dessen Farbenringen wurde 1814 in den Phil. Trans. die erste genaue Zeichnung veröffentlicht), Salpeter, Kaliumsulfat, Seignettesalz, Bleiacetat und „Perlmutter“. In der vorliegenden

¹⁾ „Das System farbiger Ringe, welches durch eine Achse der Doppelbrechung hervorgebracht wird, und das noch wundervollere und kompliziertere, durch zwei Achsen entstehende sind von mir im Jahre 1813 entdeckt worden. Das erstere beobachtete ich im Beryll, Smaragd, Rubin usw., das letztere im Topas, Glimmer und vielen anderen Mineralien. Dr. WOLLASTON war der Erste, welcher die kreisförmigen Farbenringe im isländischen Doppelspat entdeckte, und dieser eminente Physiker zeigte sie mir im Juli 1814. In einem Briefe vom 3. Dezember 1815 teilte mir Herr BIOT mit, daß er die kreisförmigen Ringe im isländischen Kalkspat entdeckt hätte, und es scheint, daß dieselbe Beobachtung im Dezember 1815 von Herrn SEEBECK gemacht worden ist. Diese Daten sind jedoch fast 1¹/₂ Jahre später als die Zeit von Dr. WOLLASTONS Versuch.“ (Anmerk. in BREWSTERS Abh. S. 213.)

Arbeit werden bereits 82 optisch zweiachsige, krystallisierte Substanzen, darunter sehr viele chemische Produkte, aufgezählt und damit nachgewiesen, daß die optische Zweiachsigkeit den häufigsten und all-gemeinen Fall der Krystalle überhaupt darstellt.

Um einen gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen der Zahl der „Achsen außerordentlicher Lichtbrechung“ (man hielt damals deren auch „drei“ für theoretisch möglich) und der „Primitivform“ der betreffenden Krystallart zu finden, verglich nun BREWSTER die optischen Eigenschaften der von ihm untersuchten Mineralien mit den in HAÜYS „Traité de Minéralogie“ veröffentlichten und seitdem durch Diesen und BOURNON etwas vervollständigten Angaben, eine Vergleichung, die natürlich nur zu ganz ungenügenden Resultaten führen konnte. Es ergab sich nämlich, daß drei „Achsen der außerordentlichen Lichtbrechung“ zukommen sechs Krystallarten (meist anomal doppeltbrechenden), deren Grundform der Kubus ist, ferner acht (meist einfach brechenden), welche sich vom regulären Oktaeder ableiten, endlich den rhombendodekaedrischen Mineralien Granat und Zinkblende; die zweiachsigen Krystalle zeigen folgende Primitivformen: 6 das Prisma mit quadratischer Basis, 6 ein vierseitiges Prisma mit rektangulärer Basis, 9 ein rektanguläres Prisma mit rhombischer Basis, 3 ein ebensolches mit rhomboidischer Basis, 1 ein schiefes vierseitiges Prisma mit rektangulärer Basis, 6 ein gleiches mit rhombischer Basis, 3 ebenso mit rhomboidischer Basis, 1 (Eisenvitriol) ein spitzes Rhomboeder, 6 ein Oktaeder mit rektangulärer Basis und 1 (Soda) ein Oktaeder mit rhombischer Basis; diese 42 optisch zweiachsigen Krystallarten gehören teils dem rhombischen, teils dem monoklinen, teils dem triklinen System an. Optisch einachsig erwiesen sich endlich 4 rhomboedrisch, 7 hexagonal (darunter nicht unterschieden Saphir und Rubin) und 5 tetragonal krystallisierende Substanzen, während als zwei- oder einachsig für sich aufgeführt wird Kaliumsulfat (im zweiten Falle handelte es sich offenbar um Glaserit). Das einzige neue Resultat ist also das Gesetz, daß die trigonalen (anscheinend nur solche mit stumpfem Grundrhoeder), die hexagonalen und die tetragonalen Krystalle optisch einachsig sind.

Auf diese Feststellung folgt die erste ausführliche Beschreibung und Erklärung (soweit sie sich damals geben ließ) der Farbenringe von senkrecht zur ersten Mittellinie geschnittenen Platten optisch zweiachsiger Krystalle, deren vollständige Beobachtung mangels eines Konoskops natürlich nur bei kleinem Achsenwinkel, z. B. beim Salpeter, gelang. Hier konnten auch die farbigen Säume der dunklen Hyperbeln beobachtet und festgestellt werden, daß die Farbenringe sehr dünner Platten sich von denen einachsiger Krystalle nur durch eine geringe Elliptizität unterscheiden. Von 49 Substanzen konnte sogar der Achsenwinkel gemessen oder wenigstens angenähert geschätzt werden (die angegebenen Werte für deren Hälfte, d. i. die Neigung einer optischen Achse

zur Schwingungsrichtung der größten Lichtgeschwindigkeit, liegen im allgemeinen zwischen den Werten des sogenannten wahren und des scheinbaren Winkels V bzw. E). Die angesprochenen theoretischen Erörterungen über die hier in Betracht kommenden Interferenzfarben, obgleich heute nur noch von historischem Interesse, führen den Verfasser doch zu der richtigen Feststellung, daß die von BIOT getroffene Unterscheidung positiv und negativ doppelbrechender zweiachsiger Krystalle bei einem Achsenwinkel von 90° ihre Bedeutung völlig verliert. Auch der bekannte Satz über die Abhängigkeit der Orientierung der beiden Schwingungsrichtungen einer zweiachsigen Krystallplatte von der Richtung der optischen Achsen wird hier schon benutzt. Auffallend findet es BREWSTER, daß in dem durch ihn besonders eingehend untersuchten Gyps die von ihm als „Hauptachse“ bezeichnete, in optischer Beziehung ausgezeichnete Richtung mit keiner ausgezeichneten Richtung der HAÜYSchen Primitivform des Minerals zusammenfällt, während im allgemeinen eine solche Koinzidenz zu gelten scheine, und zweifelt daher, daß die Grundform in diesem Falle richtig bestimmt sei.

Bereits in vorhergehenden Publikationen in den Edinb. Transact. führt BREWSTER einige zwanzig krystallisierte Substanzen mit kubischer, oktaedrischer oder rhombendodekaedrischer Primitivform an, welche entweder völlig frei von Doppelbrechung sind oder aber auch deutliche Spuren davon zeigen, wie Granat, Alaun, die Nitrate von Sr , Ba , Pb , die Alkalichloride und besonders Boracit. Zu diesen Beobachtungen werden noch weitere an optisch anomalen Diamantkrystallen hinzugefügt. Das hier beobachtete Verhalten erklärt er daraus, daß diese Krystallarten ebenso wie alle anderen eine doppelbrechende und polarisierende Struktur besitzen, daß diese aber in einigen Exemplaren ganz aufgehoben werde durch das Gleichgewicht der Kräfte an jedem Punkte des Krystalls, während sie sich geltend mache, wenn dieses Gleichgewicht nicht vollständig ist. Daß das vollkommene Gleichgewicht bei den sogenannten regulären Krystallen möglich ist, rühre dann eben daher, daß diese drei genau aufeinander senkrechte und genau gleichwertige Achsen besitzen, welche im optischen Wirkungsvermögen einander zu kompensieren imstande sind. Anschließend an diese Erörterungen über die später sogenannten „anomalen Krystalle“ fügt BREWSTER seiner schönen, in den Philos. Transact. 1816, S. 46f. veröffentlichten Arbeit über die Wirkung der Wärme auf die optischen Eigenschaften des Glases neue Beobachtungen hinzu und zeigt, daß es sich bei erhitzten oder sich abkühlenden Gläsern um Interferenzerscheinungen handelt, in deren Erklärung an die Stelle des \sin des Winkels des Lichtstrahls zur Achse dessen Entfernung von der Achse zu treten hat. Während die Erscheinungen im normalen Krystall an eine *Richtung* gebunden sind, bestimmt der *Ort* in dem Glasstück die Interferenzfarbe; durch Änderung der Gestalt des letzteren und durch die Art der Erhitzung kann man aber

die Farbenerscheinungen beliebig ändern und, wie bekannt ist, auch permanent machen, und es gelang BREWSTER, so alle Arten von Interferenzerscheinungen normaler Krystalle nachzuahmen, daher er solche Gläser als „künstliche Krystalle“ bezeichnete. „Während aber ein normaler Krystall von Kalkspat beim Zerschlagen in lauter Fragmente zerfällt, deren jedes dasselbe System von Farbenringen hervorbringt, wird das einachsige Achsenbild einer zylindrischen gekühlten Glasplatte im wesentlichen zerstört und die übrig bleibende polarisierende Kraft erweist sich von der Gestalt des einzelnen Fragments abhängig.“

Der vorbesprochenen wichtigen Arbeit folgte sehr bald die Entdeckung der Gesetze der Absorption des Lichtes in farbigen Krystallen, mitgeteilt in der Abhandlung „On the Laws which regulate the Absorption of polarised light by Doubly Refracting Crystals“. Philos. Transact. of the R. Soc. of London f. the year 1819, S. 11—28. „Wenn man eine Fläche eines farblosen Kalkspatrhomboeders verdeckt bis auf eine Öffnung, deren Durchmesser eben gestattet, die beiden durch das Rhomboeder gesehene Bilder derselben getrennt zu erblicken, so beobachtet man vollkommene Gleichheit beider.. Anders bei einem Kalkspat von gelber Färbung; hier zeigen die beiden Bilder verschiedene Intensität und Farbennuance, und ihre Verschiedenheit hängt ab von der Neigung zur optischen Achse, derart, daß sie Null ist parallel zur Achse und ein Maximum erreicht in der Richtung senkrecht dazu.“ Durch Anwendung polarisierten Lichtes wurde dann festgestellt, daß nur der ordinäre Strahl eine von der Richtung unabhängige Absorption erfährt, während die des extraordinären nur parallel der Achse damit übereinstimmt und am meisten davon abweicht senkrecht zur Achse. Dasselbe Verhalten wurde an einer Anzahl anderer farbiger, optisch einachsiger Krystallarten beobachtet; doch war an einigen der Unterschied der beiden Farben unmerklich, an anderen zeigten verschiedene Exemplare mehr oder weniger verschiedene Nuancen; manche Saphire und Idokrase erwiesen sich sogar im gewöhnlichen Lichte mit verschiedener Farbe durchsichtig.

Wenn die viel komplizierteren Gesetzmäßigkeiten, denen die Absorption des Lichtes in den zweiachsigen Krystallen gehorcht, damals auch noch nicht aufgeklärt werden konnten, so vermehrte BREWSTER doch die Kenntnis ihres diesbezüglichen Verhaltens außerordentlich, denn diese beschränkte sich vorher auf die Tatsache, daß das Mineral Iolith im gewöhnlichen Lichte parallel der Achse seines Prismas tiefblau, senkrecht dazu blaßgelblich durchsichtig erscheint, weshalb HAÜY ihm den Namen „Dichroit“ gab. BREWSTER studierte eine größere Anzahl farbiger Substanzen, sowohl im gewöhnlichen als im polarisierten Lichte, und beobachtete an besonders stark absorbierenden, wie Epidot, Glimmer und Dichroit, in der Richtung der beiden optischen Achsen die erst sehr viel später erklärte Erscheinung der farbigen

Büschel und sogar das Auftreten der Farbenringe im gewöhnlichen Lichte. Er zog aus der Gesamtheit seiner Beobachtungen den Schluß, daß die Aufnahme des fremden Farbstoffes in den allochromatisch gefärbten Mineralien so stattfindet, daß er ebenfalls von den die allgemeinen optischen Eigenschaften regelnden Kräften beeinflußt werde.

Im Anschluß an einige interessante Versuche über die Einwirkung einer Erhitzung auf die Absorptionsverhältnisse von Krystallen wird dann noch mitgeteilt, daß Kalkspat durch längeres Weißglühen sich mit einer dünnen opalisierenden Schicht bedeckt, welche aus elliptischen Bläschen, nach der kurzen Diagonale der Rhomboederfläche in geraden Reihen geordnet, besteht; wenn man den Kalkspat vom Feuer wegnimmt, so bersten diese Bläschen, und nach ihrer Beseitigung bleiben regelmäßige parallele Rinnen zurück (also „Zersetzungsfiguren“), von denen BREWSTER vermutet, daß man von ihnen auf die Orientierung der Kohlensäure in der Krystallstruktur des Calcits schließen könne (!).

J. F. W. HERSCHEL (1792—1871) veröffentlichte bald darauf unter dem Titel „On the action of crystallized bodies on homogeneous light, and on the causes of the deviation from NEWTONS scale in the tints which many of them develop on exposure to a polarised ray“ (Philos. Transact. Roy. Soc. London 1820, I, S. 45—100) eine Abhandlung, welche weitere wesentliche Fortschritte in der Kenntnis der optischen Eigenschaften der zweiachsigen Krystalle brachte. Die Abweichungen der Farben in den Interferenzringen von denen der NEWTONSchen Skala war zwar schon 1818 von BREWSTER bemerkt worden, aber erst im folgenden Jahre erkannte HERSCHEL die Ursache davon in dem Umstande, daß die „Achsen der Doppelbrechung“ für die verschiedenen Farben des Spektrums eine verschiedene Lage im Krystall haben, und daß diese Dispersion der Doppelbrechung in manchen Krystallen so groß sei, daß ganz abweichende Farbentöne zustande kommen. Die Richtigkeit dieser Erklärung wurde bewiesen durch Anwendung „homogenen“ Lichtes, indem entweder farbiges Glas als Filter benutzt oder nach und nach einzelne Teile eines Spektrums in den Apparat gesendet wurden; letzterer bestand aus zwei Turmalinplatten, zwischen denen sich die Krystallplatte befand und von denen die zweite drehbar war. So konnten auch Dispersion, Charakter und Winkel der optischen Achsen als die Ursachen der farbigen Säume der dunklen Hyperbeln im Interferenzbilde festgestellt werden, beim Seignettesalz sogar bei gleichzeitiger Beleuchtung mit zwei verschiedenen Spektralgebieten zwei voneinander unabhängige Ringsysteme beobachtet werden. Durch genaue Messungen an dem Projektionsbilde der von einer Salpeterplatte hervorgebrachten Interferenzfigur wurde hier auch zum ersten Male nachgewiesen, daß die Kurven gleichen Gangunterschiedes die Gestalt von Lemniskaten besitzen.

Wie aus dem Bisherigen hervorgeht, ist wesentlich den Untersuchungen BREWSTERS die Kenntnis der Gesetze zu verdanken, gemäß denen die sogenannten „regulären“ Krystalle im normalen Zustande einfach brechend sind, die trigonalen, tetragonalen und hexagonalen optisch einachsig, mit einer der krystallographischen Hauptachse parallelen singulären Richtung einfacher Lichtbrechung.

Die durch WEISS 1816 begründete Unterscheidung der drei Krystallsysteme mit durchweg ungleichwertigen Achsen gelangte erst ganz allmählich zu allgemeiner Kenntnis und Annahme, und wir finden daher in den Arbeiten dieser und der nächsten Zeit noch keinerlei Unterscheidung der optischen Eigenschaften der rhombischen, der monoklinen und der triklinen Krystalle.

Unmittelbar nachdem FR. NEUMANN (s. S. 94) die FRESNELSchen Gesetze der Doppelbrechung des Lichtes auf die Grundsätze der Mechanik zurückgeführt hatte, veröffentlichte er in Poggendorffs Annalen der Phys. u. Chem.¹⁾, Bd. 27, S. 240—274 eine Abhandlung: „Die thermischen, optischen und krystallographischen Achsen des Krystallsystems des Gypses.“ Hier faßt er die bis dahin erlangten theoretischen Resultate der Krystallphysik (mit Ausnahme der noch nicht auf eine mechanische Theorie zurückgeführten Drehung der Schwingungsebene des polarisierten Lichtes im Quarz) zusammen in dem Satze:

„Nach welchem Gesetze auch die Kohäsionskräfte eines Punktes im Krystall zu seinen umgebenden sich mit der Richtung ändern, immer lassen sich durch ihn die drei aufeinander senkrechten Elastizitätsachsen FRESNELS, das sind die Achsen der Wellenfläche und die des Ellipsoides, wodurch die Geschwindigkeit der Lichtstrahlen in den verschiedenen Richtungen konstruiert wird, legen — und diese sind an jeder Stelle im Krystall, wegen der Unterschiedslosigkeit der Masse an den verschiedenen Stellen, parallel.“

Da in der Theorie der Krystalloptik eine Symmetrie der optischen Eigenschaften nach den drei Ebenen dieser Achsen angenommen wird, muß daraus die Gültigkeit dieser Symmetrie, auch für die mechanischen Eigenschaften der Krystalle folgen; daraus würde sich ferner ergeben, daß es zugleich die Richtungen der Hauptdruckachsen sind, und da die Wirkung einer Temperaturerhöhung bzw. -erniedrigung der eines Zuges bzw. eines Druckes entspricht, ergibt sich weiter, daß jene drei Achsen zusammenfallen mit den thermischen Achsen, den Richtungen der größten, mittleren und kleinsten Ausdehnung durch die Wärme.

¹⁾ Wo (Bd. 25, S. 418f.) seine Theorie der doppelten Strahlenbrechung erschienen war.

Was nun endlich das krystallographische Achsensystem betrifft, so „kann kein Zweifel sein, daß überall da, wo die Krystallformen symmetrisch in bezug auf die rechtwinkligen Ebenen sind, also bei den vollflächigen Gestalten, die Durchschnittslinien dieser drei rechtwinkligen Ebenen zusammenfallen mit den Kohäsionsachsen und somit also auch mit den optischen, thermischen und mit denen des Druckes.“ Damit war das Gesetz des Zusammenhanges zwischen der Form und den physikalischen Eigenschaften für das rhombische Krystallsystem zum ersten Male richtig ausgesprochen.

NEUMANN, im Einverständnis mit der Meinung von WEISS, daß auch die monoklinen und die triklinen Krystalle auf rechtwinklige Achsen zurückführbar wären, hielt es daher für „sehr wahrscheinlich“, daß auch in diesen beiden Abteilungen die gleiche Koinzidenz der physikalischen mit den krystallographischen Achsensystemen bestehe. Zur Stütze dieser Hypothese suchte er nun zu beweisen, daß die drei von ihm als „Achsen des Gypssystems“ betrachteten Richtungen unverändert ihre aufeinander senkrechte Lage bewahren und nur ihre relativen Längen durch die Temperatur eine Änderung erfahren, und eine Bestätigung dessen sah er darin, daß die Berechnung seiner und der von PHILLIPS bei gewöhnlicher Temperatur angestellten, sowie der von MITSCHERLICH in höherer Temperatur ausgeführten Messungen für die beiden in der Symmetrieebene der Krystalle gelegenen thermischen Achsen innerhalb der (hier naturgemäß sehr weiten) Fehlergrenzen nahezu dieselben Richtungen ergab, welche BIOT als erste und zweite Mittellinie der optischen Achsen gefunden hatte, während sich als dritte thermische Achse, die einzige von wirklich stabiler Orientierung, die Symmetrieachse der Krystalle erwies.

Eine Entscheidung dieser Frage hätte gefällt werden können auf Grund von Beobachtungen über die Interferenzerscheinungen monokliner und trikliner Krystalle, welche um dieselbe Zeit in rascher Folge von verschiedenen Physikern unabhängig voneinander gemacht wurden.

J. F. W. HERSCHEL (Corresp. math. et phys. 7, S. 77) bemerkte, daß die Anordnung der Farben in den Interferenzringen einer Boraxplatte nicht symmetrisch nach den beiden in der ersten Mittellinie sich schneidenden Hauptschnitten seien, sondern die Achsenebenen für die verschiedenen Farben schiefe Winkel miteinander bilden. Bei der Veröffentlichung dieser Beobachtung (Poggendorffs Ann. d. Phys. 1832, 26, S. 309—310) teilt der Herausgeber mit, daß im Sommer 1831 J. G. C. NÖRRENBURG (14) (damals noch in Darmstadt) ihm senkrecht zur ersten Mittellinie geschliffene Platten von Borax gezeigt habe, an welchen er die gleiche Erscheinung schon mehrere Jahre vorher beobachtet und durch Einfügung roten und blauen Glases nachgewiesen habe, daß hier eine Dispersion der Achsenebenen für die verschiedenen Farben

stattfinde (siehe auch Poggendorffs Ann. d. Phys. 1835, **35**, S. 382 bis 383). Im Jahre 1834 erhielt NEUMANN bei einem Besuche NÖRRENBURGERS in Tübingen außer Krystallplatten, senkrecht zur ersten Mittellinie geschnitten, von Borax auch solche von Gyps gezeigt, und diese letzteren ließen in betreff der Farben eine auffallende Verschiedenheit zwischen den beiden Ringsystemen erkennen. In einem Aufsätze „Über die optischen Eigenschaften der hemiprismatischen oder zwei- und einigliedrigen Krystalle“ (Poggendorffs Ann. d. Phys. 1835, **35**, S. 81—95) erklärt nun NEUMANN diese Farbenercheinungen zum ersten Male richtig dadurch, daß in diesen Krystallen die Elastizitätsachsen FRESNELS für verschiedene Farben nicht nur eine verschiedene Größe, sondern auch eine verschiedene Lage haben. Während im Borax nur die erste Mittellinie eine gemeinsame mit der Symmetrieachse der Krystalle zusammenfallende Richtung hat und die Achsenebenen für die verschiedenen Farben eine um diese gedrehte Lage besitzen, fällt beim Gyps bei gewöhnlicher Temperatur die Achse der mittleren optischen Elastizität mit der Symmetrieachse zusammen und die beiden in der Symmetrieebene liegenden Elastizitätsachsen, die erste und zweite Mittellinie der optischen Achsen, haben für jede Farbe eine andere Lage. Beim Gyps muß deshalb im Interferenzbild die Dispersion der Achsen auf beiden Seiten der Mittellinie ungleich sein — und von dieser hängen die Farbensäume der dunklen Hyperbeln und die Verteilung der Farben in den Ringen ab, daher können diese Farben in solchen Krystallen nicht die Symmetrie nach den in der ersten Mittellinie sich kreuzenden beiden Hauptschnitten zeigen, wie in Aragonit und Topas. Die bereits bekannte Tatsache¹⁾, daß die Lage der optischen Achsen im Gyps durch Tempera-

¹⁾ Nach einem Vortrage über die Veränderung der doppelten Strahlenbrechung durch die Wärme, den MITSCHERLICH im November 1825 vor der Berliner Akad. d. Wiss. gehalten hatte und der nach dem Manuskript des Nachlasses 1896 in seinen „Gesammelten Schriften“ S. 207—217 veröffentlicht ist, faßte er das Resultat seiner früheren Untersuchungen dahin zusammen, daß wegen ihrer nach allen Richtungen gleichen thermischen Ausdehnung die einfach brechenden Krystalle auch bei Änderung der Temperatur einfach brechend bleiben, die optisch einachsigen optisch einachsig, aber mit thermischer Änderung der Stärke ihrer Doppelbrechung, während bei den zweiachsigen die drei Hauptbrechungsindices eine verschiedene Änderung durch die Wärme erfahren. Beim Gyps ist diese Verschiedenheit so groß, daß nach genauen Messungen der Doppelbrechung bei verschiedenen Temperaturen sich für ihn bei 73° ein Übergang zur Einachsigkeit ergibt. In einer kürzeren Notiz (Poggendorffs Ann. d. Phys. 1826, **8**, S. 519) führt er an, daß die beiden Achsenbilder bei 73¹/₂° zusammenfallen und jenseits dieser Temperatur in einer zur vorigen senkrechten Ebene wieder auseinandergehen, während beim Erkalten dieselben Erscheinungen in umgekehrter Ordnung stattfinden (bekannter Vorlesungsversuch). BREWSTER (Phil. Mag. 1, S. 417; Poggendorffs Ann. d. Phys. 1833, **27**, S. 480) bestätigte an der von ihm 1818 untersuchten Gypsplatte, welche nur ein Ringsystem zeigte, beim Wiederabkühlen nach dem Erhitzen die fortwährende

turveränderung sehr stark beeinflußt wird, veranlaßte NEUMANN durch Messungen diese Änderungen zu bestimmen, zu welchem Zwecke er konvergentes Licht auf den Krystall auffallen ließ und die Mitte jedes Ringsystems im Fadenkreuz eines Goniometerfernrohres einstellte; obgleich weißes Licht angewendet wurde und daher keine genaue Einstellung möglich war, ergab sich doch unzweifelhaft, daß von den beim Steigen der Temperatur sich einander nähernden Achsenbildern das eine sich weit rascher bewegt als das andere, so daß die Vereinigung zu einem scheinbar einachsigen Interferenzbilde in einer um mehrere Grade anderen Richtung stattfindet, als in derjenigen der ersten Mittellinie bei gewöhnlicher Temperatur. In einem Nachtrag (Poggendorffs Ann. d. Phys. 1835, **35**, S. 203—205) zu dem 1833 veröffentlichten Aufsatz teilt NEUMANN weiter mit, daß er im Adular einen dritten monoklinen Krystall gefunden habe, welcher eine Unsymmetrie der optischen Erscheinungen in den zweiachsigen Krystallen beweist; während aber im Gyps die beiden Achsenbilder in der Symmetrieebene liegen und nur für verschiedene Farben ungleiche Dispersion zeigen, ist hier die Achsenebene für jede Farbe senkrecht zur Symmetrieebene; die erste Mittellinie, stets in derselben gelegen, hat aber eine nach der Farbe verschiedene Lage, so daß bei horizontaler Orientierung der Achsenebenen der dunkle Barren des Interferenzbildes in beiden Ringsystemen oben und unten farbige Säume zeigt, ebenso wie infolge der Dispersion der Achsenebenen die Farbenringe zu beiden Seiten dieser Mittellinie des Bildes verschieden sind. Damit war erkannt, daß *optische Symmetrie bei den monoklinen Krystallen nur stattfindet nach der einzigen Ebene, nach welcher auch ihre geometrische Form symmetrisch ist*, und zwar stellen gerade die drei zuerst entdeckten Fälle, Borax, Gyps und Adular, die einzig möglichen dar; denn die optischen Achsen können nach diesem Gesetz nur in der Symmetrieebene (Gyps)^{*)} oder in einer dazu

Änderung des Ortes und der Gestalt dieses Ringsystems, fand aber eine ähnliche „vielleicht noch außerordentlichere“ Eigenschaft am Glaubertit. Dieses Mineral ist für rotes Licht optisch zweiachsig, für violette einachsig; durch allmähliches Erwärmen wird der Achsenwinkel für rotes Licht kleiner, dann Null, und schon unter 100° gehen die beiden Achsen in der zur vorigen senkrechten Ebene auseinander. Durch künstliche Abkühlung wird der Achsenwinkel für Rot größer und für Violett entsteht ein zweiachsiges Achsenbild in derselben Ebene; Steigerung der Kälte vergrößert den Achsenwinkel für alle Farben, der am kleinsten für die stärkst brechbaren, am größten für die schwächst brechbaren ist. Bei der (noch innerhalb der Grenzen der gewöhnlichen liegenden) Temperatur, bei welcher der Glaubertit für eine mittlere Farbe einachsig ist, sind seine optischen Achsen für die übrigen Farben in zwei zueinander senkrechten Ebenen dispergiert.

^{*)} Ein viertes Beispiel, welches aber gegenüber dem Gyps nichts neues darbietet, wurde um dieselbe Zeit in dem ameisensauren Kupfer nachgewiesen von J. MÜLLER in Darmstadt (s. Poggendorffs Ann. d. Phys. 1835, **35**, S. 472—474). Dieser, später Professor der Physik in Freiburg, veröffentlichte verschiedene Arbeiten über die Interferenzerscheinungen der Krystalle.

senkrechten Ebene gelegen sein; in letzterem Falle ist entweder die erste Mittellinie für alle Farben die Symmetrieachse (Borax) oder die ersten Mittellinien sind dispergiert und liegen in der Symmetrieebene (Adular). Diese drei Beispiele sind es auch gewesen, welche man später stets zur Demonstration der optischen Symmetrieverhältnisse der monoklinen Krystalle benutzt hat, seit man die praktische Wichtigkeit der optischen Eigenschaften für die Bestimmung des Krystallsystems erkannt hat; so sind sie z. B. hauptsächlich behandelt in der vortrefflichen Anleitung von A. DES CLOIZEAUX, „Mém. sur l'emploi du microscope polarisant et sur l'étude des propriétés optiques biréfringentes propres à déterminer le système cristallin dans les cristaux naturels ou artificiels“. (Aus Ann. des mines 6. Bd., Paris 1864, apart erschienen.)

Gleichzeitig mit der Feststellung der optischen Symmetrieverhältnisse der monoklinen Krystalle wurde aber auch *der Mangel jeder Symmetrieebene in den optischen Eigenschaften der triklinen Krystalle nachgewiesen* von FR. NEUMANN in einer kurzen Mitteilung in Poggendorffs Ann. d. Phys. 1835, **35**, S. 381—382, derzufolge die Interferenzbilder der Traubensäure und des bernsteinsäuren Ammoniums in dem einen Ringsystem eine in Bezug auf den beide Achsenbilder durchschneidenden dunklen Barren nahe symmetrische Farbenverteilung zeigen, während die „Farbenachsen“ in dem andern Ringsystem ganz unsymmetrisch liegen, so daß die Ringe auf der einen Seite fast ganz verschwunden sind.

Der Erste, der die praktische Wichtigkeit der im Vorhergehenden besprochenen Gesetzmäßigkeiten für die Bestimmung des Krystallsystems einer Substanz erkannt hat, war jedenfalls W. H. MILLER, welcher in seinem S. 90f. bereits eingehend gewürdigten „Treatise on Crystallography“, Cambridge-London 1839, S. 118—119, einen Überblick über die gesetzmäßigen Beziehungen der Lage der optischen zu den krystallographischen Achsen gab und daher auch zuerst aus den oben angeführten Beobachtungen über die optischen Eigenschaften der monoklinen und triklinen Krystalle den Schluß zog, daß *die beiden einen schiefen Winkel miteinander bildenden bzw. die drei Krystallachsen dieser beiden Abteilungen mit keiner durch physikalische Eigenschaften irgendwie ausgezeichneten Richtung zusammenfallen*.

Ebenso wie dazu, daß in den beiden folgenden Jahrzehnten die richtige geometrische Auffassung der „Krystallsysteme“ immer allgemeiner wurde, trug das genannte Werk auch dazu bei, die Kenntnis des gesetzmäßigen Zusammenhanges der optischen mit den geometrischen Eigenschaften weiter zu verbreiten. Infolgedessen begann man die Mineralien immer eingehender in optischer Beziehung zu studieren und erkannte hierdurch zahlreiche Irrtümer der früheren Bestimmungen ihrer geometrischen Formen, die sich als (nur scheinbar einfache) Zwillingserwachsungen eines weniger symmetrischen Krystallsystemserwiesen. Durch

die Erforschung der optischen Eigenschaften der in den Gesteinen auftretenden Mineralien wurde es später möglich, diese auf mikroskopischem Wege auch in dichten Gesteinen zu bestimmen, und so wurden die optischen Methoden eines der wichtigsten Hilfsmittel der Gesteinslehre, dessen Entwicklung in der zweiten Abteilung dieser Schrift, der Geschichte der Mineralkunde, behandelt werden soll. Inzwischen hatte aber auch, hauptsächlich durch MITSCHERLICH'S Entdeckung der Isomorphie, die Entwicklung der in einem späteren Abschnitt behandelten „Chemischen Krystallographie“ und damit die systematische Untersuchung der nicht in der Natur vorkommenden Substanzen begonnen. Hierbei wurden nun immer mehr auch die optischen Methoden benutzt, die sich, wie auch andere physikalische Verfahren, in vielen Fällen als unentbehrliche Hilfsmittel der krystallographischen Forschung erwiesen, und besondere Verdienste um die Fortschritte auf diesem Gebiete erwarben sich die Krystallographen der österreichischen Schule, welche von J. GRAILICH begründet wurde. Wie bereits erwähnt, fügte Dieser seiner Übersetzung des MILLERSchen „Treatise“, welche zur Verbreitung der Kenntnis dieser Schrift besonders beigetragen hat, einen Abschnitt über Krystallophysik bei, in welchem er den ersten Versuch gemacht hat, nicht nur den gesetzmäßigen Zusammenhang zwischen den geometrischen und der Gesamtheit der physikalischen Eigenschaften der krystallisierten Körper darzustellen, sondern auch die auf diesem Gebiete damals bekannten Tatsachen vollständig zu sammeln.

Mit der oben geschilderten Entwicklung der Kenntnis der optischen Eigenschaften der zweiachsigen Krystalle ging auch Hand in Hand eine Verbesserung der Beobachtungsmethoden. Was zunächst die Polarisatoren betrifft, so trat an die Stelle von unter dem Polarisationswinkel gestellten Glasplatten, von einfachen Kalkspatrhomboiden oder den das ordentliche Licht absorbierenden Turmalinplatten das sogenannte NICOLSche Prisma, welches unabhängig von dem englischen Forscher, nach dem es benannt worden ist, auch von NÖRRENBURG an seinem Polarisationsinstrument angewendet worden ist (s. Poggendorffs Ann. d. Phys. u. Chem. 1833, 29, S. 182—186). Durch Hinzufügung von Linsen entwickelte sich das letztere zu dem heutigen Konoskop, dessen Theorie zuerst gegeben wurde von E. REUSCH in dem Bericht über die 34. Vers. deutsch. Naturf. u. Ärzte in Karlsruhe 1858 (erschienen 1859) S. 160—163. In diesem an die Vorlage eines Polarisationsapparates von NÖRRENBURG (14) sich anschließenden Vortrage „Über Linsen und Linsensysteme zur Beobachtung der Farbenringe im polarisierten Licht“ gibt der Verfasser einen vortrefflichen Überblick über die frühere Entwicklung der konoskopischen Methoden unter Berücksichtigung der Verdienste von AIRY und AMICI. Durch F. v. KOBELL wurde ferner die stauroskopische Methode zur Bestimmung der Schwingungsrichtung in die Krystalloptik eingeführt.

In die erste Zeit der Entwicklung der Krystalloptik fiel aber noch die Entdeckung einer gesetzmäßigen Beziehung zwischen der Krystallform und einer besonderen optischen Eigenschaft, nämlich der 1811 von ARAGO entdeckten und von BIOT eingehend studierten Eigenschaft des Quarzes, in der Richtung der Hauptachse die Polarisationssebene des Lichtes zu drehen. J. F. W. HERSCHEL äußerte in einer 1820 vorgetragenen Abhandlung „On the Rotation impressed by Plates of Rock Crystal on the Planes of Polarization of the Rays of Light, as connected with certain peculiarities in its Crystallization“ (Transact. of the Cambridge Philos. Soc., Cambridge 1822, Bd. I, S. 43—52; deutsch in Poggendorffs Ann. d. Phys. 1831, 21, S. 288f.) die Ansicht, daß die genannte Eigenschaft auf einen Mangel an Symmetrie der intramolekularen Kräfte, die auf das Licht einwirken, hindeute, welcher vielleicht auch einen solchen in der Anordnung der Moleküle und daher einen gewissen Mangel an Symmetrie in der Krystallform hervorbringen könne; ein derartiger Fall schiene vorzuliegen in den von HAÜY beschriebenen Quarzkrystallen mit entgegengesetzt geneigten „plagiedrischen“ Flächen. HERSCHEL untersuchte daher eine größere Anzahl von Bergkrystallen mit rechten oder linken Trapezoederflächen und fand stets die ersteren rechts-, die letzteren links drehend; unter zahlreichen Amethysten gelang es nur einen mit einer deutlichen Trapezoederfläche zu finden, und auch dieser zeigte in dem anliegenden Teile den gesetzmäßigen Sinn der Drehung. Daß diese Eigenschaft an den Aufbau der Krystalle gebunden ist, bewies HERSCHEL durch Auflösen eines „plagiedrischen“ Quarzes in Kalilauge, denn die erhaltene Flüssigkeit zeigte kein Drehungsvermögen.

Der Begriff der Symmetrie war in der in den bisherigen Abschnitten behandelten ersten Periode der Entwicklung der Krystallkunde im wesentlichen auf den der „Symmetrieebene“ beschränkt, welche, durch einen Punkt gelegt, von dem die gleichwertigen Flächen des Krystalls gleichweit gedacht werden, dessen Form in zwei spiegelbildlich gleiche Hälften teilt. Fortschritte, die auf einer Weiterentwicklung und genaueren Präzisierung des Symmetriebegriffes beruhen, sind zwar schon vor dem Ablauf der bis jetzt betrachteten Periode gemacht worden, aber zunächst unbeachtet geblieben und daher erst später von Einfluß auf den Gang der wissenschaftlichen Entwicklung geworden. Mit diesen Fortschritten soll der folgende Abschnitt begonnen werden.

Symmetrieverhältnisse der Krystallformen und Theorien der Krystallstruktur.

Den ersten Versuch, die möglichen Symmetriearten der Krystalle zu erforschen, machte JUSTUS GÜNTHER GRASSMANN¹⁾ in seiner 1829 in Stettin erschienenen Schrift „Zur physischen Krystallonomie und geometrischen Kombinationslehre“. Erstes (einziges) Heft, 184 Seiten und 3 Tafeln. Kürzer in Poggendorffs Ann. d. Phys. 1833, 30 (als Ergänzungsband erschienen 1836) S. 1—43. In dieser Schrift benutzt der Verfasser eine von ihm ersonnene geometrische Methode zur Ableitung der Gestalten und Darstellung ihres Zusammenhanges, welche er „Kombinationslehre“ nannte und die seinem als Mathematiker bedeutenderen Sohne HERMANN GRASSMANN wichtige Anregungen bot für seine eigenen mathematischen Forschungen; sie führten Letzteren zur Ausarbeitung einer neuen Wissenschaft „Ausdehnungslehre“, welche sich freilich erst allmählich allgemeinere Anerkennung erworben hat. Daß auch die Werke seines Vaters, abgesehen von der Würdigung ihrer didaktisch-mathematischen Bedeutung, wenig beachtet worden sind, lag einerseits an der Art ihrer Darstellung, anderseits an dem Umstande, daß ihm bei Abfassung der oben genannten Schrift die grundlegenden Arbeiten von WEISS und NEUMANN nicht zugänglich waren und er seine Kenntnis der Krystallographie nur aus MOHS' „Grundriß der Mineralogie“ (s. S. 84) schöpfte. Infolgedessen mußte er die bereits vorliegenden Ergebnisse der Forschungen Jener, wie die Projektion der Krystallflächen auf die Kugel und deren Bezeichnung durch die Indices, für seine Methode von neuem ersinnen, und da er die letztere auch vornehmlich auf das kubische Krystallsystem anwandte, konnte er zwar dessen zwei, damals theoretisch schon bekannte, enantiomorphe Symmetrieklassen als gesetzmäßig möglich nachweisen, hat aber mehrere aus den anderen Krystallsystemen nach seinem Verfahren nicht aufgefunden, die obige

¹⁾ JUSTUS GÜNTHER GRASSMANN wirkte seit 1806 als Lehrer, seit 1815 als Professor der Mathematik und Physik am Gymnasium in Stettin. Die oben erwähnte Kombinationslehre behandelte er zuerst 1817 als ersten Teil einer „Raumlehre“, deren zweiter, 1824 erschienener Teil den Titel „Ebene und räumliche Größenlehre“ führt und die Elemente der Geometrie in neuer, origineller Darstellung enthält. Näheres siehe in der Biographie seines Sohnes von V. SCHLEGEL: „HERMANN GRASSMANN, Sein Leben und seine Werke“. Leipzig 1878.

Aufgabe also nur unvollständig gelöst. Trotzdem sind noch heute lesenswert wenigstens die „Schlußbemerkungen“ seiner Schrift, in welchen sich u. a. Betrachtungen über die Beziehungen krystallographischer Verhältnisse zu den „Akkorden“ der Musik befinden, wie solche noch in neuerer Zeit in spekulativen Studien aufgetaucht sind.

Die von WEISS und NAUMANN geschaffene Systematik der Krystalle mit ihrer Einteilung der Krystallsysteme in voll- und teilflächige Abteilungen entbehrte eines bestimmten Prinzips. Die Aufstellung eines solchen und die Entdeckung, daß es im Reiche der Krystalle **nur zwei- und dreißig Arten von Symmetrie geben könne**, verdankt die Wissenschaft dem Marburger Mineralogen J. F. C. HESSEL (15), dessen Bedeutung aber erst sechzig Jahre später zur verdienten Anerkennung gelangte, durch die Abhandlung von L. SOHNCKE, „Die Entdeckung des Einteilungsprinzips der Krystalle durch J. F. C. HESSEL. Eine historische Studie“ (Zeitschr. f. Krystallographie 1891, Bd. 18, S. 486 bis 494). Das Resultat seiner geometrischen Untersuchung dieser Frage veröffentlichte HESSEL schon im Jahre 1830 als einen über 300 Seiten umfassenden Artikel „Krystall“ im 5. Bande von GEHLERS Physikal. Wörterbuch II, S. 1023—1340. Ein durch eine Vorrede, einen von L. GMELIN verfaßten Abschnitt „Über Krystallbildung“ (S. 318—338), sowie durch ein Inhaltsverzeichnis und die Zusammenstellung der zahlreichen Druckfehler der ersten Ausgabe vervollständigter zweiter Abdruck erschien im nächsten Jahre unter dem Titel „Krystallometrie oder Krystallonomie und Krystallographie, auf eigentümliche Weise und mit Zugrundelegung neuer allgemeiner Lehren der reinen Gestaltenkunde, sowie mit vollständiger Berücksichtigung der wichtigsten Arbeiten und Methoden anderer Krystallographen. Nebst einem Anhange über Krystallogenie von L. GMELIN (Heidelberg)“. Mit 11 Kupfertafeln. Leipzig 1831. XVIII u. 346 Seiten¹⁾. Ein neuer vollständiger Abdruck mit erläuternden Anmerkungen von E. HESS erschien in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften Nr. 88, 192 Seiten mit VIII Tafeln; Nr. 89, 165 Seiten mit XI Tafeln. Leipzig 1897.

Wie der Titel des Buches aussagt, enthält es nicht nur die Lösung der Aufgabe, die sämtlichen möglichen Arten der Symmetrie im Reiche der Krystalle streng zu ermitteln, sondern viel weitergehend eine allgemeine Gestaltenlehre, welche festzustellen hat, wie viel und in welcher

¹⁾ Von diesem Werke befindet sich in München (Bibl. d. min. Inst. i. d. Akad.) ein Exemplar, welches der Verfasser einem Freunde, dem Mathematiker JORDAN in Erlangen, zusandte, mit einem eingeklebten Blatte, das wahrscheinlich auf Wunsch dieses Freundes abgefaßt, einen hochinteressanten, gewissermaßen kritischen Überblick über seine wissenschaftlichen Publikationen gibt und dort u. a. auch seine völlig vergessene Arbeit über Feldspäte, welche der von TSCHERMAK um Jahrzehnte vorausgegangen ist, erwähnt.

Anordnung gelegene gleichwertige Teile ein Raumdng darbieten kann. Um dieses Ziel zu erreichen, mußte für die Lehre von der Gleichwertigkeit räumlicher Dinge eine eigene Kunstsprache aufgestellt werden, und das geschah von HESSEL unter möglichster Vermeidung von Fremdwörtern, daher die Benennungen der verschiedenen Arten von durch Ebenen begrenzten (hier allein in Betracht kommenden) Gestalten wohl etwas unbehilflich erscheinen, sich aber zur konsequenten Durchführung des Prinzips vollkommen geeignet erweisen. Zunächst muß bei einer ebenen Fläche unterschieden werden die „Flächenseite“, d. h. die Art, wie sie zwei Raumstücke trennt; ist sie ganz oder teilweise von Linien begrenzt, so heißt sie ein „Bild“. Zwei gleichwertige Bilder sind entweder „ebenbildlich gleich“ oder „gegenbildlich gleich“. Nach Herleitung der Sätze, welche für diese Beziehung von Teilen der Gestalten gelten, werden letztere daraufhin untersucht, in wie vielen Stellungen sie beim Drehen um eine Achse mit sich selbst zur Deckung gelangen, d. h. es wird hier zum ersten Male der Begriff einer *Symmetrieachse* aufgestellt und diese Achsen nach ihrer Zähligkeit unterschieden. Erst nach Vollendung der allgemeinen Gestaltenlehre wird die Bedingung dafür, daß ein von ebenen Flächen begrenztes Polyeder ein krystallographisches sei, erkannt in der Gültigkeit des Gesetzes der Rationalität der Indices, welches der Verfasser „Gerengesetz“ nennt und in eine für die betreffenden Schlußfolgerungen geeignete Form bringt. Es wird dann bewiesen, daß auf Grund dieser Gültigkeit bei krystallographischen Polyedern keine anderen Achsen möglich sind als 2-, 3-, 4- oder 6zählige, und die weitere Untersuchung betrifft alsdann die Möglichkeit der Kombination mehrerer Symmetrieachsen miteinander oder mit Symmetrieebenen.

Während bis dahin also rein empirisch innerhalb der sieben Krystall-systeme Abteilungen mit geringerer Symmetrie als „hemiedrische“ oder „hemimorphe“ unterschieden worden waren, ohne daß für diese Unterscheidung ein Prinzip erkannt worden wäre, lag nun der strenge Beweis vor, daß es nur die beschränkte Zahl von 32 Arten der Symmetrie bei den Krystallen geben könne. Wenn dieser Beweis auch in einer etwas weitläufigen und schwerfälligen Form geführt worden war, so ist es doch fast unbegreiflich, daß in den nächsten Jahrzehnten dieser größte Fortschritt der theoretischen Krystallkunde völlig unbeachtet blieb. Infolgedessen beschränkte sich die Entwicklung dieser Wissenschaft im wesentlichen auf die spezielle Erforschung der einzelnen Krystallarten, und zwar hauptsächlich darauf, ihre Methoden zur Bestimmung der Eigenschaften der Mineralien (und allmählich mehr und mehr auch anderer Körper) anzuwenden, und es sammelte sich allmählich ein ungeheures Material an krystallographischen Beobachtungen an, welches der Ordnung durch allgemeine Gesetzmäßigkeiten entbehrte.

Erst sehr viel später als von HESSEL, und meist unabhängig von ihm, sind weitere Versuche der Lösung der gleichen Aufgabe unternommen worden, die aber auch nur recht allmählich zum Einfluß auf die Entwicklung der Krystallkunde gelangt sind.

Ehe diese im Zusammenhang Erwähnung finden, muß darauf hingewiesen werden, daß das HESSELSche Werk auch bereits eine kritische Behandlung des damaligen Zustandes der krystallographischen Wissenschaft enthält, welche auch heute noch Interesse darbietet. Übrigens hat er seine Nomenklatur selbst, allerdings sehr viel später und in einer wenig zugänglichen Universitätsschrift, durch eine geeignetere ersetzt („Über gewisse merkwürdige statische und mechanische Eigenschaften der Raumgebilde, welche einen Schwerpunkt haben, insbesondere der homogenen Körper, und über die Bedeutung derselben für verschiedene auf Krystalle bezügliche Lehren der Physik“, Marburg 1862, 4°).

Das von HESSEL gelöste Problem behandelte zunächst BRAVAIS (16) im Jahre 1849, ohne ihn zu erwähnen, in der Abhandlung: „Mémoire sur les polyèdres de forme symétrique“ (Journ. de mathémat. p. LIONVILLE, Bd. 14, S. 137—180. Mit der einleitenden „Note s. l. pol. symm. d. l. géométrie“, übersetzt von C. u. E. BLASIUS in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften Nr. 17, 1890). Seine Methode ist eleganter und übersichtlicher, ergab aber für die Systematik der Krystalle, wie BLASIUS nachwies, kein ganz vollständiges Resultat, indem nur für 31 Symmetrieklassen der Nachweis der Möglichkeit geliefert wurde. Übrigens hat BRAVAIS später in einer 1851 in dem Journ. de l'école polytechn. erschienenen Tabelle (daraus in die Sammlung seiner Werke „Études cristallographiques“, Paris 1866, S. 229) die fehlende Symmetrieklasse des tetragonalen Systems, welche damals noch an keiner Substanz nachgewiesen worden war, eingefügt. Die zum Beweis ihrer Möglichkeit erforderliche Vervollständigung der BRAVAISSchen Untersuchung über die möglichen krystallographischen Polyeder gab P. CURIE 1884 in dem Bull. d. l. soc. minéralog. de France.

1867 veröffentlichte der Petersburger Akademiker AXEL GADOLIN (†1894) die in den Acta Soc. Scient. Fenn. Helsingf. 1871, 9, S. 1 f. erschienene Arbeit: Mémoire s. l. déduction d'un seul principe de tous les systèmes cristallographiques avec leur subdivisions (Deutsche Übersetzung von P. GROTH in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften Nr. 75, Leipzig 1896). In derselben erfolgt die Ableitung der möglichen Symmetrieklassen aus dem Grundgesetze nach einer besonders einfachen und durch Benutzung stereographischer Projektionen der den allgemeinen Fall darstellenden Form jeder Klasse anschaulich gemachten Methode, daher sie hauptsächlich dazu beigetragen hat, namentlich seit dem Erscheinen der deutschen Ausgabe, die Kenntnis der rationellen

Systematik der Krystalle zu verbreiten und in neuester Zeit sogar in den Unterricht einzuführen.

Endlich lieferte einen auf der Gruppentheorie gegründeten, streng mathematischen Beweis der Möglichkeit der 32 Klassen B. MINNIGERODE (Prof. d. Math. an der Universität in Greifswald) im N. Jahrb. f. Min., Geol. usw., Beil., Bd. 5, 1887, S. 145f.

Wie bereits erwähnt, sind alle diese Arbeiten zunächst ohne Einfluß auf die Entwicklung der Krystallkunde geblieben. Die Kenntnis der Gesetze, welche die Symmetrieverhältnisse der Krystalle beherrschen, erweiterte sich erst allmählich auf empirischem Wege, wozu schon die im vorigen Abschnitt betrachteten Beziehungen zwischen den geometrischen und den optischen Eigenschaften wesentlich beitrugen, noch mehr aber theoretische Erwägungen über die regelmäßige Anordnung der kleinsten Teilchen in den Krystallen, welche zu dem Resultat führten, daß diese nach „Raumgittern“ stattfinden, d. h. in allen parallelen Richtungen die gleiche sei.

Der Erste, welcher untersuchte, ob die geometrisch möglichen Arten von Raumgittern in ihren Symmetrieverhältnissen übereinstimmen mit den an den Krystallen beobachteten, war M. L. FRANKENHEIM (17) in seinem Werke „Die Lehre von der Cohäsion, umfassend die Elasticität der Gase, die Elasticität und Cohärenz der flüssigen und festen Körper und die Krystallkunde“, Breslau 1835, S. 311f. und in der Schrift „System der Krystalle. Ein Versuch“ (Nova Acta Acad. Caes. Leop. Carol. Nat. 1842, Bd. 19, Abt. II, S. 471—660). Seine Ableitung der möglichen Arten von Raumgittern¹⁾, welche bei dieser Gelegenheit eine Korrektur erfuhr, veröffentlichte er erst später in der Abhandlung „Die Anordnung der Moleküle im Krystalle“ (Poggendorffs Ann. d. Phys. 1856, 97, S. 337—382).

Vorher hatte bereits A. BRAVAIS in seiner Abhandlung „Mémoire s. l. systèmes formés par des points distribués régulièrement sur un plan ou dans l'espace“ im Journ. de l'école polytechn., Paris 1850, Bd. 19, S. 1—128 (übers. von C. u. E. BLASIUS in Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften, Nr. 90, Leipzig 1897) die jetzt gewöhnlich nach ihm benannte „Theorie der Raumgitter“ entwickelt, von der später SOHNCKE eine etwas vereinfachte Ableitung lieferte („Die Gruppierung der Moleküle in den Krystallen“, Poggendorffs Ann. d. Phys. 1867, 32, S. 75f.). Das Resultat der BRAVAISSchen Herleitung war, daß nur 14 Arten von Raumgittern möglich seien, von denen die Hälfte als aus

¹⁾ D. h. parallelepipedischen Anordnungen, wie sie zuerst SEEBER (s. S. 57) für die Krystallstruktur angenommen hatte.

zwei bzw. vier einfachen zusammengesetzt betrachtet werden kann, und daß die sieben einfachen Raumbgitter genau den sieben an den Krystallen beobachteten Krystallsystemen entsprechen. Von den physikalischen Eigenschaften ist es zunächst die Spaltbarkeit, von deren Symmetrieverhältnissen die Theorie vollständige Rechenschaft geben konnte, während andere Eigenschaften Erweiterungen derselben forderten, welche noch vor Ablauf des 19. Jahrhunderts erfolgten.

Die BRAVAISSchen Untersuchungen beeinflussten besonders die französische Schule von Krystallographen, welche von dem im Jahre 1876 seine Tätigkeit beginnenden E. MALLARD (1833—1874) gegründet wurde. Dieser gab bald darauf den ersten, wesentlich geometrischen Teil (mit Atlas) eines Werkes „*Traité de Cristallographie géométrique et physique*“ heraus, in welchem er die Theorie der Raumbgitter eingehend behandelte und aus ihr die Gesetze der Krystallographie ableitete. Hier werden ferner verschiedene von BRAVAIS bereits berührte Probleme näher betrachtet, so z. B. das Verhältnis der Symmetrie des Raumbgitters zu der des Krystalls, welche ja in den sogenannten meroedrischen Abteilungen der Krystallsysteme niedriger ist, als in der jedesmaligen holoedrischen Klasse. Da nach der Theorie die Krystallflächen den möglichen Netzebenen des Raumbgitters entsprechen, entsteht vor allem die Frage nach der Beziehung zwischen der Dichtigkeit der einzelnen Netzebenen und dem Auftreten der verschiedenen möglichen Formen der betreffenden Krystallart. Bekanntlich lehrt die Beobachtung, daß an vielen Substanzen sich unter den verschiedensten Verhältnissen stets vorherrschend die gleichen Formen bilden, überhaupt gewisse unter den möglichen Krystallformen einer Art bei der Entstehung, ferner als Ebenen der Spaltbarkeit, als Gleitflächen und als Zwillingsebenen vor den übrigen bevorzugt sind, so daß man die Gesamtheit der Krystallformen einer Substanz nach ihrer physikalischen Wichtigkeit in eine Reihe ordnen kann. Wählt man nun das Raumbgitter so, daß die am meisten bevorzugten Krystallflächen die einfachsten Symbole erhalten, so ergibt sich, daß die Netzebenen, denen weniger einfache Symbole entsprechen, Krystallflächen bestimmen, welche weniger begünstigt sind, und daß also eine gesetzmäßige Beziehung zwischen der physikalischen Wichtigkeit der einzelnen Formen einer Krystallreihe und der Flächendichtigkeit der verschiedenen Netzebenen des betreffenden Raumbgitters bestehen muß.

Die BRAVAISSche Theorie wurde in Deutschland Gegenstand der Diskussion hauptsächlich durch L. SOHNCKE (1842—1897), welcher zeigte, daß dieselbe außer der gleichen Anordnung der Massenpunkte um jeden derselben noch eine zweite Voraussetzung enthalte, daß nämlich die Massenteilchen selbst, deren Schwerpunkte ruhend gedacht das Raumbgitter bilden, sich sämtlich in paralleler Stellung befinden. Die Zwillingungsverwachsungen und namentlich die künstliche Herstellung solcher durch

Gleitung bewiesen nun, daß es außer der parallelen Orientierung noch andere stabile Lagen des Gleichgewichts der zwischen den Molekülen wirkenden Kräfte gäbe, daher diese zweite Voraussetzung fallen gelassen werden müsse. Alsdann ergeben sich aber außer den 14 BRAVAISSchen Raumgittern noch weitere regelmäßige Anordnungen gleicher Massenteilchen. In seinem Werke „Entwicklung einer Theorie der Krystallstruktur“, Leipzig 1879, leitete SOHNCKE aus bestimmten Deckbewegungen die Möglichkeit von 65¹⁾ regelmäßigen Punktsystemen ab, welche ebenfalls aus den einfachen Raumgittern zusammengesetzt sind, wie ein Teil der BRAVAISSchen. Diese Theorie bildete insofern einen Fortschritt gegen die letztere, als sie, außer der Verschiedenheit der Spaltbarkeit in den sieben Krystallsystemen, die Symmetrieverhältnisse nicht nur der höchst symmetrischen Klasse eines jeden Systems aus der regelmäßigen Anordnung der kleinsten Teilchen zu erklären gestattete, sondern auch der weniger symmetrischen Klassen, für welche BRAVAIS die Gestalt der Moleküle in Anspruch nehmen mußte. Als besonders wichtig erwiesen sich diejenigen Punktsysteme, welche aus den einfachen Raumgittern in schraubenartiger Anordnung aufgebaut sind und nach dem Sinne der Deckbewegung in zwei enantiomorphen spiegelbildlich entgegengesetzten Formen existieren, namentlich als es gelang, die Erscheinungen der rechten und linken Drehung der Polarisationsebene des Lichtes in optisch einachsigen Krystallen durch entsprechende schraubenartige Übereinanderschichtung äußerst dünner zweiachsiger Lamellen hervorzurufen. Daß die 65 regelmäßigen Punktsysteme jedoch noch keine allgemeine Theorie der Krystallstruktur darstellten, ergab sich daraus, daß sie zwar von einem großen Teil der von HESSEL als möglich nachgewiesenen 32 Symmetrieklassen Rechenschaft zu geben imstande sind, aber nicht von allen. Dieser Mangel veranlaßte später SOHNCKE (Zeitschr. f. Krystallographie u. Min. 1888, 14, S. 426), eine erweiterte Theorie aufzustellen, derzufolge ein Krystall auch bestehen könne aus mehreren ineinandergestellten regelmäßigen Punktsystemen, welche von verschiedenartigen Massenteilchen gebildet werden, deren jedes aus gleichartigen Teilchen, aber nicht notwendig in gleicher Orientierung, besteht. In derselben Abhandlung ist auch zuerst eine Idee ausgesprochen, welche in neuester Zeit durch die Röntgenforschung eine glänzende Bestätigung erfahren hat, die nämlich, daß man als „Bausteine“ der Krystallstruktur auch die einzelnen Atome betrachten könne.

Den Abschluß aller dieser Bestrebungen bildete die Aufstellung der allgemeinen Theorie der Krystallstruktur, welche gleichzeitig und un-

¹⁾ In dem Werke sind 66 angeführt, von denen sich jedoch später zwei der gleichen Kategorie angehörig erwiesen.

abhängig von zwei Seiten erfolgte, in Deutschland durch das Werk des Göttinger Mathematikers A. SCHOENFLIES, „Krystallsysteme und Krystallstruktur“. Leipzig 1891. Bereits 1888 hatte Derselbe in einer Abhandlung (Nachr. v. d. k. Ges. der Wiss. Gött.) sich die Aufgabe gestellt, nicht nur diejenigen Anordnungen der Massenpunkte aufzusuchen, welche um jeden derselben kongruent gleich sind, sondern auch die nur symmetrisch gleichen. Alsdann treten zu den Deckoperationen auch Spiegelungen, sowie deren Kombination mit Drehungen, und die regelmäßig angeordneten Bausteine der Struktur sind ebenfalls alle gleich; diese Gleichheit kann aber eine deckbare oder eine spiegelbildliche sein. Das Resultat des genannten Werkes ist nun, daß 230 verschiedene Strukturtypen, vom Verfasser „Raumgruppen“ genannt, möglich sind, in denen die Symmetrieverhältnisse sämtlicher 32 Symmetrieklassen der Krystalle und keine anderen enthalten sind. Eingehend werden ferner die Beziehungen der Strukturverhältnisse zu der Art der Raumerfüllung behandelt, welche für den Begriff des Krystallmoleküls von grundlegender Bedeutung sind.

Die gleiche Aufgabe löste der geniale russische Krystallograph und Mineraloge E. v. FEDOROW. Den Grund dazu legte er schon 1885 in einer nur russisch erschienenen Abhandlung über die Lehre von den Figuren (deutscher Auszug von G. WULFF in Zeitschr. f. Kryst. **17**, S. 610), in welcher auch die Ableitung der Symmetrie der, wie oben erwähnt, von BRAVAIS nicht bewiesenen Krystallklasse gegeben ist; dieser folgte 1890 die Ableitung der 230 möglichen Strukturtypen. Letztere ist ebenfalls in russischer Sprache veröffentlicht, der Verfasser hat aber den Gegenstand auch in deutscher Sprache behandelt in einer Reihe von Abhandlungen in der Zeitschr. f. Krystallographie u. Min. (**24**, S. 209—252, **25**, S. 113—224, **36**, S. 209—233, **40**, S. 529—554), nachdem er (ebenda **20**, S. 25—75) eine Vergleichung seiner Resultate mit denen von SCHOENFLIES gegeben hatte.

In allen erwähnten Arbeiten über die allgemeine Theorie der Krystallstruktur spielen nun eine äußerst wichtige Rolle die Anschauungen über die Raumerfüllung durch die Krystallsubstanz und über die regelmäßige Teilung des Raumes in gleichartige Einheiten (Elementarbereiche, Paralleloeder usw.), Anschauungen, welche in das Gebiet der erst in einem späteren Kapitel zu behandelnden chemischen Krystallographie eingreifen. Eine historische Würdigung und Vergleichung dieser theoretischen Studien wird erst möglich sein, wenn das Ziel des letzt-erwähnten Teiles der Krystallkunde, die Erkenntnis der Abhängigkeit der Eigenschaften der Krystalle von der Natur der sie konstituierenden Atome, erreicht sein wird. Dasselbe gilt auch von den gleichzeitigen Bestrebungen WILLIAM BARLOWS, der seit 1888 in einer Reihe von interessanten, sowohl englisch als deutsch erschienenen Abhandlungen die homogenen Strukturen und deren Symmetrieverhältnisse behandelt

hat. Im Zusammenhange mit allen hier erwähnten theoretischen Forschungen stehen von geometrischen Problemen außer denen der regelmäßigen Raumteilung auch die der Dichtigkeit der Packung von Kugeln als Wirkungssphären der Moleküle oder Atome. Diese sind für die Krystallographie deshalb von Bedeutung, weil sie das Verständnis der besonderen Häufigkeit gewisser Werte der krystallographischen Elemente zu ermöglichen geeignet sind, nämlich derjenigen, welche sich den besonders dichter Kugelpackung entsprechenden nähern. Mit den letzt-erwähnten Fragen und überhaupt mit der Molekularstruktur der Krystalle beschäftigte sich auch der berühmte englische Physiker Lord KELVIN (WILLIAM THOMSON) in mehreren Abhandlungen.

Entwicklung der physikalischen Krystallographie.

Die im vorigen Abschnitt aufgezählten Theorien der Krystallstruktur haben in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts nach und nach eine stetig steigende Bedeutung für die Fortschritte der Krystallkunde erhalten. Außer der weiter vervollständigten geometrischen und optischen Erforschung der Krystalle wurden auch ihre übrigen physikalischen Eigenschaften genauer untersucht und deren gesetzmäßige Beziehungen zu den geometrischen festgestellt. Es entwickelte sich dadurch ein zusammenhängendes Bild dieser Beziehungen und die Anschauung, daß die Krystallform selbst zu den physikalischen Eigenschaften gehöre und den gleichen Gesetzmäßigkeiten unterworfen sei, daher nicht ohne sie behandelt werden könne, wie es früher vielfach in Lehr- und Handbüchern geschah, an deren Stelle immer mehr solche der „physikalischen Krystallographie“ traten.

Im folgenden soll nun von den außerordentlich zahlreichen bis zum Schlusse des 19. Jahrhunderts veröffentlichten Arbeiten auf diesem Gebiete eine Anzahl solcher, welche dem Verfasser für die weitere Entwicklung der allgemeinen Krystallkunde wichtig erscheinen, kurz skizziert und mit den optischen Untersuchungen begonnen werden. Für die neueren Forschungen letzterer Art wurde natürlich einflußreich der Umschwung in den Anschauungen über die Natur des Lichtes, welcher durch die Einführung der elektromagnetischen Lichttheorie von J. MAXWELL bewirkt worden ist; damit war die Annahme eines elastischen Lichtäthers beseitigt, und die Hauptschwingungsrichtungen des Lichtes in zweiachsigen Krystallen konnten nicht mehr als „Elastizitätsachsen“ bezeichnet werden. Eine von Annahmen über die Natur des Äthers freie Darstellung der FRESNELSchen Gesetze gab L. FLETCHER

in seiner Abhandlung über die optische Indicatrix und die Lichtbewegung in Krystallen (*Mineralog. Magaz.* 9, London 1891). Für die Vervollständigung der Kenntnis der optisch zweiachsigen Krystalle war wichtig die Entdeckung der anomalen Dispersion der optischen Achsen im Gyps durch V. VON LANG (S. B. d. Akad. Wien 1877); die Änderung der Achsenwinkel zweiachsiger Krystalle durch Temperaturerhöhung war der Gegenstand zahlreicher Untersuchungen von A. DES CLOIZEAUX, die der Brechungsindices der einer Reihe sorgfältiger Arbeiten von DUFET und OFFRET, welche im Bulletin der französischen mineralogischen Gesellschaft veröffentlicht wurden. Zahlreiche krystall-optische Arbeiten über Reflexion, Brechung und Absorption und deren Beziehungen liegen vor von DRUDE, LIEBISCH und Dessen Schülern, während die Drehung der Polarisationssebene durch optisch zweiachsige Krystalle erst um die Wende des Jahrhunderts eingehende Untersuchungen erfahren hat, namentlich durch DUFET (1904).

Ein besonders wichtiges Kapitel bilden die optischen Anomalien, von denen namentlich das Auftreten der Doppelbrechung in Krystallen des kubischen Systems schon sehr früh die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt hat. BIOT erklärte die Doppelbrechung des Alauns durch „Lamellarpolarisation“, d. h. durch Aufbau der Krystalle aus getrennten dünnen Lamellen, welche wie ein Satz dünner Glasplatten wirken, während BREWSTER die Erscheinung, die er an einer Reihe von kubischen Krystallen beobachtete, mit dem von ihm eingehend studierten Verhalten amorpher Körper, wie Glas, gegen Druck in Zusammenhang brachte. Dieser Ansicht schloß sich auch MARBACH an, der verschiedene, optisch anomale Krystalle untersuchte, und E. REUSCH wies 1864 die Unmöglichkeit der BIOTSchen Erklärung nach am Alaun, dessen Doppelbrechung auf einer Spannung parallel den Oktaederflächen beruht, welche durch Druck¹⁾ aufgehoben werden kann; die Ursache dieser Spannung blieb freilich unerklärt, denn die Annahme von REUSCH, daß sie durch eine Kontraktion beim Akt der Krystallisation entstehe, ist völlig hypothetisch. Die gleiche Anschauung, daß die optischen Anomalien auf dem Vorhandensein innerer Spannungen beruhen, liegt auch den zahlreichen Arbeiten zugrunde, welche in den folgenden Jahren von F. KLOCKE, R. BRAUNS²⁾ und C. KLEIN veröffentlicht wurden, von denen der Letztere besonders großes Gewicht auf die Nachahmung der Erscheinungen durch gespannte Kolloide legte. Es wurde ferner nachgewiesen, daß in vielen Fällen die Anomalie durch

¹⁾ Über die Wirkung des Druckes auf einfach brechende Krystalle liegen sehr wichtige theoretische Untersuchungen von F. PÖCKELS vor.

²⁾ Diesem verdanken wir eine, durch eigene Beobachtungen ergänzte Darstellung der gesamten Forschungen über „die optischen Anomalien der Krystalle“ (*Preisschr. d. Jablonowskischen Ges.*, Leipzig 1891, 370 S. mit 6 Taf.), welche auch eine vollständige, chronologisch geordnete Zusammenstellung der Literatur enthält.

eine Beimengung einer zweiten Substanz verursacht sei, in so feiner Verteilung, daß der Krystall optisch homogen erscheint, was später als „feste Lösung“ bezeichnet wurde (wie in dem Abschnitte über chemische Krystallographie auseinandergesetzt werden soll, sind verschiedene Arten solcher zu unterscheiden).

Eine ganz andere Erklärung stellte E. MALLARD auf in seiner epochemachenden, in den Annales des mines 1876 (und auch apart) erschienenen Arbeit „Explication des phénomènes optiques anomaux, que présentent un grand nombre de substances cristallisées“. Die Beobachtung hatte schon längst gelehrt, daß es zahlreiche Krystallarten des rhombischen, des monoklinen und des triklinen Systems gibt, deren geometrische Verhältnisse denen kubischer, tetragonaler oder hexagonaler Krystalle nahe stehen, und daß diese häufig Zwillingungsverwachsungen bilden, welche bei lamellarer Wiederholung der Zwillingbildung Formen von scheinbar höherer Symmetrie bilden. Nach den BRAVAISSchen Anschauungen steht auch das Raumgitter solcher Substanzen einem höher symmetrischen nahe, so daß die Richtungen, welche in den regelmäßigen Verwachsungen miteinander vertauscht erscheinen, in nahe gleichartiger Weise mit Teilchen besetzt, also Richtungen nahe gleicher innerer Kräfte sind. MALLARD nimmt nun an, daß alle optisch anomalen Krystalle als Mischungen solcher in Zwillingstellung zueinander befindlicher Partien des Krystalls zu betrachten sind, welche da, wo die eine der Stellungen vorherrscht, ein dementsprechendes optisches Verhalten zeigt und das normale nur bei vollkommener submikroskopischer Durchdringung infolge der Kompensation der Wirkung der verschieden orientierten Partikel. Nachdem schon lange vorher NÖRREBERG gezeigt hatte, daß äußerst dünne Glimmerlamellen, abwechselnd senkrecht gekreuzt in großer Zahl aufeinander geschichtet, optisch wie ein einachsiger Krystall wirken, unterwarf MALLARD im 2. Teile seines S. 112 erwähnten Werkes die Wirkung, welche regelmäßige Pakete von verschieden orientierten dünnen Lamellen auf das Licht ausüben, einer eingehenden theoretischen Untersuchung. In den Fällen, in welchen sich seine Erklärung als richtig erwiesen hat, kann man streng genommen nicht von einem „anomalen“ optischen Verhalten des Krystalls sprechen, da den einzelnen Partien desselben ihre gesetzmäßigen Eigenschaften zukommen. Das Studium der lamellaren Zwillingspakete hat aber für die Kenntnis einzelner Substanzen eine außerordentliche Bedeutung erlangt, z. B. für das Verständnis der krystallographischen Verhältnisse des Kalifeldspats, welcher als Adular fast ausnahmslos in streng monoklinen Krystallen mit normalen optischen Eigenschaften erscheint, im sogenannten Mikroklin (von dem in neuester Zeit auch einfache Krystalle gefunden wurden) dagegen als lamellar-polysynthetischer Zwilling trikliner Schichten, deren Krystall-

struktur derjenigen eines monoklinen Krystalls sehr nahe steht; da der gewöhnliche Feldspat die lamellare Zusammensetzung des Mikroklin bis zur äußersten, an der Grenze mikroskopischer Sichtbarkeit stehenden Feinheit der Lamellen zeigt neben scheinbar homogenen Partien von monokliner Beschaffenheit, so wurde daraus wohl mit Recht der Schluß gezogen, daß dem Kalifeldspat überhaupt nur eine Krystallart, die trikline, zukomme und der sogenannte Orthoklas nur pseudomonoklin sei, d. h. aus zum Teil submikroskopischen Zwillingslamellen bestehe. Zahlreiche Substanzen, namentlich unter den chemischen Produkten, bilden pseudohexagonale Krystalle, welche aus Zwillingslamellen von niederer Symmetrie in dreierlei Stellung zusammengesetzt sind, und zeigen zuweilen auch optische Einachsigkeit; wenn derartige Substanzen löslich sind, kann natürlich durch Wechsel der Krystallisationsbedingungen die Richtigkeit der MALLARDSchen Theorie besser geprüft werden, als an den fertig vorliegenden, unter zum Teil unbekanntem Umständen entstandenen Produkten der Natur.

Bereits 1869 hatte REUSCH seine bekannten Glimmerkombinationen konstruiert, in denen gleich dünne Lamellen nach einem bestimmten Gesetze übereinandergeschichtet ein Paket bilden, welches sich optisch wie ein einachsiger Krystall mit Drehungsvermögen verhält, und SOHNCKE, für dessen Theorie der Krystallstruktur (s. S. 113) diese Tatsache eine wesentliche Stütze wurde, zeigte später, daß solche Pakete um so vollkommener die optischen Eigenschaften eines zirkularpolarisierenden einachsigen Krystalls zeigen müßten, je dünner und je zahlreicher die es zusammensetzenden Lamellen seien. Optisch aktive einachsige Krystalle zeigen nun zuweilen auch optische Anomalien, d. h. stellenweise Zweiachsigkeit mit wechselndem Achsenwinkel, was im Sinne MALLARDS zu deuten wäre als unvollkommene Kompensation infolge ungleicher Dicke der je nach dem speziellen Falle pseudotetragonalen oder pseudohexagonalen Lamellen. Für die experimentelle Prüfung der Richtigkeit dieser Erklärung bieten die künstlich dargestellten Verbindungen, unter den organischen besonders die der Alkaloide, mannigfaches Material dar.

Unter den von MALLARD und namentlich von KLEIN eingehend untersuchten Substanzen befinden sich übrigens zwei Mineralien, Leucit und Boracit, deren Zurechnung zu den optisch anomalen Krystallen nicht gerechtfertigt ist. Es hat sich nämlich gezeigt, daß dieselben in ihren äußeren Formen scheinbar kubische, aus Lamellen von niederer Symmetrie in sehr komplizierter Weise aufgebaute Zwillingsgebilde sind, welche sich beim Erhitzen auf eine bestimmte Temperatur plötzlich in einfach brechende, wirklich kubische Krystalle umwandeln. Es handelt sich also hier um den Übergang in eine andere Modifikation der betreffenden Substanz, welche einer zweiten Krystallart mit anderen Eigenschaften entspricht, also um eine Erscheinung, welche der bei

Behandlung der chemischen Krystallographie zu besprechenden Dimorphie angehört.

Die Analogie mit den optischen Eigenschaften der Krystalle tritt in ihrem thermischen Verhalten besonders klar hervor in den Gesetzmäßigkeiten ihrer Wärmeleitung. Durch seinen bekannten Versuch wies H. DE SÉNARMONT (1808—1862) in den Jahren 1847—1850 nach, daß die von der inneren abhängige oberflächliche Leitfähigkeit in den verschiedenen Richtungen einer Ebene nur dann gleich groß sei, wenn sie auch optisch gleichwertig sind, und mit dieser Beziehung beschäftigten sich weiterhin V. VON LANG in Wien (1866) und E. JANNETAZ in Paris (1873) durch Untersuchung der Wärmeleitung in zahlreichen Krystallen. Es ist durch alle diese Arbeiten sicher festgestellt, daß die Abhängigkeit der Wärmeleitung von der Richtung gegeben ist durch ein dreiachsiges Ellipsoid, welches in den einfach brechenden Krystallen die Gestalt einer Kugel, in den optisch einachsigen die eines Rotationsellipsoides besitzt; in den rhombischen Krystallen fallen die Richtungen der größten, mittleren und kleinsten Leitfähigkeit mit den drei Hauptschwingungsrichtungen des Lichtes zusammen, während in den monoklinen Krystallen zwei derselben in der Symmetrieebene liegen, in dieser aber, wie alle drei in triklinen Krystallen, eine keiner allgemeinen Gesetzmäßigkeit unterworfenen Orientierung besitzen, wie es ebenso mit den Hauptschwingungsrichtungen für die verschiedenen Farben des Lichtes der Fall ist.

Welche große Wichtigkeit für das Verständnis der krystallographischen Gesetze die Ausdehnung der Krystalle durch die Wärme besitzt, wurde schon in den früheren Abschnitten eingehend erörtert (s. z. B. S. 80). Genaue Messungen der thermischen Ausdehnungskoeffizienten verdanken wir vor allem dem französischen Physiker A. FIZEAU (1865 u. folg. Jahre), welcher nicht nur an optisch einachsigen Krystallen die Werte parallel und senkrecht zur Achse, an zweiachsigen die des größten, mittleren und kleinsten Ausdehnungskoeffizienten bestimmte, sondern auch durch Messung desselben in intermediären Richtungen bewies, daß die Abhängigkeit dieser Größe von der Richtung ebenfalls durch ein Rotations- bzw. dreiachsiges Ellipsoid bestimmt werde. Bei den monoklinen und triklinen Krystallen ergab sich auch für die drei Hauptausdehnungsachsen eine analoge Unabhängigkeit von den krystallographischen Richtungen, wie für die der thermischen Leitfähigkeit, ihre Lage wurde aber als eine für alle Temperaturen konstante angenommen. Diese Frage diskutierte L. FLETCHER in seinen Abhandlungen „Über die Ausdehnung der Krystalle durch die Wärme“ (1880 bis 1884), wobei er auch die Messungen BECKENKAMPS (1881) über die Änderungen der Winkel des Anorthit und des Gyps mit der Temperatur berücksichtigte, und gelangte zu dem Resultat, daß in diesen Fällen

eine konstante Lage nicht anzunehmen sei. Die Änderungen, welche ein Krystall durch eine in allen Teilen gleichmäßige Temperaturänderung erfährt, gehören zu den sogenannten homogenen Deformationen, d. h. denjenigen, welche den von mathematischer Seite vollkommen festgestellten Gesetzen der Affinität gehorchen.

Unter den elektrischen Eigenschaften der Krystalle ist für deren Studium weitaus die wichtigste die der polaren Pyroelektrizität. Schon HAÛY hatte erkannt, daß die Eigenschaft des Turmalins und des Boracits, während einer Änderung der Temperatur an verschiedenen Teilen der Oberfläche entgegengesetzte freie Elektrizität zu zeigen, mit einem Gegensatz gewisser Richtungen des Krystalls zusammenhänge. P. RIESS und G. ROSE (1843) führten den Begriff der elektrischen Achsen und die allgemein üblich gewordene Benennung der ungleichwertigen beiden Pole derselben ein. Zahlreiche Krystalle wurden besonders in den Jahren 1859—1873 in dieser Beziehung untersucht von dem Leipziger Physiker G. HANKEL. Für die Erklärung der pyroelektrischen Erscheinungen erwies sich besonders wichtig die Entdeckung der Piezoelektrizität durch J. u. P. CURIE (1880), von denen nachgewiesen wurde, daß Druck oder Zug in der Richtung einer elektrischen Achse ebenso wirken, wie eine Temperaturänderung. Hieran schließen sich die Arbeiten von A. KUNDT, dem wir die für die praktische Anwendung geeignetste Methode zur Beobachtung der pyro- und piezoelektrischen Erscheinungen verdanken, sowie die Untersuchungen von B. VON KOLENKO und K. MACH über einige besonders wichtige Krystallarten; W. C. RÖNTGEN wendete 1882 zuerst eine Kugel (von Quarz) an, wodurch eine weit zuverlässigere Bestimmung der Orientierung der elektrischen Achsen im Krystall ermöglicht wurde als bei direkter Verwendung von Krystallen, deren Ecken und Kanten je nach ihrer mehr oder weniger unsymmetrischen Ausbildung durch Influenz Unregelmäßigkeiten der Elektrizitätsverteilung hervorbringen. Das allgemeine Resultat aller Untersuchungen auf diesem Gebiete ist nun, daß die elektrische Polarität der beiden entgegengesetzten Richtungen einer Geraden (bzw. aller ihr paralleler) im Krystall in gesetzmäßigem Zusammenhang steht mit einer Ungleichwertigkeit dieser beiden Richtungen in geometrischer Beziehung; wenn diese Richtungen mit einer Symmetrieachse des Krystalls zusammenfallen, so gehört derselbe stets einer Symmetrieklasse an, in welcher die betreffende Symmetrieachse einen polaren Charakter besitzt.

Von den Gesetzmäßigkeiten, welche das Verhalten der Krystalle gegenüber gerichteten mechanischen Kräften beherrschen, seien zuerst die der Elastizität besprochen. Die Theorie derselben wurde begründet durch F. NEUMANN und ausführlich entwickelt durch seinen Schüler

W. VOIGT (1850—1919), welcher sie während seiner langjährigen Tätigkeit als Professor der mathematischen Physik in Göttingen durch eine Reihe sorgfältiger experimenteller Arbeiten prüfte und bestätigte. Am anschaulichsten zeigt die Abhängigkeit der Elastizität von der Richtung die „Oberfläche der Dehnungskoeffizienten“. Diejenige der kubischen Krystalle besitzt gleiche Maxima oder Minima ihrer Durchmesser parallel den vier dreizähligen Symmetrieachsen, und da die Gleichheit der Größe der Dehnung in drei, gleiche Winkel miteinander bildenden Richtungen einer Ebene auch die Gleichheit der Dehnung in den übrigen Richtungen dieser Ebene nach sich zieht, so zeigt der Durchschnitt der Dehnungsoberfläche mit den vier Ebenen des Oktaeders die Gestalt eines Kreises; verschieden davon sind die Maxima bzw. Minima des Dehnungskoeffizienten in den Normalen der Hexaederflächen, sowie diejenigen senkrecht zu den Ebenen des Rhombendodekaeders. Die hexagonalen Krystalle besitzen ein singuläres Maximum oder Minimum der elastischen Dehnung parallel ihrer optischen Achse, und ihre Dehnungsoberfläche hat die Gestalt einer Rotationsfigur mit jener ausgezeichneten Richtung als Rotationsachse. In den Krystallen mit einer vierzähligen Symmetrieachse ist diese ebenfalls singuläres Maximum oder Minimum der Dehnung, aber in bezug auf die Gestalt der Dehnungsoberfläche gibt es zwei Fälle, je nach der Symmetrie des Krystalls: bei denjenigen, welche nach vier in der optischen Achse einander schneidenden Ebenen symmetrisch sind, zeigt auch die Dehnungsoberfläche die gleiche Symmetrie, für die übrigen nicht, stets aber Gleichheit des Dehnungskoeffizienten in je zwei zueinander normalen Richtungen in der Ebene senkrecht zur vierzähligen Symmetrieachse. Das gleiche gilt für die trigonalen Krystalle, nur daß hier die Gleichwertigkeit dreier, zur optischen Achse senkrechter Richtungen zur Folge hat, daß der Durchschnitt der Dehnungsoberfläche mit deren Ebene die Gestalt eines Kreises annimmt. Die entsprechende Oberfläche eines rhombischen Krystalls besitzt drei ungleiche Maxima oder Minima der Dehnung in den drei Hauptschwingungsrichtungen des Lichtes und ist symmetrisch nach den drei aufeinander senkrechten optischen Hauptschnitten. In den monoklinen Krystallen zeigen auch die Elastizitätsverhältnisse Symmetrie nur nach einer einzigen Ebene, derjenigen der geometrischen Symmetrie, und in den triklinen Krystallen fehlt auch diese. In dem letzten Falle erfordert die vollständige Untersuchung die experimentelle Bestimmung so zahlreicher Konstanten, daß sie bis jetzt noch an keinem triklinen Krystall ausgeführt wurde.

Daß die Krystalle einer Trennung ihrer Teilchen in verschiedenen Richtungen einen ungleichen Widerstand leisten und daher nach bestimmten Ebenen Spaltbarkeit zeigen, sowie die Wichtigkeit dieser Eigenschaft ist schon von HAÜY erkannt worden, und die gesetzmäßigen

Beziehungen der Spaltungsverhältnisse zur Symmetrie der Krystalle wurden bereits S. 112 erörtert. Wie groß bei vollkommener Spaltbarkeit die Unterschiede der Kohäsion in verschiedenen Richtungen sein können, zeigte 1869 L. SOHNCKE durch eine auf Anregung F. NEUMANN'S ausgeführte Arbeit über die Zugfestigkeit des Steinsalzes, welche sich in den Richtungen ihrer Minima (senkrecht zu den hexaedrischen Spaltungsebenen) nur $\frac{1}{3}$ so groß ergab als in den Richtungen maximaler Kohäsion.

Zu dieser Eigenschaft steht in sehr naher Beziehung die Härte, deren Theorie allerdings bis heute noch nicht zum Abschluß gelangt ist. Daß auf einer Fläche eines gut spaltbaren Krystalls die verschiedenen Richtungen dem Ritzen durch eine Metallspitze einen ungleichen Widerstand entgegensetzen, wurde schon 1829 durch die Untersuchungen FRANKENHEIM'S festgestellt. Die Vergleichung der Härte verschiedener Richtungen derselben Ebene bei weniger vollkommen spaltbaren Krystallen wurde erst möglich seit der Verbesserung der Methode durch SEEBECK und namentlich durch GRAILICH und PEKÁREK (1854). Mit dem von den Letzteren konstruierten Sklerometer bestimmte FR. EXNER (gekrönte Preisschrift der Wiener Akademie 1873) die Härtekurve der wichtigsten Flächen einer größeren Anzahl krystallisierter Substanzen und konstatierte deren Übereinstimmung mit den Symmetrieverhältnissen der Krystalle in bezug auf die Kohäsion; je nach der Lage der betreffenden Fläche zu den Spaltungsebenen sind die beiden entgegengesetzten Richtungen einer Geraden krystallographisch gleichwertig oder nicht, daher im letzteren Falle der entsprechende Durchmesser der Härtekurve in beiden Richtungen ungleich lange Radien zeigt, wie z. B. die dreiseitig rosettenförmige Härtekurve der Oktaederfläche des Flußspats und der Basis des Kalkspats, welche letztere sehr niedrige Minima in drei 120° miteinander bildenden Richtungen besitzt. Die Vergleichung der Härte ungleichwertiger Ebenen eines Krystalls erfordert andere Methoden, unter denen die der Abnützung auf mechanischem Wege, besonders zu technischen Zwecken, in neuester Zeit eine vielfache Ausbildung erfahren haben.

Im Jahre 1867 veröffentlichte E. REUSCH die Abhandlung „Über eine besondere Gattung von Durchgängen im Steinsalz und Kalkspat“, in welcher er die Existenz von Ebenen nachwies, parallel denen in bestimmten Richtungen durch einen Druck besonders leicht ein Gleiten bewirkt wird und die er deshalb „Gleitflächen“ nannte. Bei dem Steinsalz sind es die Ebenen des Rhombendodekaeders, und der verschobene Teil des Krystalls behält seine Orientierung, ein Verhalten, welches in der Folge noch an einer Anzahl von Krystallarten, namentlich metallischen, festgestellt wurde und sich als die hauptsächlichste Ursache ihrer scheinbaren Plastizität erwies. Ein anderes Verhalten zeigt der Kalkspat, in welchem das Gleiten parallel der ebenfalls den Winkel zweier Spaltungsflächen halbierenden Ebene begleitet wird von der

Bildung künstlicher Zwillingslamellen nach derselben Ebene, wie sie in den natürlichen krystallinischen Aggregaten, welche Druckwirkungen unterworfen waren, so häufig vorkommen; für die Krystallkunde wurde besonders wichtig die Beobachtung von REUSCH, daß bei der Umlagerung des Krystalls in die Zwillingsstellung diese letztere sich als eine zweite stabile Gleichgewichtslage seiner Moleküle erwies; die Umklappung in die zweite Stellung gelang später H. BAUMHAUER für beliebig große Teile des Krystalls und O. MÜGGE sogar für ein ganzes Kalkspatrhomboeder. Es handelt sich hier um einen besonderen Fall der sogenannten homogenen Deformationen, in welchem die mittlere Hauptachse des „Deformationsellipsoides“ ihre Orientierung und Länge unverändert beibehält, während die größte und kleinste ihre Rolle vertauschen. Seit der REUSCHschen Entdeckung sind die Gleiterscheinungen der Krystalle der Gegenstand zahlreicher theoretischer und experimenteller Arbeiten geworden, unter denen für die hier in Betracht kommende Periode nur die sorgfältigen, bis in die neueste Zeit fortgesetzten Untersuchungen des Göttinger Mineralogen O. MÜGGE genannt sein mögen.

Die Verschiedenheit des Widerstandes, welchen ungleichwertige Richtungen eines Krystalls der Auflösung entgegensetzen, und die dadurch verursachten regelmäßigen Ätz- oder Korrosionsfiguren sind in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts ein wichtiges Hilfsmittel der krystallographischen (und mineralogischen) Forschung geworden und dienten in einzelnen Fällen, in welchen die anderen Methoden versagten, zur Bestimmung der Symmetrie des betreffenden Krystalls. Derartige Beobachtungen wurden zuerst 1854 angestellt von FR. LEYDOLT in Wien, dem auf diesem Gebiete (ebenfalls daselbst) folgten V. VON EBNER und mit einer größeren Reihe von wichtigen Arbeiten F. BECKE. Seit 1869 hat H. BAUMHAUER (in Leidinghausen in Westfalen, später in Freiburg, Schweiz) dem systematischen Studium der Ätzerscheinungen seine Haupttätigkeit gewidmet und 1894 die Resultate der Methode in einer besonderen Schrift, auf die hier verwiesen sei, eingehend dargestellt. Zu den soeben behandelten Erscheinungen gehört auch die Bildung von Flächen an den Kanten und Ecken geätzter Krystalle, sowie die Entstehung bestimmter Formen bei der Auflösung einer aus einem Krystall hergestellten Kugel, welche gestattet, auf die Größe der Auflösungsgeschwindigkeit des Krystalls in den verschiedensten Richtungen einen Schluß zu ziehen. Die letztere Methode, welche zuerst 1865 von L. LAVIZZARI in Lugano angewendet wurde, diente auch dem Dorpater Anatomen A. RAUBER bei seinen sorgfältigen Untersuchungen, die das Studium der Regeneration, also des Wachstums der Krystalle bezweckten und bei denen auch das Verhalten einer Kugel in einer gesättigten Lösung der gleichen Substanz studiert und

durch die Umwandlung derselben bei weiterem Stoffabsatz in ein Krystallpolyeder die Verschiedenheit der Wachstumsgeschwindigkeit nach verschiedenen Richtungen festgestellt wurde¹⁾).

Wenn es möglich wäre, eine Fläche zu konstruieren, deren Radien proportional den Wachstumsgeschwindigkeiten in den betreffenden Richtungen sind, so würde diese, ebenso wie die in gewissem Sinne dazu reziproke der Auflösungsgeschwindigkeiten, zweifellos die Symmetrie des untersuchten Krystalls aufweisen. Eine derartige Fläche würde aber, abgesehen von den großen experimentellen Schwierigkeiten ihrer Bestimmung, immer nur für ein bestimmtes Lösungsmittel von bestimmter Beschaffenheit (Temperatur usw.) gültig sein, denn die Geschwindigkeit, mit welcher eine Krystallfläche bei der Auflösung bzw. bei dem Wachsen des Krystalls sich verschiebt, hängt nicht nur ab von den inneren Kräften und deren Änderungen an der Grenze von Krystall und Flüssigkeit, betreffs deren wir auf Hypothesen angewiesen sind, sondern auch von der Natur des Lösungsmittels bzw. der Mutterlauge, welche auch während des Prozesses eine Änderung ihrer Konzentration erfährt. Für das Wachstum kommt namentlich in Betracht der von äußeren Bedingungen abhängige Zufluß von Material zum Aufbau des Krystalls, durch dessen Ungleichmäßigkeit es bewirkt wird, daß selbst krystallographisch gleichwertige Flächen in zuweilen sehr verschiedener Größe ausgebildet erscheinen, wodurch z. B. die S. 112 erwähnte Aufstellung einer Reihenfolge der ungleichwertigen Flächen einer Krystallart nach ihrer Wichtigkeit stark beeinträchtigt werden kann. Zur Beseitigung der letzteren Schwierigkeit sind in neuester Zeit von G. WULFF in Moskau (+ 1925) mit Erfolg rotierende Krystallisationsgefäße verwendet worden; derselbe Forscher hat sich vorher auch schon eingehend mit der Theorie der Auflösung und des Wachstums der Krystalle beschäftigt. Eine besondere Wichtigkeit hat aber für die Betrachtungen über das Krystallwachstum erlangt die Arbeit von P. CURIE „Über die Bildung der Krystalle und die Kapillaritätskonstanten ihrer verschiedenen Flächen“ (Bull. d. l. soc. min. d. Fr., Paris 1885 **8**, S. 145 f.).

Unter den Wachstumserscheinungen natürlicher Krystalle haben sehr früh die Aufmerksamkeit auf sich gezogen die sogenannten Skelettbildungen, welche besonders kubisch krystallisierende Substanzen häufig zeigen und die, wie die Krystallisationsversuche mit leicht löslichen Salzen erwiesen haben, bei rascher Ausscheidung des Stoffes entstehen durch die Diffusionsströmungen der Lösung (in analoger Weise erklärt sich auch ihre Bildung bei Sublimationsvorgängen). Derartige

¹⁾ In neuester Zeit ist diese Methode besonders angewandt worden von D. N. ARTEMIEW, welcher in seiner 1911 in der Zeitschr. f. Kryst. **48**, S. 417 f. erschienenen Abhandlung eine vollständige Übersicht der übrigen gleichartigen Forschungen gegeben hat.

Versuche sind besonders beschrieben in dem Werke von A. KNOP (in Karlsruhe): „Molekularstruktur und Wachstum der Krystalle,“ Leipz. 1867, welches auch interessante Beobachtungen über den Einfluß von Beimengungen der Lösung auf die Krystallisation der Salze enthält, ferner in den Arbeiten von O. LEHMANN, welche in dem Abschnitt über die Entwicklung der chemischen Krystallographie noch näher zu besprechen sind.

Gegenstand eingehenderer Untersuchungen wurde eine andere, sehr häufige Wachstumserscheinung der Krystalle, die „Vizinalflächen“, mit welchem Namen M. WEBSKY (in Breslau), der spätere Vertreter der Mineralogie an der Universität Berlin, 1863 diejenigen Flächen bezeichnete, welche denen gewisser einfacher Formen sehr nahe stehen, in folgedessen sehr komplizierten Indices entsprechen und oft die Fläche mit den einfachen Indices ganz ersetzend, je nach deren Symmetrie einen (einer oder mehreren Zonen angehörigen) Flächenkomplex, in dem die Werte der Indices der Einzelflächen anscheinend arithmetischen Reihen entsprechen. Kurz vorher (1862) war die Arbeit von A. SCACCHI¹⁾ über „Polyedrie“ (wie er die Erscheinung des Auftretens komplizierter Flächen an Stelle einer einfachen nannte, demzufolge die Messung solcher Flächen mit dem Reflexionsgoniometer mehrere voneinander und vom normalen abweichende Winkelwerte liefert) erschienen; in dieser Abhandlung werden an einer größeren Anzahl von Mineralien und künstlich dargestellten Salzen die Erscheinungen eingehend beschrieben und zahlreiche Messungen der vizinalen Flächen mitgeteilt; jedoch sind hier, wie WEBSKY richtig hervorhebt, auch eine Reihe von Fällen mit aufgenommen, in denen die „Polyedrie“ auf einer abweichenden Orientierung von Teilen des Krystalls beruht und auf solche möchte WEBSKY die SCACCHISCHE Bezeichnung beschränken. Nachdem in den folgenden Jahrzehnten noch weitere Beobachtungen und mannigfache theoretische Betrachtungen über die Bildung der Vizinalflächen angestellt worden waren, ist ein wesentlicher Fortschritt um die Jahrhundertwende erfolgt durch die Untersuchungen des Oxforder Mineralogen H. A. MIERS, welchem es gelang, Messungen an einem wachsenden Krystall auszuführen und dadurch das sprungweise Entstehen vizinaler Flächen festzustellen, sowie auch die Verhältnisse der Lösung in der Nähe der Grenzfläche durch Bestimmung der Brechbarkeit der Mutterlauge zu studieren. Durch diese Forschungen, von denen ein umfassender Bericht 1904 in der Zeitschr. f. Krystallographie (Bd. 39, S. 221 f., besonders S. 270 f.) gegeben wurde, erscheint der Weg gewiesen zur Lösung der mannigfachen Probleme, welche die Erscheinungen des Wachstums der Krystalle zur Zeit noch darbieten.

¹⁾ Dessen Forschungen in dem folgenden Abschnitte und in der 2. Abtlg., der Entwicklungsgeschichte der Mineralkunde, weiter besprochen werden.

Entwicklung der chemischen Krystallographie.

Schon CAPPELLER (S. 4) bildete die Krystallformen verschiedener, nicht in der Natur vorkommender Substanzen ab und wies eindringlich auf die Wichtigkeit der Krystallographie für die Chemie hin; zahlreiche Beschreibungen krystallisierter chemischer Produkte enthalten die Werke von ROMÉ DELISLE und diese wurden auch aufgenommen in die Mineralogie von HAÜY. Zu den Forschungen über die physikalischen Eigenschaften der Krystalle dienten vielfach auch solche künstlich dargestellter Stoffe, wenn auch diejenigen der Mineralien wegen ihrer meist größeren Vollkommenheit der Ausbildung im allgemeinen bevorzugt wurden. Alle Betrachtungen über Entstehung und Wachstum der Krystalle konnten jedoch, wenn sie nicht einen rein hypothetischen Charakter haben sollten, natürlich nur auf Experimente gegründet werden, zu denen am geeignetsten sich lösliche Salze darboten. Durch solche Versuche wies schon 1787 N. LE BLANC¹⁾ nach, daß alkalische Alaunlösung kubische Krystalle liefere, welche sich aber in neutraler Lösung zu den oktaedrischen des gewöhnlichen Alauns ergänzen, und derartige Beispiele der Abhängigkeit der Ausbildung der Krystalle von der Beschaffenheit des Lösungsmittels wurden immer mehr bekannt, ohne daß es gelungen wäre, eine allgemeine Gesetzmäßigkeit in diesen Erscheinungen zu beobachten.

Zu dem ersten Schritt auf dem Wege zur Erforschung der Abhängigkeit der Krystallform von der chemischen Natur sollte eine Beobachtung des jungen Chemikers EILHARD MITSCHERLICH (18) führen, welcher 1818—1819 zum Zwecke einer Anstellung in Berlin im Laboratorium der dortigen Akademie der Wissenschaften mit einer Untersuchung über die phosphorsauren und arsensauren Salze beschäftigt war. Dieser fand die entsprechenden Kalium- und Ammoniumsalze beider Säuren vollkommen übereinstimmend in ihrem Aussehen, und da er sich bis dahin noch nicht mit Krystallographie beschäftigt hatte, zog er den ihm befreundeten, bei WEISS Mineralogie studierenden G. ROSE zu Hilfe, und Beide fanden nun durch Messung mit dem Reflexionsgoniometer in der Tat die Übereinstimmung der betreffenden tetragonalen Krystallformen bestätigt. BERZELIUS, der sich damals vorübergehend in Berlin aufhielt, nahm an dieser Entdeckung das größte Interesse, weil dieselbe ihm eine wichtige Bestätigung der von ihm aufgestellten chemischen Formeln der Salze der Phosphor- und Arsen-

¹⁾ N. LE BLANC (1743—1806), französischer Chemiker, berühmt als Erfinder der Darstellung der Soda aus Chlornatrium, veröffentlichte eine Reihe von Arbeiten über die Krystallisation verschiedener Salze.

säure zu bieten schien, und veranlaßte es, daß MITSCHERLICH von der preußischen Regierung zur Fortsetzung seiner Arbeit in dem BERZELIUSschen Laboratorium nach Stockholm geschickt wurde, wo er zwei Jahre tätig war. In dem ersten Bericht über seine Untersuchungen (Abh. d. k. Akad. d. Wiss. im Jahre 1818 und 1819, Berlin 1820, S. 427—437) gibt er als Resultat an, daß, wenn zwei Stoffe, wie Phosphor und Arsen, sich mit einem dritten, z. B. Kalium, zu Verbindungen in demselben Atomverhältnis vereinigen, die beiden entstehenden Körper übereinstimmend krystallisieren, und daß er diese Gesetzmäßigkeit bestätigt gefunden habe nicht nur an den Salzen verschiedener Basen mit den beiden genannten Säuren, sondern auch an denen mit der Schwefelsäure und mit der Kohlensäure. Bei der Vergleichung der analog zusammengesetzten kohlensauren Salze war MITSCHERLICH angewiesen auf die natürlichen Karbonate der zweiwertigen Metalle, deren krystallographische Verhältnisse trotz vieler Untersuchungen damals noch keineswegs klargestellt waren, da noch immer Versuche gemacht wurden, die Formen des Aragonits auf die des Kalkspats zurückzuführen; einen Teil der früheren Irrtümer hatte bereits 1817 JOH. NEP. FUCHS (Schweigers Journ. d. Chem. u. Phys. **19**, S. 113f.) berichtigt, welcher die Übereinstimmung der rhombischen Krystallformen von Aragonit, Strontianit, Witherit und Cerussit nachwies und außerdem auch auf die Ähnlichkeit der Krystallisation der natürlichen Sulfate von Strontium, Baryum und Blei aufmerksam machte. Während in jener ersten Abhandlung MITSCHERLICH als Bedingung der Übereinstimmung der Krystallform zweier Körper nur ihre gleiche atomistische Zusammensetzung anführt, spricht er sich in der Einleitung zu der ausführlichen Veröffentlichung seiner Resultate (Verh. d. schwed. Akad. 1821 und Annales de Chimie **19**, S. 350f.) dahin aus, daß auch die chemische Natur des beide Körper unterscheidenden Bestandteils eine wesentliche Rolle spiele und nur gewisse Elemente einander in analog zusammengesetzten Verbindungen mit gleicher Krystallform vertreten. Derartige Elemente werden hier als „isomorphe“ bezeichnet. In der in Stockholm erschienenen Ausgabe hat MITSCHERLICH auch die von ihm angewandten krystallographischen Methoden, namentlich die der Berechnung mittels sphärischer Trigonometrie, auseinandergesetzt. Wie namentlich seine späteren Arbeiten beweisen, hatte er sich sehr bald mit der praktischen Seite der Krystallographie vollkommen vertraut gemacht, so daß auch diese ihm erhebliche Fortschritte verdankt; noch wichtiger aber wurden für die Krystallkunde im allgemeinen, wie bereits früher erwähnt, seine Untersuchungen über die Ausdehnung der Krystalle durch die Wärme.

In derselben Abhandlung, in welcher MITSCHERLICH das Gesetz der Isomorphie aufstellte, teilt er eine Tatsache mit, welche demselben zu widersprechen schien. Das wasserhaltige saure arsensaure und das

phosphorsaure Natron erhielt er in monoklinen Krystallen, welche aber trotz der Analogie ihrer chemischen Zusammensetzung verschieden und nicht auf die gleiche Grundform zurückzuführen waren. Es gelang aber mehrmals, das phosphorsaure Salz in derselben Form zu erhalten, wie das arsensaure, jedoch veränderten sich diese anfangs spiegelnden Krystalle bald an der Luft. MITSCHERLICH schloß daraus, daß ein und derselbe Körper auch zwei verschiedene Formen annehmen könne und daß die beiden Formen des phosphorsauren Natrons sich zueinander verhalten, wie Kalkspat und Aragonit. Diesen Schluß konnte er sehr bald dadurch bestätigen, daß es ihm gelang, die Fähigkeit, unter verschiedenen Umständen in ganz verschiedenen Formen zu krystallisieren, auch für ein Element, den Schwefel, nachzuweisen (Abh. d. Berliner Akad. d. Wiss. f. das Jahr 1822—23; Ann. Chim. Paris 1823). Damit war nun die infolge der großen Autorität HAÜYS noch sehr verbreitete Anschauung, daß einem Körper von bestimmter chemischer Zusammensetzung nur solche Krystallformen angehören könnten, welche sich von einer einzigen Grundform ableiten, widerlegt, und eine Reihe bisheriger Schwierigkeiten und Widersprüche aufgeklärt. Für die nach und nach an immer zahlreicheren, namentlich elementaren und einfach zusammengesetzten Körpern nachgewiesene Eigenschaft mehrfacher Krystallform wurde bekanntlich die Benennung *Dimorphie* (bzw. Trimorphie usw.) oder die allgemeinen Namen Polymorphie oder Heteromorphie üblich.

Der Einfluß, den die Entdeckungen MITSCHERLICHs ausübten, erstreckte sich nicht nur auf die Entwicklung der Krystallkunde, sondern auch auf diejenige der Chemie, zunächst infolge ihrer Einwirkung auf die Anschauungen von BERZELIUS, worüber eine auch die Beziehungen zur Krystallographie und Mineralogie berücksichtigende, eingehende Darlegung von H. KOPP in seiner „Entwicklung der Chemie in der neueren Zeit“ (München 1873) gegeben wurde, auf die hier verwiesen sei. Ein lehrreiches Beispiel für die praktische Wichtigkeit der Isomorphie für die chemische Forschung lieferte MITSCHERLICH selbst 1827 durch seine Entdeckung der Isomorphie der selensauren Salze mit den schwefelsauren, indem die daraus gefolgerte Übereinstimmung ihrer chemischen Konstitution auf das noch unbekanntes Atomgewicht des Selen zu schließen gestattete, ein Schluß, wie er in der Folge noch für die Bestimmung der Atomgewichte einer Reihe weiterer Elemente benutzt wurde, für die ebenfalls andere Methoden der Atomgewichtsbestimmung noch nicht zur Verfügung standen.

Die Versuche von F. S. BEUDANT (1787—1850) hatten bereits 1818 gelehrt, daß gemischte Lösungen von Eisen- und Zinkvitriol teils in der Form des einen, teils in der des anderen Salzes krystallisieren, daß die Mischkrystalle, welche verschiedene wasserhaltige Sulfate miteinander bilden, die einzelnen Bestandteile in wechselnden Mengen

enthalten, endlich daß die Form des Eisenvitriols sogar solche Krystalle zeigen können, welche weitaus überwiegend aus einer Mischung von Zink- und Kupfervitriol bestehen (Annales des mines **3**, S. 239f., Ann. Chim. 1818, **8**, S. 5f.). Diese Untersuchungen wurden von MITSCHERLICH wiederholt und wesentlich ergänzt, namentlich durch die Feststellung des Wassergehaltes und der Polymorphieverhältnisse dieser Salze, so daß nunmehr erkannt war, daß isomorphe Körper fähig sind, in anderen als einfachen Molekülverhältnissen physikalisch homogene Mischkrystalle zu bilden. Da nun inzwischen zahlreiche Analysen von Mineralien wechselnde Mengen gewisser Bestandteile ergeben hatten, erwies es sich als notwendig zu untersuchen, inwieweit es sich hier um „isomorphe Mischung“ handelt, und damit waren für die Erforschung der chemischen Zusammensetzung solcher Mineralien erst die Gesichtspunkte gewonnen worden, welche zur Erkennung ihrer chemischen Konstitution führen konnten.

Weitaus den größten Einfluß übten die MITSCHERLICHschen Entdeckungen aber auf die Krystallkunde selbst aus, indem sie nun systematische Untersuchungen über die krystallographischen Beziehungen miteinander chemisch verwandter Substanzen veranlaßten, und damit war ein Forschungsgebiet eröffnet, welches in den folgenden Jahrzehnten zahlreiche Chemiker, Krystallographen und Mineralogen beschäftigte und das man als „chemische Krystallographie“ zu bezeichnen pflegt. Die Arbeiten auf diesem Gebiete lieferten allmählich ein immer mehr anwachsendes Material an krystallographischen Beschreibungen der einzelnen Substanzen, welches freilich von sehr ungleicher Beschaffenheit war, indem bei manchen Autoren das Interesse an den physikalischen, namentlich den optischen Eigenschaften in den Vordergrund trat, manchmal aber selbst die fundamentalste dieser Eigenschaften, die Spaltbarkeit, unberücksichtigt blieb. Bei einer Übersicht über diese Arbeiten kommen hier zunächst diejenigen in Betracht, denen hauptsächlich die Kenntnis der wichtigsten isomorphen Gruppen zu verdanken ist, aus denen sich also ergeben hat, welche Elemente und in welchen Verbindungen sie einander ohne wesentliche Änderung der Krystallform zu ersetzen imstande sind.

Hier sind in erster Linie die Arbeiten von MITSCHERLICH selbst zu nennen, besonders außer derjenigen über die Phosphate und Arsenate die Abhandlungen „Über die Krystallformen der schwefelsauren, selen-sauren und chromsauren Salze“, welche er in den Jahren 1828 und 1830 (Poggendorffs Ann. d. Phys. **12**, S. 137f. und **18**, S. 168f.) veröffentlichte; in der ersten beschreibt er die rhombischen wasserfreien schwefel- und selensauren Salze von Silber und Natrium, sowie die tetragonalen Hydrate von Nickelsulfat und -selenat, endlich das letzterem entsprechende Zinksalz, wobei auch die Verschiedenheiten der Winkel dieser

nicht kubisch krystallisierenden Substanzen erwähnt werden; in der zweiten Abhandlung sind zum ersten Male die verschiedenen Achsenverhältnisse innerhalb einer isomorphen Gruppe angegeben, derjenigen der rhombischen Salze Kaliumsulfat, -selenat und -chromat, denen sich das Ammoniumsulfat anschließt. In den 1831 und 1832 veröffentlichten Abhandlungen über die Verbindungen des Mangans wird die wichtige Gruppe der isomorphen Perchlorate und Permanganate behandelt. Auch die Kenntnis der größten isomorphen Gruppe, derjenigen der monoklinen Doppelsalze der Schwefelsäure, Selensäure und Chromsäure mit zwei- und einwertigen Metallen beruht größtenteils auf MITSCHERLICHs Arbeiten. Vollständig in demselben Sinne, wenn auch nicht mit der gleichen Genauigkeit seiner Krystallbestimmungen, war neben und noch lange nach ihm in Berlin tätig K. RAMMELSBURG, welcher im Jahre 1855 unter dem Titel: „Handbuch der krystallographischen Chemie“ eine Zusammenstellung der bis dahin bekannten Krystallbeschreibungen chemischer Produkte herausgab¹⁾.

Zur Kenntnis isomorpher Gruppen trugen durch eigene krystallographische Untersuchungen ferner bei zwei der größten deutschen Chemiker, F. WÖHLER und R. BUNSEN, am meisten aber der Genfer CH. DE MARIIGNAC (1817—1894), welcher außer seinen wichtigen Arbeiten auf dem Gebiete der anorganischen und physikalischen Chemie seit dem Jahre 1849 eine große Reihe von chemisch-krystallographischen Abhandlungen veröffentlichte, von denen hier nur die über die Fluosilikate, -stannate und -zirkonate (1858—60) und die über wolfram- und kieselwolframsaure Salze genannt sein mögen.

Die optischen Eigenschaften der untersuchten Substanzen erfuhren eine eingehende Berücksichtigung bei den hier in Betracht kommenden, in den fünfziger Jahren veröffentlichten Arbeiten von H. DE SÉNARMONT (1808—1862) in Paris, welche ebenso wichtig auf physikalischem (vgl. S. 119) und mineralogischem Gebiete waren. Ihm folgten A. DES CLOIZEAUX (1817—1897), der in den nächsten Jahrzehnten eine außerordentlich große Anzahl von Krystallbestimmungen nicht nur von Mineralien, sondern auch von nicht in der Natur vorkommenden Stoffen, namentlich Salzen, lieferte, und auf letzterem Gebiete mit zahlreichen Arbeiten G. WYROUBOFF (1843—1913).

Dem Einflusse des Chemikers SCHRÖTTER ist es namentlich zu verdanken, daß auch in Wien um dieselbe Zeit das Interesse für die chemische

¹⁾ K. RAMMELSBURG (1813—1899) wirkte in Berlin zuerst als Dozent an der Universität, von 1846 an als Professor der Chemie an der Gewerbeakademie, der späteren technischen Hochschule. Eine Neubearbeitung seiner oben erwähnten Zusammenstellung, in welche auch Angaben über physikalische Eigenschaften der beschriebenen Stoffe aufgenommen sind, erschien 1881 als „Krystallographisch-physikalische Chemie“.

Krystallographie erwachte¹⁾. Außer der Preisschrift von SCHABUS („Bestimmung der Krystallgestalten im chem. Labor. erzeugter Verbindungen“, Wien 1855) waren von besonderer Bedeutung die Arbeiten des bereits S. 105 erwähnten Physikers J. GRAILICH, welcher im Verein mit V. VON LANG und anderen Mitarbeitern große Reihen von isomorphen Salzen und anderen Verbindungen nicht nur krystallographisch, sondern auch in bezug auf ihre physikalischen (optischen, magnetischen usw.) Eigenschaften untersuchte.

Wertvolles und reiches Material lieferten ferner die in den Jahren 1870—1882 in Kopenhagen, Stockholm, Wien und anderen Orten veröffentlichten Arbeiten des dänischen Chemikers H. TOPSØE.

Krystallographische Daten über mehrere Reihen von Salzen, besonders schwefelsauren und weinsauren, sind enthalten in den Abhandlungen A. SCACCHIS (19) über „Polysymmetrie“, mit welchem Namen er die Eigenschaft gewisser Substanzen bezeichnete, unter Beibehaltung der nahen Übereinstimmung der Flächenwinkel in verschiedenen Systemen, also mit ungleicher Symmetrie, zu krystallisieren (die Mehrzahl der hierzu gerechneten Fälle finden ihre Erklärung in der S. 117 besprochenen lamellaren Zwillingsbildung: andere dagegen gehören wohl in das Gebiet der Polymorphie, in welchem große Ähnlichkeit der Winkel zweier physikalischer Modifikationen keineswegs ausgeschlossen ist). Einem anderen italienischen Forscher, QUINTINO SELLA (20), verdanken wir endlich, außer interessanten Arbeiten über geometrische Krystallkunde, auch mehrere chemisch-krystallographische Abhandlungen, zu denen ihm das Material von deutschen und anderen Chemikern geliefert worden war.

Durch die im Vorhergehenden aufgezählten Untersuchungen war festgestellt worden, daß in sehr vielen Salzen bei gleichbleibender Säure das Metall durch ein anderes gleichwertiges ohne wesentliche Änderung der Krystallform ersetzt, oder auch das säurebildende Element durch ein sich chemisch ihm ähnlich verhaltendes vertreten werden kann. Es erschien daher die Anschauung berechtigt, daß die „Analogie der chemischen Konstitution“ von maßgebender Bedeutung für die Isomorphie zweier Körper sei. Ausnahmen davon konnten zum Teil durch „Dimorphie“ erklärt werden, namentlich wenn es gelang, die zweite Modifikation bei einer der beiden Substanzen darzustellen und als isomorph

¹⁾ Um die im folgenden erwähnten Arbeiten hat sich auch verdient gemacht der Chemiker der geologischen Reichsanstalt C. VON HAUER, welcher sich eingehend mit der Züchtung schöner Krystalle löslicher Salze beschäftigte und seine Erfahrungen über das Wachstum der betreffenden Krystalle hauptsächlich in zwei Abhandlungen unter dem Titel „Krystallogenetische Beobachtungen“ (Sitz.-Ber. d. Wien. Akad. d. Wiss. 1860, Bd. 39 u. 40) niederlegte.

mit der bei der anderen beobachteten Form zu erkennen. In vielen Fällen machte sich aber die chemische Natur der einzelnen Elemente dadurch geltend, daß ihre gegenseitige isomorphe Vertretung zwar stattfand in komplizierten Verbindungen, in denen man den übrigen Bestandteilen einen überwiegenden Einfluß auf die Krystallform zuschreiben konnte, nicht aber in einfacheren Verbindungen. Andererseits zeigte sich krystallographische Übereinstimmung auch bei Substanzen, welche zwar die gleiche Atomzahl ihrer Bestandteile, aber ganz verschiedene Konstitution hatten. Hier konnte die Übereinstimmung sich sogar im Falle einer Dimorphie in beiden Modifikationen wiederholen, wie bei Kali- und Natronsalpeter einerseits, deren Krystallisationsverhältnisse schon von FRANKENHEIM erforscht worden waren, und Aragonit bzw. Calcit andererseits. Die Isomorphie der Feldspatminerale Albit und Anorthit führte zu der Ansicht, daß hier Gruppen von Atomen, deren Valenzsumme die gleiche sei, einander isomorph vertreten. Derartige Fälle isomorpher Ersetzbarkeit ungleichwertiger Elemente wurden durch die oben angeführten Arbeiten, namentlich von MARIGNAC, noch mehrere nachgewiesen. Bei einigen Gruppen, z. B. der des Albits und Anorthits, zeigte sich, daß die Übereinstimmung des Molekularvolumens für die Isomorphie eine große Rolle spiele. Mit den Volumenverhältnissen der isomorphen Körper beschäftigte sich besonders eingehend der Heidelberger physikalische Chemiker und Krystallograph HERM. KOPP (1817—1892), der zuerst die Ansicht aussprach, daß die Isomorphie überhaupt nur ein relativer Begriff sei.

Die steigende Vermehrung des Materials an Krystallbestimmungen von Stoffen der verschiedensten Art ließen einen Umstand immer mehr hervortreten, welcher schon früh die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt hatte, nämlich die ungleichförmige Verteilung der Symmetriearten auf die Gesamtheit der krystallisierten Körper. Während die große Mehrzahl aller Substanzen von komplizierterer Zusammensetzung monokline, rhombische oder triklinische Krystalle bildet, zeigen die meisten Elemente kubische Symmetrie, einige trigonale oder in verschiedenen polymorphen Modifikationen beides, eine Erfahrung, welche durch neuere Beobachtungen an Elementen, die man früher nur in gasförmigem Zustande kannte, bestätigt worden ist. Ein beträchtliches Vorwalten der höher symmetrischen Krystallklassen zeigen auch noch die einfacheren chemischen Verbindungen, wie die Halogenide der Alkalien, viele Oxyde, Sulfide, Carbide der Metalle usw., und bei dimorphen Substanzen kommen auch hier ähnliche Fälle vor, wie bei den Elementen. Im Sinne der strukturtheoretischen Anschauungen würde dies bedeuten, daß die zum Krystall zusammentretenden Moleküle in drei zueinander senkrechten (kubische Symmetrie) oder schiefwinkligen (rhomboedrische Symmetrie) Richtungen gleiche Kräfte aufeinander ausüben; bei hexa-

gonaler Symmetrie würde das gleiche gelten für drei in einer Ebene liegende Richtungen, bei tetragonaler endlich nur für zwei zueinander senkrechte. Es würde sich also um einen maßgebenden Einfluß der Symmetrie des chemischen Moleküls auf die des Krystalls handeln, und ein solcher könnte auch angenommen werden bei Verbindungen von komplizierter Zusammensetzung, welche kubisch, trigonal, hexagonal oder tetragonal krystallisieren. In der Tat trifft dies zu bei einer Anzahl von Substanzen, welche drei, sechs oder vier gleichartige Atome oder Atomgruppen, z. B. Krystallwassermoleküle, enthalten; die Zahl derartiger Fälle ist jedenfalls zu groß, um das Zusammentreffen der chemischen und der krystallographischen Symmetrie als ein zufälliges erscheinen zu lassen, ebensowenig kann aber auf Grund desselben von einem „Gesetz“ die Rede sein.

Die große Bedeutung, welche die Aufstellung des periodischen Systems der Elemente für die Chemie hatte, führte naturgemäß zu der Prüfung der Frage, in welchem Zusammenhange damit die gegenseitige isomorphe Vertretbarkeit der Elemente stehe. Eine solche ergab sich für eine Anzahl nahverwandter Elemente der gleichen Vertikalreihe (wie *K*, *Rb*, *Cs*), aber eine allgemeine Gesetzmäßigkeit zu erkennen war schon deshalb nicht möglich, weil manche Elemente, je nach ihrer Wertigkeit in verschiedenen Verbindungen, solche ganz verschiedener Reihen des periodischen Systems isomorph ersetzen. Auffallend erschien der damals noch unerklärte Umstand, daß stets die beiden ersten Glieder einer Vertikalreihe einen erheblich größeren chemisch-krystallographischen Unterschied zeigten, als zwei benachbarte Glieder einer Reihe mit höheren Atomgewichten.

Die über die isomorphe Vertretbarkeit gleichwertiger Metalle gemachten Erfahrungen erstreckten sich zwar nicht nur auf die Salze von Mineralsäuren, sondern auch auf die einer Anzahl organischer Säuren: dagegen versagte völlig der Versuch, ähnliche Beziehungen zwischen verschiedenen Kohlenstoffverbindungen nachzuweisen. MITSCHERLICH selbst, der bekanntlich später mit bedeutendem Erfolge auf dem Gebiete der organischen Chemie tätig war, hielt es sogar für möglich, daß isomere Körper, welche aus den gleichen, nur in verschiedener Weise miteinander verbundenen Atomen bestehen, übereinstimmend krystallisieren; da sich diese Ansicht nicht bestätigte, hat er leider seine an derartigen Stoffen ausgeführten Krystallbestimmungen unveröffentlicht gelassen. Bei der Vergleichung der Krystallformen verwandter Kohlenstoffverbindungen hatte zuerst gemeinsam mit GERHARD, der um die Entwicklung der organischen Chemie verdiente A. LAURENT, (1807—1853) gewisse Ähnlichkeiten wahrgenommen.

An den vergeblichen Versuchen, gesetzmäßige Beziehungen zwischen der Art der Verwandtschaft von Kohlenstoffverbindungen und ihren Krystallformen aufzufinden, beteiligte sich auch der berühmte französische Chemiker L. PASTEUR (21), der jedoch bei Gelegenheit seiner chemisch-krystallographischen Forschungen im Jahre 1848 eine Entdeckung machte, welche für die Krystallkunde, wie für die Chemie, von epochemachender Bedeutung wurde. Bekanntlich beobachtete er zuerst die Tatsache, daß die aus einem Salz der racemischen Traubensäure entstehenden beiden Salze der Rechts- und Linkswensäure Krystallformen zeigen, welche zwar identische Achsenverhältnisse besitzen, durch das Auftreten gewisser Flächen aber sich derart unterscheiden, daß sie nicht deckbar, sondern nur spiegelbildlich gleich erscheinen, und dasselbe Verhältnis wurde auch an den Krystallen der beiden Säuren selbst erkannt. 1874 wiesen gleichzeitig VAN T'HOFF und LE BEL nach, daß die optische Aktivität dieser und anderer organischer Verbindungen von dem Vorhandensein eines oder mehrerer „asymmetrischer“ Kohlenstoffatome im Molekül abhängig sei. Seitdem ist durch zahlreiche Untersuchungen der Krystallformen von Stoffen, deren Lösung die Polarisationssebene des Lichtes dreht (besonders von H. TRAUBE), festgestellt worden, daß die Krystalle einer solchen Verbindung stets einer sogenannten „enantiomorphen“ Symmetrieklasse angehören, daß also die „Asymmetrie“ des chemischen Moleküls auch eine solche der Krystallform nach sich zieht, derzufolge die beiden optischen Antipoden sich durch die Enantiomorphie ihrer Krystalle unterscheiden (sogenanntes „PASTEURSches Gesetz“). In einigen Fällen konnte auch das Drehungsvermögen solcher Krystalle bestimmt und erkannt werden, daß dasselbe verschieden sei von dem spezifischen Drehungsvermögen der Substanz, wie es sich aus der Lösung ergibt; es tritt bei der Krystallisation einer optisch aktiven Substanz also noch zu ihrem eigenen Drehungsvermögen dasjenige hinzu, welches durch die Struktur der Krystalle verursacht wird (vgl. S. 113); darüber, in welcher Beziehung beide zueinander stehen, ist jedoch bis jetzt keine allgemeingültige Regel erkannt worden. Wenige Jahre nach seiner Entdeckung lehrte PASTEUR die Spaltung racemischer Säuren in ihre optischen Antipoden durch Verbindung mit optisch aktiven Basen kennen, welche auf der Verschiedenheit der Löslichkeit der beiden entstehenden Salze beruht; es ist aber noch unbekannt, in welcher Beziehung die Krystallformen zweier derartiger (nicht enantiomorpher) Körper zueinander stehen. Die Theorie des „asymmetrischen Kohlenstoffs“ wurde bekanntlich der Ausgangspunkt der in neuester Zeit die Chemie immer mehr beeinflussenden Anschauungen über die räumliche Anordnung der Atome im Molekül; die dadurch in der Chemie erzielten Fortschritte eröffnen der chemisch-krystallographischen Forschung weit umfangreichere, bisher noch wenig betretene Gebiete.

Die früheren Versuche, zwischen verwandten organischen Verbindungen gesetzmäßige krystallographische Beziehungen aufzufinden, setzte der norwegische Chemiker TH. HJORTDAHL († 1925) fort und zeigte 1865, daß in gewissen Fällen die Krystallformen homologer Kohlenstoffverbindungen eine nahe Übereinstimmung der Winkel in einzelnen Zonen erkennen lassen, daher er solche als „partiell isomorph“ bezeichnete. Von einem anderen Gesichtspunkte aus wurde das Problem bald darauf in Angriff genommen durch den Verfasser des vorliegenden Werkes. Es hatte damals jener großartige Aufschwung der organischen Chemie begonnen, welcher an die Aufstellung der KĒKULĒschen Benzoltheorie anknüpfte und den Chemikern ein ungeheures Material gut krystallisierter Stoffe lieferte, deren Konstitution und gegenseitige Beziehungen festgestellt werden konnten; darunter waren für die chemisch-krystallographische Forschung von besonderem Interesse diejenigen isomeren Körper, in welchen mehrere Wasserstoffatome des Benzolmoleküls durch die gleichen Atome oder Atomgruppen, aber in verschiedener gegenseitiger Stellung, ersetzt waren. Beobachtungen an einer anfangs noch sehr kleinen Anzahl aromatischer Stoffe führten zu dem Schlusse, daß es zur Erzielung eines Fortschrittes für das Studium der Beziehungen zwischen Krystallform und chemischer Konstitution geeignet sei zu untersuchen, welche Änderungen in der Krystallform einer organischen Verbindung stattfinden, wenn der Wasserstoff derselben durch andere Elemente oder durch Atomgruppen ersetzt wird. Die Vergleichung der Krystallformen in derartiger Beziehung zueinander stehender Benzolderivate lehrte nun, daß in gewissen Fällen die als *Morphotropie* bezeichnete Änderung in einer bestimmten Richtung stattfindet, so daß nur ein Teil der Krystallwinkel wesentlich verschiedene Werte annimmt. Es ergab sich ferner, daß die Art dieser Änderung nicht nur abhängt von der chemischen Natur des substituierenden Atoms oder der eintretenden Atomgruppe, sondern auch von der Konstitution des Körpers, in welchem die Substitution vor sich geht, und von dem Orte in dessen Molekül, an dem dieselbe stattfindet, denn stellungsisomere Benzolderivate erwiesen sich als wesentlich verschieden krystallisiert. Es lag nahe, dieselbe Betrachtungsweise auch auszudehnen auf die Beziehungen der Säuren zu ihren Salzen und dadurch der Aufklärung der Isomorphieverhältnisse näher zu kommen. Dazu bedurfte es der möglichst vollständigen krystallographischen Kenntnis der in Betracht kommenden chemischen Verbindungen, deren Zahl von Tag zu Tag stieg, so daß bei der rapiden Entwicklung und zunehmenden Spezialisierung ihrer Wissenschaft es den Chemikern immer weniger möglich wurde, sich, wie die älteren, auch mit der Bestimmung der Krystallformen der von ihnen dargestellten Substanzen zu beschäftigen. Andererseits ist diese für die Chemie nicht nur von theoretischem, sondern auch von praktischem Interesse, denn es zeigte sich bei den

weiteren Forschungen auf dem Gebiete der chemischen Krystallographie, daß zur Identifizierung zweier auf verschiedenem Wege erhaltener Präparate eines Körpers die Krystallform eine besonders geeignete Eigenschaft sei. Daher waren Fortschritte der Krystallkunde in hohem Grade abhängig von dem Zusammenwirken der Vertreter beider Wissenschaften, wie es der Verfasser damals in Berlin begann und durch Gründung eines besonders für chemisch-krystallographische Studien eingerichteten mineralogischen Instituts von 1872 an in Straßburg und seit 1883 in München fortsetzte. Es folgte bald eine Reihe anderer mineralogischer Arbeitsstätten, so daß bis zur Wende des Jahrhunderts ein außerordentlich großes Material krystallographischer Untersuchungen organischer Verbindungen sich ansammelte. Wenn diese Forschungen auch noch nicht zur Erkennung allgemeiner Gesetzmäßigkeiten führten, so doch zu einer Reihe von Ergebnissen, welche dieses Ziel vorbereiteten.

Diese Ergebnisse wurden ermöglicht durch eine neue Art der Angabe der Verhältnisse der ungleichwertigen Parameter nicht kubischer Krystalle, welche zuerst für anorganische Verbindungen eingeführt wurde. Da die Achsenverhältnisse zweier isomorpher Salze, so wie sie bis dahin angegeben wurden, auf verschiedene Einheiten bezogen waren, also nicht miteinander verglichen werden konnten, war es nicht möglich zu erkennen, welche Änderung die Ersetzung eines Metallatoms durch ein isomorphes oder die Vertauschung isomorpher säurebildender Elemente bewirkte. Daß die Parameterverhältnisse solcher Krystalle aber auf dieselbe Einheit zurückzuführen und daher vergleichbar zu machen seien durch Hinzuziehung ihrer Molekular-(Äquivalent-)Volumina, zeigten unabhängig voneinander BECKE, MUTHMANN und TUTTON, von denen der Zweite den seitdem gebräuchlichen Namen „topische Parameter“ einführte. Durch die damals (1893) begonnenen und mehrere Jahrzehnte fortgesetzten, mustergültigen Untersuchungen A. E. TUTTONS an schwefelsauren und verwandten Salzen, besonders der großen Gruppe monokliner Doppelsalze, ist festgestellt worden, daß die Parameter (und ebenso gewisse physikalische Werte) in einer isomorphen Reihe ein regelmäßiges Fortschreiten mit dem Molekulargewicht, also mit dem Atomgewicht der einander ersetzenden Elemente, zeigen. Damit war ein Anfang zur Erkennung der Abhängigkeit der Änderung, welche die Substitution des Wasserstoffs durch ein Metall in den krystallographischen Verhältnissen einer Säure hervorbringt, von der Natur des Metalls gemacht, und es lag nahe, diese Änderung selbst durch Vergleichung der topischen Achsenverhältnisse einer Säure und ihrer Salze festzustellen, wobei natürlich Verbindungen mit Krystallwasser und dergleichen nicht in Betracht kommen konnten. Die Zunahme des Materials an genauen und vollständigen Krystallbestimmungen organischer Verbindungen gestattete allmählich auch hier derartige Vergleichen, welche erkennen ließen, daß die durch den

Eintritt eines Metalls bewirkte, für isomorphe Metalle sehr ähnliche Deformation der Krystallstruktur um so größer ist, je kleiner das Molekulargewicht der Säure, während die Änderung in sehr komplizierten Säuren so gering sein kann, daß die Krystallformen der Säure und des Salzes sich nicht mehr voneinander unterscheiden als die der isomorphen Salze mit verschiedenen gleichwertigen Metallen. In der Krystallstruktur solcher hochmolekularer Säuren bringt ebenso die Substitution eines Wasserstoffatoms durch eine univalente Gruppe z. B. CH_3 , nur eine geringfügige Deformation hervor, so daß der Methyläther mit der Säure in gewissen Grenzen übereinstimmende Krystallformen zeigen kann. Wie groß dagegen die morphotropische Wirkung des Eintritts der CH_3 -Gruppe in ein einfacheres Molekül ist, zeigt z. B. die Vergleichung des Platinsalmiaks mit dem Methylammoniumchloroplatinat: ersterer krystallisiert in regulären Oktaedern, letzteres in Rhomboedern, welche aus den ersteren durch eine Verlängerung einer trigonalen Achse entstehen, das Tetramethylammoniumchloroplatinat zeigt eine entsprechende Zunahme aller vier Oktaedernormalen und daher wieder kubische Krystallstruktur.

Die Untersuchung des morphotropischen Einflusses einer Substitution durch die Methylgruppe, verglichen mit dem anderer Vertretungen des Wasserstoffs, ergab das damals unerklärliche Resultat einer auffallenden Ähnlichkeit der morphotropischen Wirkung von CH_3 und Cl .

Allen Forschungen auf diesem Gebiete und dem der chemischen Krystallographie überhaupt erwachsen mannigfache Schwierigkeiten aus der Polymorphie, welche sich als eine zahlreichen Körpern zukommende Eigenschaft erwies, und zwar zeigt sie in den verschiedenen Körperklassen eine ähnliche Verteilung, wie die Häufigkeit höherer Symmetrie der Krystallformen (s. S. 133). Während die Elemente fast alle in mehreren krystallisierten Modifikationen beobachtet wurden und das gleiche bei vielen einfacheren Verbindungen der Fall war, schien die Häufigkeit der Polymorphie mit steigender Komplikation der Verbindung abzunehmen, zeigte sich jedoch immer noch ziemlich groß in gewissen Gruppen organischer Körper, ohne daß jedoch in dieser Verteilung ein bestimmtes Gesetz zu erkennen wäre.

Über die Bildung der verschiedenen Modifikationen eines polymorphen Körpers war früher nur die bereits von FRANKENHEIM erkannte Tatsache bekannt, daß dieselbe wesentlich durch die Temperatur bedingt werde.

An organischen Verbindungen wurde das Auftreten einer zweiten Modifikation von abweichendem Schmelzpunkte erst in den siebziger Jahren beobachtet und von O. LEHMANN (1855—1922) auch krystallo-

graphisch festgestellt. Dieser später durch seine Entdeckung der sogenannten flüssigen Krystalle berühmt gewordene Physiker, machte im Jahre 1877 die Polymorphie zum Gegenstand seines speziellen Studiums. Er bezeichnete sie als „physikalische Isomerie“, entsprechend seiner Annahme, daß die verschiedenen Modifikationen eines Stoffes sich durch die Art der Verbindung gleicher chemischer Moleküle zu einem „Krystallmolekül“ oder durch die Zahl der zum „Krystallmolekül“ zusammentretenden chemischen Moleküle unterscheiden. Der erstere Fall entsprach daher der verschiedenen Anordnung der Atome, der zweite der verschiedenen Zahl derselben im chemischen Molekül, d. h. der chemischen Metamerie bzw. Polymerie (als physikalisch polymer wurden auch die verschiedenen Aggregatzustände einer Substanz betrachtet, aus welcher Annahme sich eine Analogie des Umwandlungspunktes der verschiedenen Modifikationen einer Substanz mit ihrem Schmelzpunkte ergab). Mit Hilfe des von ihm konstruierten Krystallisationsmikroskopes, welches das Verhalten eines krystallisierten Präparates während einer Temperaturänderung zu beobachten gestattet, konnte LEHMANN an einer größeren Anzahl polymorpher Stoffe nachweisen, daß dieselben bei bestimmten Temperaturen im festen Zustande eine Umwandlung einer Modifikation in eine andere erfahren, daß dieser Umwandlungspunkt auch überschritten werden könne, dann aber die Substanz sich nicht mehr in einem stabilen Zustande befindet und daher, wie eine unterkühlte Flüssigkeit, durch die Berührung mit der anderen Modifikation oder auch spontan sich plötzlich umwandelt. Seine zahlreichen, in den folgenden Jahren angestellten Beobachtungen über derartige Umwandlungsvorgänge und die Wachstumsverhältnisse der Krystalle hat LEHMANN in einer Reihe von Aufsätzen und besonders in seinem zweibändigen Werke über „Molekularphysik“ (1888) niedergelegt. Ähnliche Untersuchungen einer größeren Anzahl polymorpher Substanzen wurden erst wieder in neuester Zeit von GOSSNER und von RIES ausgeführt.

Inzwischen hatte sich die physikalisch-chemische Forschung dieses Problems bemächtigt, und nachdem durch Arbeiten von REICHER, sowie von MALLARD und LE CHATELIER und Anderen die Abhängigkeit des Umwandlungspunktes vom Druck festgestellt worden war, zeigte OSTWALD¹⁾, daß der Unterschied der „enantiotropen“ polymorphen Substanzen, welche eine Umwandlung bei derselben Temperatur in beiderlei Sinn gestatten, von den „monotropen“, bei denen die Umwandlung nur in einem Sinn möglich ist, lediglich von der veränderlichen Lage der Temperaturdruckkurven beider Modifikationen gegenüber der entsprechenden Kurve des flüssigen Zustandes abhängt, daß es sich

¹⁾ Eine ausführliche Besprechung der über polymorphe Stoffe vorliegenden Beobachtungen gab derselbe in seinem „Lehrbuch der allgemeinen Chemie“ (siehe in der 2. Aufl. 1896—1902, Bd. 2, S. 399f.).

also um eine Frage des vom Druck abhängigen Gleichgewichtes zwischen den verschiedenen Phasen handelt.

Zu den Arbeiten aus dieser Zeit, welche für die Isomorphie wie für die Polymorphie Bedeutung haben, gehören diejenigen von J. W. RETGERS im Haag (1856—1896), dem die chemisch-krystallographische Forschung auch die geeignetste Methode zur genauen Dichtebestimmung verdankt. Es kommt hier besonders in Betracht seine Untersuchung über die Ausscheidung von Mischkrystallen zweier isodimorpher Salze aus einer gemischten Lösung, wie z. B. der Verbindungen von Magnesium- und Ferrosulfat mit $7 H_2O$, durch welche nachgewiesen wurde, daß die Mischungsreihe solcher Verbindungen durch eine Lücke unterbrochen ist, und daß die beiden Teile derselben das eine Salz in der dem vorherrschenden anderen bei der betreffenden Temperatur zukommenden Krystallform enthalten, wie aus der Vergleichung der Dichte der Mischkrystalle hervorgeht, deren Abhängigkeit von dem Mischungsverhältnis sich in jedem der beiden Teile der Mischungsreihe als eine kontinuierliche, nahezu lineare Funktion erwies. Dieses Resultat ließ den früher schon mehrfach gezogenen Schluß berechtigt erscheinen, daß bei Substanzen, deren Isomorphie zu erwarten war, während ihre Krystallformen sich als völlig verschieden erwiesen, es sich um Isodimorphie handle, besonders wenn die Krystalle der einen Art fähig waren, auch Beimischungen der anderen Substanz aufzunehmen.

Für die Frage der Beziehung, welche zwischen der Zusammensetzung von Mischkrystallen zweier isomorpher Körper, der Temperatur und der Zusammensetzung der Lösung besteht, aus welcher sie sich ausscheiden, wurde 1891 die theoretische Grundlage geschaffen durch H. W. BAKHUIS ROOZEBOOM (1854—1907). Dieser dehnte seine Untersuchungen ferner auch aus auf die Verhältnisse der Erstarrung der aus der Schmelze sich ausscheidenden Mischkrystalle, sowie auf die Temperatur ihrer Umwandlung. Die Ergebnisse dieser Studien beruhen auf dem von VAN T'HOFF aufgestellten Begriff der „festen Lösungen“, für welche ebenso wie für flüssige Lösungen die Gasgesetze gelten, und auf dem hieraus sich ergebenden Begriff des osmotischen Druckes. Als „feste Lösungen“ werden jedoch von VAN T'HOFF nicht nur isomorphe Mischkrystalle, sondern auch solche bezeichnet, welche eine Substanz von abweichender chemischer Natur bis zu einem meist nur geringen Prozentsatze so beigemischt enthalten, daß der Krystall physikalisch ebenso homogen erscheint, wie der einer isomorphen Mischung. Über derartige Mischkrystalle und ihr optisches Verhalten, wie z. B. die des Eisensalmiaks und der durch eine organische Verbindung gefärbten Salze, liegen zahlreiche Beobachtungen vor; sie werden von A. JOHNSEN als „anomale Mischkrystalle“ bezeichnet und ihnen auch zugezählt die

früher als bestimmte Verbindungen mit Krystallwasser betrachteten Mineralien der Zeolithgruppe, deren Wassergehalt sich als abhängig vom äußeren Druck erwiesen hat und durch andere flüchtige Stoffe ersetzt werden kann.

Während die RETGERSschen Arbeiten ergeben haben, daß in einigen Reihen isomorpher Mischungen die Dichte sich nahe proportional mit der Zusammensetzung der Krystalle ändert, scheint für andere Eigenschaften eine so einfache Beziehung nicht zu existieren, wenigstens nicht für die Verhältnisse der Krystalldimensionen; dafür spricht die besonders an Mineralien mehrfach beobachtete Tatsache, daß die Winkel einer isomorphen Mischung außerhalb der für die reinen Komponenten gültigen Grenzen liegen; freilich fehlt es hier noch gänzlich an exakten Untersuchungen vollständiger Mischungsreihen. Weit eingehender sind die optischen Eigenschaften isomorpher Mischungen untersucht worden, z. B. von A. FOCK, G. BODLÄNDER, G. WYROUBOFF, sowie von E. MALLARD und seiner Schule; besonders kommen aus der letzteren in Betracht die sorgfältigen Bestimmungen der Brechungsindices von H. DUFET (1848—1905) und A. LAVENIR. Anknüpfend an RETGERS hat endlich 1902 G. WULFF das hier vorliegende Problem einer näheren Betrachtung, auch in betreff der Schwierigkeiten seiner Lösung, unterzogen. Aus neuester Zeit liegen eingehende Untersuchungen der Änderung der optischen Eigenschaften von Mischkrystallen mit der Zusammensetzung fast nur vor über Feldspatmineralien, bei denen diese Frage eine große praktische Bedeutung für deren Bestimmung in Gesteinen besitzt. Der weiteren chemisch-krystallographischen Forschung bietet sich hier also noch ein weites Feld.

Schlußbetrachtungen.

In den ersten Abschnitten der vorliegenden Schrift wurde gezeigt, wie aus der einfachen Beschreibung der Krystallformen sich die Erkenntnis des „Grundgesetzes der geometrischen Krystallographie“ entwickelt hat, zu dessen präziser Fassung man erst ganz allmählich im ersten Viertel des 19. Jahrhunderts gelangt ist. Zur Widerlegung der bis jetzt allgemein herrschenden Ansichten über den Anteil, welcher den einzelnen Forschern an der Erkenntnis dieses Gesetzes zukommt, war es nötig, auf deren Arbeiten ausführlich einzugehen, daher die Behandlung dieser Frage einen verhältnismäßig großen Umfang erhielt. Unmittelbar auf den Abschluß dieser Erkenntnis folgte die Feststellung der für die Krystalle gültigen „Symmetriegesetze“ durch einen seiner Zeit weit voraneilenden deutschen Gelehrten, dessen Werk in seiner für die Systematik der Krystalle grundlegenden Bedeutung erst nach Jahrzehnten anfang, gewürdigt zu werden. Die später noch gelieferten Beiträge zur Kenntnis jener Gesetze sind in unserer Darstellung deshalb

nur zum Teil berücksichtigt worden, weil ihnen größtenteils mehr ein mathematisches als ein krystallographisches Interesse zukommt, und auch etwa zukünftige theoretische Betrachtungen würden an dem definitiv festgestellten Charakter jener Gesetze wohl kaum noch Änderungen zu bewirken vermögen.

Neben den geometrischen Eigenschaften der Krystalle haben die optischen schon sehr früh die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt und bald nach der Aufstellung der sieben Krystallsysteme wurde erkannt, daß das optische Verhalten der krystallisierten Substanzen mit dieser Einteilung der Krystallformen in einem gesetzmäßigen Zusammenhange steht, so daß es möglich wurde, durch optische Beobachtungen an einem Krystall zu entscheiden, welcher jener Hauptabteilungen er angehört. Diese theoretische und praktische Wichtigkeit rechtfertigt es, daß auch diesem Gegenstand in der historischen Darstellung eine ausführliche Behandlung durch einen besonderen Abschnitt zuteil geworden ist.

In der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts wurden auch die übrigen physikalischen Eigenschaften in ihren Beziehungen zur Symmetrie der Krystalle eingehender untersucht und für sie ebenfalls analoge Gesetzmäßigkeiten nachgewiesen. Es ergab sich allgemein das Resultat, daß stets krystallographisch gleichwertige Richtungen auch physikalisch gleichwertig sind, ein Satz, welchen man auch als „Grundgesetz der physikalischen Krystallographie“ bezeichnet hat. So entwickelte sich ein Lehrgebäude der Krystallkunde, welches die gesetzmäßigen Beziehungen zwischen geometrischer und physikalischer Symmetrie zum Ausdruck brachte und ein übersichtliches Bild derselben zu geben gestattete. Mit der letzten Jahrhundertwende war damit, vorbehaltlich gewisser einzelner Ergänzungen, eine Art von Abschluß erreicht; für die bis dahin erkannten Gesetzmäßigkeiten fehlt es jedoch noch an einer dynamischen Erklärung, für welche nur vereinzelte Versuche vorlagen, in Arbeiten einiger Physiker, wie von W. THOMSON (Lord KELVIN) und den Göttingern VOIGT und RIECKE.

Hand in Hand mit der Entwicklung der physikalischen Krystallographie ging nun diejenige der Anschauungen über den regelmäßigen Aufbau der Krystalle aus ihren kleinsten Teilen, indem an die Stelle der HAÜYSchen Theorie die von SEEBER zuerst aufgestellte Annahme trat, daß die Krystalle aus voneinander getrennten, parallelepipedisch angeordneten Molekülen zusammengesetzt seien, d. i. die Theorie der „Gitterstruktur“. Diese steht in so innigem Zusammenhang mit den geometrischen Symmetrieverhältnissen der Krystalle, daß es geeignet schien, einen Überblick über ihre Entwicklung unmittelbar an die letzteren anzuschließen und diesem Abschnitt einen solchen über die Erforschung der Gesetzmäßigkeiten der physikalischen Krystallographie

folgen zu lassen, welche sich als in voller Übereinstimmung mit der „Gitterstrukturtheorie“ stehend erwiesen. Mit der Aufstellung der „allgemeinen Theorie der Krystalstruktur“ durch FEDOROW und SCHOENFLIES dürfte auch für dieses Gebiet ein gewisser Abschluß erreicht sein.

Ganz anders liegt die Sache bei der zuletzt behandelten „chemischen Krystallographie“, d. h. der Frage nach der Abhängigkeit der Krystallisation eines Stoffes von seiner chemischen Natur, denn hier waren wir bis vor kurzem von einer Lösung des Problems noch sehr weit entfernt. Die Entdeckung der Isomorphie durch MITSCHERLICH schien eine solche bringen zu wollen, und zahlreiche Forscher wandten sich diesem Gebiete zu, so daß eine von Jahr zu Jahr anschwellende Masse von krystallographischen Untersuchungen der verschiedensten Substanzen sich anhäufte. Dadurch wurde nun zwar eine Anzahl von Ergebnissen erzielt, welche es unzweifelhaft erscheinen lassen, daß eine gesetzmäßige Abhängigkeit der Krystalform von der chemischen Konstitution besteht — und diese Ergebnisse sind es, von denen der letzte Abschnitt einen kurzen Überblick liefert — aber zu irgendeiner allgemeingültigen Gesetzmäßigkeit hatten alle diese Forschungen nicht geführt; die Frage nach der Art jener Abhängigkeit musste daher noch als eine offene betrachtet werden. Zudem hatte die kritische Sichtung des Materials an chemisch-krystallographischen Untersuchungen gezeigt, daß dasselbe trotz seines großen Umfanges noch zahlreicher Ergänzungen bedarf.

Dies war der Stand der Krystallographie am Anfang des 20. Jahrhunderts, als ein Ereignis eintrat, welches eine vollständige Umwälzung dieser Wissenschaft bewirken mußte, nämlich die Entdeckung der Beugung der Röntgenstrahlen durch Krystalle, welche im Jahre 1912 M. VON LAUE im SOMMERFELDSchen Laboratorium in München machte. Es ist besonders das Verdienst der englischen Physiker W. H. und W. L. BRAGG, gezeigt zu haben, daß die Gitterstruktur der Krystalle, wie sie früher theoretisch angenommen wurde, nicht nur tatsächlich bestehe, sondern auch einer exakten Bestimmung zugänglich sei. Durch DEBYE wurde eine Methode gefunden, welche die Untersuchung höher symmetrischer Krystalle außerordentlich erleichtert. Die Arbeiten auf diesem Gebiete haben ferner gezeigt, daß die FEDOROW-SCHOENFLIESsche Theorie zur Auswertung der Messungsergebnisse ein wichtiges Hilfsmittel darbietet, und haben zu erneuter Beschäftigung mit dieser Theorie angeregt, welche neue und zum Teil vereinfachte Darstellungen derselben zur Folge hatte ¹⁾.

¹⁾ Eine solche Darstellung hat P. NIGGLI gegeben und gezeigt, daß sogar so schwierige Probleme, wie die der Vizinalflächen und der Wachstumserscheinungen überhaupt, durch die neue Strukturlehre wesentliche Klärung erfahren können.

Mit den Resultaten der röntgenometrischen Forschungen stehen in naher Beziehung die Anschauungen, welche in neuester Zeit die Physik von dem Aufbau der Atome gewonnen hat, und welche Bedeutung diese für die Krystallkunde besitzen, wird daraus ersichtlich, daß sie bereits einen umfassenden Versuch zur Erklärung der Gesetzmäßigkeiten der physikalischen Krystallographie durch M. BORN ermöglicht haben. Daß die Atomtheorie berufen ist vor allem die Lösung der Probleme der chemischen Krystallographie herbeizuführen, hat besonders überzeugend die Schrift P. P. EWALDS „Krystalle und Röntgenstrahlen“ (Berlin 1923) dargelegt.

Wir stehen daher jetzt im Beginn einer ganz neuen Periode der krystallographischen Forschung, deren Ziel die Erkenntnis der Abhängigkeit der Eigenschaften der krystallisierten Körper von der Natur der sie zusammensetzenden Atome ist. Obleich bisher nur von einem verhältnismäßig kleinen Teil der krystallisierten Stoffe die Struktur experimentell festgestellt worden ist, hat die Anwendung der Atomtheorie auf diese schon bemerkenswerte Resultate gezeitigt, durch welche auf das Gebiet der chemischen Krystallographie ein ganz neues Licht geworfen worden ist; dahin gehören die aus dem von K. FAJANS geleiteten physikalisch-chemischen Laboratorium der Universität München hervorgegangenen Arbeiten, besonders von H. GRIMM, welche mehrere der bisherigen Ergebnisse der chemischen Krystallographie, wie die S. 133 erwähnte Beziehung zum periodischen System der Elemente, ja selbst die merkwürdige morphotropische Analogie des Chlors mit dem Methyl (S. 137) u. a., zu erklären gestatten. Das allgemeine Interesse der Physiker und Chemiker an den von den Krystallen dargebotenen Problemen läßt hoffen, daß auch von seiten der Krystallographen eine größere Tätigkeit auf diesem Gebiete entwickelt und das nötige Material für weitere Fortschritte geliefert wird, Erst so kann entschieden werden, welche der bisherigen Ergebnisse der chemischen Krystallographie als geeignete Vorarbeiten zur Erreichung des angegebenen Zieles der Krystallkunde zu betrachten sind.

Nachschrift: Während des Druckes des Vorstehenden sind weitere wichtige Fortschritte auf diesem Gebiete erfolgt durch eine Arbeit von H. GRIMM und SOMMERFELD. Ferner ist die Zahl der röntgenometrisch untersuchten Körper so erheblich angewachsen, daß V. M. GOLDSCHMIDT es wagen konnte aus den Resultaten dieser Forschungen Schlüsse zu ziehen, welche zu wesentlich neuen Anschauungen über die Begriffe der Isomorphie und Polymorphie führen.

MINERALKUNDE.

Groth, Entwicklungsgeschichte.

Beschreibung, Systematik und Nomenklatur der Mineralien. * Entwicklung der Kenntnis ihrer Verbreitung. * Geschichte der mineralogischen Sammlungen und Institute.

Wie in der Krystallkunde, so kann auch in der Mineralkunde von einer Entwicklung als Wissenschaft weder im Altertum noch im Mittelalter die Rede sein¹⁾. Vorbereitet wurde diese durch die Erfahrungen des Bergbaues, welcher seit dem Mittelalter an vielen Orten Deutschlands im Gange war und im Beginn der neueren Zeit dadurch zu großer Blüte gelangte, daß er in einer mehr und mehr rationellen Weise betrieben wurde. Unter den deutschen Gelehrten, welche im 16. Jahrhundert bestrebt waren, die Wissenschaft von dem scholastischen Autoritätsglauben des Mittelalters zu befreien und, soweit sie Naturforscher waren, auf Beobachtungen zu gründen, kommt für die Mineralkunde in erster Linie in Betracht GEORG BAUER (lat. AGRICOLA) (22). Dieser, als Arzt in der damals durch ihren Silberreichtum berühmten Bergstadt Joachimstal (daher Joachimstaler-Taler) tätig, wurde dort mit dem Bergbau und dem Hüttenwesen bekannt und widmete sich von da ab fast ausschließlich der wissenschaftlichen Bearbeitung der Erfahrungen, welche im sächsisch-böhmischen Erzgebirge und in anderen Bergbaubezirken gemacht wurden, so daß er mit Recht als Begründer der Bergbau- und Hüttenkunde angesehen wird. Ihm verdanken die mineralogischen Wissenschaften auch so wesentliche Fortschritte in der

¹⁾ Eine vortreffliche, auf den neuesten historischen Forschungen beruhende Übersicht über die Kenntnis der Mineralien in jenen Zeiten gab K. MIELEITNER unter dem Titel „Geschichte der Mineralogie im Altertum und im Mittelalter“ (Fortschritte der Mineralogie, Krystallographie und Petrographie. Herausgeg. von der deutschen Mineralog. Ges., 7. Bd., Jena 1922, S. 427—480).

Kenntnis der einzelnen Mineralstoffe, besonders der Erze, daß man ihn vielfach auch als Begründer der Mineralkunde betrachtet hat¹⁾.

Die Bestrebungen AGRICOLAS für die Verbreitung der Kenntnisse des deutschen Bergbau- und Hüttenwesens fanden tatkräftige Unterstützung durch die kurfürstlich sächsische Regierung, und wie schon früher hierzu die Auswanderung von Bergleuten nach anderen Ländern beigetragen hatte, so kamen allmählich auch Ausländer nach Freiberg und anderen Bergorten, um die dort gesammelten Erfahrungen an Ort und Stelle kennen zu lernen, besonders seit in Freiberg JOH. FRIEDRICH HENCKEL (1679—1744), ursprünglich ebenfalls Arzt, als kurfürstlich sächsischer Bergrat Unterweisungen in Metallurgie und Mineralogie erteilte (seine Sammlung ist nach seinem Tode nach Petersburg gekommen) und sogar ein Laboratorium für Chemie und Hüttenkunde eingerichtet hatte²⁾. Nachdem schon 1702 die sächsische Regierung einen jährlichen Betrag für den Unterricht angehender Berg- und Hüttenleute ausgesetzt hatte, trat sie allmählich dem Gedanken einer staatlichen Anstalt für diesen Zweck näher, und so kam es Ende des Jahres 1765 zur Gründung der Bergakademie zu Freiberg, der ältesten aller technischen Hochschulen. Diese, im Anfang des Jahres 1767 unter Mitwirkung des Berghauptmanns PABST VON OHAIN, eines guten Kenners und Sammlers von Mineralien, eröffnet, bot anfangs noch sehr bescheidene Verhältnisse dar. Von Lehrern an derselben in jener ersten Zeit, welche auch literarisch für die Geschichte der Mineralogie in Betracht kommen, ist zu nennen der spätere Berghauptmann JOH. FRIEDRICH WILH. CHARPENTIER (eigentlich ZIMMERMANN) (1738—1805), der Verfasser des Werkes „Mineralogische Geographie der kursächsischen Lande“, Leipzig 1778, einer zum Teil durch vortreffliche Abbildungen er-

¹⁾ Unter den Zeitgenossen von AGRICOLA muß genannt werden der Schweizer Naturforscher CONRAD GESNER (1516—1565), welcher 1555 (?) in Zürich ein Werk „De omni rerum fossilium genere, gemmis, lapidibus, metallis etc.“ verfaßte; dieses enthält mancherlei Ergänzungen, z. B. das Vorkommen von Mineralien in der Schweiz, zu den Angaben AGRICOLAS, auf den er sich vielfach bezieht. Unter dem gleichen Titel erschien 1565 (Tiguri excudebat Jacobus Gesnerus) ein Sammelband, in welchem außer jener Arbeit CONRAD GESNERS noch eine Reihe anderer abgedruckt ist, darunter die jedenfalls auf den Einfluß AGRICOLAS zurückzuführende Schrift des Dresdener Arztes JOH. KENTMANN, „Nomenclaturae rerum fossilium, quae in Misnia praecipue, et in aliis quoque regionibus inveniuntur“; es ist dies ein Katalog (mit Hinzufügung deutscher Namen, aber ohne Fundortangaben) der Sammlung des Verfassers, wohl der ältesten mineralogischen Privatsammlung.

²⁾ Die von ihm 1725 herausgegebene „Pyritologia oder Kieß-Historie“ gibt in sehr breiter Darstellung Nachrichten und Betrachtungen über Erze, ihre Beschaffenheit, Verbreitung, Gewinnung und Verwertung, sowie deren Nutzen; abgesehen von Angaben über einige Vorkommen enthält das Werk in mineralogischer Hinsicht keinen wesentlichen Fortschritt gegenüber denjenigen AGRICOLAS.

läuterten, eingehenden Beschreibung der Minerallagerstätten und Gesteine Sachsens, zugleich in der beigegebenen „petrographischen“ Karte den ältesten Versuch einer geologischen Kartierung eines Landes enthaltend.

Zu großer Blüte gelangte jedoch sehr bald die Freiburger Bergakademie dadurch, daß einer ihrer frühesten Schüler als Lehrer an dieselbe berufen wurde, nämlich ABRAHAM GOTTLÖB WERNER (23). Dieser trennte in seiner Lehrtätigkeit sehr bald die mineralogischen Wissenschaften als „Oryktognosie“ von der Bergbau- und Hüttenkunde ab und reformierte erstere derart, daß er der Begründer der Geognosie wurde, welche sich später durch Entwicklung der Erdgeschichte zur Geologie erweiterte. Durch ihn wurde die Freiburger Akademie das Vorbild der Verbindung des theoretischen mit dem praktischen Unterricht für die Hochschulen überhaupt. Lange bevor es üblich wurde, daß wissensdurstige Ausländer in großer Zahl die deutschen Universitäten aufsuchten, strömten WERNER von allen Seiten Schüler zu, und dies hatte zur Folge, daß nicht nur in deutschen, sondern auch in anderen Ländern die mineralogischen Wissenschaften in seinem Sinne getrieben und gelehrt wurden, ebenso wie zahlreiche Lehrbücher der Mineralogie in deutscher, französischer und englischer Sprache, welche im letzten Drittel des 18. und im Anfang des 19. Jahrhunderts erschienen, davon Zeugnis ablegten. Die hohe Bedeutung, welche die Stätte seines Wirkens durch ihn erhielt, war die Veranlassung, daß auch an andern Orten ähnliche Anstalten gegründet wurden, so 1770 die Bergakademie (vorher Bergschule) zu Schemnitz in Ungarn, 1773 das Petersburger Berginstitut, 1775 die Bergakademie zu Clausthal am Harz und 1783 die École des mines in Paris. In Berlin, dem späteren Wohnsitz der beiden berühmtesten und einflußreichsten Schüler WERNERS, ALEX. v. HUMBOLDT und LEOP. v. BUCH, begannen 1770 auf Veranlassung Friedrichs d. Gr. Vorlesungen für Studierende des Bergfaches, welche aber auch von Angehörigen anderer Berufe besucht wurden; diejenigen über Mineralogie hielt anfangs C. A. GERHARD, der dazu einen kurzen Grundriß veröffentlichte, dann ein Schüler WERNERS, D. L. G. KARSTEN (1768—1810), welcher zugleich Leiter des 1781 gegründeten königlichen Mineralienkabinetts war, der Verfasser zahlreicher mineralogischer Schriften; bei der Gründung der Universität Berlin im Jahre 1810 gingen die Vorlesungen und das Mineralienkabinet des bisherigen „Bergeleveninstituts“ an jene über und es begann nun die Tätigkeit von CHR. S. WEISS, dessen Beziehungen zu WERNER bereits S. 62 erwähnt worden sind; eine eigene Bergakademie erhielt Berlin erst im Jahre 1860 (über deren Entwicklung auf den Bericht über ihr fünfzigjähriges Bestehen, Berlin 1910, verwiesen sei).

Das 1774 erschienene Jugendwerk WERNERS „Von den äußerlichen Kennzeichen der Fossilien“, welches schon im folgenden Jahre seine Berufung nach Freiberg veranlaßte, gibt Zeugnis von der klaren und

systematischen Denkweise des Verfassers, welche ihn zum Reformator der mineralogischen Wissenschaften gemacht hat. Der Zweck der Schrift war, die Kennzeichen, d. h. die durch die Sinne wahrnehmbaren Eigenschaften in ein System zu bringen und dadurch die präzise Beschreibung eines jeden Minerals zu ermöglichen; denn wenn auch eine einzelne dieser Eigenschaften bei manchen Mineralien ohne Bedeutung ist, z. B. der Flußspat infolge von Beimengungen ganz verschiedene Farben zeigt, so sei es eben die Gesamtheit der äußeren Kennzeichen, auf welcher die vollständige Beschreibung eines Fossils und seine Unterscheidung von den übrigen beruhe. Die Anordnung der Fossilien jedoch, das sogenannte „Mineralsystem“, müsse auf die chemische Natur der Mineralien gegründet werden, da hierin die Ursache ihrer Verschiedenheit liege. Nach einer historischen Darlegung der früher in dieser Richtung gemachten Versuche werden nun die einzelnen Kennzeichen behandelt, und zwar zuerst die Farbe. Hier sind jedoch die Farben der Metalle nicht getrennt von denen der nichtmetallischen Substanzen, denn man kannte damals noch nicht den Unterschied der Oberflächenfarbe der ersteren von der eigentlichen Körperfarbe, aber die Benennung der aufgezählten Arten von Farben sind meistens so bezeichnend, daß sie in den Beschreibungen der Mineralien bald allgemein angewendet wurden und zum Teil heute noch werden. Nach allgemeiner Besprechung des Zusammenhanges (Kohäsion) und des Aggregatzustandes, bzw. des flüssigen, zerreiblichen und festen Zustandes, wird die äußere Gestalt der festen Fossilien behandelt; wenn auch manche der für äußere Formen von Aggregaten aufgezählten Bezeichnungen ihre Brauchbarkeit behalten haben, so sind allerdings diejenigen für die regelmäßigen Gestalten durch die Fortschritte der Wissenschaft sehr bald vollständig geändert worden, denn WERNER kannte offenbar das kurz vorher erschienene erste Werk ROMÉ DELISLES damals noch nicht und war auf die ganz unzulänglichen Kristallbeschreibungen LINNÉs angewiesen. Den Schluß der hierauf folgenden Besprechung der Oberflächenbeschaffenheit bildet diejenige der Arten des Glanzes, und hier wird der metallische vom gemeinen Glanz wohl unterschieden. Auf die Behandlung des äußeren Ansehens der Fossilien folgt die ihrer inneren Beschaffenheit, Bruch (wozu auch die faserige, stengelige oder blätterige Textur gerechnet wird), ferner Durchsichtigkeit¹⁾, Strich, Härte, Biogsamkeit, Eigenschwere u. a. Kennzeichen. Das letzte Kapitel der Schrift endlich gibt die Regeln an, nach welchen die vollständige Beschreibung eines Minerals abzufassen sei, und erläutert dies an einigen Beispielen solcher Beschreibungen²⁾.

¹⁾ Was hier über die Doppelbrechung des Kalkspats gesagt wird, zeigt, daß WERNER auch die Werke von BERTHELSEN und HUYGHENS unbekannt waren.

²⁾ Die Erweiterungen und Vervollkommnungen, welche WERNER später an seinem System der äußeren Charakteristik der Fossilien vornahm, sind

Dieses Werk und die daran sich anschließende Tätigkeit WERNERS in Freiberg führten zum Beginn einer eigentlichen Mineralbeschreibung. Der erste Erfolg dieses Fortschrittes war die Trennung der einfachen (nicht gemengten) Fossilien, d. i. der eigentlichen Mineralien, von den Gesteinen, Felsarten oder, wie WERNER sie nannte, den Gebirgsarten, bei denen es nicht nur auf ihre Zusammensetzung aus einem oder mehreren Mineralien als Hauptbestandteilen und auf die Art, wie diese und die untergeordneten Gemengteile miteinander verwoben sind, die Textur, sondern auch auf die Art und Weise ankommt, wie sie am Aufbau der Erde teilnehmen. Allerdings wurden anfangs noch manche Dinge zu den Mineralien gerechnet, deren Zugehörigkeit zu den „gemengten Fossilien“ erst später erkannt wurde, wie die Tongesteine, die Kohlen, der Obsidian u. a.

Der hauptsächlichste Mangel der meisten Mineralbeschreibungen jener Zeit, nämlich aller auf krystallisierte Mineralien sich beziehenden, bestand in der Unvollkommenheit der Krystallbeschreibung, ein Mangel, dem erst im 19. Jahrhundert allmählich durch die Entwicklung der Krystallkunde abgeholfen werden konnte. Die hierdurch bewirkten Fortschritte der Mineralogie werden in dem nächsten Abschnitt über die krystallographische Untersuchung der Mineralien behandelt werden.

In den Hand- und Lehrbüchern der Mineralkunde, welche seit den Zeiten WERNERS erschienen sind, besonders in den letzteren, wurde der systematischen Beschreibung der einzelnen Mineralien, der speziellen Physiographie derselben, ein präparativer allgemeiner Teil vorangeschickt, welcher die Terminologie, d. i. die Kennzeichenlehre, enthält und in welchem die „morphologischen Eigenschaften“ in einem stetig zunehmenden Umfange zur Darstellung gelangten, so daß die Lehrbücher der Mineralogie zugleich als solche der Krystallographie betrachtet zu werden pflegten. Da die Verfasser derselben aber zum großen Teil an dem Aufbau der eigentlichen Krystallkunde keinen Anteil nahmen und sie nur von der praktischen Seite ihrer Anwendung, als Hilfswissenschaft der Mineralkunde, betrachteten, so blieben diese Darstellungen, wie in der ersten Abteilung des vorliegenden Werkes gezeigt worden ist, vielfach um Jahrzehnte gegen die Fortschritte der theoretischen Krystallographie im Rückstande, wodurch natürlich auch die Beschreibung der einzelnen Mineralien beeinflusst wurde.

Die Mineralogie wurde im allgemeinen definiert als die Kenntnis des Mineralreichs, als eine der drei beschreibenden Naturwissenschaften, und damit in eine Parallele gestellt mit der Botanik und der Zoologie. Der Begründer der Systematik des Pflanzenreichs, C. v. LINNÉ, hat dem-

zu ersehen aus dem ersten, den allgemeinen, präparativen Teil der Orykto-
gnosie enthaltenden Bande des von seinen Schülern C. A. S. HOFFMANN
und A. BREITHAUPT ausgearbeiteten „Handbuches der Mineralogie“, 4 Bde.,
Freiberg 1811—1817.

entsprechend, ebenso wie für das Tierreich, auch ein System des Mineralreichs geschaffen, in dem er die Fossilien ebenso in Klassen, Ordnungen, Gattungen und Spezies einteilt¹⁾. Hierbei wurde teilweise bereits der stofflichen Natur der Mineralien Rechnung zu tragen versucht, was bei der damaligen unvollkommenen chemischen Kenntnis derselben natürlich den größten Schwierigkeiten begegnete, so daß die verschiedenartigsten Stoffe der gleichen Ordnung, manchmal sogar derselben Gattung zugerechnet wurden. Unter Denen, welche in dieser Hinsicht zur Verbesserung des LINNÉschen Systems beitrugen, sind besonders seine Landsleute AXEL FRIEDR. v. CRONSTEDT (1722—1765), T. O. BERGMAN (1735—1784) und J. G. WALLERIUS (1708—1785) zu nennen. Mit dem Fortschreiten der chemischen Kenntnis der Mineralien wurde diese immer mehr der vorherrschende Gesichtspunkt bei der Aufstellung der sogenannten Mineralsysteme. Dasjenige WERNERS ist niedergelegt in dem auf Seite 150 Anm. erwähnten Werke von HOFFMANN und BREITHAUPT, besonders aber in der aus seinem Nachlasse durch einen anderen seiner Schüler, den um die Kenntnis der sächsischen Erzvorkommen hochverdienten, späteren Berghauptmann J. K. FREIESLEBEN (1774 bis 1846) auf oberbergamtliche Anordnung herausgegebenen Schrift „*ABR. GOTTL. WERNERS letztes Mineralsystem*“, Freiberg und Wien 1817, deren Einleitung auch wertvolle Angaben über WERNERS Leben und Wirken enthält. Inwieweit hier die chemische Kenntnis der Mineralien berücksichtigt wurde, mag der folgende kurze Auszug der letzterwähnten Schrift zeigen:

Die erste Klasse bilden die erdigen Fossilien, welche in folgende Geschlechter geteilt werden: 1. Demant-G., 2. Zirkon-G., 3. Kiesel-G. (enthält die meisten Silikate, aber auch Spinell und Korund, ferner Quarz, Opal, Obsidian, Pechstein usw.), 4. Ton-G. (außer den Ton- und Alaungesteinen auch die Sippschaft des Glimmers und des Trapps, mit der Hornblende auch den Basalt, Klingstein u. a.), 5. Talk-G. (Serpentin, Tremolith usw.), 6. Kalk-G. (Karbonate, Phosphate, Fluoride, Sulfate und Borate), 7. Barit-G., 8. Stronthian-G., 9. Hallith-G. (Kryolith). *Die zweite Klasse*, „die salzigen Fossilien“, umfaßt die Alkalikarbonate, -nitrate, -chloride und -sulfate, ferner Vitriol und Bittersalz. *Die dritte Klasse*, die „der brenzlichen Fossilien“, enthält den Schwefel, die Harze, den Graphit und die Kohlen. *Die vierte Klasse*, „die metallischen Fossilien“, besteht aus folgenden Geschlechtern: 1. Platin-G., 2. Gold-G., 3. Quecksilber-G., 4. Silber-G., 5. Kupfer-G., 6. Eisen-G., 7. Blei-G., 8. Zinn-G., 9. Wismuth-G., 10. Zink-G., 11. Spiesglas-G., 12. Silvan-(Tellur-)G., 13. Mangan-G., 14. Nickel-G., 15. Kobold-G., 16. Arsenik-G., 17. Molybdän-G., 18. Scheel-G., 19. Menak-(Titan-)G., 20. Uran-G., 21. Chrom-G., 22. Cerin-G.; mit Ausnahme der beiden ersten Geschlechter

¹⁾ Eine sehr vollständige Übersicht über die zahlreichen Versuche einer Systematik der Mineralien von der ältesten Zeit bis zur Gegenwart findet man in einer vor kurzem im Haag erschienenen Dissertation des holländischen Bergingenieurs E. H. M. BEEKMAN, „Geschiedenis der systematische Mineralogie“ (209 S.).

sind außer den gediegenen Metallen, wo solche vorkommen, auch alle Erze, einschließlich der Karbonate, bei einigen Metallen auch anderer Salze, in dem Geschlecht inbegriffen.

In dieser Einteilung ist, ebenso wie in den Systemen der Krystalle von ROMÉ DELISLE und HAÛY noch immer der Einfluß der LINNÉschen Systematik zu erkennen. Weit mehr tritt dieser hervor in den „Mineral-systemen“ derjenigen zwei Mineralogen, welche beide Schüler von WERNER, später seine Nachfolger im Lehramte wurden. Der erste Derselben, FRIEDRICH MOHS (24), vertrat in allen seinen Schriften den Standpunkt, daß die „Naturgeschichte des Mineralreichs“ ebenso behandelt werden müßte, wie die des Pflanzen- und Tierreichs; seine Beschreibungen der Mineralien zeigen aber gegenüber denen seines Lehrers einen Fortschritt darin, daß auch den Krystallformen der erforderliche Anteil zugebilligt wird. Wie S. 84 bereits bemerkt ist, wurden seine nicht durchaus glücklichen Bemühungen in dieser Richtung unterstützt und verbessert durch seinen Mitarbeiter und späteren Nachfolger WILH. HAIDINGER (25), dessen Tätigkeit es hauptsächlich veranlaßt hat, daß in Österreich reges Interesse an Mineralogie und Geologie erwuchs und eine bedeutende Schule von Mineralogen entstand, aus der hier nur die ältesten Vertreter der ersteren Wissenschaft genannt sein mögen. Es sind dies F. X. M. ZIPPE (1791—1863), A. E. REUSS (1811—1873), V. v. ZEPHAROVICH (1830—1890), G. TSCHERMAK (geb. 1836), A. SCHRAUF (1837—1897), endlich die später außerhalb Österreichs tätigen Mineralogen G. A. KENNGOTT (1818—1897) und F. ZIRKEL (1838—1912). Der zweite jener Schüler WERNERS, welcher in der Systematik auf den Traditionen LINNÉs beharrte, war AUG. BREITHAUPT (26), der diesen Standpunkt sogar dadurch zum Ausdruck brachte, daß er den einzelnen Mineralien lateinische Gattung- und Speziesnamen beilegte. Gegenüber WERNER ist jedoch bei ihm der Fortschritt zu verzeichnen, daß er zuerst die besondere Bedeutung der amorphen Mineralien beachtete und sie als „Porodine“ in eine Gattung vereinigte, welche freilich außer den Kolloiden auch Gesteinsgläser u. a. nicht zu den Mineralien gehörige Substanzen umfaßte.

Im allgemeinen trat in der Systematik die „naturhistorische“ Methode um so mehr zurück, je allgemeiner die Erkenntnis des fundamentalen Unterschiedes sich Bahn brach, welcher zwischen den Mineralien einerseits und den Pflanzen und Tieren andererseits besteht. Bei ersteren gibt es keine „Individuen“, der Gebrauch dieser Bezeichnung für einen „Krystall“ ist trotz seiner Häufigkeit ein ganz verkehrter, da ein Krystall in beliebig viele Partikel geteilt werden kann, welche sämtlich gleichartig sind. Es handelt sich vielmehr bei den eigentlichen Mineralien um einheitliche Stoffe, deren Eigenschaften von ihrer chemischen Natur abhängig sind. Die Kenntnis der Eigenschaften der Stoffe gehört nun offenbar in das Gebiet derjenigen Naturwissenschaft, welche sich mit

den Stoffen überhaupt beschäftigt, d. i. der Chemie; wenn auch in dieser der Grundsatz immer mehr sich Geltung verschafft hat, den bei Beginn der großartigen Entwicklung des Studiums der Kohlenstoffverbindungen GERHARDT zuerst aussprach, daß der Chemiker sich eigentlich nur mit den Prozessen zu beschäftigen habe, durch welche die Körper entstehen oder in andere umgewandelt werden, also mit ihrer Vergangenheit und Zukunft — so sei doch die Kenntnis ihrer Gegenwart, d. h. der Gesamtheit ihrer Eigenschaften, allerdings notwendig, weil sie gewissermaßen das Signalement liefere, durch welches man den Stoff erkenne. Von diesem letzteren Teile der Chemie (im weiteren Sinne des Wortes) bildet nun die Mineralogie einen in keiner Beziehung streng abgegrenzten Teil, denn sie beschäftigt sich mit den in der Natur als Bestandteile der festen Erdkruste beobachteten Stoffen, ihren Eigenschaften, ihrem Entstehen und ihren Umwandlungen, und die Mineralien gehören nicht einer besonderen Klasse von Stoffen an, wenn auch fast ausschließlich den sogenannten anorganischen¹⁾. Es kommt daher der Auffindung einer natürlichen Substanz, welche bis dahin nur künstlich dargestellt bekannt war, keine allgemeine wissenschaftliche Bedeutung zu, ebensowenig der Entdeckung eines neuen Minerals, außer wenn es sich um eine neues Element oder eine bisher unbekannte Klasse von Verbindungen handelt. Ein „System der Elemente“ aufzustellen, ist zwar der Chemie bereits gelungen, aber ein solches der Stoffe überhaupt würde einen mit den Fortschritten der Wissenschaft veränderlichen Charakter haben, und nach den vorstehenden Betrachtungen kann es ein „Mineralsystem“ noch weniger geben.

Der Erste, der ein solches auf rein chemischer Grundlage aufzustellen versuchte, war J. J. BERZELIUS (1779—1848), der auch zuerst den Satz aussprach, daß die Mineralogie als ein Teil der Chemie zu betrachten sei; sein „Mineralsystem“ (zuerst deutsch erschienen 1815) leidet aber an vielen Mängeln, denen auch die Änderungen desselben durch N. G. NORDENSKIÖLD (1792—1866) nur zum kleineren Teile abhelfen. Diese wurden erst beseitigt auf Grund der seit den Entdeckungen MITSCHELICHs gänzlich veränderten mineralchemischen Anschauungen von seinem Schüler G. ROSE (27) in der Schrift „Das krystallo-chemische Mineralsystem“, Leipzig 1852. In der Einleitung zu diesem Werke gibt ROSE eine meisterhafte Darstellung jener Mängel und der Schwierigkeiten für die Aufstellung eines „Systems“, welche namentlich durch die Tatsache entstehen, daß viele Mineralien isomorphe Mischungen verschiedener Verbindungen sind und denen er durch die Zusammenfassung isomorpher Reihen zu begeben sich bemühte; vor allem lieferte sein Werk

¹⁾ A. KNOP (1828—1893) bezeichnete deshalb die Mineralogie als „Anorganographie“ und nahm in sein Lehrbuch „System der Anorganographie“, Leipzig 1876, außer den eigentlichen Mineralien auch alle damals bekannten Elemente auf, andererseits aber auch einige in der Natur vorkommende organische Verbindungen.

zuerst die Gesichtspunkte für das Verständnis der Verwandtschaftsverhältnisse der wichtigsten Mineralgruppen, besonders der Silikate. Durch im wesentlichen noch heute gültige Betrachtungen stellte er die Unvollkommenheit jedes „Mineralsystems“ und seine Abhängigkeit von dem jeweiligen Stande der Chemie fest. Sein „Krystallochemisches Mineralsystem“, welches mit den Elementen beginnt und an diese die Schwefelverbindungen anschließt, ist nun die Grundlage geworden für die Anordnung der Mineralien in allen neueren Lehr- und Handbüchern, sowie in tabellarischen Zusammenstellungen derselben. Die Änderungen, welche in den einzelnen dieser Werke vorgenommen wurden, sind teils durch die Fortschritte der Mineralchemie, teils durch Erwägungen praktischer Art bedingt, also nicht von allgemeiner Bedeutung für die Entwicklung der Wissenschaft selbst und können daher in deren Geschichte ebensowenig Platz finden, wie die Entdeckung neuer Mineralien.

Das gleiche gilt auch für eine andere Frage, welche mit derjenigen der Systematik in naher Beziehung steht, nämlich für die der Nomenklatur. Abgesehen von den aus Altertum und Mittelalter stammenden griechischen, lateinischen und arabischen Namen, welche aber zum Teil eine ganz andere Bedeutung erhielten, sind in alle Kultursprachen übergegangen alte deutsche Bergmannsnamen, wie Quarz und Blende, ebenso in die Metallurgie Namen von Metallen, wie Kobalt (ursprünglich „Kobold“ wegen der Hartnäckigkeit, mit der es seiner Gewinnung widerstand). Zu WERNERS Zeiten wurden Benennungen der Mineralien nach ihren Entdeckern üblich, denen aber später auch solche folgten nach Personen, welche keinerlei Beziehung zur Mineralogie hatten (Alexandrit), ferner Namen, welche sich auf den Fundort bezogen, wobei in der Folge auch Fälle vorkamen, wie der des Milarit, dessen Fundort von dem ersten Sammler dieses Minerals absichtlich falsch angegeben wurde. Andere in Gebrauch gekommene Mineralnamen beziehen sich auf hervorsteckende äußere Eigenschaften, andere auf Bestandteile, wie Kobaltin, Zinkit usw., während natürlich für die elementaren Mineralien die Namen der betreffenden Elemente dienen. Mit dem Fortschreiten der chemischen Kenntnis der Mineralien erwiesen sich gewisse Namen sehr praktisch, z. B. der des Smaltins für diejenigen isomorphen Mischungen von FeAs_2 , CoAs_2 und NiAs_2 , in welchen das Kobalt vorherrscht, der des Chloantit für die nickelreicheren, die natürlich in der Systematik von jenen nicht getrennt werden können. Da aber ein allgemeines Prinzip für die Benennung der Mineralien nicht existiert, so hat diese Frage keinerlei Bedeutung für die Entwicklung der Mineralogie als Wissenschaft ¹⁾.

¹⁾ Näheres über die Nomenklatur der Mineralien findet man in FRANZ VON KOBELLS „Geschichte der Mineralogie von 1650—1860“, München 1864, in welcher auch die Entwicklung der Systematik eingehend berücksichtigt ist, — besonders aber in dem Werke von A. G. CHESTER, „A Dictionary of the names of Minerals including their History and Etymology“, New York 1896.

Ganz anders liegt die Sache mit der Kenntnis der Verbreitung der Mineralien. Angaben über deren Vorkommen finden sich bereits in den ältesten mineralogischen Schriften, und da diese auf den Erfahrungen des Bergbaues beruhen, so handelt es sich hauptsächlich um die Metalle und ihre wichtigsten Erze. Mit der Entwicklung des Bergwesens ging Hand in Hand auch eine solche der Kenntnis der Art des Vorkommens der Mineralien, und so sehen wir in dieser Entwicklung zugleich die Anfänge derjenigen einer späteren geologischen Spezialwissenschaft, der Lagerstättenkunde. Aus dem Freiburger Bergbau hervorgegangen ist auch die erste Beschreibung der Mineralschätze eines einzelnen Landes, die bereits S. 148 erwähnte mineralogische Geographie der kursächsischen Lande, sowie später die „Beiträge zur Mineralogischen Kenntnis von Sachsen“ (Freiberg 1817 f.) von J. K. FREIESLEBEN (1774—1846). In den während der WERNERSchen Periode erschienenen zusammenfassenden Werken über Mineralogie, wurden von einzelnen Mineralien immer mehr Fundorte aufgeführt, aber meist nicht auf Grund eigener Beobachtung und vielfach auch ohne nähere Angabe der Art des Vorkommens. Bereits im Anfang des 19. Jahrhunderts erschien eine alphabetisch nach den Mineralien geordnete Zusammenstellung der damals bekannten Fundorte (von K. C. LEONHARD) unter dem Titel „Topographische Mineralogie“. Weit wichtiger für die Entwicklung der Wissenschaft wurde der Umstand, daß in der Folge eine Reihe von Mineralogen sich der Aufgabe unterzogen, die Mineralvorkommen einzelner Gebiete zusammenzustellen.

Für Sachsen tat dies AUG. FRENZEL (1842—1902), der Nachfolger BREITHAUPTS als Lehrer an der Freiburger Bergschule, in seinem „Mineralogischen Lexikon für das Königreich Sachsen“, Leipzig 1874. Daran schließen sich für den Harz an die „Lithia Hercynica, Verzeichnis der Minerale des Harzes und seines Vorlandes“ von E. SCHULZE, Leipzig 1895, und namentlich das gründliche Werk des Halleschen Mineralogen O. LUEDECKE (1851—1910) „Die Minerale des Harzes“, Berlin 1896 (mit Atlas). Die Mineralvorkommen Westfalens und der Rheinlande sind besonders ausführlich berücksichtigt in dem Werke des größten rheinischen Geologen HEINR. v. DECHEN „Die nutzbaren Mineralien und Gebirgsarten im deutschen Reiche“ (1873); einen wichtigen Teil Westfalens betrifft die Schrift von TH. HAEGE, „Die Mineralien des Siegerlandes und der angrenzenden Bezirke“. Siegen 1887. Hieran schließen sich folgende Zusammenstellungen an: G. GREIM, „Die Mineralien des Großherzogtums Hessen“, Gießen 1894, G. LEONHARD, „Die Mineralien Badens nach ihrem Vorkommen“, Stuttgart 1876, endlich H. ARNDT, O. REIS und A. SCHWAGER, „Übersicht der Mineralien und Gesteine der Rheinpfalz“, München 1920 (herausgeg. v. d. bayer. geognost. Landesanstalt). Für die mineralogische und geologische Kenntnis des rechtsrheinischen Bayern ist das grundlegende ältere Werk M. FLURLS (1756

bis 1823) „Beschreibung der Gebirge von Baiern und der oberen Pfalz (mit den darin vorkommenden Fossilien usw.)“, München 1792; eine spätere Zusammenstellung ist gegeben in A. F. BESNARD, „Die Mineralien Bayerns“, Augsburg 1854. Für Schlesien haben Mineralogie und Bergbau größere Bedeutung erst im 19. Jahrhundert erlangt, daher neben Darstellungen einzelner Fundorte nur eine das ganze Land umfassende Zusammenstellung existiert: H. TRAUBE, „Die Minerale Schlesiens“, Breslau 1888.

Eine bedeutungsvolle Rolle spielt in der Geschichte der Mineralogie Böhmen, denn von dem für die Gewinnung der Silbererze so wichtig gewordenen Bergbau zu Joachimstal empfang AGRICOLA die erste Anregung zu seinen Werken, in Zinnwald GOETHE zu der anschaulichen Darstellung der dortigen Zinnerzlagerstätte, und die Gruben von Joachimstal erhielten in neuerer Zeit wiederum eine große Bedeutung durch die Funde der Uranerze, von deren Mannigfaltigkeit die Schrift des dortigen Bergmeisters J. F. VOGL, „Gangverhältnisse und Mineralreichthum Joachimstals“, Teplitz 1856, Kunde gibt. Von den mineralogischen Bestrebungen in diesem Lande während der letzten drei Jahrhunderte liegt eine vortreffliche und äußerst vollständige Schilderung vor in dem Buche von A. WRANÝ, „Die Pflege der Mineralogie in Böhmen“, Prag 1896. Unter den hier näher behandelten Forschern kommen an dieser Stelle besonders in Betracht: der von 1819—1849, in welchem Jahre er nach Wien berufen wurde, in Prag tätige F. H. ZIPPE, der in den Verhandl. d. Ges. d. böhm. Museums 1837—1842 eine Monographie veröffentlichte: „Die Mineralien Böhmens, nach ihren geognostischen Verhältnissen und ihrer Aufstellung in der Sammlung des vaterländischen Museums geordnet und beschrieben“; ferner A. E. REUSS, Professor der Mineralogie an der Prager Universität von 1849 an (dann seit 1863 ZIPPES Nachfolger in der gleichen Stellung in Wien), der Verfasser zahlreicher Arbeiten über böhmische Mineralien; endlich sein Nachfolger in Prag V. v. ZEPHAROVICH, dem wir neben vielen Untersuchungen über einzelne Mineralien ein zusammenfassendes Werk über die Mineralvorkommen aller Länder der früheren österreichisch-ungarischen Monarchie verdanken, das „Mineralogische Lexikon für das Kaiserthum Österreich“, dessen erster Band im Jahre 1859, der zweite, die Resultate des folgenden Zeitraums enthaltend, im Jahre 1873 erschien, während der dritte 1891 von seinem Nachfolger F. BECKE herausgegeben und dadurch das Werk zum Abschluß gebracht wurde. Von einzelnen Ländern des einstigen Kaiserstaates sind außerdem folgende Zusammenstellungen erschienen: M. J. ACKNER, „Die Mineralogie Siebenbürgens“, Hermannstadt 1855; A. KOCH, „Die Mineralien Siebenbürgens“ (ungarisch), Koloczvar 1885; A. SIGMUND, „Die Minerale Niederösterreichs“, Wien und Leipzig 1909; W. VOSS, „Die Mineralien des Herzogthums Krain“, Laibach 1895; E. HATLE, „Die Minerale des Herzogthums

Steiermark“, Graz 1885; A. BRUNLECHNER, „Die Minerale des Herzogthums Kärnten“, Klagenfurt 1884; L. v. KÖCHEL, „Die Mineralien des Herzogthums Salzburg“, Wien 1859, und E. FUGGERS Werk mit dem gleichen Titel, Salzburg 1878; L. LIEBENER und J. VORHAUSER, „Die Mineralien Tirols“, Innsbruck 1852; G. GASSER, „Die Mineralien Tirols, einschließlich Vorarlbergs und der Hohen Tauern“, Innsbruck 1913.

Die in allen Sammlungen verbreiteten krystallisierten Mineralien der Schweizer Zentralalpen waren im Laufe des 19. Jahrhunderts Gegenstand zahlreicher Untersuchungen deutscher und anderer Mineralogen; eine Zusammenstellung ihrer Fundorte, wesentlich auf der schönen WISERSchen Sammlung in Zürich beruhend¹⁾, lieferte A. KENNGOTT in seiner zurzeit schon etwas veralteten Schrift „Die Minerale der Schweiz nach ihren Eigenschaften und Fundorten ausführlich beschrieben“, Leipzig 1866.

In Italien beginnt die mineralogische Forschung erst um 1840 mit den Arbeiten von A. SCACCHI (19), die aber im eigenen Lande zunächst keinen größeren Einfluß ausübten, ebensowenig wie diejenigen QU. SELLAS (20); erst als der seit 1861, später als Nachfolger SELLAS, in Turin tätige JOH. STRUEVER (1842—1915) aus Braunschweig als Professor der Mineralogie in Rom (seit 1873) wirkte, entstand in Italien eine bedeutende Schule von Mineralogen und Krystallographen, betreffs deren Leistungen auf den Vortrag verwiesen sein möge, den der hervorragendste Vertreter derselben, F. ZAMBONINI, im Jahre 1912 unter dem Titel „La Mineralogia in Italia negli ultimi cinquanta anni“ veröffentlicht hat in den *Atti della soc. ital. p. il progr. d. sc.* (V. Riunione, Roma 1911). Eine Zusammenstellung der Mineralvorkommen Italiens enthält das vierbändige Werk von GIUGL. JERVIS, „I tesori sotterranei dell' Italia“, Torino 1873—1889.

In Frankreich war das Interesse für Mineralogie sehr viel früher wach und die Kenntnis der Fundorte einzelner Gebiete wurde, namentlich in neuerer Zeit, mehrfach gefördert, so für diejenigen der Pyrenäen und der Bretagne durch die Schriften des GRAFEN v. LIMUR zu Vannes im Morbihan, für das Lyonnais und die Auvergne durch die ausgezeichneten, namentlich auch krystallographisch wertvollen Arbeiten von F. GONNARD in Lyon, und neuerdings verdanken wir eine zusammenfassende wissenschaftliche Bearbeitung der Mineralschätze ganz Frankreichs und

¹⁾ Der Privatgelehrte DAVID FRIEDR. WISER (1802—1878) hat sich dadurch um die Kenntnis der Schweizer Mineralien hochverdient gemacht, daß er die früher nur nach „Bergkrystallen“ suchenden „Strahler“ in den Hochalpen veranlaßte, auch die übrigen krystallisierten Mineralien zu sammeln und daß er die hierdurch zu seiner Kenntnis gelangten Fundstätten durch zahlreiche Mitteilungen im *N. Jahrb. f. Min. usw.* in den Jahren 1838 bis 1872 bekannt machte.

seiner Kolonien dem Nachfolger DES CLOIZEAUX' am naturhistorischen Museum in Paris A. LACROIX in seinem Werke „Minéralogie de la France“, 5 Bde. Paris 1893—1913.

Die Vorkommen Spaniens und Portugals wurden beschrieben in A. C. TENNE und S. CALDERÓN, „Die Mineralfundstätten der Iberischen Halbinsel“, Berlin 1902, und in SALV. CALDERÓN, „Los minerales de España“ (Madrid 1908).

Für Großbritannien ist zu nennen: K. PH. GREG and W. G. LETT-SOM: „Manual of the mineralogy of Great Britain and Ireland“, London 1858; ferner für einzelne Teile der britischen Inseln I. H. COLLINS, „A Handbook to the Mineralogy of Cornwall and Devon“, London 1871, und M. FORSTER HEDDLE, „The Mineralogy of Scotland“, Edinburgh 1901, 2 Bde.

Die Mineralschätze Skandinaviens wurden im Zusammenhange zuerst bekannt gemacht durch J. F. L. HAUSMANN'S „Reise durch Skandinavien in den Jahren 1806 und 1807“, 5 Bde., Göttingen 1811—1818, sowie ferner durch C. F. NAUMANN'S „Beiträge zur Kenntnis Norwegens“, 2 Bde., Leipzig 1824, während die mineralogische Geographie von Schweden bereits seit 1790 bearbeitet wurde durch W. v. HISINGER, von dessen Werke mehrere schwedische und auch deutsche Ausgaben (von BLÖDE und von WÖHLER) existieren. In der folgenden Zeit haben sich um die Kenntnis der skandinavischen Mineralien verdient gemacht in Schweden N. G. NORDENSKIÖLD, in Norwegen TH. KJERULF und sein Nachfolger W. C. BRÖGGER, dessen Arbeiten an späterer Stelle ausführlicher betrachtet werden sollen.

Die Kenntnis der russischen Mineralien wurde begründet durch das Werk von G. ROSE, „Mineralogische und geognostische Reise nach dem Ural, dem Altai und dem Kaspischen Meere“, 2 Bde., Berlin 1837—1842. Ausführliche krystallographische Beschreibungen zahlreicher russischer Vorkommen lieferte N. v. KOKSCHAROW in seinen „Materialien zur Mineralogie Rußlands“, 11 Bde. mit Atlas, Petersburg 1853—1891; endlich sind zahlreiche Mitteilungen über russische Mineralien zu verdanken dem langjährigen Professor der Mineralogie am Berginstitut in Petersburg P. v. JEREMEJEW (1830—1899).

Zusammenstellungen der Mineralien größerer Gebiete des asiatischen Festlandes sind sonst nicht veröffentlicht worden, sondern nur solche über zwei insulare Teile Asiens, nämlich diejenige von F. GRÜNLING über die Mineralvorkommen von Ceylon in der Zeitschr. f. Kryst. u. Min. 1900, 33, 209 f. und T. WADAS „Minerals of Japan“, Tokyo 1904.

Was die Mineralien Australiens betrifft, so verdanken wir dem besten Kenner seiner Mineralschätze, Professor A. LIVERSIDGE, das wertvolle Werk „The Minerals of New South Wales“, London 1888.

Von südamerikanischen Staaten fand Brasilien eine zusammenfassende mineralogische Darstellung in W. L. ESCHWEGE, „Pluto Brasiliensis“, Berlin 1833, Peru in A. RAIMONDI, „Minéraux du Pérou“ (a. d. Spanischen übers. von MARTINET, Paris 1878). — Welche ungeheure Mannigfaltigkeit von Mineralien das silberreiche Mexiko birgt, ist zu ersehen aus dem umfangreichen, nach Provinzen geordneten Fundortskatalog, welchen 1923 das dortige geologische Institut (Bd. Nr. 41) herausgegeben hat; wissenschaftlich bearbeitet wurden allerdings bisher nur wenige Vorkommen, von denen Exemplare in die Sammlungen anderer Länder gelangten.

Im übrigen Nordamerika wurde das Interesse für Mineralogie seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts besonders erweckt durch das vortreffliche Werk von JAMES D. DANA (1813—1895), „A System of Mineralogy“, welches mehrfach aufgelegt bzw. durch Supplemente ergänzt wurde und eine Zusammenstellung der in den Vereinigten Staaten und in Kanada vorkommenden Mineralien, nach Fundorten geordnet, enthält. Ein außerordentlich reiches Material über die einzelnen Vorkommen findet sich in den Publikationen der verschiedenen geologischen Anstalten der einzelnen Staaten und besonders in denen der U. St. Geological Survey in Washington, für Kanada in denen der dortigen geologischen Landesanstalt und in den nützlichen Übersichten über die Bergwerksverhältnisse des Dominiums, welche B. T. A. BELL unter dem Titel „The Canadian Mining Manual“, Ottawa (3. Jahrg.) 1893 herausgab.

Endlich besitzen wir über das außerordentlich mineralreiche Grönland ein ausgezeichnetes modernes Werk: „Mineralogia Groenlandica“ af O. B. BØGGILD, Kjøbenhavn 1905; in der von USSING (englisch) geschriebenen Vorrede gibt Dieser einen vortrefflichen Überblick über die Entwicklung der Kenntnis der grönländischen Mineralien, worin besonders der Anteil GIESECKES, dessen Reisebericht 1878 von JOHNSTRUP herausgegeben wurde, hervorgehoben ist.

Auf Grund der im Vorhergehenden aufgezählten Werke und der zahlreichen bis gegen Ende des 19. Jahrhunderts erschienenen Arbeiten über einzelne Mineralien konnten in dem umfangreichen Handbuche der Mineralogie von C. HINTZE (1851—1916) die namentlich die krystallographischen Verhältnisse berücksichtigenden Beschreibungen der einzelnen Vorkommen eines jeden Minerals in großer Vollständigkeit gegeben werden, soweit es durch das allmähliche Erscheinen des Werkes möglich war. In den Lehrbüchern der Mineralogie sind die Angaben in dieser Hinsicht sehr verschieden: manche derselben begnügen sich mit einer Aufzählung der Fundorte, andere geben die Art des Vorkommens an, ohne indes auf die Bildung des Minerals näher einzugehen; diejenigen neuen Lehrbücher, in welchen die Art des Vorkommens bei

den einzelnen Mineralien näher berücksichtigt ist, geben auch in ihrem allgemeinen Teile einen Abriß der Lagerstättenkunde.

* * *

Ein wichtiges Hilfsmittel für das Studium der Mineralien bieten die **Sammlungen** derselben dar. Es soll deshalb diesem einleitenden Abschnitte, wenn auch nicht eine vollständige Geschichte, so doch wenigstens ein Überblick der Entwicklung des mineralogischen Sammlungs-wesens angefügt werden.

Bereits AGRICOLA war Sammler von Mineralien, denn seine Angaben über dieselben gründen sich offenbar im allgemeinen auf eigene Anschauung, und er gibt auch mehrfach an, daß er Produkte des Bergbaues nicht nur von Gruben des Erzgebirges, sondern auch von solchen anderer Bergwerksbezirke, selbst aus fernen Ländern, erhalten habe. Seiner Anregung ist jedenfalls auch die Entstehung der ersten Sammlung, von welcher eine Beschreibung vorliegt, derjenigen von KENTMANN (s. S. 148), zuzuschreiben. Mineralien, besonders rohe Edelsteine, befanden sich auch in den fürstlichen „Kunst- und Kuriositätenkammern“ jener Zeit, aber systematische Mineraliensammlungen von mehr oder weniger öffentlichem Charakter entstanden erst durch die Trennung besonderer „Naturalienkabinette“ von jenen und enthielten außer den eigentlichen Mineralien auch andere Fossilien, namentlich Gesteine und Versteinerungen; die Einrichtung getrennter geologisch-paläontologischer Sammlungen hat im allgemeinen erst im Laufe des 19. Jahrhunderts stattgefunden. Ferner muß von den älteren Mineraliensammlungen bemerkt werden, daß sie meist in der Mehrzahl ihrer Exemplare aus minderwertigen derben Stücken bestanden; erst mit dem Aufblühen der Krystallkunde trat das Bestreben mehr hervor, zur Repräsentation einer Mineralart da, wo es möglich ist, wohl krystallisierte Stücke vorzuziehen, und nur ganz wenige Sammlungen sind bis jetzt dahin vorgeschritten, isolierte Krystalle zu einer besonderen, nach krystallographischen Prinzipien geordneten Sammlung zu vereinigen.

Privatsammlungen wurden, seitdem der Bergbau einen mehr wissenschaftlichen Charakter angenommen hatte, bis zur Jetztzeit besonders häufig angelegt von Bergbeamten, denen ihre Tätigkeit günstige Gelegenheit dazu sowie zur Erweiterung ihrer Sammlungen durch Tausch mit Anderen bot. Unter den Sammlungen dieser Art war im 18. Jahrhundert besonders berühmt diejenige des sächsischen Berghauptmanns PABST VON OHAIN, von der WERNER (23) eine ausführliche Beschreibung gegeben hat; diese wurde nach dem Tode ihres Eigentümers für das naturhistorische Museum in Lissabon angekauft und gelangte nach mancherlei Schicksalen nach Rio de Janeiro, wo sie von ESCHWEGE, dem ersten Erforscher der mineralogischen und geologischen Verhältnisse Brasiliens (s. S. 160), verwaltet und durch die Funde des Landes vermehrt wurde.

Bei der Gründung der Freiburger Bergakademie (1765) wurde an derselben auch eine „oryktognostische“ Sammlung angelegt, welche unter WERNERS Leitung zu großem Umfange gelangte und nach seinem Tode vermehrt wurde durch die von ihm hinterlassene Privatsammlung, die den Stiftungsbedingungen gemäß auch heute noch als „Werner-Museum“ getrennt aufgestellt ist; im übrigen fand in Freiberg, entsprechend der durch WERNER begründeten Entwicklung der mineralogischen Wissenschaften, zuerst die Abtrennung einer eigenen „geognostischen“ Sammlung statt, welcher in der Folge auch ein besonderer Professor der Geognosie vorstand; diese setzte sich zusammen aus den Gesteinen (zu denen später auch eine paläontologische Sammlung kam) und den Belegstücken der Lagerstättenkunde, welche den Hauptgegenstand der Lehr- und Forschungstätigkeit ihres jeweiligen Vorstandes bildete; so entstand jene berühmte Sammlung der Erzlagerstätten, welche bis zur neuesten Zeit die bedeutendste und vollständigste unter allen ihrer Art war.

Neben den reichen Sammlungen der Freiburger Bergakademie war auch in der (jetzt aufgehobenen) Bergschule eine ansehnliche Sammlung vorhanden, und außerdem entstanden in Sachsen verschiedene, hauptsächlich von Bergbeamten zusammengebrachte Privatsammlungen, welche natürlich besonders vollständig in bezug auf die Vorkommnisse dieses und der benachbarten Länder waren, wie die des Bergrats RICHTER in Zwickau (jetzt städtisches Eigentum daselbst), des Oberbergrats TRÖGER in Schneeberg u. a. In der Residenzstadt Dresden wurden schon am Ende des 16. Jahrhunderts für die kurfürstliche Kunst- und Naturalienkammer die sächsischen Erze gesammelt und unter den im 18. Jahrhundert im Zwinger aufgestellten Sammlungen für Kunst und Wissenschaft spielte das „Mineralienkabinett“ bereits eine bedeutende Rolle; in der Mitte des 19. Jahrhunderts wurde es durch den Geologen H. B. GEINITZ (1814—1900), der auch ein vortrefflicher Kenner der Mineralien war, neu organisiert und eingeteilt in eine geologische, die Gesteine und die Versteinerungen enthaltende, und eine mineralogische Abteilung, letztere wieder in eine allgemeine und eine vaterländische. Außer dieser öffentlichen Sammlung ist in neuester Zeit in Dresden ein zweites mineralogisches Museum der Allgemeinheit zugänglich gemacht worden, dasjenige des Oberbergrats R. BALDAUF, dem wir auch wichtige Mitteilungen über brasilianische und grönländische Vorkommen, besonders das des Kryolith, verdanken; dieses Museum enthält auch eine besondere Krystalsammlung.

Das im Jahre 1781 gegründete königliche Mineralienkabinett in Berlin ging, wie bereits S. 149 erwähnt wurde, 1810 an die Universität und die Leitung an WEISS über, welcher seit 1823 darin unterstützt wurde durch seinen Schüler G. ROSE, und dieser folgte ihm 1859 als Direktor. Unter dem Letzteren vermehrte sich die Sammlung außerordentlich durch seine

Beziehungen zu Rußland, besonders mit uralischen und sibirischen Mineralien, durch Ankauf eines Teiles der TAMNAUSCHEN Privatsammlung (siehe unten!) und anderen Erwerbungen, besonders aber durch Schaffung einer reichen Meteoritensammlung; es wurde in mehreren Sälen der Universität eine Schausammlung aufgestellt, welche auch eine, durch manche Originale der Arbeiten G. ROSES wichtige, besondere Krystallsammlung enthielt. Nach seinem Tode (1873) wurde der berühmte Geologe und Paläontologe E. BEYRICH erster Direktor, und die Mittel der Sammlung wurden zunächst vorwiegend zur Erwerbung von Versteinerungen benutzt; der Nachfolger G. ROSES als Professor der Mineralogie, der wohl seit BREITHAUPT hervorragendste praktische Mineralog MARTIN WEBSKY (1824—1886), widmete als zweiter Direktor der Sammlung die letzten 13 Jahre seines Lebens fast ausschließlich einer gründlichen Neuordnung der Mineralbestände, einer Arbeit, welche der bald darauf erfolgenden Aufstellung in dem Neubau für die naturwissenschaftlichen Museen vorangehen mußte. Nach seinem durch die Mühseligkeiten dieser Arbeit beschleunigten Ableben wurde endlich die Trennung in zwei selbständige Sammlungen vorgenommen, aber in anderer Weise als an der Geburtsstätte der Geologie, indem die Gesteine mit den Mineralien vereinigt blieben, während die andere Sammlung zunächst wesentlich eine paläontologische wurde.

Mit dieser Änderung erfolgte in dem Neubau zugleich die Einrichtung eines „mineralogischen Instituts“ durch WEBSKYS Nachfolger C. KLEIN (1842—1907), welcher schon vorher in Göttingen ein solches geschaffen hatte und unter dessen Leitung in Berlin zahlreiche mineralogische und petrographische Untersuchungen ausgeführt worden sind. Fast ausschließlich den letzteren Zwecken diente bereits seit 1872 das von ZIRKEL gegründete Institut der Universität Leipzig, welches jedoch in neuester Zeit unter der rührigen Leitung seines Nachfolgers F. RINNE die Untersuchung der Krystalle mit dem modernen Hilfsmittel der Röntgenometrie als eine Hauptaufgabe übernommen hat. Ähnliche Institute, in welchen hauptsächlich die Petrographie gepflegt wurde, entstanden ferner in den letzten Dezennien des 19. Jahrhunderts an den Universitäten Bonn, Heidelberg, Freiburg i. B., Greifswald u. a., während besondere, von den mineralogischen getrennte, petrographische Institute nur vorübergehend bestanden an den Universitäten Straßburg i. E. (unter H. ROSENBUSCH) und München (unter E. WEINSCHENK).

Die Berliner mineralogische Sammlung erfuhr am Schlusse des vorigen und im Anfang des jetzigen Säkulums erheblichen Zuwachs durch Erwerbung zweier großer Privatsammlungen, derjenigen des österreichischen Erzherzogs STEPHAN, welche sich früher auf dessen Schlosse, der Schaumburg in Nassau, befand, und der von A. v. JANSON, dem Enkel des Bankiers F. TAMNAU (1802—1879), während Letzterer seine Hauptsammlung der Technischen Hochschule, die bis dahin eine gute Samm-

lung entbehrte, hinterließ. Dieser ausgezeichnete Sammler, dem wir manche schätzenswerte Mitteilungen über Mineralvorkommen verdanken, errichtete im Jahre 1874 an der Universität Berlin die nach ihm benannte „Tamnau-Stiftung“, mit deren Mitteln jüngere Mineralogen Sammelreisen unternehmen konnten, deren Ergebnisse in erster Linie der Berliner Sammlung zugute kommen sollten; hierdurch erhielt diese wertvolle Kollektionen aus Spanien, Ceylon, Grönland und den Vereinigten Staaten von Nordamerika. — Mit der Gründung der Berliner Bergakademie (1860) entstand auch dort eine mineralogische Sammlung, welche unter der tatkräftigen und sachkundigen Leitung des Direktors HAUCHECORNE, der zugleich die geologische Landesanstalt Preußens und der Thüringischen Staaten organisierte, einen großen Umfang und eine vortreffliche Aufstellung, auch mit einer besonderen Krystalsammlung, erhielt. An dieser Anstalt wurde ferner neben dem Dozenten der Mineralogie auch ein besonderer für die Gesteinskunde angestellt und jedem derselben die Obsorge für die betreffende Abteilung der Sammlungen übertragen.

Die vor der Gründung der Berliner Bergakademie einzige derartige Anstalt in Preußen, die Bergakademie in Clausthal am Harz, besaß ebenfalls eine nennenswerte Mineraliensammlung, welche natürlich besonders reich an den Vorkommnissen des Harzes war. In den Rheinlanden ist die bedeutendste öffentliche Kollektion diejenige der Universität Bonn, mit deren Gründung 1818 auch die des Naturhistorischen Museums im Poppelsdorfer Schloß erfolgte unter der Direktion von GOLDFUSS; die mineralogische Abteilung wurde seit 1819 geleitet durch J. J. NÖGGERATH (1788—1877), selbständiger Direktor erst seit 1849, dessen Nachfolger G. VOM RATH, dann A. v. LASAULX, H. LASPEYRES und endlich R. BRAUNS wurden, von denen der Letztere über die Geschichte des Institutes einen Bericht gegeben hat in „Die Naturwissenschaften“, Berlin 1919, S. 555—559. Die Sammlung ist besonders reich an den Mineralien und Gesteinen des niederrheinischen vulkanischen Gebietes, erfuhr aber eine bedeutende allgemeine Vermehrung 1874 durch den Ankauf der reichen Privatsammlung des Mineralienhändlers KRANTZ in Bonn, und neuerdings wurde die Meteoritensammlung durch eine aus Wien stammende Schenkung zu einer der größten auf diesem Spezialgebiete. Eine sehr reichhaltige Sammlung der Auswürflinge der Umgegend des Laacher Sees besitzt auch durch die Tätigkeit des dortigen Paters THEODOR WOLF (1841—1924¹⁾ die Abtei Maria-Laach. Endlich gehörte dem Rheinlande an die wissenschaftlich wertvollste aller Privatsammlungen, diejenige des Koblenzer Bankiers GUST. SELIGMANN (1849

¹⁾ Ein hochinteressanter Abriß des Lebens dieses ausgezeichneten und um die Kenntnis Südamerikas hochverdienten Naturforschers, z. T. nach eigenen Aufzeichnungen desselben, ist enthalten in den Sitzungsberichten der Naturwiss. Ges. Isis in Dresden 1924, V—XVI.

bis 1920), welcher nicht nur ein ausgezeichneter Mineralienkenner, sondern auch als Schüler von G. ROSE und G. VOM RATH ein verdienter Erforscher der Krystallformen und des Vorkommens, besonders der Schweizer Mineralien, war (s. den Nachruf von R. BRAUNS in Neue Jahrb. f. Min. usw. 1920, S. 366—368). Nach allgemeiner Annahme beabsichtigte SELIGMANN, seine Sammlung der rheinischen Universität zu hinterlassen; nachdem er leider ohne Testament gestorben war, haben jedoch seine Erben die vorher jedem Fachgenossen in liberalster Weise zur Verfügung stehende Sammlung abgeschlossen und neuerdings zum Verkauf ausgedoten. Unter den heutigen Verhältnissen ist wenig Hoffnung vorhanden, daß sie der deutschen Wissenschaft erhalten bleibt.

In Frankfurt a. M. ist in erster Linie zu erwähnen das Museum der 1817 gegründeten Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft, welches neben der geologischen und der paläontologisch-geologischen auch eine mineralogische und petrographische Abteilung enthält; diese leitete von 1852 bis zu seinem Tode FRIEDR. SCHARFF (1812—1881), Verfasser verschiedener Arbeiten, besonders über das Wachstum der natürlichen Krystalle. Dieser hinterließ dem Museum auch seine schöne Privatsammlung. Dem Frankfurter Juwelier FRIEDR. HESSENBERG (1810—1874) verdanken wir eine Reihe in den Abhandl. d. Senckenberg. Ges. erschienener krystallographischer Untersuchungen einzelner Mineralien; seine wertvolle hinterlassene Sammlung erwarb die Universität Halle a. d. S.

Betreffs der Geschichte der mineralogisch-geologischen Sammlungen der Universität Heidelberg sei verwiesen auf die Schrift von R. BLUM, „Das Mineralienkabinett der Universität Heidelberg“, Heidelberg 1869, betreffs der einschlägigen Sammlungen in Karlsruhe auf den „Führer durch die mineralogisch-geologische Abteilung des Großherzoglich badischen Naturalienkabinetts“ von M. SCHWARZMANN, Karlsruhe 1906. Das Naturalienkabinett in Stuttgart enthält namentlich unter den von württembergischen Missionären gelieferten Mineralien manches Wertvolle, wie z. B. die herrlichen Atacamite von Australien. Weitere Mitteilungen über die süddeutschen Sammlungen behält sich der Verfasser für eine spätere Gelegenheit vor.

An der im Jahre 1811 gegründeten Universität Breslau, welche durch die Forschertätigkeit ihres Physikers FRANKENHEIM eine so große Bedeutung für die Krystallkunde erlangt hat, wurde ein Mineralienkabinett errichtet durch C. v. RAUMER, dem als Vorstände folgten: H. STEFFENS, E. F. GLOCKER und von 1854 ab der bekannte Geolog und Paläontolog FERD. ROEMER (1818—1891), welcher in den Jahren 1865—1873 hierin unterstützt wurde durch MARTIN WEBSKY, dessen spätere Tätigkeit in Berlin S. 163 gewürdigt worden ist. ROEMER selbst verfügte aber über eine vortreffliche Mineralienkenntnis und war ein höchst anregender Lehrer der Mineralogie. Näheres über die Geschichte der Breslauer

Sammlung hat sein späterer Nachfolger C. HINTZE angegeben in dem 2. Teil der Festschrift zur Feier des hundertjährigen Bestehens der Universität Breslau, 1911.

In Böhmen, wo AGRICOLA seine Tätigkeit begann, herrschte seit jener Zeit ein Interesse am Sammeln von Mineralien, wie wohl in keinem andern Lande. Das S. 157 erwähnte Werk von WRANÝ enthält eine vollständige Geschichte der dort entstandenen Sammlungen, sowohl der öffentlichen, des böhmischen Landesmuseums, der Universität in Prag, der Bergakademie in Píbram usw., sowie der Verdienste von REUSS, ZIPPE, ZEPHAROVICH, BOŘICKÝ, VRBA, HOFMANN u. a. um diese Anstalten, — als auch der zahlreichen Privatsammlungen. Unter den letzteren war wohl die bedeutendste diejenige des Fürsten LOBKOWITZ in Bilin, welche nach dessen Tode († 1868) nach Budapest verkauft wurde und den Grundstock der mineralogischen Abteilung des ungarischen Nationalmuseums bildete; diese ist durch die Tätigkeit J. KRENNERS (1839—1920), eines der hervorragendsten praktischen Mineralogen, in die Reihe der, wenn auch nicht größten, doch der wissenschaftlich wertvollsten Europas gerückt.

Das in der Mitte des 18. Jahrhunderts gegründete kaiserliche Naturalienkabinett in Wien enthielt schon früh beträchtliche mineralogische Sammlungen, namentlich durch die Erwerbung derjenigen des Herrn VON DER NULL, welche zuerst durch MOHS (24) wissenschaftlich organisiert wurden. Seit 1851 erhielten sie einen eigenen Direktor in P. PARTSCH, dem später M. HOERNES und G. TSCHERMAK (bis 1877) folgten. Alsdann fand eine Wiedervereinigung der verschiedenen Abteilungen statt in dem großen Neubau des „k. k. naturhistorischen Hofmuseums“ unter der Oberleitung eines „Intendanten“, erst des bekannten Novarareisenden F. v. HOCHSTETTER, dann des Geologen FR. v. HAUER (s. dessen Führer d. d. k. k. nat. Hofmuseum Wien 1889). Die in fünf Sälen des palastartigen Gebäudes aufgestellten mineralogisch-petrographischen Kollektionen sind besonders ausgezeichnet durch die Meteoritensammlung, welche zu den bedeutendsten überhaupt existierenden gehört; in neuester Zeit hat man auch mit der Aufstellung einer besonderen Krystalsammlung begonnen. Neben diesem großen öffentlichen Museum waren 1835 durch MOHS die Anfänge einer zweiten, zunächst für den Unterricht der Bergeleven bestimmten Sammlung, in der k. k. Hofkammer für Münz- und Bergwesen entstanden, welche seit 1840 durch HADINGER (25) als „montanistisches Museum“ organisiert wurde. Aus dieser Einrichtung ging im Jahre 1849 die k. k. geologische Reichsanstalt hervor, worüber deren erster Direktor W. v. HADINGER in seiner Schrift „Das k. k. montanistische Museum“ im Jahre 1869 einen sehr ausführlichen Bericht veröffentlichte. So besitzt jetzt Wien in dieser Anstalt ein zweites, namentlich für die Lagerstätten der Mineralien und deren Verbreitung in Österreich sehr wichtiges Museum, in welchem

übrigens auch die schöne Sammlung von Krystallen chemischer Produkte aufgestellt ist, welche C. v. HAUER (s. S. 131) während seiner Tätigkeit als Vorstand des chemischen Laboratoriums der geologischen Reichsanstalt zusammenbrachte. Endlich besaß auch die Universität Wien ein mineralogisches Museum, welches in den letzten Jahrzehnten des vorigen Jahrhunderts von A. SCHRAUF († 1897) geleitet wurde und auch jetzt noch in dem später unter C. DÖLTERS Direktion stehenden mineralchemischen Institut sich befindet. — Nach seinem Rücktritt von der Direktion des Hofmuseums richtete G. TSCHERMAK eine eigene Sammlung für seine Lehrtätigkeit ein (zurzeit in dem „mineralogisch-petrographischen Institut“ der Universität unter der Leitung seines Nachfolgers F. BECKE).

Neben den Mineraliensammlungen in Wien, zu denen auch eine Reihe wertvoller privater gehörten, haben diejenigen der alpinen Kronländer eine nicht geringe Bedeutung erlangt. Die älteste von diesen ist die von MOHS gegründete im Joanneum in Graz (24), in mustergültiger Weise eingeteilt in eine allgemeine (systematische) und eine solche der steiermärkischen Lagerstätten, welche letztere sogar einige in Wien nicht vorhandene Vorkommen enthält. Die Mineralien Kärntens sind sehr reich vertreten in der vortrefflich aufgestellten Landessammlung in Klagenfurt, wo außerdem der Direktor der österreichischen Montangesellschaft F. SEELAND eine ausgezeichnete Sammlung zusammenbrachte, in welcher sich z. B. die bisher noch nicht chemisch untersuchten, von ZEPHAROVICH beschriebenen einzigen Krystalle des Ullmannit von Lölling befinden (nach dem Tode SEELANDS sind seine Sammlungen leider zum größten Teile in den Handel gelangt). Die vollständigste Sammlung der Mineralien von Salzburg verdankt dieses Kronland den langjährigen Bemühungen des um seine Geologie und Landeskunde überhaupt hochverdienten Direktors des Landesmuseums in Salzburg E. FUGGER (1842 bis 1919). Weniger vollständig sind die Tiroler Mineralien vertreten in der öffentlichen Sammlung im Ferdinandeum in Innsbruck; dagegen sind in dieser Stadt mehrere bedeutende Privatsammlungen entstanden, in früherer Zeit die von LIEBENER und VORHAUSER, von denen die erstere nach seinem Tode an die Harvard-Universität in Cambridge Mass. (Vereinigte Staaten von Nordamerika) verkauft worden ist, später diejenige des Bergrats J. C. v. HOHENBALKEN (jetzt in der mineralogischen Staatssammlung in München).

Die bedeutendste Sammlung in der Schweiz ist diejenige des eidgenössischen Polytechnikums in Zürich, namentlich seitdem sie durch die herrliche WISERSche Sammlung (s. S. 158) vermehrt worden ist: doch besitzt auch das Museum in Bern reiche Schätze, besonders aus den sogenannten Krystallkellern des Berner Oberlandes; endlich sind die Schweizer Mineralien ebenfalls sehr gut vertreten in Basel.

In Frankreich sind auch die mineralogischen Sammlungen wie alle wissenschaftlichen Hilfsmittel wesentlich in Paris konzentriert. Die

älteste ist die im naturhistorischen Museum befindliche, seit dem Ende des 18. Jahrhunderts eine besondere Abteilung bildend, deren Leiter während längerer Zeiträume waren: HAÛY, BROGNIART, DUFRÉNOY, DELAFOSSE und DES CLOIZEAUX (bis 1893); eine lange Galerie enthält neben der umfangreichen systematischen Sammlung mehrere Spezialkollektionen, unter denen diejenige der Meteoriten weitaus die wertvollste und eine der bedeutendsten überhaupt ist; in einem Vorsaal ist die HAÛYSche Sammlung mit dessen eigenhändigen Etiketten und diejenige der Krystallmodelle von ROMÉ DELISLE aufgestellt. Nach dem Tode DES CLOIZEAUX' gründete sein Nachfolger LACROIX in der Nähe des Museums ein mineralogisches Laboratorium, aus welchem, wie aus den ähnlichen deutschen Instituten, vorwiegend petrographische Arbeiten hervorgegangen sind. Um dieselbe Zeit wurde auch in dem Neubau der Sorbonne durch HAUTEFEUILLE ein mineralogisches Laboratorium eingerichtet, welches besonders der Mineralsynthese gewidmet war, einem in Paris seit der Mitte des 19. Jahrhunderts mit großem Erfolge gepflegten Forschungsgebiete, das an einer späteren Stelle zu besprechen ist. Neben der Sammlung des Museums entwickelte sich an der 1783 gegründeten Bergakademie eine mineralogische Sammlung, welche im Laufe des 19. Jahrhunderts zu einer der bedeutendsten und vollständigsten aller überhaupt existierenden wurde; diese verdankt ihre wertvollste Vermehrung in älterer Zeit dem Ankauf der von LÉVY beschriebenen HEULANDSchen Privatsammlung und in neuerer Zeit der testamentarischen Schenkung derjenigen von ADAM; unter ihrer langjährigen Leitung durch den berühmten Chemiker CH. FRIEDEL, der hier in einem bescheidenen Arbeitsraume seine Forschungen vornahm, wurde auch die ausgezeichnete Sammlung der von der französischen mineralchemischen Schule hergestellten synthetischen Produkte aufgestellt; in neuester Zeit ist durch DE LAUNAY auch eine Lagerstättenammlung geschaffen worden. Die Universitätsstädte der französischen Provinzen besitzen wohl auch besondere mineralogische Sammlungen, welche aber an Bedeutung gegen die der Hauptstadt sehr zurücktreten; erwähnenswert wäre diejenige des naturhistorischen Museums in Lyon wegen ihrer Schaustücke der älteren Vorkommen von Chessy. Eine große Privatsammlung, die des Grafen v. LIMUR, befand sich in Vannes (Morbihan) und gelangte später an ein geistliches Institut in Rennes, eine zweite war die von GUYOT DE GRANDMAISON in Bergerac (Dordogne).

Wegen der spanischen Sammlungen, welche hauptsächlich in dem naturhistorischen Museum zu Madrid untergebracht sind, muß auf die S. 159 erwähnten Werke verwiesen werden.

In England war das Interesse für die Mineralien früh erwacht und durch den dortigen Aufenthalt von MOHS (24) und HÄIDINGER (25) befördert worden. Seit der im 18. Jahrhundert erfolgten Gründung des „British Museum“, in welchem alle wissenschaftlichen und Kunstsamm-

lungen vereinigt waren, enthielten dieselben auch solche von Mineralien und Gesteinen, deren Umfang stetig wuchs; eine besondere Leitung durch einen Fachmann erhielten sie jedoch erst 1857 durch die Ernennung von STORY MASKEYLYNE zum „Keeper of Minerals“, unter dem die Sammlung durch zahlreiche Erwerbungen, von denen die bedeutendsten die der Privatsammlungen von ALLAN (durch ihren späteren Besitzer GREG noch vermehrt) und von KOKSCHAROW waren, zu dem Range der größten und wertvollsten in Europa aufstieg und eine entsprechende Aufstellung in dem Neubau des „Natural History Museum“ in S.-Kensington gefunden hat. Dadurch, daß nur Schaustücke unter Glas sichtbar gemacht und die übrigen Bestände darunter in Schubläden untergebracht wurden, war es möglich, die umfangreiche systematische Sammlung in einem einzigen, allerdings einen ganzen Flügel des kolossalen Gebäudes einnehmenden Saale unterzubringen, an dessen Seitenwänden außerdem folgende Spezialsammlungen aufgestellt sind: eine terminologische Sammlung, eine solche von Krystallen (auch chemischer Produkte), diejenigen der Krystallmodelle und der Pseudomorphosen; endlich schließen sich hier und an dem den Abschluß dieses Flügels bildenden geräumigen Pavillon die Gesteine an, während den Hauptteil dieses letzteren Raumes die Meteoritensammlung, die vollständigste und größte überhaupt existierende, einnimmt. Den Zweck des Britischen Museums, die öffentliche Belehrung, erfüllt in der vorbildlichsten Weise noch eine zweite Einrichtung in London, das an die geologische Landesanstalt angegliederte Museum der praktischen Geologie in der Jermyn St., um dessen Organisation sich besonders F. W. RUDLER verdient gemacht hat; hier sind neben den mineralischen Rohstoffen die Zwischen- und Endprodukte ihrer technischen Verarbeitung aufgestellt, z. B. neben den Erzen des Kupfers und Zinns deren Legierungen bis zu den schönsten Kunstgegenständen aus Bronze, neben den Tonmineralien die Produkte der Keramik von denen des Altertums bis zu den feinsten echten Porzellanen der Neuzeit. In diesem Museum ist auch die demselben vermachte schöne LUDLAMsche Mineraliensammlung aufgestellt.

Neben den reichen Sammlungen der Hauptstadt treten natürlich diejenigen der englischen Universitätsstädte sehr zurück; dafür waren sie früher die hauptsächlichsten Stätten der kristallographischen und mineralogischen Forschung. In Cambridge, wo die Sammlung von BROOKE, dem Mitarbeiter MILLERS, aufbewahrt wird, arbeiteten der letztere und nach ihm sein Nachfolger LEWIS u. a. Von Oxford aus regte MASKEYLYNE die Pflege der physikalischen Krystallographie an und sein Nachfolger MIERS gründete daselbst ein Laboratorium, aus welchem die schönen, S. 125 erwähnten Untersuchungen über das Wachstum der Krystalle hervorgegangen sind. In Edinburgh, wo das Studium der optischen Eigenschaften der Krystalle durch den Physiker BREWSTER so erfolgreich betrieben wurde und wo später auch auf dem Gebiete der

chemischen Krystallographie von dortigen Chemikern Wertvolles geleistet worden ist, blieb die Mineralogie bis heute ohne eine Vertretung durch einen Fachmann als Professor derselben. Dagegen begann schon unter MASKELYNE und wurde besonders von seinem Nachfolger FLETCHER und dessen Schülern fortgesetzt die Ausnutzung der reichen Schätze des Britischen Museums für die wissenschaftliche Forschung, welche sich, entsprechend dem Bestande der Sammlung, mit besonderer Vorliebe dem Studium der Meteoriten zuwandte, die aber auch für die krystallographische und chemische Kenntnis der Mineralien reiche Ergebnisse geliefert hat, über welche an späterer Stelle zu berichten sein wird.

Von den skandinavischen Sammlungen sei zuerst erwähnt das mineralogische Museum in Kopenhagen, mit welchem 1860 dasjenige der dortigen Universität vereinigt wurde unter der Leitung von J. F. JOHNSTRUP (1818—1894), dem N. V. USSING (1864—1911) und endlich O. B. BØGGILD (s. S. 160) folgten. Diese Sammlung ist weitaus die vollständigste derjenigen der Mineralien von Grönland und enthält den größten Teil des seit Beginn des 19. Jahrhunderts von den Grönlandforschern gesammelten Materials. Für die Mineralien Norwegens ist die reichste Sammlung diejenige in Kristiania, besonders durch die Tätigkeit TH. KJERULFS (1825—1888) und seines Nachfolgers W. C. BRØGGER, für die schwedischen Mineralien das Reichsmuseum in Stockholm, in welchem auch die schöne Privatsammlung des bis vor kurzem an ihrer Spitze stehenden HJ. SJÖGREN (1856—1922) aufgestellt ist. Die Sammlungen der einheimischen Mineralien in Finnland sind besonders durch die Tätigkeit des älteren NORDENSKJÖLD und WIJKS zusammengebracht worden.

Unter den russischen Sammlungen sollen hier nur die in Petersburg befindlichen berücksichtigt werden, von welchen die größte und vollständigste diejenige des bereits am Ende des 18. Jahrhunderts gegründeten Berginstituts ist, an deren Vermehrung in neuerer Zeit besonders gearbeitet haben P. v. JEREMEJEW (s. S. 159) und der langjährige Vorstand der Sammlung Prof. A. LOESCH, dem in neuester Zeit kein Geringerer als E. v. FEDOROW folgte. Eine sehr wertvolle mineralogische Sammlung besitzt ferner die Akademie der Wissenschaften, welche auch die reiche Privatsammlung des Herzogs NIK. v. LEUCHTENBERG (des Sohnes von MAX. v. LEUCHTENBERG, dessen berühmte Mineraliensammlung Eigentum des bayerischen Staates geworden ist) erhalten hat. Endlich ist nicht unbedeutend auch das mineralogische Museum der Universität, welches außerdem ein Institut zur Untersuchung namentlich der chemischen Zusammensetzung der Mineralien enthält.

Über die in Asien und Australien vorhandenen Sammlungen sind nähere Angaben nicht zur Verfügung; ebenso fehlen sie für einen großen Teil von Südamerika. Dort hat wohl am frühesten das Interesse am

Sammeln von Mineralien begonnen in Brasilien, da schon am Anfang des 19. Jahrhunderts eine deutsche Mineraliensammlung dahin gelangte und durch die einheimischen Vorkommen ergänzt wurde (s. S. 160); bei dem großen Mineralreichtum nicht nur dieses Landes, sondern auch Argentiniens, Chiles und Perus sind zweifellos in diesen Ländern bedeutende öffentliche Sammlungen vorhanden, wie dies auch der Fall ist für das an Silbererzen so reiche Mexiko (s. S. 160).

Weit besser sind in Europa bekannt die mineralogischen Sammlungen in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. In der Bundeshauptstadt Washington ist der Sitz der „U. St. Geological Survey“, in deren Publikationen zahlreiche Abhandlungen über die Mineralvorkommen Nordamerikas enthalten sind und deren Tätigkeit das Zuströmen reichen Materials an Belegstücken dieser Vorkommen bewirkt hat. Die so entstandenen Sammlungen bilden nun vereinigt mit zahlreichen Erwerbungen und großartigen Schenkungen einen beträchtlichen Teil des der „Smithsonian Institution“ unterstellten „U. St. National Museum“, welches besonders durch die Tätigkeit der Kuratoren G. P. MERRILL und W. TASSIN seine Organisation erfuhr. In mineralogischer Beziehung wird diese Anstalt nur an Reichtum und Vollständigkeit erreicht, vielleicht sogar übertroffen, durch das naturhistorische Museum in New York, seitdem dieses die wertvollste Privatsammlung Nordamerikas, die von BEMENT in Philadelphia, erworben hat. Bedeutende Sammlungen besitzen ferner mehrere Universitäten der Vereinigten Staaten, wie Harvard in Cambridge, Mass., Yale in New Haven, Conn., wo sich die ausgezeichnete „Brush-Collection“ befindet, die Columbia University in New York u. a. Recht groß und in neuester Zeit erheblich zunehmend ist endlich auch die Zahl der Privatsammlungen. An Vollständigkeit der Vertretung der Vorkommen, namentlich der nutzbaren Mineralien Nordamerikas war, bis dahin unerreicht die von dem bekannten Mineralstatistiker D. DAY organisierte Ausstellung im „Mining Building“ der „Columbian World Exhibition“ in Chicago 1893, zu der die geologischen Anstalten der Vereinigten Staaten und Kanadas, wie zahlreiche industrielle und private Institutionen beitrugen und von welcher ein Teil in Chicago verblieb und in dem dortigen „Field-Museum“ aufgestellt wurde.

Mit mehreren der im vorstehenden erwähnten Anstalten sind auch Stätten wissenschaftlicher Forschung verbunden, so mit der „U. St. Geological Survey“ ein Laboratorium unter der Leitung des berühmten Geochemikers F. W. CLARKE, über dessen Leistungen an späterer Stelle zu berichten sein wird, ebenso wie über die aus der Arbeitsstätte von J. und E. S. DANA, G. J. BRUSH und S. PENFIELD in New Haven hervorgegangenen, für die Mineralchemie äußerst wichtigen Untersuchungen.

In Kanada liegen die Sammlungsverhältnisse ähnlich wie in den Vereinigten Staaten. Die geologische Landesuntersuchung in Ottawa

besitzt die vollständigste Vertretung, namentlich der nutzbaren Mineralien des Dominiums, eine recht gute auch die Sammlung der Universität Montreal.

In einigen der in den verschiedenen europäischen und amerikanischen Ländern erschienenen Schriften über die dortigen mineralogischen Sammlungen sind auch Angaben über die geeignetste Art der Zusammenbringung, Ordnung, Aufstellung und Konservierung solcher Sammlungen enthalten; eine allgemeine, namentlich für den Privatsammler bestimmte Anleitung dazu wurde erst in neuester Zeit geliefert in dem Werke von W. BRENDLER, „Mineraliensammlungen, ein Hand- und Hilfsbuch für Anlage und Instandhaltung mineralogischer Sammlungen“, Leipzig 1908.

Durch eigenes Sammeln von seiten des Besitzers können natürlich nur die Mineralien beschränkter Gebiete zusammengebracht werden, deren Vervollständigung aus anderen Fundorten, abgesehen von Schenkungen, nur auf zwei Wegen möglich ist, dem des Tausches mit anderen Sammlungen und dem des Kaufes. Mit dem Sammlungswesen steht daher in innigster Beziehung der Mineralienhandel, und mehrfach sind Vertreter der mineralogischen Wissenschaften, teils vorübergehend, teils dauernd in letzterem tätig gewesen; so war ein ausgezeichnete Forscher auf dem Gebiete der Krystalloptik, der Zivilingenieur ÉMILE BERTRAND (1844—1909), Inhaber eines „Comptoir minéralogique“ in Paris, der vor kurzem verstorbene vortreffliche Mineralchemiker F. PISANI ebendort Leiter eines Privatlaboratoriums für Anfertigung von Mineralanalysen.

Die älteste Mineralienhandlung ist die amtliche Mineralienniederlage an der Königlichen Bergakademie in Freiberg, welche noch zu Lebzeiten WERNERS gegründet wurde, um der dortigen Sammlung das Vorkaufrecht auf die von auswärts eingehenden Mineralien zu sichern. Bald darauf entstand auch in Heidelberg ein „Mineralien-Comptoir“, welches aber einen völlig privaten Charakter hatte, und nicht viel später das Geschäft von SEIFERT in Teplitz, welches namentlich in der Mitte des 19. Jahrhunderts einen bedeutenden Handel mit den böhmischen Vorkommen trieb. Zu der letztgenannten Zeit wurde in Berlin die Mineralienhandlung von F. KRANTZ gegründet, welche später nach Bonn verlegt und dort zu dem größten Geschäft auf diesem Gebiete geworden ist. Neben dieser Weltfirma haben im 19. Jahrhundert noch Bedeutung erlangt das Mineralienkontor von GREBEL & WENDLER in Genf, dasjenige von STUER in Paris, mehrere andere in Wien und in London, sowie die auch durch eine Filiale in Paris vertretene Handlung von C. FOOTE in Philadelphia; in Nordamerika, wo in neuester Zeit das Interesse am Sammeln von Mineralien außerordentlich zugenommen hat, sind eine Anzahl neuer Firmen entstanden, wie aus dem Anzeigenteil der in New York erscheinenden Zeitschrift „The American Mineralogist“ zu ersehen ist.

Entwicklung der krystallographischen Kenntnis der Mineralien. * Erweiterung der Physiographie durch die mikroskopische Untersuchung.

Zu derselben Zeit, als WERNER durch seine Kennzeichenlehre die Beschreibung der Mineralien begründete, schuf ROMÉ DELISLE die ersten brauchbaren Beschreibungen ihrer Krystallformen; dessen Werk wurde fortgesetzt durch HAÜY, dabei aber mit einer Theorie verflochten, welche sich in der Folge als unhaltbar erwies. Es bleibt jedoch das unbestreitbar große Verdienst des Letzteren, in dem speziellen Teile seines im Jahre 1801 erschienenen „*Traité de Minéralogie*“ (S. 53) bei der Beschreibung der krystallisierten Mineralien den Krystallformen die ihnen gebührende Bedeutung verschafft und damit einen wesentlichen Mangel der WERNERSchen Methode beseitigt zu haben. Infolge dieses Fortschrittes der beschreibenden Mineralkunde konnte HAÜY zahlreiche in der Natur vorkommende Stoffe erheblich richtiger charakterisieren, als es bis dahin geschehen war, und seine verbesserte Methode der Beschreibung wurde von da ab die maßgebende in den meisten Lehr- und Handbüchern, von denen manche, wie auch die von WERNERS Nachfolgern veröffentlichten, ebenfalls zahlreiche eigene Beobachtungen der Verfasser über die Eigenschaften der einzelnen Mineralien enthielten.

Weit überholt wurde aber das Werk HAÜYS sehr bald durch dasjenige seines Landsmanns ARMAND LÉVY (28), welcher im Jahre 1820 nach London kam und dort begann im Auftrag von HEULAND eine Beschreibung von dessen Privatsammlung zu verfassen, bei welcher Arbeit er diese offenbar an vortrefflich krystallisierten Exemplaren der damals bekannten Mineralien außerordentlich reiche Sammlung dazu benutzte, sorgfältige Messungen mit dem Reflexionsgoniometer vorzunehmen und sich dadurch in den Stand setzte, seiner Beschreibung der einzelnen Mineralien viel genauere und reichhaltigere Angaben über die Krystallformen hinzuzufügen, als es HAÜY möglich gewesen war. Da damals in England die Arbeiten von WEISS noch nicht bekannt waren (vgl. S. 76 Anmerk.), so behielt natürlich LÉVY bei der Beschreibung der einzelnen Mineralien die Methode HAÜYS bei, namentlich auch dessen Art der Ableitung der Formen und ihrer Symbole, nur daß er die letzteren in eine geeignetere Form brachte, in welcher sie von da ab in Frankreich üblich wurden. Infolge von Mißhelligkeiten zwischen LÉVY und HEULAND bzw. TURNER, welcher Letzterer inzwischen die Sammlung gekauft hatte, verzögerte sich die Herausgabe des 1827 bis auf einen Teil der Tafeln vollendeten Werkes noch um ein weiteres Jahr-

zehnt, und dasselbe erschien erst 1837, leider ohne die Tabellen der zahlreichen Winkelmessungen und mit einer Vorrede der Eigentümer der Sammlung, welche allerdings die Veranlassung zu der Arbeit gegeben und sie ermöglicht hatten, denen aber für die wissenschaftliche Leistung LÉVYs offenbar jedes Verständnis fehlte¹⁾. Um einen Begriff von der Größe des Fortschrittes in der krystallographischen Kenntnis der Mineralien zu geben, welchen dieses Werk enthält, genügt es, einige Beispiele anzuführen. Während HAÜY alle rhomboedrischen Karbonate zu einer Gattung zusammenfaßte auf Grund der von ihm angenommenen Identität ihrer Primitivform, werden sie bei LÉVY getrennt bei den verschiedenen darin enthaltenen Metallen und jedes mit dem ihm zukommenden Winkelwerte des Grundrhomboeders aufgeführt; bei dem zunächst auf den Kalkspat folgenden Dolomit wird angegeben, daß der Rhomboederwinkel ungefähr in der Mitte liege zwischen den etwa 2° voneinander abweichenden des Calcit und des Magnesit, daß ferner seine Formen und Zwillingsbildungen wesentlich von denen des Kalkspats abweichen, vor allem aber seine Symmetrie eine andere sei, indem die Skalenoeder nur als Rhomboeder dritter Art auftreten. Ebenso erkannte LÉVY den geringeren Grad der Symmetrie, als er von HAÜY angenommen worden war, beim Apatit wie beim Scheelit und zeigte in vortrefflichen, seitdem in alle mineralogischen Werke übergegangenen Figuren die für die Zugehörigkeit jeder dieser Mineralien zur betreffenden Symmetrieklasse bestimmenden Kombinationen. Daß dieser ausgezeichnete Beobachter aber auch in theoretischer Beziehung vollkommen selbständig dachte, beweist die Zurückweisung der unglücklichen Theorie HAÜYs zur Erklärung der Krystallformen des Flußspats, als dessen richtigere Primitivform er den Würfel bezeichnet.

Außer den Werken von ROMÉ DELISLE, HAÜY und LÉVY, welche die Gesamtheit der damals bekannten krystallisierten Mineralien umfassen, haben zur Kenntnis der in der Natur sich findenden Krystalle auch wesentlich beigetragen mehrere Arbeiten, die sich mit den Mineralien eines beschränkten Gebietes, d. h. den durch die besondere Art ihres Vorkommens infolge mehr oder weniger gemeinsamer Weise ihrer Bildung miteinander verbundenen Stoffen, beschäftigen. Hierzu gehören besonders die Mineralien des Vesuv, dessen Produkte durch ihre Mannigfaltigkeit und Schönheit der Krystallisation schon früh die Aufmerksamkeit der Krystallographen auf sich gezogen haben, besonders seit

¹⁾ Der vollständige Titel des Werkes ist: „Description d'une collection de minéraux, formée par M. HENRI HEULAND, et appartenant à M. CH. HAMPDEN TURNER, de Rooksnest (Surrey)“, par A. LÉVY. Trois Vol. a. u. Atlas d. 83 Pl., Londres 1837. Die Figuren dieser 83 Tafeln, von denen der größte Teil von LÉVY selbst unter Anwendung der in HAÜYs Krystallographie (s. S. 56) beschriebenen Methode gezeichnet worden ist, gehören zu den besten, welche überhaupt existieren.

dem Erscheinen des „*Prodromo della Mineralogia vesuviana*“ von N. COVELLI und T. MONTICELLI, und die im Laufe des 19. Jahrhunderts das Material lieferten für eine Reihe wichtiger kristallographischer Entdeckungen, wie z. B. die der merkwürdigen kristallochemischen Verhältnisse der Humitgruppe u. a. Im Mittelpunkt aller dieser Forschungen stand die Tätigkeit von ARCANGELO SCACCHI (19), welcher bereits 1839 die ersten Resultate seiner Studien der Akademie der Wissenschaften in Neapel vorlegte und diesen nach und nach eine Reihe von Arbeiten folgen ließ, durch die in erster Linie die Kenntnis der Mineralien des Vesuv und des Mte. Somma begründet worden ist; mehrfach, zuletzt im Jahre 1889, hat er seine Resultate zu „*Katalogen der Vesuvmineralien*“ zusammengefaßt. Noch zu seinen Lebzeiten wurden auch von anderen Forschern wichtige Beiträge zur kristallographischen Kenntnis der am Vesuv vorkommenden Mineralien geliefert, ganz besonders von G. VOM RATH, von dessen Arbeiten nur genannt sein mögen diejenigen über die Feldspäte und über den Leucit, von denen die letztere den Ausgangspunkt bildete für die Erforschung der besonders interessanten Verhältnisse dieses Minerals (s. S. 118). Schließlich hat FERUCCIO ZAMBONINI, dem wir ebenfalls eine Reihe von Untersuchungen vesuvischer Mineralien verdanken, die Resultate aller bisherigen zusammengefaßt in seiner „*Mineralogia vesuviana*“ (Preisschrift d. Akad. d. Wiss. zu Neapel 1910). Ähnliche mineralogische und geologische Verhältnisse, wie die Umgegend von Neapel, bietet das Gebiet der erloschenen Vulkane südlich von Rom, das Albaner Gebirge, dar, über dessen Mineralien J. STRÜVER eine Reihe vortrefflicher kristallographischer Untersuchungen angestellt hat.

Ein zweites Gebiet, dessen Mineralreichtum sehr früh zur Bearbeitung angeregt hat, ist das der syenitischen Gänge im südlichen Norwegen (vgl. S. 159); dieses Vorkommen erfuhr in neuerer Zeit eine monographische Bearbeitung in dem Werke von W. C. BRÖGGER, „*Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge der südnorwegischen Augit- und Nephelinsyenite*“ Leipzig 1890, dessen Bedeutung für die Lagerstättenkunde erst im nächsten Abschnitt gewürdigt werden kann. Hier ist nur zu erwähnen, daß dieses Werk die Beschreibungen von nicht weniger als 73 verschiedenen Mineralien enthält, von denen eine beträchtliche Anzahl die Resultate ausführlicher und mustergültiger kristallographischer Untersuchungen darbietet, so diejenigen über die interessanten Zwilingsverwachsungen beim Hydrargillit und Leukophan, sowie die Beschreibungen der Krystallformen einer Anzahl neuer oder bis dahin nur unvollkommen untersuchter Mineralien. In dem allgemeinen Teile sind auch die früheren Arbeiten über die mineralogischen und geologischen Verhältnisse des Kristianiagebietes eingehend besprochen. Vergleichsweise sind ferner die unter ganz ähnlichen geologischen Verhältnissen vorkommenden Mineralien von Grönland berücksichtigt, welche später

in dem S. 160 erwähnten Werke von BØGGILD ihre Bearbeitung gefunden haben. Außer jenem Werke hat BRÖGGER, zum Teil in Verbindung mit seinen Schülern, auch die Mineralien anderer norwegischer Vorkommen zum Gegenstande seines Studiums gemacht, besonders diejenigen der granitischen Pegmatitgänge.

Die letzteren als Fundstätten mannigfacher krystallisierter Mineralien sind ferner seit langer Zeit bekannt in Schweden und Finnland und haben zu zahlreichen krystallographischen Untersuchungen das Material dargeboten, jedoch keine so umfassende monographische Bearbeitung gefunden, wie die norwegischen. Dasselbe gilt auch von den außerordentlich mineralreichen uralischen Pegmatitgängen, von denen einzelne Mineralien in krystallographischer Hinsicht eingehend untersucht wurden zuerst von G. ROSE, dann von KOKSCHAROW und anderen russischen Forschern (vgl. S. 159), denen wir auch die Kenntnis der prachtvollen Krystalle der granitischen Pegmatite Ostasiens hauptsächlich verdanken. Einen großen Reichtum an Minerallagerstätten dieser Art besitzt Nordamerika, über welche namentlich in den Publikationen der geologischen Anstalten der Vereinigten Staaten und Kanadas zahlreiche und zum Teil sehr umfangreiche Arbeiten vorliegen; dazu kommt eine beträchtliche Anzahl krystallographischer Untersuchungen einzelner Mineralien von seiten zahlreicher europäischer und nordamerikanischer Forscher. Eine größere Reihe von neuen Mineralien, welche sich als besonders wichtig und interessant in krystallochemischer Hinsicht erwiesen, nämlich die von Brancheville in Connecticut, wurden 1878 im Zusammenhange beschrieben durch G. J. BRUSH und E. S. DANA. Endlich sind in neuester Zeit viele interessante krystallisierte Mineralien bekannt geworden aus den Pegmatitgängen der Insel Madagaskar durch die Untersuchungen von A. LACROIX.

Das Material für die Erforschung der krystallographischen Verhältnisse der Mineralien haben besonders noch zwei andere Arten von Lagerstätten dargeboten, die sogenannten Mineralklüfte der Zentralalpen und die Kontaktbildungen in Sedimentgesteinen an ihrer Begrenzung gegen Eruptivmassen nebst den verwandten Einlagerungen in den krystallinen Schiefergesteinen. Auf die wichtigsten mineralogischen Arbeiten über diese und die pegmatitischen Lagerstätten kann erst im nächsten Abschnitt eingegangen werden.

Außer den im vorhergehenden erwähnten zusammenfassenden Werken kommen hier in Betracht krystallographische Monographien einzelner Mineralien oder Mineralgruppen, in weitaus größter Anzahl aber Untersuchungen, welche nur die Krystallformen eines einzelnen Vorkommens oder, was meist gleichbedeutend ist, die eines neu entdeckten Minerals betreffen.

In eine den Gesetzen der Krystallkunde entsprechende Form gebracht, d. h. mit der Angabe der Symmetrie, mit der genauen Bestim-

mung der Elemente, mit der Symbolisierung der beobachteten Formen, endlich mit der Aufzählung der gemessenen und berechneten Flächenwinkel versehen werden konnte die krystallographische Beschreibung der Mineralien natürlich erst im Laufe der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts mit der fortschreitenden Erkenntnis der allgemeinen Gesetze der Krystallographie, und da diese auf der Einführung der Achsen und der Entwicklung der Zonenlehre durch WEISS beruht, so bilden Dessen Arbeiten über Feldspat (s. S. 61 und 71) und Epidot (s. S. 73), denen später noch solche über Gyps, Quarz, Hornblende und Augit, ferner über Euklas, Eudialyt und Vesuvian folgten, die Grundlage aller späteren krystallographischen Untersuchungen der betreffenden Mineralien. Zu dieser Gruppe von Arbeiten gehört auch die unter dem Einfluß von WEISS entstandene Dissertation seines Schülers G. ROSE: „De Sphenis atque Titanitae Systemato crystallino“ (Berlin 1820), in welcher für die beiden früher als verschieden betrachteten Mineralien die Gemeinsamkeit ihrer Grundform nachgewiesen, ihre Zonen- und Winkelverhältnisse so dargelegt werden, daß diese Monographie für alle späteren Untersuchungen des Titanit maßgebend geblieben ist.

GUSTAV ROSE (27), der spätere Nachfolger von WEISS auf dem Lehrstuhl in Berlin, machte sich nach der eben erwähnten Jugendarbeit zunächst verdient um die Vervollständigung der krystallographischen Kenntnis der Feldspatgruppe (s. S. 61 und weiterhin S. 71); nach seiner uralischen Reise legte er durch die Bearbeitung ihrer Resultate den Grund zur Kenntnis der russischen Mineralien. In den folgenden Jahrzehnten hat er dann fast nur noch größere Monographien veröffentlicht, deren jede für das betreffende Mineral von fundamentaler Bedeutung geworden ist und bei denen es sich stets um eine Substanz von besonderem wissenschaftlichem Interesse handelte, so seine weiterhin noch zu besprechende Arbeit über das Krystallisationssystem des Quarzes (1844), ferner die über die rhomboedrischen Metalle, namentlich Wismut (1860), und endlich die ebenfalls an späterer Stelle noch näher zu erwähnende Untersuchung über die Krystallisation des Diamanten; dazu kamen dann umfangreiche Arbeiten über die Beziehungen der Krystallformen gewisser Mineralien zu ihren besonderen physikalischen Eigenschaften, nämlich die mit RIES gemeinsam ausgeführte Untersuchung über den Turmalin und die interessante weiterhin gewürdigte Arbeit über den Zusammenhang zwischen der Krystallform und dem thermoelektrischen Verhalten beim Eisenkies und Kobaltglanz (1870).

Durch diese Tätigkeit hat G. ROSE für den hier in Rede stehenden besonderen Zweig der mineralogischen Wissenschaft eine Bedeutung erlangt, die kein anderer Forscher des 19. Jahrhunderts auch nur annähernd erreicht hat. An Zahl der separaten Veröffentlichungen über sorgfältig ausgeführte krystallographische Untersuchung einzelner Mineralvorkommen ist ihm und allen übrigen Fachgenossen überlegen sein

Schüler G. VOM RATH (29), der von 1855 ab jedes Jahr eine stetig steigende Anzahl von Aufsätzen in Poggendorffs Annalen, in den Publikationen des Niederrhein. naturforsch. Vereins in Bonn, der Deutschen geologischen Gesellschaft und anderen Zeitschriften veröffentlichte, von denen ein großer Teil krystallographischen Inhalts ist und von der großen Mehrzahl aller krystallisierten Mineralien meist wesentliche Beiträge zu ihrer Kenntnis enthält; als besonders wichtig seien daraus hervorgehoben seine Forschungen über Feldspatminerale, über die Formen flächenreicher Calcit- und Quarzkrystalle, auf welche weiterhin noch zurückzukommen sein wird, ferner die über Leucit, die Augit- und Hornblende-gruppe, Humit, Epidot, Axinit, Monazit, Anatas, Rutil, Eisenglanz, Magnetit u. a., endlich zahlreiche Beschreibungen von Pseudomorphosen; unter den von ihm neu entdeckten Mineralien ist das wichtigste der Tridymit; hier, wie bei vielen der vorgenannten, handelte es sich um die schwierige Entzifferung komplizierter Zwillingsbildungen, welche ihm durch Benutzung rein morphologischer Methoden, auch ohne Anwendung der krystalloptischen, gelang. Was G. VOM RATHS mineralogische Arbeiten besonders auszeichnet, ist die gleichzeitige Berücksichtigung der Art des Vorkommens der betreffenden Substanzen, so daß seine Forschungen auch in dem folgenden Abschnitt über die paragenetischen Verhältnisse behandelt werden müssen.

Diese letztere Seite fehlt vollständig der zum Teil gleichzeitigen Tätigkeit desjenigen Gelehrten, dem wir fast ebenso zahlreiche krystallographisch-mineralogische Spezialarbeiten verdanken, A. DES CLOIZEAUX (1817—1897). Dieser aber, an der Geburtsstätte der Krystalloptik, besonders durch SÉNARMONT, vorgebildet und zugleich mit den Resultaten der deutschen krystallographischen Forschungen wohlvertraut, war in der glücklichen Lage, mit der Untersuchung der Formen der Krystalle auch die ihres optischen Verhaltens verbinden zu können. Er hat in den Jahren 1843—1893 in den Annales des mines, den Annales de chim. et de physique, den Comptes-rendus de l'Acad. und anderen Zeitschriften eine außerordentlich große Anzahl von Aufsätzen und Abhandlungen über Krystallform und optische Eigenschaften einzelner Mineralien veröffentlicht, unter denen wohl am wichtigsten die Arbeiten über die Mineralien der Feldspatgruppe und über Humit sind; weitere Angaben finden sich ferner in seinen 1867 von der Pariser Akademie herausgegebenen „Nouvelles recherches s. l. propr. opt. d. crist. nat. et artific.“ Auf einige seiner Beobachtungen wird weiter unten noch Bezug genommen werden.

Außer von den beiden letztgenannten Forschern wurden Beiträge zur krystallographischen Kenntnis der einzelnen Mineralien im Laufe des 19. Jahrhunderts noch geliefert durch eine große Anzahl anderer, von denen im folgenden eine kurze Übersicht, soweit ihre Arbeiten nicht wesentlich schon in das 20. Jahrhundert fallen, gegeben werden soll.

In Deutschland sind von den hier in Betracht kommenden Mineralogen die ältesten schon im vorstehenden genannt: HAUSMANN, NAUMANN, BREITHAUPT und J. N. FUCHS (auf den in dem späteren Abschnitt über mineralchemische Forschungen näher einzugehen sein wird). Weiterhin schließen sich an: H. DAUBER (1823—1861) in Bonn, ein Schüler WÖHLERS und zuletzt in Wien tätig, ferner A. WEISBACH (1833—1901), der Nachfolger BREITHAUPTS in Freiberg, vor allem aber M. WEBSKY (30), welcher sich um die krystallographische Kenntnis der Mineralien besonders verdient gemacht hat durch seine Untersuchung unvollkommener, gestreifter (s. auch S. 125) oder durch ihre zu geringe Breite die Messungen erschwerender Krystallflächen und durch die Überwindung dieser Schwierigkeiten mittels verbesserter Methoden; unter den während seiner Breslauer Tätigkeit von ihm angeregten Schülern kommen an dieser Stelle in Betracht der früh verstorbene E. BECKER und H. TRAUBE (s. S. 157). Der bereits S. 165 genannte FRIEDR. HESSENBERG in Frankfurt a. M. (1810—1874) veröffentlichte in den Jahren 1854—1873 in den Schriften der Senckenbergischen Gesellschaft eine Reihe ausgezeichnete krystallographischer Untersuchungen von Quecksilberhornerz, Titanit, Kalkspat, Anhydrit, Perowskit und anderen Mineralien (einen Auszug dieser Arbeiten und Mitteilung seiner Beobachtungen in fremden Sammlungen, besonders denen in London, gab G. VOM RATH im N. Jahrb. f. Min. usw. 1874). AUG. STRENG (1830—1897), Schüler BUNSENS, Professor der Chemie an der Bergakademie Clausthal, dann der Mineralogie an der Universität Gießen, arbeitete mit großem Erfolge zuerst auf dem Gebiete der chemischen Mineralogie, veröffentlichte aber später auch wichtige krystallographisch-mineralogische Abhandlungen. Sonstige Beiträge zur Kenntnis der Krystallformen einzelner Mineralien lieferten in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts namentlich die folgenden: A. ARZRUNI (1847—1898), nach kurzer Lehrtätigkeit an den Universitäten Berlin und Breslau Professor der Mineralogie an der technischen Hochschule Aachen, beschäftigte sich hauptsächlich mit der chemischen Krystallographie, hat aber auch eine beträchtliche Reihe krystallographisch-mineralogischer Arbeiten ausgeführt. M. BAUER (1844—1917), Professor der Mineralogie in Königsberg, dann in Marburg, veröffentlichte außer einer Monographie des Scheelits auch Mitteilungen über verschiedene andere Mineralien; H. BAUMHAUER (s. S. 123) widmete sich, namentlich seit seiner Tätigkeit an der Universität Freiburg i. d. Schweiz auch morphologischen Studien, hauptsächlich an den Mineralien des Binnentals im Wallis; krystallographisch-mineralogische Veröffentlichungen verdanken wir ferner den Universitätslehrern des Faches in Würzburg bzw. Straßburg, J. BECKENKAMP und H. BÜCKING; ein Schüler des Letzteren, F. STÖBER, war dann in Gent (Belgien) tätig; über Feldspatmineralien arbeitete u. a. H. FÖRSTNER in Straßburg, an welchem Orte auch F. GRÜNLING (s. S. 159), später Kustos der Münchener mine-

ralogischen Sammlung, seine Laufbahn begann. Eine besonders reiche Tätigkeit auf dem hier in Rede stehenden Gebiete entfaltete V. GOLDSCHMIDT in Heidelberg, welcher sich, zusammen mit jüngeren Mitarbeitern, dem speziellen Studium der vizinalen Flächen und der Wachstumserscheinungen an den natürlichen Krystallen widmete; auf zusammenfassende Werke desselben wird weiterhin noch zu kommen sein, ebenso auf das bereits S. 160 erwähnte Handbuch des Breslauer Mineralogen C. HINTZE (1851—1916). C. KLEIN (1842—1907), Professor der Mineralogie in Göttingen und dann als Nachfolger WEBSKYS in Berlin, hat außer seinen Untersuchungen über anomale Krystalle (S. 118) auch solche über andere Mineralien, wie z. B. des Binnentals in der Schweiz, veröffentlicht; der Nachfolger G. VOM RATHS auf dem Lehrstuhl in Bonn, A. v. LASAULX (1839—1886) wandte sich mehr petrographischen Studien zu, während der ihm daselbst folgende H. LASPEYRES (1836—1913), zum Teil zusammen mit den jüngeren Mitarbeitern K. BUSZ und E. KAISER eine Reihe krystallographisch-mineralogischer Arbeiten veröffentlichte und sich außerdem verdient gemacht hat durch sehr gründliche Untersuchungen der optischen Eigenschaften von Mineralien, namentlich derjenigen der Epidotgruppe. Mit den Krystallformen einzelner Mineralien haben sich ferner beschäftigt: A. LEUZE in Stuttgart († 1899), G. LINCK, Professor in Jena, Professor O. LÜDECKE in Halle († 1910), Verfasser der Mineralogie des Harzes (s. S. 156), dessen Schüler R. SCHEIBE († 1923) später an der Berliner Bergakademie wirkte, ferner der Breslauer Mineraloge L. MILCH; der bereits S. 123 wegen seiner hervorragenden Forschungen über die Gleitflächen genannte Professor O. MÜGGE in Göttingen, A. NIES in Gießen bzw. Mainz, Professor K. OEBBEKE in Erlangen und München; der besonders petrographisch tätige Professor A. OSANN in Freiburg († 1923); das letztere gilt auch von dem Vertreter der Mineralogie an der Universität Leipzig F. RINNE, der aber auch, zum Teil unterstützt von ausgezeichneten Mitarbeitern, auf allen übrigen Gebieten der mineralogischen Wissenschaften erfolgreich gearbeitet hat. Endlich wären an dieser Stelle noch zu nennen: A. SADEBECK († 1879), Mitarbeiter G. ROSES an einigen von Dessen späteren Monographien (s. weiter unten), der bereits S. 164 erwähnte ausgezeichnete Sammler G. SELIGMANN, C. A. TENNE († 1901), der Mitarbeiter C. KLEINS in Göttingen und Berlin, der Petrograph Professor E. WEINSCHENK († 1921) in München und E. WEISS († 1890), ein Neffe von CHR. S. WEISS, welcher an der preußischen geologischen Landesanstalt und der Bergakademie in Berlin wirkte.

Unter den S. 153 genannten österreichischen Forschern kommt an dieser Stelle besonders in Betracht V. v. ZEPHAROVICH wegen seiner zahlreichen sorgfältigen Krystallbeschreibungen böhmischer und ostalpiner Mineralien; neben und nach ihm sein ausgezeichnete Schüler K. VRBA (1845—1922). In Wien wurden die Schätze des mineralogischen Hof-

museums untersucht durch ZIPPE, HAIDINGER, V. v. LANG (Monographie des Anglesit) und G. TSCHERMAK; den hervorragendsten Schülern des Letzteren, F. BECKE und dem leider schon 1887 verstorbenen M. SCHUSTER, verdanken wir wichtige monographische Arbeiten, von denen zum Teil noch die Rede sein wird; zahlreiche verdienstvolle Untersuchungen auf diesem Gebiete veröffentlichte A. SCHRAUF, dem sein Schüler R. SCHARIZER (später in Graz) folgte; wesentlich der TSCHERMAKschen Schule gehören die folgenden jüngeren Forscher an: A. BŘEZINA († 1909), F. CORNU (starb in demselben Jahre in Leoben), Professor A. CATHREIN (der Nachfolger des um die geologische Kenntnis Tirols hochverdienten A. PICHLER) in Innsbruck, H. v. FOULLON († 1896) und R. KÖCHLIN (der jetzige Direktor des Hofmuseums). In Budapest lieferten Beiträge zur Kenntnis der ungarischen Mineralien J. v. SZABÓ († 1894), ganz besonders aber J. KRENNER (vgl. S. 166) durch seine zahlreichen sorgfältigen krystallographischen Untersuchungen, welche sich auch auf Vorkommen anderer Länder, z. B. den grönländischen Kryolith, erstreckten. Durch ihn angeregt, arbeiteten in derselben Richtung A. FRANZENAU († 1919), ALEX. SCHMIDT († 1904), K. ZIMÁNYI (der jetzige Direktor der ausgezeichneten Sammlung im ungarischen Nationalmuseum) und mehrere jüngere, unter letzteren der früh verstorbene G. MELCZER.

In Italien wurde, wie schon mehrfach dargelegt, die Pflege der Krystallographie und Mineralogie begründet von A. SCACCHI, QU. SELLA und J. STRUEVER; in den letzten Jahrzehnten des 19. Säkulum waren in der hier in Frage kommenden Richtung tätig A. D'ACHIARDI (1839 bis 1903) in Pisa und ebenda sein Sohn G. B. D'ACHIARDI, ferner: E. ARTINI in Mailand, G. BOERIS in Bologna, L. BRUGNATELLI in Pavia, P. FRANCO in Neapel, G. GRATTAROLA in Florenz († 1907), G. LA VALLE in Rom, D. LOVISATO († 1916) in Sassari bzw. Cagliari, G. B. NEGRI in Genua, R. PANEBIANCO in Padua, C. RIVA († 1902) in Pavia, A. SANSONI († 1895) ebenda (von Dessen Studien über Kalkspat weiter unten die Rede sein wird), E. SCACCHI in Neapel und F. ZAMBONINI in Rom und Turin, jetzt in Neapel (vgl. S. 158).

Die Begründung der morphologischen Kenntnis der Mineralien durch ROMÉ DELISLE und die Entwicklung dieses Wissenszweiges in Frankreich während der darauf folgenden hundert Jahre wurde bereits im vorhergehenden behandelt; zu den hierbei bzw. schon in der ersten Abteilung dieses Werkes genannten Forschern ist noch hinzuzufügen der berühmte Chemiker CH. FRIEDEL (1832—1899), der als langjähriger Vorstand der Sammlung der École des mines (vgl. S. 168) eine Anzahl zum Teil sehr wichtiger mineralogischer Arbeiten ausführte. Eine neue Periode datiert von dem Beginn der Pariser Tätigkeit E. MALLARDS (S. 112), der vorher an der Bergschule in St. Étienne als Mineralog nicht hervorgetreten war, und mit der von ihm veranlaßten Gründung der französischen mineralogischen Gesellschaft im Jahre 1877; in deren „Bulletin“ erschienen nun

zahlreiche krystallographische Untersuchungen sowohl von ihm selbst, als von den Angehörigen der jüngeren, sich um ihn scharenden Pariser Mineralogenschule, aus welcher namentlich der bereits S. 159 angeführte A. LACROIX und G. FRIEDEL, der Sohn von CH. FRIEDEL, zu nennen sind; in derselben Zeitschrift haben aber auch der Letztgenannte, sowie der bereits S. 159 erwähnte F. GONNARD einen großen Teil ihrer Arbeiten veröffentlicht.

In den Niederlanden schloß sich an die französische Schule an G. CESÀRO in Lüttich, dem wir eine große Anzahl vortrefflicher Untersuchungen, auch aus dem Gebiete der geometrischen und der physikalischen Krystallographie, verdanken; sein Schüler H. BUTTGENBACH lieferte ebenfalls in der letzten, hier berücksichtigten Zeit verschiedene Untersuchungen über die Krystallformen einzelner Mineralien. Dagegen stehen die mineralogischen Arbeiten des Holländers G. MOLENGRAAFF, von denen zum Teil noch weiter unten die Rede sein wird, unter deutschem Einfluß.

In England nahm das Studium der Krystallformen der Mineralien einen großen Aufschwung infolge der Tätigkeit MASKELYNES am British Museum (s. S. 169), wesentlich durch die ausgezeichneten monographischen Arbeiten von H. A. MIERS, L. FLETCHER und G. T. PRIOR, denen in der neuesten Zeit noch mehrere jüngere Forscher mit erfreulichen Erfolgen sich anschlossen. In Cambridge waren der Nachfolger MILLERS, W. I. LEWIS, sowie Dessen Schüler A. HUTCHINSON und R. H. SOLLY in gleicher Weise tätig. Endlich wären noch die Arbeiten des 1917 verstorbenen CH. O. TRECHMANN in Hartlepool zu nennen. Unter den mineralogischen Forschern in englischen Dominions hat sich besonders in dem hier in Betracht kommenden Wissenszweige A. LIVERSIDGE in Sidney verdient gemacht.

Die in den skandinavischen Ländern entstandenen krystallographisch-mineralogischen Arbeiten wurden größtenteils schon S. 159 angeführt; ihnen sind noch hinzuzufügen die Publikationen von H. BÄCKSTRÖM und A. HAMBERG in Stockholm, die des ebenfalls dort, zuletzt als Kustos am mineralogischen Reichsmuseum, tätigen G. FLINK, ferner die des letzten Direktors dieser Sammlung HJ. SJÖGREN († 1922), endlich diejenigen des auch um die chemische Krystallographie verdienten M. WEIBULL in Lund (1856—1923).

Auch die Leistungen der russischen Forscher auf dem hier behandelten Gebiete sind bereits früher berücksichtigt worden (s. S. 159); aus neuerer Zeit wären noch folgende Autoren nachzutragen: S. GLINKA und A. v. KARNOJITZKY († 1900) in St. Petersburg, R. PRENDEL († etwa 1908) in Odessa und W. VERNADSKY in Moskau bzw. Petersburg.

Die reichen Mineralschätze Nordamerikas sind größtenteils erst während der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts bekannt geworden, und ihre wissenschaftliche Bearbeitung wurde begründet durch den

1848 eingewanderten deutschen Chemiker F. A. GENTH (31). Dieser veröffentlichte in den Jahren 1850—1892 eine große Anzahl von sorgfältigen Untersuchungen amerikanischer Mineralien, unter ihnen nicht weniger von ihm selbst zuerst entdeckter, meist aber solcher, die vorher nur unvollkommen oder gar irrtümlich als neu beschrieben worden waren; da die Mehrzahl dieser Arbeiten einen vorwiegend chemischen Charakter trägt, so wird auf sie in dem betreffenden späteren Abschnitt noch zurückzukommen sein.

Einige Zeit vorher war allerdings in GENTHS Adoptivvaterlande das Interesse an der Mineralogie schon geweckt worden durch das S. 160 erwähnte Handbuch von JAMES D. DANA (1813—1895), in New Haven, Conn., des wohl bedeutendsten, jedenfalls des vielseitigsten Naturforschers, welchen die Vereinigten Staaten gehabt haben; waren schon die ersten Auflagen jenes Werkes (1837, 1844, 1850, 1854), obgleich noch von der alten naturhistorischen Richtung beeinflußt, durch die zunehmende Berücksichtigung der chemischen Verhältnisse achtungswerte Leistungen für einen Forscher, dessen wissenschaftliche Tätigkeit hauptsächlich auf den Gebieten der Geologie und der Zoologie lag, so entsprach die 5. Auflage (1868) in so hohem Maße dem gleichzeitigen Stande der Wissenschaft, daß sie zu einem allgemein benutzten Nachschlagbuche wurde; diesen Rang behauptete das Werk auch in der 6., 1892 von EDW. S. DANA bearbeiteten Auflage, welcher seitdem noch mehrere, die neueren Fortschritte der Kenntnis der Mineralien enthaltenden Ergänzungen unter dem Titel „Appendix“ folgten. Der eben genannte jüngere Forscher, der auch in der Leitung des „Silliman Journ. of Science“ früh an die Stelle seines Vaters trat und der vorher einige Zeit im Ausland, besonders in Wien, studiert hatte, wurde nun eines der hervorragendsten Mitglieder der Mineralogenschule in New Haven, als deren Begründer außer J. D. DANA der ausgezeichnete Mineralchemiker G. J. BRUSH (32) anzusehen ist, Dessen gemeinsame Arbeit mit E. S. DANA bereits S. 171 erwähnt wurde und von Dessen mineralchemischer Forschung an späterer Stelle noch zu berichten sein wird. Das größte Ansehen in allen Ländern, in welchen die mineralogischen Wissenschaften gepflegt wurden, erhielt aber diese Schule durch die Forschungen von S. L. PENFIELD (33). Dieser begann mit der Ausführung einer Reihe von Analysen für die eben erwähnte Arbeit über die Mineralien von Brancheville und entfaltete in der Zeit seiner Leitung des mineralogischen Laboratoriums in New Haven, obgleich diese infolge seines allzu frühen Todes noch nicht zwei Jahrzehnte umfaßt, eine quantitativ und qualitativ in der Geschichte der Wissenschaft fast unerhörte Tätigkeit, wegen deren Einzelheiten auf den Nachruf PRUSSONS im Novemberheft 1906 des Americ. Journ. of science verwiesen werden muß. Noch größer als die Zahl der von ihm beschriebenen Mineralien ist diejenige, deren krystallographische und namentlich deren chemische Kenntnis durch ihn die wesentlichsten

Fortschritte erfahren hat, Forschungen, welche daher in einem späteren Abschnitt noch weiter zu würdigen sind. Zu diesen Arbeiten kamen noch solche auf dem Gebiete der chemischen Krystallographie und zuletzt wesentliche Verbesserungen in der Anwendung der stereographischen Projektionsmethode zur Berechnung der Krystalle, die auch für andere exakte Wissenschaften von Wert sein dürften. Von seinen zahlreichen Schülern und Mitarbeitern seien hier genannt: L. V. PIRSSON († 1919), J. H. PRATT und H. L. WELLS.

Gegenüber der Bedeutung, welche am Schlusse des 19. Jahrhunderts New Haven erlangt hatte, traten die übrigen wissenschaftlichen Pflanzstätten Nordamerikas notwendig sehr zurück. In Philadelphia wirkte eine Zeitlang neben GENTH noch ein anderer eingewandter Deutscher, G. A. KÖNIG, der 1913 als Professor der Mineralogie an der School of Mines in Houghton, Mich., starb. Die dem Columbian College angegliederte montanistische Hochschule in New York besitzt ebenfalls eine eigene mineralogische Professur, deren Inhaber zuerst der Gründer dieser Anstalt TH. EGLESTON, dann A. J. MOSES († 1920) waren; als praktische Mineralogen wirkten außerdem in New York W. E. HIDDEN, der Entdecker neuer Fundorte interessanter Mineralien, und der Edelsteinkenner G. F. KUNZ. An den meisten amerikanischen Universitäten wurde die Mineralogie vertreten durch einen Geologen bzw. Petrographen, letzteres besonders seit dem großen Aufschwung, welchen die mikroskopische Untersuchung der Gesteine in neuerer Zeit genommen hat. Doch sind immerhin einzelne krystallographisch-mineralogische Arbeiten veröffentlicht worden von W. H. MELVILLE († 1893) und CH. PALACHE in Cambridge, Mass., von W. H. HOBBS in Baltimore bzw. Madison, Wisc., und von W. F. HILLEBRAND in Washington. Die reichen mineralogischen Schätze, welche am letztangeführten Orte in den Sammlungen der U. S. Geol. Survey vorhanden sind (vgl. S. 171), wurden in ausgedehnterem Maße erst in allerneuester Zeit zu krystallographischen Untersuchungen benutzt. Ebenso ist auch an anderen Orten die Zahl der veröffentlichten, dem heutigen Stande der Wissenschaft entsprechenden Mineralbeschreibungen erst in der nicht mehr in den Rahmen des vorliegenden Werkes fallenden Zeit in einem Grade gestiegen, wie in keinem anderen Lande.

Es kann nicht der Zweck dieser Schrift sein, eine Geschichte der Erforschung jedes einzelnen Minerals zu geben; es soll jedoch an dieser Stelle der allmähliche Entwicklungsgang der krystallographischen Kenntnis einiger weniger Mineralien dargelegt werden, denen eine für die allgemeine Krystallkunde wesentliche Bedeutung zukommt.

Als erstes derartiges Beispiel diene der **Kalkspat**, diejenige Substanz, welche eine ganz ungewöhnliche Abhängigkeit ihrer Krystallisation von den kleinsten Änderungen ihrer Bildungsumstände und daher einen alle

anderen Mineralien übertreffenden Formenreichtum zeigt, so daß sie besonders geeignet ist zum Studium der Gesetzmäßigkeiten, welche die geometrischen Beziehungen zwischen den Krystallformen eines Stoffes beherrschen. Schon in HAÜYS Mineralogie wurden nicht weniger als 47 verschiedene Ausbildungsweisen („Varietäten“) der Kalkspatkrystalle beschrieben, deren Zahl noch vermehrt wurde durch die älteste Monographie eines einzelnen Minerals, die Arbeit seines Schülers, des Grafen JACQU. L. DE BOURNON (1751—1825), welche 1808 unter dem Titel „*Traité complet de la chaux carbonatée*“ in drei Bänden in London erschien. Das ebendasselbst ausgearbeitete Werk LÉVYS (s. S. 173) führt bereits 198 „Varietäten“ an, erläutert durch 158 Figuren (HAÜYS Atlas enthält deren nur 50). Während in HAÜYS Krystallographie (1822) 21 Rhomboeder, 29 Skalenoeder und 4 Pyramiden (2. Art) aufgezählt werden, enthält die 1851 in den Denkschriften der Wiener Akademie erschienene Monographie ZIPPES, „Übersicht der Krystallgestalten des rhomboedrischen Kalkhaloides“, schon 42 Rhomboeder, 85 Skalenoeder und 7 hexagonale Pyramiden, von welchen Formen ein nicht unbeträchtlicher Teil von dem Verfasser zuerst beobachtet worden war. Noch weiter vermehrt wurde die Anzahl der Kalkspatformen in den folgenden Jahrzehnten durch G. VOM RATH, HESSENBERG, CESÀRO u. A. Im Jahre 1878 lieferte ein Schüler G. VOM RATHS, der leider schon 1880 verstorbene Amerikaner I. R. McD. IRBY (Diss. Bonn) eine kritische Untersuchung der bis dahin beobachteten Formen auf die Zuverlässigkeit ihrer Bestimmung, sowie in bezug auf die Häufigkeit ihres Auftretens, eine Arbeit, welche die Notwendigkeit einer neuen, umfassenden monographischen Bearbeitung des Minerals erkennen ließ. Dieser Aufgabe unterzog sich vom Jahre 1884 ab F. SANSONI in Pavia und veröffentlichte in dem darauf folgenden Jahrzehnt eine Reihe sorgfältiger Untersuchungen flächenreicher Krystalle von mehreren besonders wichtigen Fundorten; die Vollendung seiner Arbeit wurde jedoch 1895 durch sein Ableben verhindert (die von ihm für die Messungen zusammengebrachten Originalkrystalle befinden sich im britischen naturwissenschaftlichen Museum in London). Trotz einzelner seitdem noch erfolgter Beiträge, namentlich von V. GOLDSCHMIDT in Heidelberg, kann daher die krystallographische Erforschung des Minerals keineswegs als abgeschlossen betrachtet werden. Das allgemeine Interesse, welches der REUSCHSchen Entdeckung der künstlichen Zwillingsbildung desselben zukommt (s. S. 123), veranlaßte u. a. auch die schöne Arbeit G. ROSES „Über die im Kalkspat vorkommenden hohlen Canäle“ (Abh. d. Berl. Akad. 1868).

Für den **Quarz**, an dessen Krystallen zuerst STENSEN das Gesetz der Winkelkonstanz erkannte und der durch sein optisches Verhalten schon früh die Aufmerksamkeit der Physiker auf sich zog, wurde die Grundlage aller folgenden Untersuchungen die klassische Monographie von G. ROSE „Über das Krystallisationssystem des Quarzes“ (Abh. d. Berl.

Akad. 1844). Nach einer eingehenden kritischen Besprechung aller früheren zahlreiche Irrtümer enthaltenden Angaben wird hier zum ersten Male die Zugehörigkeit des Minerals zur trigonal-trapezoedrischen Symmetrieklasse nachgewiesen, während die Bezeichnung der Formen in ihrer Bezugnahme auf hexagonale Achsen vollkommen übereinstimmt mit der heutigen Erkenntnis über die Struktur der Quarzkrystalle, nach welcher für die Formen die vierzähligen (BRAVAISSchen) Symbole als die einzig rationellen zu betrachten sind, im Gegensatz zu den Kalkspatkrystallen, für die nur die sogenannten MILLERSchen Zeichen in Betracht kommen können. Die Feststellung der Ungleichwertigkeit der (gewöhnlichen) positiven und der (viel selteneren) negativen Trapezoeder durch G. ROSE hat es später auch ermöglicht, das HERSCHELSche Gesetz (S. 106) in allgemein gültiger Form auszusprechen (GROTH, Ber. d. Berl. Akad. 1868), wie überhaupt alle seit dem Erscheinen der Arbeit G. ROSES ausgeführten Untersuchungen nur Bestätigungen und Fortsetzungen derselben darstellen. Unter diesen mögen genannt werden: die Unterscheidung des positiven und des negativen Grundrhomboeders mittels der Ätzfiguren durch LEYDOLT (Ber. d. Wiener Akad. 1855); der Nachweis zahlreicher neuer seltener Formen durch DES CLOIZEAUX (Mém. de l'acad. Paris 1858), WEBSKY (Dtsch. geol. Ges. 1865, Neue Jahrb. 1874) und G. VOM RATH (Zeitschr. d. dtsh. geol. Ges. 1870 und Zeitschr. f. Kryst. 1880, 1885 und 1887); die wichtigen Arbeiten MOLENGRAAFFS über die Bildung von Ätzflächen (Zeitschr. f. Kryst. 1888 und 1890), diejenigen von WALLERANT über die Beziehungen zum Quarzin (Bull. soc. min. franc. 1897); endlich die Untersuchung von KOLENKO über die Pyroelektrizität des Quarzes in bezug auf sein krystallographisches System (Zeitschr. f. Kryst. 1884).

Die Geschichte des **Feldspats** beginnt mit der Richtigstellung der HAÜYSchen Beobachtungen durch WEISS (S. 61) und Dessen S. 71 f. ausführlich besprochener Abhandlung; 1823 erkannte G. ROSE die Zugehörigkeit des Albit (s. S. 82), des Anorthit und des früher nicht als Feldspat betrachteten Labradorit zum triklinen Krystallsystem, welche BREITHAUPT im folgenden Jahre auch für den Periklin bestätigte. Letzterer beschrieb 1826 den Oligoklas, und endlich fügte 1841 ABICH dieser isomorphen Gruppe noch den Andesin hinzu. In dem Werke von LÉVY werden vom Kalifeldspat allein außer einer Kombination des Sanidin 25 Ausbildungsweisen beschrieben und durch 28 Figuren erläutert; vom Natronfeldspat zählt er 12 „Varietäten“ mit 13 Figuren auf; letzterer wird richtig als triklin aufgefaßt, ebenso der Labradorit und der Anorthit, von welchen zwei Ausbildungsweisen beschrieben und abgebildet werden. Im weiteren Verlauf des 19. Jahrhunderts sind die Krystallformen und namentlich die Zwillingsverwachsungen der Mineralien der Feldspatgruppe Gegenstand zahlreicher Studien gewesen, unter denen besonders diejenigen von G. VOM RATH und die wichtige Ent-

deckung des triklinen Kalifeldspats durch DES CLOIZEAUX (1876) hervorzuheben sind. Veranlaßt durch die MALLARDSche Untersuchung des optischen Verhaltens fein lamellierter Zwillingepakete (s. S. 117) machte MICHEL-LÉVY 1879 die Identität der beiden Kalifeldspäte höchst wahrscheinlich, und wenn an der pseudosymmetrischen Form des Adulars noch ein Zweifel bestehen sollte, so darf er mit der Entdeckung von Zwillinglamellen in demselben durch FEDOROW als beseitigt betrachtet werden. Damit ist aber die krystallographische Kenntnis der Feldspatgruppe als einer einzigen isomorphen Reihe im wesentlichen zum Abschluß gelangt.

Der Epidot hat durch seine von den meisten monoklinen Krystallarten abweichende Ausbildung den ältesten Mineralogen große Schwierigkeiten bereitet; HAÛY betrachtete die gewöhnlich vorherrschenden, der Symmetrieachse parallelen Flächen als solche der vertikal-prismatischen Zone und gelangte daher nicht zu einer geeigneten Symbolisierung der Formen; erst WEISS (S. 73) erkannte die Symmetrie der Krystalle richtig und machte auf die eben erwähnte Abweichung aufmerksam. Einen großen Fortschritt brachte das Werk von LÉVY, in welchem bereits 22 Kombinationen des Minerals beschrieben und durch 23 Figuren erläutert werden; es folgte dann eine Reihe Untersuchungen desselben durch ZEPHAROVICH, KOKSCHAROW u. A., auf Grund deren die Zahl der beobachteten Formen auf 73 stieg; endlich 1878 die umfassende Monographie von H. BÜCKING in Straßburg, deren Einleitung auch eine Besprechung aller bis dahin ausgeführten Arbeiten über Epidot enthält. Dieser führt 146 Formen als sicher bestimmt an, doch muß bemerkt werden, daß manche derselben, namentlich unter den der Symmetrieachse parallelen, einer nochmaligen Prüfung nach der später von WEBSKY verbesserten Methode der Messung schmaler und gestreifter Flächen bedürfen. Durch die 1896 erschienene Untersuchung über Epidot und Zoisit von E. WEINSCHENK ist nachgewiesen worden, daß die beiden Mineralien in demselben Verhältnis zueinander stehen, wie Mikroklin und Orthoklas.

Die Krystalle des Turmalins, deren elektrisches Verhalten schon sehr früh Beachtung gefunden hat, sind in bezug auf ihre damit zusammenhängende Verschiedenheit der Ausbildung der beiden Pole der Hauptachse schon von HAÛY richtig beschrieben worden, noch vollständiger natürlich von LÉVY. Die erste Untersuchung über die Zugehörigkeit der einzelnen Formen zu dem analogen bzw. antiligen Pol der elektrischen Achse veröffentlichte G. ROSE in den Abhandl. d. Berliner Akademie 1836, welcher Arbeit die mit P. RIESS gemeinsame von 1843 (s. S. 177) folgte. Auf Grund eines weit größeren Materials wurde die Lösung aller das Mineral betreffenden Fragen gegeben durch die im Jahre 1900 erschienene monographische Arbeit eines jungen russischen Forschers V. v. WOROBIEFF, der leider schon 1906 auf einem Gletscher des Kaukasus sein Leben einbüßte; hier wurde nicht nur die Kenntnis der For-

men außerordentlich vermehrt, sondern auch alle früheren Beobachtungen einer kritischen Besprechung unterworfen.

Der Umstand, daß es ihm gelungen war, ohne Hinzuziehung physikalischer Methoden am Quarz das positive und negative Grundrhomboeder durch die ihnen zugehörigen sekundären Formen sicher zu unterscheiden, veranlaßte G. ROSE, eine analoge Gesetzmäßigkeit für die beiden Tetraeder der **Zinkblende** aufzusuchen, und er übertrug diese Aufgabe seinem Schüler und Assistenten A. SADEBECK († 1879), der ROSES und seine eigenen Resultate 1869 und 1872 in der Zeitschr. d. dtsh. geol. Ges. veröffentlichte; da aber hier die Voraussetzung zugrunde gelegt wurde, daß das größer und glänzender ausgebildete Tetraeder stets das gleiche sei (was nicht immer zutrifft), so war die Stellung der sekundären Formen auf dem eingeschlagenen, rein morphologischen Wege nicht einwandfrei zu bestimmen. Dies gelang erst 1883 F. BECKE (Tschermaks Mitteil. n. F. 5) mittels der Ätzfiguren, welche auf den Spaltungsflächen die beiden entgegengesetzten Pole der trigonalen Achsen mit voller Sicherheit zu unterscheiden gestatten. Natürlich ist dies auch möglich durch die von CH. FRIEDEL 1879 entdeckte polare Pyroelektrizität jener Achsen.

Mit der Blende bietet einige Ähnlichkeit in Form und Zwillingsbildungen der **Kupferkies** dar, welcher von HAÜY noch für ebenfalls kubisch gehalten wurde. Als tetragonal beschrieb ihn zuerst HAIDINGER in den *Memoirs of the Wernerian nat. hist. Soc.* 4, Edinburgh 1821—1822; LÉVY war offenbar diese Arbeit bekannt, denn er gibt ebenfalls das Mineral als tetragonal an und bildet auch die Krystalle in seinem Atlas dementsprechend ab; unter den betreffenden Figuren ist jedoch die einzige mit disphenoidischer Ausbildung falsch gezeichnet, was offenbar der Herstellung der Tafel durch eine andere Hand zuzuschreiben ist (vgl. S. 174). Ein Jahr vor seiner Zinkblendearbeit veröffentlichte SADEBECK eine ähnliche Untersuchung der Chalkopyritkrystalle, deren Resultate natürlich den gleichen Einwendungen unterliegen. Die an dem Mineral beobachteten Zwillingsgesetze wurden 1883 von FLETCHER einer sorgfältigen und die vorhandenen Zweifel beseitigenden Prüfung unterworfen. Erst in neuester Zeit (1908) hat A. HIMMELBAUER mittels des Verhaltens gegenüber Ätzmitteln die positiven und negativen Formen des Kupferkies zu unterscheiden gelehrt.

Von dem wichtigsten aller Erze, dem **Schwefelkies**, ist die für ihn so charakteristische Form des sogenannten Pyritoeders zuerst von HAÜY richtig gedeutet worden (S. 37); eine ziemlich große Zahl von Formen wurden schon von LÉVY beschrieben, und eine sehr bedeutende Vermehrung erhielten dieselben 1869 durch STRÜVERS Monographie der Pyrite von Piemont und Elba. Die Krystalle dieses Minerals besitzen die besondere Eigentümlichkeit, fast ausnahmslos nur Formen der gleichen Stellung miteinander kombiniert zu zeigen; in den wenigen Fällen, wo

an scheinbar einfachen Krystallen Flächen beider Pentagondodekaeder auftreten, schien es geeignet, dies durch eine Zwillingsbildung nach dem gewöhnlichen Gesetze (Zwillingsenebene $\{110\}$) zu erklären. Nachdem erkannt worden war, daß das Mineral zweierlei Krystalle bilde, welche in der thermoelektrischen Spannungsreihe eine entgegengesetzte Stellung einnehmen, und daß manche scheinbar einfachen Krystalle aus thermoelektrisch positiven und negativen Partien zusammengesetzt sind, gelangte G. ROSE zu der Annahme, daß das Pyritoeder eines positiven Krystalles das entgegengesetzte zu dem eines negativen sei; durch Untersuchung einer großen Anzahl von Pyriten verschiedener Fundorte konnte er 1870 (Monatsber. d. Berl. Akad.) nachweisen, daß diese in den Kombinationen des Minerals gewöhnlich vorherrschende Form an den positiven Krystallen im allgemeinen eine andere Oberflächenbeschaffenheit zeigt als an den negativen und daß gewisse unter den sekundären Formen vorwiegend, manche sogar ausschließlich an der einen Art von Krystallen auftreten. Es scheint also hier ein ähnliches Verhalten obzuwalten wie bei dem Auftreten der sekundären Formen an den rechts- und linksdrehenden Quarzkrystallen.

Als letztes Beispiel soll hier der **Diamant** besprochen werden. Die ersten brauchbaren Beschreibungen und Abbildungen seiner Krystallformen verdanken wir LÉVY, welcher jedoch angibt, daß ihre Bestimmung wegen der Krümmung der Flächen keine sichere sei und daß manche der Formen nur mit der Hälfte der Flächen ausgebildet wären; die letzte Figur seines Atlas zeigt ein Oktaeder mit Einkerbungen der Kanten durch die einspringende Winkel bildenden Flächen eines Hexakisoktaeders. Derartige Krystalle waren es, welche später die Mehrzahl der Mineralogener veranlaßten, den Diamant für „hemiedrisch“ und diese Formen für Durchkreuzungszwillinge zu erklären. Hauptsächlich vertrat diese Ansicht G. ROSE, welcher sich mehrfach mit der Krystallisation des Minerals beschäftigte, aber nicht zu einem Abschluß dieser Studien gelangte; nach seinen hinterlassenen Aufzeichnungen und eigenen Untersuchungen der Wachstumserscheinungen an einem sehr reichen Material hat 1876 A. SADEBECK eine Bearbeitung des Gegenstandes veröffentlicht, in welcher er zu dem Schluß kommt, daß ein Beweis für die Hemiedrie nicht vorhanden sei. Noch bestimmter wird die Holoedrie der Krystalle im folgenden Jahre behauptet auf Grund der Untersuchung einiger besonders gut ausgebildeter Exemplare der scheinbaren „Durchkreuzungszwillinge“ durch J. HIRSCHWALD in Berlin. Im Gegensatz hierzu versuchten endlich in neuester Zeit A. v. FERSMANN und V. GOLDSCHMIDT in einem 1911 in Heidelberg erschienenen Werke durch ein aufmerksames Studium der Wachstumserscheinungen des Minerals dessen hemiedrische Natur wahrscheinlich zu machen. Da die durch die eigentümlichen Bildungsverhältnisse des Diamants bedingte Flächenbeschaffenheit seiner Krystalle eine Entscheidung der Frage auf rein morpho-

logischem Wege unmöglich macht, konnte eine solche nur auf physikalischem Wege gewonnen werden; wenn das Mineral derselben Symmetrieklasse angehören würde wie die Zinkblende, so müßten die Krystalle nach ihren trigonalen Achsen eine mindestens ebenso kräftige pyroelektrische Polarität zeigen wie jene. Nun hat neuerdings A. L. W. F. VAN DER VEEN in Leiden durch eine mit den empfindlichsten Instrumenten ausgeführte Untersuchung bewiesen, daß keine Spur piezo- und pyroelektrische Polarität vorhanden ist und daß auch die geometrischen Eigenschaften zahlreicher von ihm studierter Krystalle damit in Einklang stehen. Es kann also keinem Zweifel mehr unterliegen, daß der Diamant der höchst symmetrischen Krystallklasse angehört, ebenso wie eine Reihe anderer Elemente.

Von den im vorstehenden geschilderten Fortschritten der krystallographischen Kenntnis der Mineralien sind diejenigen der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts in vorzüglicher Weise zusammengefaßt und mehrfach durch eigene Beobachtungen ergänzt worden von W. H. MILLER in der 1852 gemeinsam mit H. J. BROOKE herausgegebenen und gänzlich umgearbeiteten neuen Auflage von W. PHILLIPS, „An elementary introduction to Mineralogy“. Diesem noch heute verwendbaren Handbuche folgte das besonders in bezug auf die optischen Eigenschaften und das Vorkommen der Mineralien weit ausführlichere „Manuel de Minéralogie“ von A. DES CLOIZEAUX, dessen beide Bände 1862 und 1874 erschienen. Die Fortschritte während der letzten hier noch in Betracht kommenden Dezennien sind berücksichtigt in den schon erwähnten Ergänzungen zu DANAS „System“ und mit größter Vollständigkeit in dem Handbuche von C. HINTZE (s. S. 160).

Außer den genannten Werken wurden von V. GOLDSCHMIDT in Heidelberg mehrere sehr verdienstvolle kritische Zusammenstellungen herausgegeben, nämlich 1. „Index der Krystallformen der Mineralien“ in 3 Bänden (Berlin 1886, 1890 und 1891), in welchem für jedes der alphabetisch geordneten Mineralien außer der vollständigen Literatur, den Elementen und der Aufstellung der Krystalle eine Tabelle aller beobachteten Formen mit Angabe der von dem betreffenden Autor gewählten Bezeichnung angegeben ist; 2. „Krystallographische Winkeltabellen“ (Berlin 1897), in denen aber nicht die allgemein üblichen, dem Zonenverband entsprechenden Flächenwinkel, sondern die sphärischen Koordinaten, „die Positionswinkel“, welche für isolierte Flächen (aber nur für solche) vorteilhaft sind, angegeben werden. Endlich verdanken wir in neuester Zeit (seit 1913) demselben Verfasser ein an jene beiden Veröffentlichungen sich anschließendes, sehr umfangreiches Werk „Atlas der Krystallformen“, in welchem alle bisher publizierten Abbildungen reproduziert und erläutert sind.

Ein Teil der in diesem Abschnitt besprochenen Forschungen beschäftigte sich nicht nur mit der Bestimmung der Krystallformen, sondern auch mit dem optischen Verhalten der einzelnen Mineralien; nachdem dessen gesetzmäßige Beziehungen zu den geometrischen Eigenschaften erkannt worden waren, konnte es auch zur Entscheidung zweifelhafter Symmetrieverhältnisse, zur Entzifferung komplizierter Zwillingsbildungen usw. benutzt werden, und dies geschah in den betreffenden Arbeiten mehrfach mit wesentlichem Erfolg. Aber außerdem können die optischen Eigenschaften eines Minerals, wenn sie genügend bekannt sind, dazu dienen, dasselbe auch dann zu erkennen, wenn seine äußere Form nicht zur Ausbildung gelangt ist, nämlich in krystallinen Aggregaten desselben oder in Gemengen mit anderen Mineralien, wie sie in den krystallinen Gesteinen vorliegen. Da in den meisten dieser Fälle die einzelnen Krystallpartikel sehr klein sind, bedarf es der mikroskopischen Untersuchung von durchsichtigen Schnitten derselben, wie sie ein sogenannter „Dünnschliff“ des Aggregates darbietet. Der Erste, welcher solche Präparate anfertigte, und zwar auf Anregung G. ROSES, war ein Liebhaber der Mineralogie, der Privatgelehrte Dr. A. OSCHATZ in Berlin; nach mehrjähriger gemeinsamer Beschäftigung damit (mündliche Privatmitteilung G. ROSES an den Verfasser) legte G. ROSE am 7. Januar 1852 der deutschen geologischen Gesellschaft eine Sammlung von 50 durch OSCHATZ angefertigten Dünnschliffen vor; diese umfaßten von Mineralien (zum Teil mit Einschlüssen): Oligoklas (zum Vergleich auch Aventuringlas), Labradorit, Almandin, Lapis lazuli, Malachit, Chrysopras, Marmor und verschiedene Achate, von Gesteinen: Granit und Obsidian, endlich fossile Hölzer¹⁾. Eigene Beobachtungen an seinen Dünnschliffen und treffliche Bemerkungen über die Wichtigkeit der mikroskopischen Untersuchung von Mineralien und Gesteinen teilte OSCHATZ selbst mit in derselben Zeitschrift (1851, 3, 382; 1852, 4, 13; 1854, 6, 261; 1855, 7, 5; 1856, 8, 308 u. 534). Einen großen Fortschritt in der Untersuchung von Dünnschliffen machte M. WEBSKY (30) (damals in Tarnowitz i. Schl.) in seiner 1858 in der Zeitschr. d. dtsh. geol. Ges. erschienenen Abhandlung „Über die Krystall-Struktur des Serpentin und einiger demselben zuzurechnenden Fossilien“ durch die Anwendung

¹⁾ Von solchen waren schon 1842 durch UNGER Dünnschliffe beschrieben worden; von Fossilien überhaupt sind noch früher in England, auf Anregung von NICOL, durch WITHAM u. A. Dünnschliffe hergestellt worden. Einen „Chronologischen Überblick über die allmähliche Einführung der Mikroskopie in das Studium der Mineralogie, Petrographie und Paläontologie“ gab H. FISCHER 1868 in den Berichten der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg in Baden; diese Schrift ist nicht nur ausgezeichnet durch ihre Vollständigkeit und Gründlichkeit, sondern auch durch wertvolle Erläuterungen und Bemerkungen allgemeiner Art (ein Nachtrag dazu wurde vom Verfasser am Schluß der 1. Fortsetzung seiner krit.-mikr.-min. Studien 1871 mitgeteilt).

des polarisierten Lichtes; hier werden die mikrokrystallinischen, meist aus parallel- oder radialgestellten Fasern bestehenden Aggregate der betreffenden Mineralien als optisch zweiachsig mit wahrscheinlich rhombischer Symmetrie erkannt, sowie zum ersten Male das sogenannte „Polarisationskreuz“ radialfaseriger Gebilde beschrieben und richtig erklärt. Gleichzeitig mit den Arbeiten von OSCHATZ und WEBSKY wurde unabhängig davon die Methode der mikroskopischen Untersuchung von Dünnschliffen in England, wo die Herstellung solcher aus harten Gebilden organischen Ursprungs schon vorher ausgeübt wurde (s. vor. S. Anm.), auf Gesteine angewendet durch H. C. SORBY (1826—1908), welcher in dem *Quart. Journ. of the geol. soc.* 1851 die Resultate der Untersuchung eines kalkhaltigen Sandsteins mitteilte, dessen Bestandteile (Quarz, Kalkspat und Chalzedon) er unter Anwendung polarisierten Lichtes bestimmt hatte; 1858 veröffentlichte er in derselben Zeitschrift seine für die Petrographie und damit für die Geologie außerordentlich wichtig gewordene Abhandlung „On the microscopical structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks“.

Für die Mineralogie erlangten eine weit größere Bedeutung als die hier angeführten und die weiteren sich daran anschließenden Forschungen diejenigen, welche HEINR. FISCHER (34) in den Jahren 1869—1873 unter dem Titel „Kritische mikroskopisch-mineralogische Studien“ in den Berichten über die Verhandlungen der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg i. B. veröffentlichte. Außer den in ausgebildeten Krystallen beobachteten und den eigentlichen „amorphen“ Stoffen (Kolloide, Harze, Gesteinsgläser) waren allmählich als besondere „Mineralspezies“ eine Reihe von Substanzen beschrieben und benannt worden, welche nur „derb“, d. h. ohne regelmäßige, von ihrer Natur abhängige Außenformen vorkommen; von vielen derartigen „Mineralien“, namentlich Silikaten, war aus der Analyse sogar eine bestimmte chemische Formel berechnet worden, ohne daß irgendeine Prüfung auf die Homogenität des Materials stattgefunden hatte. FISCHER unterwarf nun eine große Anzahl derartiger verdächtiger „Spezies“ im Dünnschliff einer mikroskopischen Untersuchung und erkannte viele derselben als mechanische Gemenge von zwei, drei und manchmal noch mehr verschiedenen Mineralien, welche also in einem Lehr- oder Handbuche der Mineralogie höchstens in einem „Anhange“ Aufnahme finden dürften oder, wenn sie in der Natur in größeren Massen auftreten, den Felsarten zuzurechnen seien. Seine Arbeit bildete also gewissermaßen eine erst durch die inzwischen erfolgte Verbesserung der Methoden möglich gewordene Fortsetzung der von WERNER begonnenen Trennung der Gesteine von den eigentlichen Mineralien, welche die Begründung der Geognosie durch Letzteren zur Folge hatte. FISCHER dehnte seine Untersuchungen aber auch auf eine Reihe von eigentlichen Mineralien aus, deren chemische Zusammensetzung den Verdacht erregte, daß dieselben mechanische Beimengungen

enthielten, welche die Resultate der Analyse beeinflußten, und die in zahlreichen Fällen erfolgte Bestätigung dieses Sachverhaltes veranlaßte ihn, die Forderung an die Mineralchemiker zu stellen, nur sorgfältig auf Homogenität geprüfetes Material der Analyse zu unterwerfen; die hierbei gemachten Erfahrungen führten ihn dazu, in dem letzten Teile seiner „Studien“ den färbenden Pigmenten der Mineralien seine besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden. Die erstaunliche Fülle der mit peinlichster Sorgfalt ausgeführten Beobachtungen und die wichtigen allgemeinen Bemerkungen, welche in diesen „Studien“ enthalten sind, wurden bisher keineswegs in dem Maße berücksichtigt, wie sie es namentlich in Anbetracht des damaligen Standes der mikroskopischen Forschung und der äußerst bescheidenen Mittel verdienen, welche FISCHER zu Gebote standen. Seitdem sind mehr als 50 Jahre verflossen und die mikroskopischen Methoden außerordentlich verfeinert worden; es wäre daher im höchsten Grade erwünscht, daß in einem der mit entsprechenden Hilfsmitteln ausgestatteten großen mineralogischen Institute eine neue Bearbeitung der gleichen Aufgabe, wie sie sich FISCHER gestellt hatte, natürlich unter Einbeziehung aller seitdem aufgestellten „Pseudomineralien“, vorgenommen würde, damit diese endlich wenigstens aus den Lehrbüchern verschwinden.

Eine vollständige Umwälzung brachte die Untersuchung von Dünnschliffen im durchfallenden Lichte in der Petrographie hervor, und die immer zahlreicher werdenden Mineralogen, welche sich dem Studium der Gesteine zuwandten, arbeiteten mit Erfolg an der Vervollständigung der Kenntnisse derjenigen Eigenschaften, welche zur Bestimmung der Mineralien im Dünnschliff geeignet sind; sie faßten diese in besonderen Werken zusammen, von denen das erfolgreichste, die „Mikroskopische Physiographie der petrographisch wichtigen Mineralien“ von H. ROSENBUSCH, 1873 erschienen, namentlich in den folgenden, von WÜLFING bearbeiteten neueren Auflagen zahlreiche Bestimmungen der optischen Eigenschaften einzelner Mineralien enthält. Die auf Grund dieser Forschungen erfolgte Entwicklung der Gesteinslehre zu schildern, wird die sehr interessante und dankbare Aufgabe eines zukünftigen Historikers der allgemeinen Geologie sein. Hier können nur zwei Fortschritte der optischen Diagnose der Mineralien erwähnt werden, welche für die Krystallkunde eine allgemeine Bedeutung haben: den einen verdanken wir der ausgezeichneten Arbeit A. MICHEL-LÉVYS (Ann. des mines 1877) über die Schwingungsrichtungen zweiachsiger Krystallplatten und deren Abhängigkeit von der Orientierung des Schliffes; der andere betrifft die zahlreichen, namentlich seit der Einführung der FEDOROWSchen Universalmethode erfolgreichen Untersuchungen über die optischen Eigenschaften der triklinen Feldspäte, welche sich auf die Abhängigkeit dieser Eigenschaften bei isomorphen Mischungen von deren chemischer Zusammensetzung beziehen (vgl. S. 140).

Zusammenvorkommen (Paragenesis) der Mineralien und Entwicklung der Lagerstättenkunde.

In dem einleitenden Abschnitt (S. 156 u. f.) wurde ein allgemeiner Überblick über die Entwicklung der Kenntnisse von der Verbreitung der Mineralien gegeben. Schon die älteren der dort genannten Werke enthalten außer den Angaben über die Fundorte der einzelnen Mineralien auch solche über das Zusammenvorkommen mehrerer derselben, so z. B. dasjenige CHARPENTIER'S Erwähnungen des gemeinsamen Auftretens gewisser Mineralien auf den gewöhnlichen Erzgängen und dem mehr lagerartigen Vorkommen des Zinnerzes in Sachsen, sowie auf der von ihm ausführlich beschriebenen Lagerstätte des Topasfels am Schneckenstein im Vogtland (schon diese alte, durch vortreffliche Zeichnungen erläuterte, ausführliche Schilderung und die Erwähnung eines früheren Bergbaues auf Zinnerz in unmittelbarer Nähe des Topasfels deuten darauf hin, daß jener Fels nichts anderes ist, als ein mächtiger Gang von pneumatolytischer Entstehung). In den ebenfalls S. 156 erwähnten Beiträgen zur mineralogischen Kenntnis Sachsens von FREIESLEBEN findet sich eine Fülle von Angaben über Mineralassoziationen, besonders der sogenannten Granat-Kies-Blendelager des oberen Erzgebirges und der sächsischen Zinnerzlagerstätten, weitere in den Mitteilungen über sächsische Erzgänge, welche Derselbe später veröffentlichte, sowie denen anderer Autoren in den von B. v. CORTA (s. Dessen Lehre von den Erzlagerstätten) herausgegebenen „Gangstudien“, endlich in den „Erläuterungen zur geognostischen Karte des Königreichs Sachsen“ von C. NAUMANN und in einer Reihe von Aufsätzen des Letzteren in Poggendorffs Annalen der Physik. Der ebenfalls in das Mittelalter zurückreichende Bergbau im Harz führte natürlich ebenso wie der sächsische zu manchen Erfahrungen auf diesem Gebiete, welche wie die des Thüringer Bergbaues in den älteren Arbeiten von FREIESLEBEN, HAUSMANN, CREDNER u. a. niedergelegt sind. Weniger zahlreich sind die hierher gehörigen Beobachtungen, welche in den vielen geologischen Arbeiten über die west- und südwestdeutschen Länder aus älterer Zeit vorliegen (s. auch S. 156), während die alten Bergbaue in Böhmen, Ungarn und den österreichischen Alpen vielfältigere Angaben über das Zusammenvorkommen verschiedener Mineralien in der umfangreichen Literatur über diese Gebiete veranlaßt haben. Erheblich geringer ist die Zahl der hier in Betracht kommenden Notizen, welche in den Arbeiten über ältere Bergbaue in den Westalpen, in Italien und Frankreich zerstreut sind. In

England ist der älteste und in mineralogischer Beziehung interessanteste Bergbau derjenige der Zinnerzlagertstätten von Cornwall; über das Zusammenvorkommen der Mineralien und deren Altersfolge auf diesen Lagerstätten liegen eingehende Beobachtungen von W. HENWOOD in mehreren englischen Publikationen in den Jahren 1831—1846 vor, während für die Entstehung derselben besonders wichtig geworden ist die Abhandlung von G. A. DAUBRÉE (35), „Mém. s. l. gisement, la constitution et l'origine des amas de minéral d'étain“ (Ann. des mines, Paris 1841). In dieser Arbeit, welche seinen Ruhm als hervorragender französischer Geologe begründete, stellt er eine eingehende Vergleichung der englischen Zinnerzlagertstätten mit denen des Erzgebirges und den weniger bedeutenden französischen an und macht darauf aufmerksam, daß überall das Zinnerz begleitet werde von Verbindungen des Fluors oder des Bors bzw. von solchen beiderlei Art; da nun die genannten Elemente flüchtige Verbindungen mit Zinn und Silicium bilden, so gelangte er zu dem Schlusse, daß diese beiden Elemente in der Form ihrer flüchtigen Verbindungen aus der Tiefe in die jetzt mit ihren Oxyden imprägnierten Gesteine und deren Spalten gelangt seien, eine Annahme über die Entstehung der quarzreichen Lagerstätten des Zinnerzes, welche er später auch auf die Bildung derjenigen der Titanverbindungen ausdehnte und durch seine im letzten Abschnitt zu besprechenden synthetischen Darstellungen der Dioxyde von Zinn und Titan stützte.

Zu den S. 159 bereits genannten älteren Werken über die skandinavischen Erzlagertstätten ist hier noch hinzuzufügen B. M. KEILHAUS (1797 bis 1858) „Gaea Norwegica“, Christiania 1838, und DAUBRÉES Arbeit: „Mém. s. l. dépôts métallifères de la Suède et de la Norwège“ (Ann. des mines 1843). In der letzteren werden nach einer allgemeinen geologischen Übersicht die mineralogischen Verhältnisse einer großen Anzahl schwedischer und norwegischer Lagerstätten besprochen, welche teils als eigentliche Gänge, teils als Kontaktbildungen, teils als Einlagerungen im Gneis oder in plutonischen Gesteinen betrachtet werden, wobei aber auch auf Übergänge dieser Typen und auf mehrfache Beziehungen derselben zu den Pegmatiten hingewiesen wird; wenn man auch jetzt über die meisten dieser in Skandinavien so häufigen Bildungen zu anderen Anschauungen gelangt ist, so bildet doch DAUBRÉES Arbeit eine für die damalige Zeit wertvolle Ergänzung der älteren von HISINGER, HAUSMANN und KEILHAU.

Über russische Erzlagertstätten sind Beobachtungen betreffs des Zusammenvorkommens der Mineralien aus älterer Zeit hauptsächlich in dem mehrfach angeführten Werke G. ROSES enthalten. In den meisten außereuropäischen Ländern endlich ist der Bergbau und das Studium der Lagerstätten jüngeren Alters und soll weiter unten besprochen werden.

* * *

Während DAUBRÉE nur für besondere, von allen übrigen sich auffallend unterscheidende Erzlagerstätten aus deren Mineralassoziation Schlüsse auf ihre Entstehung zog, wurde zu gleicher Zeit dieses Problem in viel allgemeinerer Weise in Angriff genommen durch A. BREITHAUPT (26) in seinem 1849 in Freiberg erschienenen, aber durch langjährige Forschungs- und Lehrtätigkeit daselbst vorbereiteten Werke: „Die Paragenesis der Mineralien. Mineralogisch, geognostisch und chemisch beleuchtet, mit besonderer Rücksicht auf Bergbau.“ Mehrfach war man schon früher, vereinzelt sogar schon vor der Zeit WERNERS, aufmerksam geworden auf das gesellschaftliche Zusammenvorkommen gewisser Mineralien sowohl in den Gesteinen, als in den sogenannten Gangformationen — es fehlte aber an einer systematischen Aufsuchung der hier herrschenden Gesetzmäßigkeiten, besonders an der Bestimmung der Altersfolge der zu einer Assoziation gehörigen Mineralien bzw. dem Nachweis der Gleichzeitigkeit ihrer Bildung — und dieses Forschungsgebiet begründete BREITHAUPT durch seine „Paragenesis“. Die ersten Abschnitte dieser Schrift beschäftigen sich mit der Entstehung ringsum ausgebildeter Krystalle in Mineralgemengen, sowie der von Krystallkonglomeraten, Ausscheidungen und Einschlüssen in Gesteinen, auf Grund des relativen Alters derselben gegenüber der umgebenden Felsart, ferner mit der Altersfolge der Bestandteile in den körnigen oder schiefrigen gemengten Gebirgsarten, ferner mit den Erzimprägnationen („Divergenzzonen“) in krystallinischen Gesteinen und den in solche eingelagerten, oft auch Erze enthaltenden Kalkstöcken, endlich mit den Ausfüllungen von Blasenräumen (Achat-, Zeolithbildung u. dgl.). Wenn auch die in diesen Abschnitten niedergelegten genetischen Betrachtungen mehr auf Beobachtungen an Handstücken als auf solchen in der Natur beruhen und jetzt größtenteils nur noch historischen Wert besitzen, so sind doch viele Einzelresultate der Forschung dieses ungewöhnlich scharfsinnigen Beobachters noch heute der Beachtung wert. Den umfangreichsten und wichtigsten Teil des ganzen Werkes bildet der letzte Abschnitt, welcher die „Gangformationen“ behandelt; dieser beginnt mit einer Besprechung der bisherigen Theorien der Gangbildung und der Erscheinungen, welche die eine oder andere derselben zu stützen geeignet sind; als „Formation“ wird eine Gruppe von Mineralien bezeichnet, welche durch eine besondere Art des Zusammenvorkommens charakterisiert ist, und hiernach eine große Anzahl Typen von Lagerstätten unterschieden, von denen allerdings manche von eigentlichen „Gängen“ wesentlich verschieden sind und wobei nicht nur die bis dahin durch den Bergbau aufgeschlossenen Erzvorkommen, sondern auch Minerallagerstätten von nur wissenschaftlicher Bedeutung berücksichtigt werden. Die Einzelbetrachtung der Formationen findet in einer Reihenfolge statt, welche der des vom Verfasser angenommenen relativen Alters entspricht, derart, daß die jüngsten als die letzten behan-

delt werden, und beginnt mit der „Pyroxen-Granat-Pyrit-Blendeformation“ (Breitenbrunn und anderenorts im Erzgebirge, im Banat, mehrorts in Skandinavien, wie Pitkäranda usw.); diese wird charakterisiert durch wenig regelmäßige Begrenzung und oft sehr ungleiche Verteilung der verworren ohne bestimmte Altersfolge, miteinander verwachsenen Mineralien, von denen außer den genannten Magnetkies, Kupferkies, Bleiglanz, Magneteisenerz, Zinnerz zuweilen in großen Massen auftreten; durch das Vorkommen von Kalkspat zeigen diese Lagerstätten eine Beziehung zu den oben erwähnten „Kalkstöcken“. Zunächst wird dann die „Titanformation“ der Zentralalpen betrachtet, in welcher Periklin, Adular, Chlorit, Titanit, Rutil, Anatas und meist als jüngste Bildung Quarzkrystalle auftreten (die späteren Ergebnisse des Studiums dieser Lagerstätten wird weiter unten besprochen werden). Es folgt die „Zinn- und Scheelformation“, deren paragenetische Verhältnisse an einer Reihe von Vorkommen, hauptsächlich aus dem sächsisch-böhmischen Erzgebirge, erläutert werden; hier ist stets der Quarz das älteste Mineral, später entstanden Zinnerz, Wolframit (sekundär aus diesen Scheelit), Molybdänglanz, Zinnwaldit, Flußspat, häufig auch Apatit, Topas, Eisenglanz und Arsenkies (die Entwicklung der Forschung über die Genesis dieser Lagerstätten wird später ausführlich behandelt werden). Zu den durch den Freiburger Bergbau schon früher eingehend studierten Erzgängen gehören diejenigen der „edlen Quarzformation“, zu der BREITHAUPT auch die Tellurerze führenden Gänge Siebenbürgens rechnet; hier ist stets Quarz das älteste und vorwaltende Mineral, mit dem sich finden Antimonglanz, edle Silbererze, endlich als jüngste Bildung Gold und Silber im metallischen Zustande. Noch wichtiger für den Freiburger Bergbau waren die Gänge der „pyritischen Blei- und Zinkformation“, zu der unter anderen auch gewisse ungarische Erzgänge gehören; sie sind charakterisiert durch das Vorwalten von Bleiglanz (mit geringem Silbergehalt), dunkler Zinkblende, Sulfiden des Eisens, ferner von Arsenkies und Chalkopyrit, während als Gangarten hauptsächlich Quarz und Karbonate erscheinen. Nahe verwandt und ebenfalls sehr verbreitet ist BREITHAUPTS „Klinoedritische Blei- und Zinkformation“, in der Fahlerz vorherrscht, daneben Zinkblende, Bleiglanz, Kupferkies und unter den Gangarten besonders verschiedene Karbonate auftreten. Die in vielen Ländern vorkommenden und oft sehr mächtigen Gänge der „Eisenspatformation“ enthalten neben dem ältesten und hauptsächlichsten Bestandteil Siderit oder dessen Oxydationsprodukten, zu denen häufig Manganerze hinzutreten, andere Karbonate, Quarz und Pyrit. Die Erze der „Kupferformation“ (Sachsen und Thüringen, Tirol, Chessy, Cornwall, Ural) sind vorherrschend Chalkopyrit, Kupferglanz, Bornit, Fahlerz und Pyrit oder die durch Umwandlung daraus hervorgegangenen Oxyde und Karbonate des Kupfers, sowie die Hydroxyde des Eisens; die (ältere) Gangart ist meist Quarz. Dasselbe Mineral bildet auch in

der „Antimonformation“ (besonders an vielen Orten in Ungarn, ferner in der Auvergne, bei Goldkronach in Bayern usw.) die Unterlage des Haupterzes Antimonglanz, welcher häufig von metallischem Gold begleitet wird. In der „Mangan- und Eisenformation“ (Vorkommen in Sachsen und Thüringen, sowie das recht abweichende der Insel Elba) scheinen die Eisenerze, hauptsächlich Roteisenerz, früher entstanden zu sein als die Manganerze, Manganit und der daraus hervorgegangene Pyrolusit; manchmal fehlt eine der beiden Bildungen auch ganz; außer Quarz spielen als Gangarten eine Rolle Baryt und Kalkspat; Schwefelmetalle fehlen vollständig. Außerordentlich verbreitet und oft sehr mächtig sind die Gänge der „Fluor- und Barytformation“, welche entweder hauptsächlich aus Flußspat oder aus Schwerspat, meist aber aus beiden Mineralien bestehen und häufig auch sulfidische Erze führen; diese Formation ist charakterisiert durch die mehrfachen Wiederholungen der Bildung derselben Bestandteile und des Quarzes, der hier auch vielfach in jüngerer Generation erscheint. Einen großen Raum nimmt die Besprechung der „Kobalt- und Nickelformation“ ein, in welcher auch die später als „magmatische Ausscheidungen“ erkannten nickelhaltigen Magnetkieslagerstätten nebenbei Erwähnung finden, während die für die eigentlichen Kobalt- und Nickelerzgänge typischen Erze die Arsen- (seltener Schwefelarsen-)verbindungen dieser Metalle sind, zu denen häufig noch Wismuterze hinzutreten; als „ältere Kobaltformation“ wird zunächst unterschieden das Glaukodotvorkommen in Chile, als der „jüngeren Kobalt-Nickelformation“ angehörig die folgenden: die hauptsächlich Eisenspat führenden Lagerstätten in Steiermark, Kärnten, Westfalen, Thüringen, Ungarn usw., die bekannten quarzreichen Gänge von Schneeberg und anderen Orten im Erzgebirge, endlich die sogenannten „Rücken“ in Thüringen und Hessen, letztere beide besonders ausführlich beschrieben. Von den vorher betrachteten Gängen der „Fluor- und Barytformation“ unterscheiden sich diejenigen der „Barytischen Blei- und Zinkformation“ eigentlich nur dadurch, daß hier der Bleiglanz in großen Massen auftritt, während der Quarz manchmal fehlt; besonders bezeichnend sind verschiedene Oxydationsprodukte des Galenit, unter denen auch das Bleimolybdat angeführt wird; hierher gehören zahlreiche Gänge im sächsischen Erzgebirge, in England usw. Als Gänge der „Barytischen Kupferformation“ werden diejenigen Schwerspatgänge des Harzes und des nördlichen Norwegens bezeichnet, auf denen dem Baryt die Bildung von Kupferkies, Bornit und Kupferglanz folgte. Dieselbe Gangart, statt ihrer aber auch Quarz oder Kalkspat, erscheint auch in der „Formation der edlen Geschicke, oder Silberformation“, welche außer dem metallischen Silber und dem Argentit die Sulfarsenite und Sulfantimonite dieses Metalls, häufig auch gediegen Arsen enthalten; hierher gehören die reichen Silbererzgänge des alten Bergbaues von Freiberg, Joachimsthal, Andreasberg a. H., ferner diejenigen von Kongs-

berg in Norwegen, von Chile, Peru und Mexiko. Als „Barytische Merkurformation“ bezeichnet BREITHAUPT die Zinnererzgänge, weil diese oft Schwerspat als ältere Gangart enthalten, an dessen Stelle aber auch Karbonate vorkommen. Auf manchen Erzgängen, z. B. bei Andreasberg a. H., erscheint als jüngste Bildung eine „Zeolithformation“, entstanden durch Auslaugung des Nebengesteins. Als „Phosphatformation“ werden dann mannigfaltige sekundäre Mineralbildungen zusammengefaßt und diesen endlich noch einige Sukzessionen von Mineralien angeschlossen, „deren Gangformationen noch nicht bestimmt sind“, z. B. die Axinit- und Epidotvorkommen von Bourg d’Oisans, die Mineralien der Magnetitlagerstätte von Traversella u. a. In den Schlußbetrachtungen wird besonders auf den durchgreifenden Unterschied zwischen den paragenetischen Verhältnissen der Ausfüllung von Blasenräumen und denen des Mineralbestandes der Erzgänge hingewiesen und daraus der Schluß gezogen, daß der letztere im allgemeinen nicht durch Lateralsekretion entstanden sei, sondern dem Aufsteigen von Lösungen aus dem Erdinnern, zu dessen wesentlichen Bestandteilen außer den schweren Metallen nach mehrfach geäußerter Ansicht des Verfassers auch die Sulfide gehören.

Das BREITHAUPTSche Werk bildet einen Ausgangspunkt für die weitere Entwicklung eines wichtigen Zweiges der angewandten Geologie, der Erzlagerstättenkunde. Sein Einfluß zeigt sich am deutlichsten in den Arbeiten über die paragenetischen Verhältnisse der Erzgänge von Příbram in Böhmen, welche A. E. REUSS (vgl. S. 157) 1856 und 1863 in den Sitzungsberichten der Wiener Akademie d. Wiss. veröffentlichte und in denen gezeigt wird, daß auf diesen durch die Mannigfaltigkeit ihrer Mineralien ausgezeichneten Gängen die Hauptbestandteile (Bleiglanz, Zinkblende, Baryt und Karbonate) in vielfach sich wiederholenden Generationen auftreten. Einen Mangel haben jedoch die Angaben dieses Forschers, der auch denen BREITHAUPTS zum größten Teile und manchen der S. 156—161 erwähnten Arbeiten über Mineralvorkommen und deren Paragenesis anhaftet, daß sie nämlich nur auf Beobachtungen in den Sammlungen beruhen, während die Lagerstättenkunde nicht nur der mineralogischen Forschung, sondern ebenso sehr der Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse bedarf. Von größeren, durch das Studium der Paragenesis beförderten Fortschritten der Erzlagerstättenkunde konnte daher erst seit der Verbindung der geologischen und der mineralogischen Forschung die Rede sein. Ein vortreffliches Beispiel einer solchen Vereinigung bietet die 1865 in der Zeitschr. d. dtsh. geol. Ges. erschienene Arbeit über die Silbererzgänge zu Andreasberg a. Harz von HERM. CREDNER (1841—1913), dem wir ferner wichtige Mitteilungen über die Erzlagerstätten Nordamerikas, sowie als Hauptarbeit seines Lebens die erste moderne geologische Kartierung, diejenige Sachsens, verdanken. Ähnliche paragenetische Verhältnisse, wie sie durch den Gangbergbau bei

Freiberg und an anderen Orten im Erzgebirge, bei Pöbram in Böhmen und am Harz erkannt worden waren, wurden an zahlreichen Erzgängen beobachtet in Westfalen, den Rheinlanden, in Ungarn, England, Norwegen usw., wie an vielen Orten Nordamerikas.

Schon zur Zeit WERNERS war es bekannt und durch zahlreiche Forschungen im sächsisch-böhmischen Erzgebirge festgestellt worden, daß die Zinnerzgänge wesentlich von den Gängen mit sulfidischen Erzen abweichen, besonders durch ihre Beziehung zu lager- oder stockartigen, die gleichen Mineralien führenden Lagerstätten; eine Erklärung dieses Unterschiedes lieferte nun die oben erwähnte Arbeit DAUBRÉES durch die Annahme, daß die Zinnerzformation nicht durch Aufsteigen metallhaltiger Lösungen aus der Tiefe, sondern durch das Eindringen gasförmiger Massen von Fluor- und Borverbindungen aus dem Erdinnern in die betreffenden Gesteine im Zusammenhange mit granitischen Intrusionen entstanden sei. Diese Theorie bestätigte sich nun durch weitere Untersuchungen immer mehr, und zwar war es hauptsächlich einer der besten Kenner der Erzlagerstätten, der sie in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts an der Freiburger Bergakademie lehrte, ALFR. W. STELZNER (1840—1895), welcher hierzu wichtige Beiträge lieferte; unter diesen sind besonders zu nennen seine Arbeit über Geyer und Ehrenfriedersdorf (1865) und die erst nach seinem Tode erschienene über die südamerikanischen Vorkommen; für das Erzgebirge wurden weitere Bestätigungen geliefert durch die unter H. CREDNERS Leitung stehende geologische Landesuntersuchung Sachsens.

In BREITHAUPTS Paragenesis sind mehrere Lagerstätten unter den „Gangformationen“ aufgeführt, welche mit echten Gängen nicht verwandt sind, da sie weder Ausfüllungen von Spalten noch von andersgestalteten Hohlräumen bilden. Dazu gehören die Eisen-, Kupfer- und andere Erze führenden ungarischen Lagerstätten, welche an den Grenzen von sedimentären Kalk- und Tonschichten gegen Eruptivgesteine auftreten und von den für Kontaktbildungen charakteristischen kalziumhaltigen Silikaten (besonders Granat) begleitet werden. B. v. COTTA, in seiner „Erzlagerstättenlehre“ (2. Aufl. 1859) und besonders in seiner Schrift „Erzlagerstätten im Banat und in Serbien“ (1864), war wohl der Erste, welcher diese Vorkommen als „Kontaktlagerstätten“ bezeichnete und ihren Erzgehalt als aus dem Eruptivgestein eingewandert betrachtete; jedoch sind seine Anschauungen hierüber wesentlich beeinflußt durch diejenigen der französischen Geologen ÉLIE DE BEAUMONT (1798—1874) und J. FOURNET (1801—1869), welche zuerst auf diese genetische Beziehung der Erzlagerstätten zu Eruptivgesteinen hinwiesen. Unter den seit alter Zeit durch ihren Mineralreichtum berühmten Lagerstätten gehört unzweifelhaft zu der gleichen Kategorie diejenige von Traversella in Piemont, deren während einer Reihe von Jahrzehnten aufgelassener Bergbau in neuerer Zeit wieder aufgenommen wurde. In paragenetischer

Beziehung zeigt mit den ungarischen Lagerstätten noch größere Ähnlichkeit diejenige von Arendal in Norwegen; diese und die ebenfalls von kalkhaltigen Silikaten („Skarn“) begleiteten Eisenerze der schwedischen Lagerstätten sind unzweifelhaft ebenfalls metamorphische Bildungen, aber in krystalline, ältere Gesteine eingelagert, ähnlich wie die sogenannten „Falbänder“, welche früher als Imprägnationszonen betrachtet, in neuerer Zeit auch vielfach als syngenetische, gemeinsam mit den sie beherbergenden Schichten metamorphosierte Bildungen aufgefaßt werden.

Für die Entstehung gewisser Erzlagerstätten Skandinaviens und anderer Länder machten sich in den letzten Jahrzehnten immer mehr geltend Anschauungen, welche im wesentlichen auf die Ideen zurückzuführen sind, zu denen BRÖGGER durch seine, für die neuere Entwicklung der Petrographie der Eruptivgesteine grundlegend gewordenen Beobachtungen im Kristianiagebiet gelangte; ihre Anwendung auf die Erzlagerstätten wurde begründet durch die Untersuchungen von I. H. L. VOGT, welche vorbereitet und begleitet wurden von Dessen Studien über Schlacken und Silikatschmelzlösungen überhaupt. Letzterer zeigte im Jahre 1893 (Zeitschr. f. prakt. Geol.), daß bei der Erstarrung basischer Eruptivgesteine, welche weit reicher an Schwermetallen als die sauren sind, in ihrem, die letzteren größtenteils als Sulfide gelöst enthaltenden Schmelzmagma eine vermehrte Ausscheidung dieser Bestandteile am Kontakt mit dem Nebengestein stattfindet und so randliche Anhäufungen der Erze zustande kommen, wie die des nickelhaltigen Magnetkieses im südlichen Norwegen, an einigen anderen Orten in Europa und in besonders großem Maßstabe bei Sudbury in Kanada. Als „magmatische Ausscheidungen“ basischer Eruptivgesteine, nämlich der Peridotite, waren übrigens schon längst die Chromeisenerzlagerstätten erkannt worden, mit denen in naher Beziehung stehen: das uralische Vorkommen des Platins, welches in neuerer Zeit der Gegenstand eingehenden Studiums von L. DUPARC in Genf geworden ist; die Ausscheidungen metallischen, oft stark nickelhaltigen Eisens in basischen Eruptivgesteinen; endlich diejenigen des Kohlenstoffs in der Form des Diamants, für dessen Entstehung die vulkanischen Lagerstätten Südafrikas so wesentliche Anhaltspunkte geliefert haben. Ferner hatte als „Eruptivmassen“ schon G. ROSE die Magnetberge des Urals bezeichnet, für welche jedoch die rein magmatische Bildung wohl noch zweifelhaft sein dürfte, ebenso wie für die riesigen Magneteisenerzmassen des nördlichen Schwedens, während sie für gewisse skandinavische Titaneisenerzlagerstätten als sicher festgestellt betrachtet werden kann.

Wenn auch heute über die Genesis einer nicht geringen Anzahl von Erzlagerstätten die Akten noch keineswegs geschlossen sind, so müssen doch die Fortschritte dieses technisch so wichtigen Wissenszweiges seit der Mitte des vorigen Jahrhunderts als außerordentlich große bezeichnet werden, und ihnen entspricht die steigende Bedeutung der Behandlung

des Gegenstandes im Unterrichte der montanistischen Hochschulen, sowie in besonderen Lehr- und Handbüchern. Nachdem schon einige Jahre vor dem Erscheinen seiner Paragenesis BREITHAUPT Vorlesungen über deren Gebiete gehalten hatte, begann 1851 B. v. COTTA in Freiberg den regelmäßigen Unterricht in der Lehre von den Erzlagerstätten und veröffentlichte 1853 zuerst einen Leitfaden derselben, dessen zweite, stark vermehrte Auflage 1859 erschien. Bereits 1854 hatte I. D. WHITNEY in Philadelphia einen Versuch gemacht, die damals bekannten Lagerstätten Nordamerikas nach ihrer Entstehung zu unterscheiden; aber einem Lehrbuche wurde das genetische Prinzip zuerst zugrunde gelegt durch A. v. GRODDECK, dem Lehrer des Faches an der Bergakademie in Clausthal („Die Lehre von den Lagerstätten der Erze, ein Zweig der Geologie.“ Leipzig 1879). An COTTAs Stelle († 1879) trat in Freiberg A. STELZNER (s. oben), welcher die dortige Lagerstättensammlung nicht nur wesentlich vermehrte, sondern auch nach modernen Grundsätzen organisierte und beabsichtigte, seine reichen Erfahrungen auf dem Gebiete der Erzlagerstättenkunde in einem Handbuche niederzulegen, dessen Vollendung jedoch durch sein Ableben verhindert wurde; mit Benutzung seines handschriftlichen Nachlasses arbeitete dann sein langjähriger Assistent und Mitarbeiter A. BERGEAT, der inzwischen GRODDECKS Nachfolger in Clausthal geworden war, das 1904—1906 erschienene Werk „Die Erzlagerstätten“ aus und schuf damit ein außerordentlich vollständiges und gründliches Handbuch. STELZNERS Nachfolger auf dem Lehrstuhl an der Freiburger Bergakademie, R. BECK, ein Schüler CREDNERS, gab unterdessen 1901 ein vortreffliches Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde heraus, welches 1903 in zweiter und 1909 in stark vermehrter dritter Auflage erschien. Eine ganz besondere Pflege fand in neuerer Zeit die Erzlagerstättenkunde in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, entsprechend deren außerordentlich großem Reichtum an Mineralschätzen der verschiedensten Art; an den dortigen, meist mit den Universitäten vereinigten technischen Hochschulen wird diese Wissenschaft mehrfach als wichtiger Teil der „Economic Geology“, der Kenntnis der nutzbaren Mineralien überhaupt, in eigenen Kursen gelehrt, z. B. in New York, wo sie EGGLESTON einführte und wo seit einer Reihe von Dezennien J. F. KEMP als Lehrer wirkt, dem wir ein vortreffliches, ganz auf genetische Prinzipien aufgebautes Lehrbuch („The Ore Deposits of the United States“, New York 1893, seitdem in neuer Auflage vermehrt und verbessert erschienen) und zahlreiche wertvolle Untersuchungen amerikanischer Lagerstätten verdanken. Deren Erforschung bildet einen beträchtlichen Teil der Tätigkeit der U. St. Geolog. Survey, daher deren Publikationen eine reiche Quelle für die Kenntnis der Erzvorkommen sind (von den größeren Monographien, welche noch in die hier gesteckten Zeitgrenzen fallen, mögen nur genannt sein diejenigen von G. F. BECKER, S. F. EMMONS und C. R. VAN HISE.) Die europä-

ischen Forschungen der letzten Dezennien sind meistens veröffentlicht in der seit 1893 in Berlin erscheinenden „Zeitschr. f. prakt. Geologie“ (zum Teil auch in den Publikationen der preußischen geologischen Landesanstalt). Hier wie in den amerikanischen Veröffentlichungen werden neben den Erzen auch die übrigen nutzbaren Mineralien behandelt, und ebenso sind neben dem neuesten zusammenfassenden Werke von F. BEY-SCHLAG, P. KRUSCH und I. H. L. VOGT (1. Aufl. 1910—1913, 2. Aufl. 1914—1921) auch solche über die wichtigsten Lagerstätten der „Nicht-erze“ (Graphit, Diamant, Schwefel, Phosphate, Kalisalze, Kohlen usw.) erschienen.

Die bisher betrachteten Arten des Zusammenvorkommens der Mineralien gehören ihrer technischen Bedeutung wegen wesentlich in das Forschungsgebiet der angewandten Geologie. Es gibt aber eine große Anzahl von Minerallagerstätten, deren Interesse ausschließlich oder wenigstens vorwiegend ein rein wissenschaftliches ist, und dies gilt besonders von den durch die außerordentliche Mannigfaltigkeit ihrer Mineralführung ausgezeichneten „Pegmatiten“, denen in neuerer Zeit immer allgemeiner eine sogenannte „pneumatolytische“ Entstehung zugeschrieben wird. Der Begriff der „Pneumatolyse“ geht zurück auf den großen Chemiker R. BUNSEN, welcher im Jahre 1851 in seiner Arbeit „Über die Prozesse der vulkanischen Gesteinsbildungen Islands“ (Poggendorffs Ann. d. Phys., Bd. 83) die Möglichkeit der „direkten Verschmelzung von glühend flüssigem Wasser mit glühend flüssigem Gestein“, also der Lösung eines flüchtigen Stoffes im Schmelzmagma des Erdinnern unter dem daselbst vorhandenen Drucke erörterte, nachdem er bereits in vorhergehenden Jahren (Poggendorffs Ann. d. Phys. Bd. 81) auf Grund der ersten Versuche über Änderung des Schmelzpunktes einer Substanz durch den Druck den Einfluß der ungeheuren, im Erdinnern herrschenden Druckkräfte auf die Erstarrungsverhältnisse der plutonischen Gesteine besprochen hatte. Das theoretische Verständnis der hierbei in Betracht kommenden Prozesse wurde allerdings erst möglich durch die großen, wesentlich von ihm beförderten Fortschritte, welche die physikalische Chemie in den letzten Dezennien des 19. Jahrhunderts gemacht hat. Um dieselbe Zeit, wie jene Arbeit BUNSENS entstanden diejenigen über die künstliche Darstellung der Mineralien durch eine Reihe französischer Chemiker und Geologen, deren wissenschaftliche Bedeutung erst im folgenden Abschnitt gewürdigt werden kann, von denen aber hier erwähnt werden muß, daß sie den die Krystallisation außerordentlich begünstigenden Einfluß flüchtiger, in den Schmelzen enthaltener Stoffe zeigten, welche man daraufhin als „agents minéralisateurs“ bezeichnete; auf einen derartigen Einfluß deuteten nun besonders die mineralogischen Verhältnisse der sogenannten „Pegmatitgänge“ hin, in welchen die großkrystallinische Beschaffenheit der Hauptbestandteile zuweilen einen

kolossalen Grad erreichte und zugleich das Auftreten von krystallisierten Fluor- und Borverbindungen und die Häufigkeit von Krystalldrüsen auf die Mitwirkung flüchtiger Stoffe bei der Entstehung hinarwiesen.

In den Granitpegmatiten ist die erwähnte großkrystalline Beschaffenheit häufig verbunden mit jener innigen gegenseitigen Durchdringung der beiden Hauptbestandteile Feldspat und Quarz, welche schon in früherer Zeit der mineralogischen Forschung die Aufmerksamkeit auf sich gezogen und zu der volkstümlichen Benennung „Schriftgranit“ Veranlassung gegeben hat. Die hierbei stattfindende eigentümliche Art der Verwachsung der beiden Mineralien läßt die Vermutung begrciflich erscheinen, daß es sich hier, wie in so vielen anderen Fällen, um eine regelmäßige Verwachsung handele — und BREITHAUPT glaubte, daß der zuweilen scheinbar vorhandene Parallelismus gewisser Kanten der beiden Krystallarten auf einem bestimmten Gesetze beruhe, und hat diese Ansicht bis zuletzt in seinen Vorlesungen aufrecht erhalten. G. ROSE, der sich so eingehend mit den krystallographischen Verhältnissen des Feldspats und des Quarzes beschäftigte und sie bis zu seinem Tode zum bevorzugtesten Gegenstand seiner Vorlesungen machte, gelangte durch wiederholte sorgfältigste Untersuchung zu dem Resultat, daß im Schriftgranit zwar der Feldspat auf große Strecken hin übereinstimmende Orientierung besitze, ebenso die eingelagerten Krystallskelette des Quarzes untereinander parallel seien, von einer gesetzmäßigen gegenseitigen Orientierung der beiden Krystallstrukturen jedoch keine Rede sein könne. Da es sich hier um eine wesentlich gleichzeitige Krystallisation der beiden Mineralien handelt, so ist auch keine Ursache dafür einzusehen, warum die zuerst sich ausscheidenden Partikel des einen und des andern Minerals, deren jedes in paralleler Fortwachsung zu dem Aufbau des Gemenges beiträgt, in einer bestimmten Orientierung zueinander stehen sollten.

Der Name „Pegmatit“, ursprünglich als gleichbedeutend mit „grobkörniger Granit“ betrachtet und besonders auf die mit größeren granitischen Massen in Verbindung stehenden Gänge (sogenannte „Ausscheidungsgänge“), verzweigten Apophysen und schlierenartigen Bildungen angewendet, erhielt in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts allmählich eine allgemeine Bedeutung als Bezeichnung plutonisch erstarrter Mineralgemenge verschiedener Art, deren Genesis immer mehr als eine übereinstimmende erkannt wurde. Diese Erkenntnis ist hauptsächlich zuzuschreiben den Forschungen C. W. BRÖGGERS (vgl. S. 175) über die Pegmatitgänge des südlichen Norwegens, durch welche nachgewiesen wurde, daß diese stets im genetischen Zusammenhange stehen mit größeren plutonischen Erstarrungsmassen, gleichgültig ob diese den sauren oder den basischen Eruptivgesteinen angehören, von denen die ersteren granitische, die letzteren syenitische Pegmatite als meistens zuletzt ent-

standene Ausscheidungen des erstarrenden Magmas lieferten. Die Übereinstimmung der Genesis zwischen den syenitischen und den gewöhnlichen granitischen Pegmatiten zeigten sich bei diesen Forschungen auch durch den Nachweis, daß die für die letzteren so charakteristische „Schriftgranit“textur ebenso in den syenitischen Pegmatiten erscheint, nur daß hier an Stelle des Quarzes ein anderes Mineral tritt, meist ein Glied der Pyroxen- oder der Amphibolgruppe. Wenn auch damals die Rolle, welche bei der Erstarrung eines Schmelzmagmas die darin gelösten Gase spielen, theoretisch noch nicht klargestellt war, so enthalten die Arbeiten BRÖGGERS doch weitaus das umfangreichste Material an sorgfältigen, für die Entstehung dieser Bildungen wertvollen Beobachtungen über die Verhältnisse, namentlich auch über die Altersbeziehungen der einzelnen Mineralien dieser mineralogisch so wichtigen Lagerstätten. Ähnliche Verhältnisse, wie im südlichen Norwegen, liegen auch im Ural vor, nämlich in den sogenannten „Miasciten“ G. ROSES, auf deren Verwandtschaft mit den „Zirkonsyeniten von Brevig“ schon Dieser aufmerksam machte; ebenso verdanken wir Letzterem auch wertvolle Beobachtungen über die granitischen Pegmatite desselben Gebietes, wie über diejenigen des Altai und Ostsibiriens. Ferner kommen hier in Betracht die sorgfältigen Beobachtungen G. VOM RATHS über die Granitgänge der Insel Elba und diejenigen CREDNERS über die ebenfalls turmalinreichen Gänge im sächsischen Granulitgebiet, deren Kenntnis durch die Geologen der sächsischen Landesuntersuchung später auch eine bedeutende Vermehrung erfuhr. Sehr reich an den hier in Rede stehenden Minerallagerstätten ist Nordamerika; zu deren mineralogischer Erforschung sind außer den S. 176 und S. 183 erwähnten Arbeiten in neuester Zeit noch viele nicht minder wertvolle hinzugekommen. Außerordentlich bereichert wurde die Kenntnis der Pegmatite in neuester Zeit durch die hauptsächlich von LACROIX studierten Vorkommen der Insel Madagaskar, denen sich einige sehr interessante Südafrikas anreihen. Endlich sei noch erwähnt, daß zu den altbekannten Pegmatiten des bayerischen Waldes neu entdeckte Vorkommen hinzugetreten sind, deren Untersuchung noch im Gange ist. Es liegt für das Studium dieser mineralogisch so interessanten Bildungen, welche durch die auf ihnen stattgefundene Konzentration der Metalle der seltenen Erden neuerdings auch technisch von großer Bedeutung geworden sind, ein ungewöhnlich großes und sich stetig mehrendes Material vor.

Wie oben erwähnt, gelangte in neuerer Zeit immer mehr zur Herrschaft eine Ansicht über die Entstehung eines erheblichen Teiles der Erzlagerstätten, wonach deren Bestandteile aus erstarrenden intrusiven Schmelzmagmen des Erdinnern in die benachbarten Gesteine gelangten, sei es auf pneumatolytischem Wege, sei es als hydrothermale Lösungen. Derartige Vorgänge haben im allgemeinen auch mitgewirkt bei den-

jenigen Mineralneubildungen, welche man früher allein durch Umkrystallisation der von einer Eruptivmasse durchbrochenen Gesteine infolge der von jener bewirkten Erhitzung zu erklären suchte. Die Kontaktbildungen in den triassischen Kalken und Dolomiten Südtirols wurden durch die Forschungen LEOPOLD V. BUCHS die klassische Stätte für das Studium des Kontaktmetamorphismus und seit FR. V. RICHTHOFEN (damals in Wien an der geologischen Reichsanstalt tätig) 1860 seine berühmte „Geognostische Beschreibung von Predazzo, St. Cassian und der Seisser Alpe“ veröffentlicht hatte, studierten zahlreiche, hauptsächlich deutsche und österreichische Geologen und Mineralogen die dortigen Gesteine und ihre Kontaktbildungen. Unter den Untersuchungen, welche sich besonders mit den Minerallagerstätten des Fassatales und seiner Umgebung beschäftigten, müssen in erster Linie diejenigen von G. VOM RATH erwähnt werden; diesen folgten solche von C. DÖLTER (Wien), A. CATHREIN (Innsbruck), E. WEINSCHENK (München) u. A. Ganz ähnliche geologische und mineralogische Verhältnisse wies W. SALOMON (Heidelberg) in seiner schönen Arbeit über den Adamello nach. Mit den Änderungen, welche die mesozoischen Kalke und Dolomite Südtirols im Kontakt mit Eruptivgesteinen erfahren haben, zeigen gewisse Analogien die Umwandlungen, welche die von den mittelitalienischen Vulkanen ausgeworfenen Fragmente der jüngeren, von ihnen durchbrochenen Sedimentgesteine aufweisen; die mineralogischen Forschungen über diese Bildungen, welche sich hauptsächlich an den Namen A. SCACCHIS anknüpfen, wurden bereits S. 175 eingehend behandelt.

Die Alpen bergen aber noch eine andere Art von Kontaktlagerstätten, welche mit der Intrusion von Peridotiten in die Gesteine der Zentralkette zusammenhängen, und deren Verhältnisse erst im letzten Dezenium des 19. Jahrhunderts durch die Forschungen von E. WEINSCHENK in München († 1921) über die Minerallagerstätten des Großvenediger Gebietes und anderer Teile der Alpen klargestellt worden sind. Danach haben diese Intrusionen Änderungen in den durchbrochenen Gesteinen hervorgebracht, die notwendig gewisse Analogien mit den zuvor erwähnten darbieten da, wo letztere kalkreich waren; außerdem hat aber das Olivinegestein nach seiner Erstarrung eine Umwandlung zu Serpentin erfahren, und mit diesem plutonischen Prozesse ist verbunden gewesen die Bildung von Gemengen krystallisierter, besonders magnesia-reicher Mineralien sowohl im Serpentin selbst, als in seinen Kontaktzonen. Zu diesen Bildungen gehören die altberühmten Minerallagerstätten des Alatales in Piemont, welche besonders durch die Beschreibung von J. STRÜVER und die krystallographischen Untersuchungen desselben und anderer Forscher bekannt geworden sind. Weit verbreiteter sind dagegen in der Zentralkette der Alpen von den Bergen der Dauphiné bis zu denen Kärntens und Steiermarks diejenigen, von den eben erwähnten wesentlich verschiedenen Lagerstätten, welche man

früher als „Gänge der Titanformation“ bezeichnete und die jetzt die passendere Benennung „Alpine Mineralklüfte“ führen; die Entwicklung der Kenntnis dieser Bildungen soll weiter unten eingehend dargelegt werden.

Die Kontaktlagerstätten der Alpen werden an Zahl und Mannigfaltigkeit übertroffen von denjenigen der skandinavischen Länder. Hier haben die Erstarrungsgesteine verschiedenster Art das Grundgebirge, sowie die paläozoischen Schiefer- und Kalkschichten verändert und vielfach Lagerstätten krystallisierter Mineralien hervorgebracht, welche seit langer Zeit Gegenstand der Forschungen zahlreicher Mineralogen gewesen sind (vgl. S. 159 und S. 195). Wie bereits S. 201 erwähnt wurde, sind viele dieser Bildungen zugleich als Erzlagerstätten wichtig geworden. Zu ihnen treten ferner hinzu die interessanten Kontakterscheinungen, welche durch die Pegmatite hervorgebracht wurden und deren Kenntnis wir hauptsächlich den Forschungen von BRÖGGER, H. REUSCH († 1922) und J. H. L. VOGT verdanken. Durch diese ist namentlich erkannt worden, daß es sich bei den mit basischen Eruptivgesteinen zusammenhängenden sogenannten Apatitgängen um Mineralbildungen handelt, in denen das Chlor dieselbe Rolle spielt wie bei den mit sauren Massengesteinen in genetischer Beziehung stehenden Pegmatiten das Fluor, und dieser Unterschied kehrt auf gleiche Weise in andern Ländern wieder, so in Kanada (vgl. S. 160). Wie für die Pegmatite, so wurden auch für die Kontaktbildungen überhaupt die Arbeiten des großen norwegischen Forschers BRÖGGER von grundlegender Bedeutung, und aus seiner Schule ist auch dasjenige Werk hervorgegangen, in welchem zum ersten Male die Gesetze der physikalischen Chemie auf die Probleme der Mineralassoziation in den Kontaktbildungen angewendet wurden: V. M. GOLDSCHMIDT, „Die Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiet“ (Kristiania 1911), in welchem für das behandelte Gebiet auch eine eingehende Besprechung aller früheren Arbeiten über dasselbe enthalten ist. Wenn dieses Werk auch zeitlich über die im Vorliegenden gesteckte Grenze hinausgeht und die eigentliche Würdigung desselben Aufgabe der Geschichte der Geologie ist, so mußte es doch hier erwähnt werden wegen seines innigen Zusammenhanges mit den Forschungen über die Lagerstättenkunde, welche den Gegenstand der vorhergehenden historischen Darstellung bilden.

Wie oben erwähnt, ist die große Mehrzahl der alpinen Minerallagerstätten von den Kontaktbildungen wesentlich verschieden; es sind die an zahllosen, in der ganzen Zentralkette verstreut, wenn auch an einigen Stellen, wie am Gotthard, besonders angehäuften Fundstellen, aus denen der bereits den Alten bekannte „Bergkrystall“ stammt. Gegenstand krystallographischer Forschung war dieser schon seit den Zeiten des N. STENSEN und diente auch zu zahlreichen Arbeiten über dieses

Mineral. Seine Begleiter, namentlich die mannigfachen, schön krystallisierten Titanverbindungen veranlaßten viele Beschreibungen. Trotzdem wurden die Mineralien dieser Fundstellen früher nur von den berufsmäßigen Krystallsammlern (in der Schweiz „Strahler“ genannt) besucht und ausgebeutet, und es existiert aus älterer Zeit (1775) nur eine einzige Beschreibung einer solchen „Krystallgrotte“ von dem berühmten Schweizer Geologen SAUSSURE in seinen „Voyages d. l. Alpes“. Erst 1861 gab ein Mineralog, der unermüdliche G. VOM RATH, in der Zeitschr. d. dtsh. geol. Ges. auf Grund eigener örtlicher Untersuchung eine genaue Schilderung einer „Mineralkluft“ am Gotthard, wonach dieselbe einen linsenförmigen, mit feuchtem Lehm erfüllten Hohlraum im Granit („Granitgneis“) bildete, dessen Wände mit Krystallen von Adu-lar, Rauchquarz und Eisenglanz ausgekleidet waren und welcher seitlich in eine dichte Quarzmasse von abnehmender Mächtigkeit verlief. 1882 besuchte P. GROTH unter Führung eines vortrefflichen Lokalsammlers eine Anzahl von Fundstellen im Dauphiné und fand, daß dieselben in bezug auf die Paragenesis ihrer Mineralien sich wesentlich unterscheiden je nach dem Gestein, in welchem sie auftreten, so daß für die Entstehung der auf ihnen sich findenden krystallisierten Mineralien eine allmähliche Auslaugung des Nebengesteins angenommen werden müsse. Nachdem von Demselben und von WEINSCHENK zur Begründung dieser Ansicht durch das Studium zahlreicher ähnlicher Lagerstätten in den Ostalpen weiteres Material gesammelt worden war, begannen in den letzten Jahren des 19. Säkulums die bis in die neueste Zeit fortgesetzten Untersuchungen desjenigen Forschers, dem wir die vollständigste Kenntnis dieser für die Zentralalpen so charakteristischen Mineralbildungen und zugleich im wesentlichen auch die auf experimentelle Forschung gestützte Erklärung ihrer Entstehung verdanken, J. KÖNIGSBERGER in Freiburg i. Br. Die für diese Untersuchungen maßgebenden Grundlinien sind auseinandergesetzt in den einleitenden Bemerkungen zu seinen 1911 begonnenen Mitteilungen im Jahrbuch f. Min. usw. und zu den umfangreichen späteren Veröffentlichungen in den Denkschriften der Münchener Akad. d. Wiss. (in der Lagerstättenabteilung der bayer. mineralog. Staats-sammlung in München ist auch ein großer Teil der von ihm gesammelten Belegstücke niedergelegt). Von den Resultaten dieser Arbeiten sei hier zunächst erwähnt, daß die Bildung der Kluftmineralien erst nach den verhältnismäßig späten Faltungsvorgängen stattfand und daß ihre Bestandteile wesentlich aus dem durch Wasser und Kohlensäure unter dem Einfluß von Druck und Temperatur (welch letztere jedoch erheblich unter der bei der Erstarrung der betreffenden Gesteine gelegen ist) zersetzten Nebengestein stammen. Hierdurch erklärt sich die Abhängigkeit der Paragenesis der Kluftmineralien von der Zusammensetzung des umgebenden Gesteins, sowie die Verschiedenheiten des Habitus der Krystalle in den einzelnen Klüften, endlich aus physikalisch-chemischen

Gesetzen sogar die hier zuerst erkannte Verschiedenheit des Auftretens von Rauchquarz an Stelle wasserhellen Bergkrystalls je nach der Höhenlage der Klufft. So sind diese Arbeiten nicht nur von großer Wichtigkeit in mineralogischer und geologischer Beziehung, sondern bereichern auch die Krystallkunde, besonders die Kenntnis der Wachstumserscheinungen der Krystalle.

Die in Sedimentformationen eingelagerten Erzlagerstätten sind, ebenso wie die durch Kontaktwirkung entstandenen, in ihren jetzigen Zustand (zum Teil aber auch an ihren jetzigen Ort), gebracht worden durch Umwandlungsvorgänge, deren Besprechung am geeignetsten im nächsten Abschnitt erfolgt. Dagegen sind unter den nichtmetallischen Einlagerungen nicht nur dort, sondern ihres hohen paragenetischen Interesses wegen auch hier zu behandeln die *Salzlagerstätten*.

Schon seit früher Zeit war die innige Beziehung bekannt, in welcher das Vorkommen des Steinsalzes mit dem von Gyps und Anhydrit steht, von denen der letztere derb und in ausgebildeten Krystallen in Steinsalz selbst und in den dasselbe an manchen Orten begleitenden Magnesia- und Kalisalzen auftritt. Die Aufklärung der Verhältnisse der Bildung und Umbildungen der zahlreichen hierbei in Betracht kommenden chemischen Verbindungen wurde aber erst möglich durch die in der Mitte des 19. Jahrhunderts beginnende Aufschließung der norddeutschen Salzlagerstätten. Von den wissenschaftlichen Bergmännern ist dieselbe zu verdanken dem um die Kenntnis der Harzer Mineralien hochverdienten J. K. L. ZINCKEN (1790—1862), dem Vorstand des Anhalt-Bernburgischen Bergbaues, von dem die Benennung des später so wichtig gewordenen Kainit herrührt, besonders aber den beiden Leitern des preußischen Bergwesens in jener Zeit, C. v. CARNALL (1804 bis 1874) und O. KRUG v. NIDDA (1810—1885), von denen der erstere mit L. v. BUCH, G. ROSE u. A. 1848 die deutsche geologische Gesellschaft gründete, während Beide außerdem in der Erforschung der Minerallagerstätten Schlesiens wissenschaftlich tätig gewesen sind. Nachdem bereits an einer Reihe von Orten in Norddeutschland durch Bohrungen das Vorhandensein mächtiger Steinsalzlager nachgewiesen worden war, wurden in den fünfziger Jahren bei Staßfurt und in dem benachbarten anhaltischen Gebiete Schächte zur Gewinnung des erst in über 1000 bzw. 700 Fuß Tiefe erreichten Salzes angelegt; über dem eigentlichen Steinsalzlager befand sich eine 100—200 Fuß mächtige Schicht unreinen Salzes, d. h. eines Gemenges von Chlornatrium mit verschiedenen Magnesia-, Kalk- und Kalisalzen, welche man damals als „Abraumsalze“ bezeichnete. Sehr bald wurde aber deren Wichtigkeit, namentlich wegen ihres Kaligehalts, erkannt und sie zum Hauptgegenstand der Gewinnung gemacht. So entstand die großartige chemische Industrie von Staßfurt und Leopoldshall, um deren Entwicklung sich besonders

Dr. A. FRANK verdient gemacht hat. Die erste wissenschaftliche Beschreibung der das Material für diese Industrie liefernden Salzschiechten gab der damalige Leiter des Staßfurter Bergbaues F. BISCHOF in seiner Schrift „Die Steinsalzwerte bei Staßfurt“, Halle 1864 (2. umgearb. Aufl. 1875). Nach ihm folgt auf das eigentliche Steinsalzlager, welches durch dünne Einlagerungen von derbem Anhydrit („Jahresringe“) in zahlreiche, bis 6 Zoll dicke Schichten geteilt wird, die „Polyhalitregion“, eine Gruppe von Schichten, welche zwar noch vorwiegend aus Steinsalz bestehen, dem jedoch statt des Anhydrit meist Polyhalit und nach oben in steigender Menge Magnesiumchlorid beigemischt sind; darüber befindet sich die „Kieseritregion“, nämlich eine mächtige Schichtenfolge, welche neben dem Steinsalz erhebliche Mengen von Kieserit und von dem leichtlöslichen Carnallit, aber nur wenig Anhydrit enthält; hierauf folgt die „Carnallitregion“, in welcher das letztere Mineral das Steinsalz an Menge übertrifft, daneben Kieserit, Tachyhydrit und Magnesiumchlorid auftreten; diese Schichten werden bedeckt von dem Salzton, einem mit Steinsalz und Anhydrit verwachsenen bituminösen Mergel, auf welchen eine mächtige Ablagerung von Anhydrit und Gyps folgt; die letztere wird überlagert von noch weit mächtigeren Schieferletten, Sandsteinen und Kalken, endlich vom Diluvium. Die in der Schrift enthaltenen Erörterungen über die Entstehung dieser Lagerstätten gründen sich auf die damals noch allgemeine Annahme, daß dieselben sich in einer mit dem Ozean nur in geringer Verbindung stehenden Meeresbucht gebildet hätten. Aus dieser ging auch die „Barrentheorie“ hervor, welche von C. OCHSENIUS (Marburg) in seinem Werke „Die Bildung der Steinsalzlager und ihrer Mutterlaugensalze“ (Halle 1877) aufgestellt wurde; der Verfasser, der als Bergingenieur die Salzlagerstätten Chiles zum Gegenstand eingehenden Studiums gemacht hatte, vergleicht in dem inhaltsreichen Werke zur Begründung seiner Ansicht die Salzbildungen der verschiedensten Länder mit den norddeutschen und gibt eine ausführliche Beschreibung derjenigen in der Eger- und Staßfurter Mulde; an diese schließen sich Beobachtungen über das Vorkommen einzelner Staßfurter Mineralien an, nämlich des Glaubersalzes, Kieserits, des kristallisierten Boracits und Sylvins, sowie des Schwefels (dessen Auftreten auch anderswo mit der Steinsalzbildung in Beziehung steht), endlich des festen Magnesiumchlorids, für welches er die Benennung „Bischofit“ einführte. Die im folgenden Jahrzehnt in Staßfurt erlangten neuen Aufschlüsse und die Arbeiten des ausgezeichneten dortigen Chemikers H. PRECHT sind berücksichtigt in den beiden Abhandlungen von E. PFEIFFER (Jena), welche 1884 im Archiv f. Pharm. und 1885 in der Zeitschr. f. d. preuß. Berg-, Hütten- u. Salinenwesen erschienen. 1893 begann J. H. VAN 'THOFF (1852—1911) in Amsterdam seine berühmten Untersuchungen über die Bildung von Doppelsalzen, die dann in Berlin während mehr als eines Jahrzehnts fortgesetzt und

durch welche die physikalisch-chemischen Grundlagen für die Erklärung der Entstehung der ozeanischen Salzablagerungen und ihrer Umbildung geschaffen wurden; einen besonders ausgezeichneten Mitarbeiter hatte er bei diesen Untersuchungen an W. MEYERHOFFER († 1906).

Als deuterogene Minerallagerstätten werden bekanntlich solche bezeichnet, deren Material eine Umlagerung von der Stätte ihrer Bildung auf eine zweite erfahren hat, wobei meist eine Konzentration eines oder mehrerer Mineralien, häufig aber auch eine mehr oder weniger vollständige chemische Umwandlung stattgefunden hat. Hierher gehören die Ablagerungen des Beauxit, des Phosphorit, verschiedene Mangan- und Eisenerzlagerstätten, vor allem aber die Gold- und die Platinseifen, sowie die den letzteren analogen spärlichen Vorkommen von (natürlich stets nickelreichem) metallischem Eisen. Abgesehen von den zuletzt genannten haben alle diese Lagerstätten ein weit größeres technisches, als wissenschaftliches Interesse und kommen für die Entwicklungsgeschichte der Mineralogie kaum in Betracht. In paragenetischer Hinsicht sind unter den sogenannten Seifenablagerungen besonders wichtig diejenigen des Zinnerzes, ferner das häufige Vorkommen des Zirkon und namentlich die Lagerstätten der Mineralien der seltenen Erden, über welche wir dem brasilianischen Mineralogen O. A. DERBY († 1915) vortreffliche Arbeiten verdanken. Die den Diamant führenden Sande bieten weniger paragenetisches Interesse als die sogenannten „Edelsteinsande“, wie sie namentlich in Indien sich durch ihren Reichtum an Rubin, Saphir, Spinell, Zirkon und anderen Mineralien auszeichnen; in seiner S. 159 erwähnten Arbeit über Ceylon hat GRÜNLING deren Paragenesis ausführlich beschrieben und es wahrscheinlich gemacht, daß sie aus kristallinen dolomitischen Kalken stammen; an seine Forschung schlossen sich die wertvollen Arbeiten des indischen Mineralogen A. K. COOMÁRASWAMY an. Ein den ceylonischen Edelsteinseifen analoges kleines Vorkommen in Sachsen wurde von STELZNER untersucht; endlich zeigen ähnliche Verhältnisse auch die mehrfach beschriebenen sekundären Lagerstätten der böhmischen Granaten.

* * *

Erforschung der chemischen Zusammensetzung der Mineralien, ihrer Umwandlungserscheinungen, ihrer natürlichen und künstlichen Bildung.

Die Chemiker des 18. Jahrhunderts, welche sich mit der Untersuchung der Mineralien beschäftigten, wie in Schweden CRONSTEDT, WALLERIUS und BERGMAN¹⁾, in Deutschland K. F. WENZEL (1740 bis 1793) in Freiberg und der ebendasselbst als Professor der Chemie und Hüttenkunde tätige W. A. LAMPADIUS (1772—1842), in Frankreich B. G. SAGE (1740—1824), begnügten sich im allgemeinen mit der Bestimmung der qualitativen chemischen Zusammensetzung der Mineralien, soweit dies bei der Unvollständigkeit der damaligen Kenntnis von den Elementen möglich war. Der eigentliche Begründer der quantitativen Mineralanalyse ist M. H. KLAPROTH (36), welcher die Resultate seiner Untersuchung zahlreicher Mineralien zuerst in der Weise mitteilte, daß er außer den angewandten Trennungsmethoden die Gewichtsmengen des zerlegten Materials und diejenigen der getrennten Bestandteile anführt. Seine meist in den 80er und 90er Jahren des 18. Säkulums ausgeführten Analysen, welche die prozentige Zusammensetzung vieler Mineralien mit einer für die damalige Zeit erstaunlichen Genauigkeit feststellten, hat er später zusammengestellt in seinen „Beiträgen zur chemischen Kenntnis der Mineralkörper“, 6 Bände, Berlin und Stettin 1795—1815. In den letzten Jahren des 18. Jahrhunderts begann der verdiente Pariser Chemiker L. N. VAUQUELIN (1763—1829), der Entdecker des Chroms und des Berylliums, seine zahlreichen Mineralanalysen, welche meist den Vorzug besitzen, daß ihm zu denselben das Material von HAÛY geliefert wurde, es sich also um krystallographisch wohlbestimmte

¹⁾ CRONSTEDT, BERGMAN, GAHN und BERZELIUS lehrten die Anwendung des Lötrohres zur qualitativen Analyse der Mineralien, welche später PLATTNER in Freiberg auf die quantitative Bestimmung einzelner Bestandteile ausdehnte. Über die geschichtliche Entwicklung der Lötrohrprobierkunst siehe J. J. BERZELIUS. „Die Anwendung des Lötrohres in der Chemie und Mineralogie“, Paris 1821 (4. Aufl. 1844) und C. F. PLATTNERS „Probierkunst mit dem Lötrohre“, Leipzig 1835 (4. Aufl. von TH. RICHTER 1865). Wichtige Beiträge zur Bestimmung und Unterscheidung der Mineralien durch Lötrohrversuche hat in neuerer Zeit H. FISCHER geliefert in seinem „Clavis der Silikate“, Leipzig 1864, und im letzten Teil seiner S. 192 besprochenen Schrift „Kritische mikroskopisch-mineralogische Studien“ S. 45 f. durch den Abschnitt „Versuch eines Schlüssels für die chemisch-mikroskopische Bestimmung der schwarzen Mineralien, welche in krystallinischen Gesteinen eingesprengt usw. auftreten.“

Mineralien handelte, während anderseits er mehrfach die Bestätigung der HAÜYSchen Unterscheidungen früher als gleich betrachteter Stoffe liefern konnte. An Schärfe der Methoden wurden bald darauf die bisherigen Mineralanalysen übertroffen durch diejenigen des großen schwedischen Chemikers J. J. BERZELIUS (1779—1848), welcher 1803 mit HISINGER den Cerit untersuchte und hierbei das Cerium entdeckte, später namentlich die Zusammensetzung vieler anderer seltener skandinavischer Mineralien kennen lehrte und dabei das Thorium auffand. Unter seiner Leitung entstanden die zahlreichen mineralanalytischen Arbeiten seiner schwedischen Schüler H. G. GRAF V. TROLLE-WACHTMEISTER (1782 bis 1871), P. A. V. BONSDORFF (1791—1839), J. A. ARFVEDSON (1792 bis 1841), N. NORDENSKIÖLD (1792—1866), C. G. MOSANDER (1797—1858), und L. F. SVANBERG (1805—1878), während aus Deutschland in seinem Laboratorium arbeiteten L. GMELIN, G. MAGNUS, F. WÖHLER, HEINR. und GUST. ROSE. Von den späteren in demselben Sinne tätigen schwedischen Chemikern sei hier noch erwähnt C. W. BLOMSTRAND (1826 bis 1897).

Den größten Einfluß hat aber BERZELIUS auf die Entwicklung der chemischen Kenntnis der Mineralien dadurch ausgeübt, daß er durch seine Studien über die „multiplen Proportionen“ es ermöglichte, die Resultate der Analyse durch eine atomistische Formel auszudrücken, und indem er die „Kieselerde“ als eine Säure erklärte, die Silikate als Salze aufzufassen lehrte. Dazu kommt nun noch der Umstand, daß die in seinem Laboratorium ausgearbeitete Entdeckung der Isomorphie (s. S. 126 f.) es erst möglich machte, für alle die zahlreichen in der Natur vorkommenden isomorphen Mischungen bestimmte Formeln aufzustellen durch Vereinigung der in wechselnden Mengen einander vertretenden Bestandteile.

Schon vor der Entdeckung der Isomorphie war die Vertretung von Bestandteilen in krystallisierten Mineralien erkannt worden durch JOH. NEP. V. FUCHS (37). Dieser fand bei der Untersuchung des von ihm „Gehlenit“ benannten neuen Minerals (Schweiggers Journ. f. Chemie u. Physik 1815, 15, S. 377 f.), daß die Analyse nur dann das einfache Verhältnis 1 : 1 für Tonerde und Kalk ergebe, wenn man letzterem die gefundene Menge Eisenoxyd¹⁾ hinzufüge, und bezeichnete daher das letztere als die Kalkerde „vikariierend“. Zugleich erklärte er, daß man die Resultate der Analyse mehrerer Mineralkörper aus dem gleichen Gesichtspunkte erklären müsse, um sie mit dem Gesetz der chemischen Proportionen in Übereinstimmung zu bringen und unzumutbare Trennungen zu vermeiden, denn im Alaun könne „das Ammonium ganz oder teilweise das Kalium vertreten, ohne Änderung des wesentlichen Cha-

¹⁾ Nach dem veränderten Zustand der Krystalle (3,30 vH. H₂O) und dem Gang der Analyse war dieses offenbar ursprünglich zum Teil als Eisenoxydul in dem Mineral vorhanden.

rakters der Krystalle“. Welchen großen Anteil überhaupt FUCHS an der Entwicklung der Isomorphie gehabt hat, geht auch daraus hervor, daß er zuerst die Übereinstimmung der Krystallformen der rhombischen Karbonate der zweiwertigen Metalle einerseits und deren Sulfate andererseits erkannt hat (s. S. 127). Für die Kenntnis der isomorphen Mischungen im Mineralreich ist noch wichtiger, als die Arbeit über den Gehlenit, diejenige „Über die Zeolithe“ (Schweiggers Journ. f. Chem. u. Phys. 18, 1 f., 1816), in welcher die gegenseitige Vertretung von Kalk und Natron nachgewiesen wird, ferner die Irrtümer HAÜYS über mehrere in diese Gruppe gehörige Mineralien korrigiert und Dessen ungerechtfertigte Angriffe in würdiger und treffender Weise zurückgewiesen werden. Diesen Arbeiten folgten später noch eine Anzahl anderer, durch welche die chemische Kenntnis einer Reihe von Mineralien wesentlich verbessert oder überhaupt zum ersten Male festgestellt wurde. Auch sein Schüler und Nachfolger FRANZ V. KOBELL (1803—1882) hat die Wissenschaft durch eine Anzahl von Mineralanalysen bereichert.

Unter den übrigen deutschen Chemikern, welche wie die oben genannten schwedischen Schüler von BERZELIUS in der gleichen Richtung tätig waren, steht weitaus in erster Linie der Entdecker des Niobiums HEINRICH ROSE (1795—1864), dessen Namen mit der Geschichte der analytischen und der anorganischen Chemie überhaupt unauflöslich verbunden ist. Von den älteren Forschern auf diesem Gebiete muß besonders hervorgehoben werden der Vorgänger WÖHLERS auf dem Lehrstuhl der Chemie in Göttingen, FRIEDR. STROMEYER (1776—1835), der zum Teil mit dem dortigen Mineralogen HAUSMANN zusammen arbeitete, ferner L. GMELIN (1788—1853) in Heidelberg und K. F. PLATTNER (1800 bis 1858) in Freiberg. Alle anderen Chemiker übertraf aber in der Zahl seiner während der Jahre 1837—1897 ausgeführten Mineralanalysen K. RAMMELSBURG in Berlin. Dieser gab 1860 unter dem Titel „Handbuch der Mineralchemie“ eine vollständige Zusammenstellung der bis dahin vorliegenden Mineralanalysen heraus, welcher 1875 eine verbesserte zweite Auflage, sowie 1886 und 1895 noch zwei Ergänzungen folgten.

Beiträge zur chemischen Kenntnis einzelner Mineralien lieferten in älterer Zeit in England der Privatgelehrte R. CHENEVIZ (1774—1830), ganz besonders aber der durch seine Arbeiten auf dem Gesamtgebiete der Chemie hochverdiente THOMAS THOMSON (1773—1852) in Glasgow. In Paris waren auf diesem Gebiete tätig: P. L. A. CORDIER (1777—1861), P. BERTHIER (1782—1861), F. S. BEUDANT (1787—1850), der an der École des mines wirkende Mineralog P. A. DUFRÉNOY (1792—1857), der auch durch seine chemisch-geologischen Untersuchungen hochverdiente A. DELESSE (1817—1881), denen sich später F. PISANI (1831—1920), vor allem aber der berühmte, früher schon gewürdigte Genfer Chemiker CH. MARIGNAC und der verdiente Turiner Prof. d. Chemie A. COSSA (1833

bis 1902) anreichten. Ein besonders großes Verdienst um das chemisch-analytische Studium der Mineralien erwarb sich ein Privatgelehrter (seit 1854, vorher Unterdirektor im französischen Ministerium der auswärtigen Angelegenheiten), A. A. DAMOUR (1808—1902), welcher eine große Anzahl sorgfältiger Analysen verschiedener zum Teil neuer Mineralien ausführte, unter denen sich namentlich viele wasserhaltige Verbindungen befinden; bei diesen Untersuchungen wies er nach, daß der Wassergehalt einiger Silikate, welcher früher als durch Zersetzung bedingt angesehen wurde, auch in dem vollkommen frischen Mineral enthalten sei und aus manchen derselben nur durch Erhitzen auf eine sehr hohe Temperatur abgespalten werde; hierdurch legte er den Grund zur richtigen Erkenntnis der chemischen Konstitution derartiger Verbindungen.

In der vorgeschilderten Periode des chemischen Studiums der Mineralien wurden aus den durch die Analyse gefundenen Mengen der Bestandteile chemische Formeln abgeleitet, welche im allgemeinen in der von BERZELIUS begründeten Weise geschrieben wurden, z. B. die Metalle von verschiedener Wertigkeit enthaltenden Silikate als Doppelsalze, wie die Formel des Alaun als eine Verbindung von Kaliumsulfat mit Aluminiumsulfat und Wasser in einem bestimmten Verhältnisse, welches in der Form des sogenannten Sauerstoffverhältnisses angegeben wurde; dabei erfolgte aber bei den zahlreichen kieselsauren Salzen eine völlig willkürliche Verteilung der Säure auf die verschiedenen Basen. Eine derartige Formulierung stand aber mit den inzwischen wesentlich veränderten chemischen Anschauungen über die Konstitution der Verbindungen, wie sie sich durch die Fortschritte der organischen Chemie und durch die Einführung des Begriffes der Valenz entwickelt hatten, in völligem Widerspruch, zu dessen Beseitigung mehrfache Versuche gemacht wurden, für die natürlichen Silikate Konstitutionsformeln aufzustellen, welche den in der organischen Chemie üblich gewordenen zu entsprechen hätten. Z. B. geschah dies durch K. WELTZIEN („Systematische Übersicht der Silikate“, Gießen 1864), dann durch K. HAUSHOFER („Konstitution der natürlichen Silikate, d. geologischen Beziehungen nach neueren Ansichten der Chemie“, Braunschweig 1875) u. A.¹⁾ Derartigen Versuchen konnte schon deshalb kein Erfolg beschieden sein, weil von der Mehrzahl der komplizierter zusammengesetzten Verbindungen damals nicht einmal die empirische Formel genügend bekannt war. Außerdem zeigten auch diejenigen Silikate, für welche gut über-

¹⁾ Zu recht abenteuerlichen Formelbildern führte der Versuch von S. FELLÖCKER, die chemischen Formeln der Mineralien in geometrischen Figuren darzustellen (Linz 1879) und einen rein hypothetischen Charakter besitzen auch die Konstitutionsformeln, welche der um die Kenntnis der finnischen Mineralien hochverdiente F. J. WIIK in Helsingfors in seiner Abhandlung „Über eine kristallographische Theorie der Silikate“ (Zeitschr. f. Kryst. 1894, 23, S. 379f.) aufgestellt hat.

einstimmende Analysen vorlagen, sehr mannigfaltige Werte des sogenannten Sauerstoffverhältnisses der Kieselsäure zu der Gesamtheit der Basen. Nach dem letzteren bezeichnete man, wie in der Metallurgie die Schlacken, die Mineralien mit dem Sauerstoffverhältnis 1 : 1 als „Singulosilikate“, die mit 3 : 2 als „ $\frac{3}{2}$ fach kieselsaure Salze“, die mit 2 : 1 als „Bisilikate“ usw. Eine den Prinzipien der Chemie besser entsprechende Benennung führte der um die Kenntnis der Siliziumverbindungen höchstverdiente CH. FRIEDEL durch den von ihm verfaßten Artikel „Silicium“ in A. WURTZ, Dictionnaire de Chimie (II, 2, S. 1480—1491, Paris 1876) ein. Hier werden als „hydrates siliciques“ aufgeführt: Das normale Hydrat $\text{Si}(\text{OH})_4$, im freien Zustand nur in Lösung bekannt, aber durch seine Ester und durch die Zusammensetzung der „Orthosilikate“ Olivin, Granat usw. wahrscheinlich gemacht; das erste Anhydrid SiO_3H_2 , fest nur als Gel zu erhalten, jedoch sehr stabile, natürliche Salze, die sogenannten Bisilikate (Enstatit usw.) bildend; durch Wasserabspaltung (Kondensation) leitet sich von der Orthosäure ab die Dikieselsäure $(\text{HO})_3\text{Si}\cdot\text{O}\cdot\text{Si}(\text{OH})_3$, welche, im freien Zustand amorph, dem Äthylester und wahrscheinlich einigen Mineralien (zum Teil unter Annahme basischen Wassers) entspricht; weitere „Polykieselsäuren“ entstehen durch Austritt von Wasser aus den beiden „Monokieselsäuren“. WURTZ hatte bereits früher den Versuch gemacht ¹⁾, auf diesem Wege die mannigfache Zusammensetzung der natürlichen Silikate zu erklären. In seinem Artikel weist nun FRIEDEL auf die großen Schwierigkeiten hin, welche einer solchen Erklärung und ihrer Anwendung auf die Systematik der Silikate (abgesehen von der oben erwähnten mangelhaften Kenntnis der empirischen Zusammensetzung) erwachsen aus der Unsicherheit der Rolle des Wassers, des Fluors und des Bors in den Silikaten und aus dem Umstande, daß die Tonerde ebenso als Säure fungieren könne, wie als Base.

Während die im vorstehenden erwähnten Arbeiten das Problem wesentlich im rein chemischen Sinne zu lösen versuchten, ging der hervorragendste unter den neueren Vertretern der naturhistorischen Richtung der Mineralogie, G. TSCHERMAK in Wien, bei der Aufstellung einer Systematik der Silikate einen anderen Weg. Unter den letzteren befindet sich eine Anzahl von natürlichen Gruppen, wie die der Feldspate, der Augite, der Hornblendes, der Glimmer u. a., deren Glieder durch ihre physikalischen und geometrischen Eigenschaften sich als nahe verwandt erweisen, in der chemischen Zusammensetzung aber außerordentlich große Verschiedenheit zeigen, so daß sie bei einer rein chemischen Systematik ganz verschiedenen Abteilungen hätten zugeteilt werden

¹⁾ A. WURTZ, „Philosophie chimique“, Paris 1864. Ähnliche Versuche hatte schon vorher der englische Chemiker W. ODLING (Phil. Mag. 1859, 18, S. 360) gemacht, welcher bereits die Namen „Ortho- und Metasilikate“ vorschlug, und bald darauf G. A. STAEDLER (in Zürich) im Journ. f. prakt. Chemie 1866, 99, S. 70.

müssen. TSCHERMAK zeigte durch eine Reihe von Arbeiten, welche weiterhin bei der beispielsweise Betrachtung jener Gruppen im einzelnen erwähnt werden sollen, daß es sich in jeder dieser Gruppen um Mischungsreihen handelt, deren Endglieder in einigen Fällen allerdings bekannt, in anderen aber hypothetisch sind; die Isomorphie der beiden nach ganz verschiedenen empirischen Formeln zusammengesetzten Endglieder einer derartigen Mischungsreihe versuchte er nun zu erklären durch die Annahme der isomorphen Vertretung einer Atomgruppe durch eine andere von gleicher Zahl der Valenzen, wie z. B. SiNa durch AlCa . Während in dem letzteren Falle der schon von FRIEDEL betonten Möglichkeit, daß in den Silikaten auch die Tonerde als Säure fungieren könne, Rechnung getragen ist, mußte in anderen Fällen die Isomorphie von hypothetischen Verbindungen der verschiedensten Art angenommen werden. Wenn es auf diesem Wege auch nicht möglich ist, das Problem der chemischen Konstitution der natürlichen Silikate zu lösen, so bleibt es doch das unbestreitbare Verdienst TSCHERMAKS, die genannten Verhältnisse der von ihm behandelten wichtigen Mineralgruppen in einer früher nicht annähernd erreichten Vollständigkeit und Genauigkeit festzustellen; für die hierzu erforderlichen neuen Analysen hatte er sich der Mitarbeit zweier vortrefflicher Chemiker zu erfreuen, E. LUDWIG und L. SIPÖCZ, so daß auch die Kenntnis der empirischen Zusammensetzung der natürlichen Silikate durch diese Arbeiten wesentlich gefördert worden ist. Schon bei Beginn seiner Untersuchungen wies er in einer Abhandlung „Die Aufgaben der Mineralchemie“ (Tschermaks min. Mittlgn. 1871) auf einen Weg hin, dessen weitere Verfolgung ebenfalls geeignet erschien, für die Erkenntnis der Konstitution der Silikate wichtige Dienste zu leisten: während die Kohlenstoffverbindungen einen schrittweisen Abbau ihres chemischen Moleküls gestatten, liefert die Zerlegung der kieselsauren Salze stets die Endprodukte Kieselsäure und Oxyde der Basen; nur die lange Zeit hindurch fortgesetzte schwache Einwirkung natürlicher Agentien vermag einen teilweisen Abbau derselben zu bewirken und aus einem Silikat ein anderes zu erzeugen, welches noch die Form des ersteren bewahrt, so daß das Studium gewisser Pseudomorphosen von dem erfolgten chemischen Prozeß Kunde geben kann.

Die zuerst aus der mineralogischen Zusammensetzung gewisser Erstarrungsgesteine geschlossene und dann experimentell mehrfach bestätigte Tatsache, daß eine Schmelze aus Kieselsäure und den Oxyden der zweiwertigen Metalle Magnesium, Eisen und Mangan, deren Sauerstoffverhältnis zwischen denen der Singulo- und der Bisilikate liegt, stets beim Erstarren ein Gemenge von SiO_4R_2 und SiO_3R liefert, macht es in hohem Grade wahrscheinlich, daß die Ortho- und die Metakieselsäure in ihren Salzen besonders stabile Verbindungen darstellen und daß die einfachen Salze von der Formel SiO_4R_2 und SiO_3R die von FRIEDEL ihnen zugeschriebene Konstitution besitzen. Es lag daher der Gedanke

nahe, daß auch in der Konstitution von komplizierter zusammengesetzten natürlichen Silikaten eines der Radikale dieser beiden stabilsten unter den möglichen Säuren des Siliziums enthalten sei. In der Tat gelang es dem Verfasser (s. P. GROTH, „Tabellarische Übersicht der Mineralien nach ihren krystallographisch-chemischen Beziehungen geordnet“. 2. Aufl. Braunschweig 1882) nachzuweisen, daß sehr viele unter den hier in Betracht kommenden Mineralien sich durch einfache Annahmen als Salze der Ortho- oder der Metakieselsäure auffassen lassen und daß diejenige der einwertigen basischen Atomgruppe — $Al = O$ sogar geeignet sei, die Existenz zweier sich chemisch ganz verschieden verhaltender Stoffe von der Zusammensetzung SiO_5Al_2 (Andalusit und Disthen, von denen ersterer noch eine zweite polymorphe Modifikation Sillimanit besitzt) als einen Fall chemischer Isomerie zu deuten. Endlich ergaben auch die empirischen Formeln von halogen- oder borhaltigen Silikaten die Möglichkeit einer Formulierung als Salze von komplexen Säuren mit den Atomgruppen $(SiO_4) \equiv$ oder $(SiO_3) =$.

Die zuletzt erwähnten Mineralien, welche der Analyse besonders große Schwierigkeiten bereiten, sind nun in den letzten Jahrzehnten des 19. Jahrhunderts vielfach Gegenstand chemischer Untersuchung geworden, und neben den mit TSCHERMAKS Forschungen in Verbindung stehenden Arbeiten, sowie denen von A. STRENG in Gießen und P. JANNASCH in Göttingen bzw. Heidelberg sind besonders wichtige Fortschritte durch nordamerikanische Forscher auf diesem Gebiete zu verzeichnen.

Bereits in einem früheren Abschnitt wurde der Verdienste gedacht, welche sich F. A. GENTH um die Kenntnis zahlreicher Mineralien erworben hat; unter seinen vorwiegend chemischen Arbeiten ist als besonders wichtig zu nennen diejenige über die natürlichen Umwandlungsprodukte des Korund (Proc. americ. philos. soc. of Philadelphia 1873). Fast zu gleicher Zeit begann J. BRUSH (32) mit der Veröffentlichung (meist im „Silliman Journal“) seiner Analysen amerikanischer Mineralien; wie bereits S. 171 auseinandergesetzt wurde, ist auf sein Wirken in New Haven das Entstehen der dortigen Schule von Mineralogen und Mineralchemikern zurückzuführen, deren Höchstleistung sich in S. PENFIELD (33) verkörperte. Dessen erste Arbeiten waren die Analysen der von J. BRUSH und E. S. DANA beschriebenen neuen Mineralien des Pegmatits von Branchville in Conn., unter denen der Triploidit eine nahe krystallographische Verwandtschaft mit dem Wagnerit aufwies. Hier war zum ersten Male eine isomorphe Vertretung von Fluor und Hydroxyl erkannt, welche PENFIELD, zum Teil gemeinsam mit seinen Schülern, durch die Untersuchung zahlreicher fluorhaltiger Mineralien weiter verfolgte und zeigte, daß deren Zusammensetzung nur dann auf eine bestimmte Formel zurückzuführen sei, wenn man die wechselnden Mengen des Halogens mit dem Hydroxyl als äquivalent vereinigte. Unter den Mineralien, deren Zusammensetzung erst dadurch richtig erkannt worden ist, seien

hier genannt: Amblygonit, Topas, dessen in manchem Vorkommen um mehrere Prozent geringerer Fluorgehalt und damit verbundene Abweichungen der kristallographischen und optischen Eigenschaften nun erst ihre Erklärung fanden, ferner mehrere Mineralgruppen, deren Glieder eine nahe kristallographische Verwandtschaft zeigten, während ihre chemischen Beziehungen vorher völlig ungeklärt waren; von solchen sind zu nennen die Herderitgruppe, vor allem aber die früher so rätselhafte Gruppe der Humitminerale, welche sich als eine Reihe gewissermaßen „homologer“ Körper erwies, deren Anfangsglied, der „Prolektit“, noch fehlte, aber bald darauf mit den „vorhergesagten“ kristallographischen Eigenschaften entdeckt wurde. Von den erfolgreichen Arbeiten PENFIELDS über sulfidische Erze mögen noch erwähnt werden diejenigen über Tiemannit, Pearceit und über die Gruppe der natürlichen Sulfo-stannate und Sulfogermanate des Silbers. Einige seiner Forschungen über besonders kompliziert zusammengesetzte Silikate werden noch weiterhin Berücksichtigung finden. Außer dem Sheffield-Laboratorium in New Haven wurde die chemische Kenntnis der Mineralien in den letzten Dezennien des 19. Jahrhunderts wesentlich gefördert in einer zweiten nordamerikanischen Arbeitsstätte, dem Laboratorium der U. St. Geological Survey zu Washington. Dessen Vorstand F. W. CLARKE veröffentlichte, zum Teil mit jüngeren Mitarbeitern, eine große Reihe von Untersuchungen von Silikaten, besonders solchen der Gruppe der Glimmer und deren Verwandten, sowie aus der Klasse der Zeolithe; behufs der Erforschung der Konstitution dieser Verbindungen wurde besonders eingehend die Einwirkung studiert, welche verschiedene Agentien auf dieselben ausüben; diese Arbeiten sind daher auch für die Kenntnis der Umwandlungserscheinungen der Mineralien wichtig geworden. In dem gleichen Laboratorium arbeitete längere Zeit auch W. F. HILLEBRAND, der sich um die Verbesserung der Methoden der Silikatanalyse verdient gemacht hat; unter seinen mineralchemischen Untersuchungen ist besonders zu nennen diejenige über den Uraninit, durch welche zuerst ein Gehalt dieses Minerals an Stickstoff (später als „Edelgas“ erkannt) nachgewiesen wurde.

Um die letzte Jahrhundertwende publizierte endlich der verdiente russische Mineralog W. VERNADSKY (in Moskau, später in Petersburg) in einem Aufsatz „Zur Theorie der Silikate“ (Zeitschr. f. Kryst. **34**, 37 f.) seine Ansichten über die vorliegende Frage, welche dadurch eine gewisse Beziehung zu denen TSCHERMAKS zeigen, daß er ebenfalls ein großes Gewicht auf die natürlichen Umwandlungsprozesse legt. Indem er auf die große Verschiedenheit der Zersetzbarkeit der nur zweiwertigen Metalle enthaltenden Silikate gegenüber den tonerdehaltigen hinweist, kommt er zu dem Schlusse, daß letztere Salze komplexer Alumokieselsäuren seien, deren Anhydride bzw. Hydrate in den nur aus Kieselsäure und Tonerde (zum Teil auch noch Wasser) bestehenden Mineralien vorliegen.

Schließlich möge auch an dieser Stelle, wie in dem Abschnitt über die kristallographisch-mineralogische Forschung, die Entwicklung des chemischen Studiums einiger besonders wichtiger Mineralien kurz skizziert und dadurch das Vorstehende ergänzt werden. Es handelt sich hierbei um Gruppen nahe verwandter Silikate, deren wichtigste diejenige der *Feldspatminerale* ist. Der Erste, welcher die Ansicht aufstellte, daß die übereinstimmend kristallisierten triklinen „Mineralspezies“ Albit, Oligoklas, Andesin, Labradorit und Anorthit die Glieder einer isomorphen Mischungsreihe seien, war J. F. C. HESSEL¹⁾; die kurze Notiz (in Poggendorffs Annalen), in welcher dies geschah, blieb, wie so viele Leistungen dieses Forschers, völlig unbeachtet. Unabhängig davon zeigte TSCHERMAK in der Abhandlung, welche hauptsächlich seinen Ruf begründet hat (Sitzungsber. d. Akad. d. Wiss., Wien 1865, 50, 566), durch Diskussion der damals vorhandenen Analysen, daß zwischen Albit und Anorthit eine fortlaufende Reihe von Mischungen liege, nicht bestimmte Verbindungen nach einfachen Verhältnissen ohne Zwischenglieder; als Ursache der Mischbarkeit nahm er die Isomorphie der beiden Endglieder an, welche darauf beruhe, daß in den empirischen Formeln Übereinstimmung vorhanden sei, wenn man die beiden Atome Si und Na (im Albit) durch Al und Ca (im Anorthit) ersetze, analog der Isomorphie von Aragonit CaCO_3 und Salpeter KNO_3 . Da zu jener Zeit der triklinen Kalifeldspat noch nicht bekannt war, betrachtete TSCHERMAK den Natriumgehalt des Orthoklas nicht als isomorphen Vertreter des Kaliums, sondern als auf mechanischer Durchwachsung mit Albit in regelmäßiger gegenseitiger Orientierung beider Mineralien beruhend, und die gleiche Erklärung nahm er auch für den Kaligehalt der Kalknatronfeldspate an. Wenn nun auch die letztere Ansicht durch spätere Untersuchungen widerlegt und die Isomorphie des Natrium- und des Kaliumsilikates außer Zweifel gestellt worden ist und beide als triklin erkannt worden sind, so wurde doch die Ansicht TSCHERMAKS über die Natur der Plagioklasreihe so vielfach bestätigt, daß sie bis heute maßgebend geblieben ist.

Zwei ebenfalls sehr wichtige, in naher Beziehung zueinander stehende Gruppen sind diejenigen der *Augite* und der *Hornblenden*. Von den Gliedern der ersteren wurden die tonerdefreien schon sehr früh als normale Metasilikate zweiwertiger Metalle erkannt, während die tonerdehaltigen einen geringeren Kieselsäuregehalt aufweisen. Eine Formel für die letzteren konnte erst aufgestellt werden, als RAMMELSBERG den Gehalt an Eisenoxyd (neben dem an Eisenoxydul) festgestellt hatte; aus seinen Analysen schloß er, daß die betreffenden Augite isomorphe Mi-

¹⁾ Bereits 1826 hatte er in einem Aufsätze „Chemischer Bestand der Glieder der Feldspatfamilie“ (Taschenb. f. d. ges. Mineralogie 1, S. 329) nachgewiesen, daß der Labradorit aus 1 Mol. Albit und 3 Mol. Anorthit zusammengesetzt sei.

schungen von Metasilikaten zweiwertiger mit ebensolchen dreiwertiger Metalle und mit einem „Bialuminat“ $\text{Al}_2\text{O}_6\text{R}_3$ resp. „Biferriit“ $\text{Fe}_2\text{O}_6\text{R}_3$ seien, d. h. Mischungen von Verbindungen von völlig hypothetischem Charakter. Einen großen Fortschritt brachte die 1871 (Mineralog. Mitglg. 1, 41) erschienene Arbeit „Pyroxen und Amphibol“ von TSCHERMAK. In dieser wird zuerst nachgewiesen, daß die Mineralien der sogenannten Diopsidreihe isomorphe Mischungen der beiden Metasilikate $\text{Si}_2\text{O}_6\text{CaMg}$ (eisenfreier Diopsid) und $\text{Si}_2\text{O}_6\text{CaFe}$ (Hedenbergit) seien, ferner daß die Analysen der tonerdehaltigen Augite, wenn man die dem Ca-Gehalt entsprechende Menge des Diopsidsilikates abzieht, wechselnde Mengen eines Restes von der Zusammensetzung $\text{SiO}_6\text{Al}_2\text{Mg}$ ergeben; das letztere Silikat und seine Isomorphie mit dem Diopsid hat zwar ebenfalls einen hypothetischen Charakter, da aber seine empirische Formel zu der des Diopsid in einer ähnlichen Beziehung steht (AlAl statt SiCa), wie die des Anorthit zu der des Albit, und da die damals vorliegenden Analysen mit der Annahme dieser (vielfach als „TSCHERMAKSches Silikat“ bezeichneten) Verbindung als Mischungsglied im Einklang standen, so wurde dessen Vorhandensein in den tonerdehaltigen Augiten fast allgemein angenommen. Erst in neuester Zeit hat es sich erwiesen, daß nicht alle hierher gehörigen Mineralien diese Deutung ihrer chemischen Zusammensetzung zulassen. Für die Amphibole, welche RAMMELSBERG in ähnlicher Weise wie die Augite aufgefaßt hatte, zeigte TSCHERMAK, daß bei diesen an die Stelle des Diopsidsilikates das Tremolitsilikat $\text{Si}_4\text{O}_{12}\text{Mg}_3\text{Ca}$ trete, so daß die beiden Gruppen gewissermaßen im Verhältnis der chemischen Polymerie zueinander stehen würden; die von ihm noch unsicher gelassene Deutung der Zusammensetzung gewisser Al-haltiger Hornblendens durch Annahme eines basischen Silikates, wie in den Augiten, würde dann dementsprechend die Verdoppelung der Formel desselben nach sich ziehen. In der Tat sind die Verhältnisse in der Amphibolgruppe so komplizierte, daß man das Problem, welches diese in chemischer Hinsicht darbieten, auch heute noch nicht als gelöst ansehen kann (es sei hier auf die nachgelassene Arbeit PENFIELDS in der Zeitschr. f. Kryst. 43, 233, 1907 verwiesen).

Nicht mindere Schwierigkeit bereiten der chemischen Erforschung die *Glimmerminerale*n durch ihren Gehalt an Hydroxyl, der zum Teil auch in sehr hohen Temperaturen nur schwierig abgespalten wird, und an dem zuerst von H. ROSE in vielen Glimmern nachgewiesenen Fluor, besonders aber durch die Tatsache, daß die unzweifelhaft isomorphen Glieder einen sehr großen Unterschied in dem Verhältnis der Kieselsäure zu den Basen aufweisen, namentlich wenn auch die kristallographisch und physikalisch den eigentlichen Glimmerminerale sehr nahe verwandten Sprödglimmer und Chlorite mitberücksichtigt werden. Ein Versuch zu einheitlicher Deutung der Konstitution der Glieder jener Gruppe wurde erst im Jahre 1878 gemacht durch TSCHERMAK (Sitzungs-

ber. d. Wiener Akad. d. Wiss. Bd. **78**), grobenteils gestützt auf neue Analysen von E. LUDWIG und seinen Schülern. Für gewisse Kaliglimmer wies er die Formel eines sauren Orthosilikats $\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Al}_6\text{K}_2\text{H}_4$ nach und zeigte, daß ein Teil der Magnesiaglimmer als Mischungen diese Verbindung mit einem damit isomorphen Polymeren des Olivins von der Formel $\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{Mg}_{12}$ betrachtet werden könne, während bei den kieselsäurereicheren und den fluorhaltigen Glimmern eine isomorphe Beimischung der Verbindungen $\text{Si}_{10}\text{O}_{24}\text{H}_8$ bzw. $\text{Si}_{10}\text{F}_{24}\text{O}_8$ angenommen werden mußte; ist schon jenes Magnesiumsilikat eine völlig hypothetische Verbindung, so gilt dies noch mehr für die beiden letztgenannten; bei den Sprödglimmern tritt hierzu noch die Annahme eines isomorphen Aluminates $\text{Al}_6\text{O}_{12}\text{R}_3$. Später (Sitzungsber. d. Wiener Akad. 1890 f.) zog TSCHERMAK auch die Chlorite in den Bereich seiner Untersuchung; er betrachtete diese als Mischungen des basischen Gliedes Amesit = $\text{SiO}_9\text{Al}_2\text{Mg}_2\text{H}_4$ mit (bis etwa 60 vH.) Serpentin bzw. Antigorit = $\text{SiO}_9\text{SiMg}_3\text{H}_4$, womit allerdings die Analysen gut übereinstimmen. Eine andere Deutung der Konstitution dieser Gruppen legte F. W. CLARKE in seinen zum Teil mit E. A. SCHNEIDER publizierten Abhandlungen (Americ. Journ. of Sc. 1889 u. 1892) dar. Nach ihm liegt den Glimmern eine Verbindung $(\text{SiO}_4)_3\text{AlH}_9$ zugrunde, in welcher der größte Teil des Wasserstoffs durch Aluminium und Kalium oder durch Aluminium, Magnesium und Kalium oder durch die letzteren beiden vertreten wird. Die kieselsäurereicheren werden erklärt durch teilweise isomorphe Ersetzung von SiO_4 durch die ebenfalls vierwertige Gruppe Si_3O_8 , die fluorhaltigen endlich durch eine isomorphe Mischung mit $(\text{Si}_3\text{O}_8)(\text{AlF}_2)\text{R}_3$ bzw. $(\text{Si}_3\text{O}_8)(\text{AlF}_2)\text{RR}$; die Sprödglimmer sind nach CLARKES Ansicht Mischungen des den Glimmern zugrunde liegenden Silikates mit einer angenommenen Verbindung $\text{SiO}_4(\text{AlO}_2\text{R})_4$, die Chlorite Mischungen desselben Glimmersilikates mit einem solchen, in dem die H-Atome zum Teil durch die einwertige Gruppe MgOH ersetzt ist, oder mit einer ebenfalls hypothetischen Verbindung $(\text{SiO}_4)(\text{AlO}_2\text{Mg})\text{R}_3$.

Als letztes Beispiel mögen die Borsilikate der *Turmalin*gruppe dienen, deren Untersuchung zu den schwierigsten Aufgaben der analytischen Chemie gehören. Trotz der großen Zahl von Forschern, welche sich seit dem Beginn des 19. Jahrhunderts mit diesen beschäftigt haben, ist daher ein gewisser Abschluß in der chemischen Kenntnis derselben erst am Schlusse des letzten Säkulums erreicht worden durch die Arbeit von PENFIELD und FOOTE (Americ. Journ. of science **7**, 971 f., 1899 und Zeitschr. f. Kryst. **31**, 321 f.) und die im folgenden Jahre erschienene Abhandlung (Zeitschr. f. Kryst. **33**, 527 f.); in diesen Publikationen sind alle früheren Untersuchungen so eingehend diskutiert worden, daß hier auf sie verwiesen werden kann. Als Resultat seiner Arbeit betrachtete PENFIELD den Nachweis, daß die Konstitution der Turmaline aufgefaßt

werden kann als diejenige von Salzen einer komplexen Aluminium-borkieselsäure $\text{Al}_3(\text{B}\cdot\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_9$, deren letzte 9 H größtenteils durch Metalle ersetzt sind und zwar durch ein-, zwei- und dreiwertige in sehr wechselnden relativen Mengen, ohne daß dadurch eine merkliche Verschiedenheit der Krystallform erfolgt, ein Verhalten, welches jedenfalls mit der Größe des hier in Betracht kommenden chemischen Moleküls zusammenhängt.

Alle im vorstehenden erwähnten Untersuchungen bezogen sich auf krystallisierte Mineralien. Bekanntlich findet sich aber in der Natur eine Anzahl sogenannter amorpher Substanzen, deren chemische Zusammensetzung zum Teil großen Schwankungen unterworfen ist und sich im allgemeinen nicht durch eine bestimmte Formel ausdrücken läßt. Der Erste, welcher die besondere Natur dieser Mineralkörper erkannte, war BREITHAUPT (26), der sie unter dem Namen „Porodine“ als eine eigene Abteilung seiner Systematik zusammenfaßte, in welcher allerdings Mineralien sehr verschiedener Art vereinigt wurden, nämlich Gele, wie Opal, einerseits und Gesteinsgläser, wie Obsidian, anderseits. Einen wesentlichen Fortschritt in der Erkenntnis dieser Stoffe brachten die Untersuchungen von N. FUCHS (37): „Über den Opal und den Zustand der Gestaltlosigkeit (Amorphismus) fester Körper“ (Schweigger-Seidels Jahrb. d. Chemie u. Phys. 7, 418 f., 1833), „Zum Amorphismus fester Körper“ (Poggendorffs Ann. d. Physik 31, 577 f., 1834) und „Isomerismus und Amorphismus“ (Erdmann u. Schweiggers Journ. f. prakt. Chemie 7, 345 f., 1836). In diesen Arbeiten wird nachgewiesen, daß der amorphe Zustand eines festen Körpers sich von dem krystallisierten Zustand desselben durch seine Löslichkeit und sein Verhalten gegen chemische Agentien scharf unterscheidet und daß sich in gewissen Fällen eine Umwandlung des einen Zustandes in den andern feststellen läßt. Hiernach gelangte schon damals FUCHS zu der Ansicht, daß die für die Ernährung der Pflanzen nötigen Mineralstoffe vorher eine Umwandlung in den amorphen Zustand erfahren, eine Ansicht, welche durch die Forschungen über die Bedeutung der Gele für die Bodenbildung später bestätigt worden ist. Vor allem machte er aber aufmerksam auf die wesentlichen Unterschiede der amorphen und der krystallisierten Körper in physikalischer Beziehung und auf die Übereinstimmung, welche in dieser Hinsicht die amorphen Körper mit den Flüssigkeiten zeigen, so daß man sie als „starre Flüssigkeiten“ bezeichnen könne, d. h. er gelangte zu der gleichen Anschauung, wie am Ende des 19. Jahrhunderts OSTWALD, welcher sie „Flüssigkeiten mit großer innerer Reibung“ nannte. Die Verschiedenheit der Gele von den Gläsern wurde damals noch nicht erkannt. Ferner sind manche der von FUCHS für amorph gehaltenen Körper, z. B. der Graphit, in Wirklichkeit nur besondere krystallisierte Modifikationen, aber für andere, wie z. B. für den Psilo-

melan, ist seine Annahme der amorphen Natur, wenigstens für das ursprüngliche Ausscheidungsprodukt aus der Lösung, sicher zutreffend. Namentlich die späteren Forschungen über die Umbildungsprozesse auf den Mangan- und Eisenerzlagerstätten, sowie diejenigen über die Bildung des Kaolin und der Tone, haben erwiesen, welche große Rolle hierbei die Ausscheidung von Gelen aus Lösungen spielt.

Trotz der großen Wichtigkeit, welche den kolloidalen Substanzen bei zahlreichen in der Natur vor sich gegangenen Umwandlungsprozessen der Mineralien zukommt, sind dieselben bis in die neueste Zeit in den Lehr- und Handbüchern der systematischen Mineralogie nicht in geeigneter Weise behandelt worden. Hierauf hat besonders hingewiesen (kurz vor seinem frühzeitigen Tode) ein hochbegabter Schüler TSCHERMAKS, F. CORNU, in einem Aufsätze „Über die Verbreitung gelartiger Körper im Mineralreich, ihre chemisch-geologische Bedeutung und ihre systematische Stellung“ (Zentralbl. f. Min. usw. S. 324 f., Stuttgart 1909).

* * *

Die Krystalle mancher seltene Erden enthaltender Mineralien (z. B. Gadolinit), welche bei vollkommener Übereinstimmung ihrer äußeren Form mit der unveränderter sich im Innern als amorph erweisen, bilden einen besonderen Fall der *Pseudomorphosen*, von denen die Mehrzahl jedoch im Innern aus einem krystallinischen Aggregat des Umwandlungsproduktes besteht. Die Kenntnis dieser Gebilde wurde begründet durch die kleine Schrift von A. BREITHAUPT (26), „Über die Ächtheit der Krystalle“ (Freiberg 1815), in welcher nachgewiesen wird, daß es außer den bereits durch WERNER von den eigentlichen Krystallen unterschiedenen „Afterkrystallen“, d. i. den durch Ausfüllung der (weggeführten Krystallen entsprechenden) Hohlräume oder durch Inkrustation von Krystallen mit einer fremden Substanz entstandenen, noch eine dritte Art von „pseudomorphischen“ Gebilden gibt, welche durch Umwandlung entstanden, also „metamorphisch“ sind. Als solche werden beschrieben die sehr verbreiteten Pseudomorphosen von Limonit u. a. Eisenhydroxyden nach Pyrit oder (seltener) nach Markasit, sowie nach Siderit, ferner diejenigen von Grünerde nach Augit und besonders die bekannten Pseudomorphosen von Speckstein nach Quarz bzw. Dolomit. Wenn auch eine Erklärung der stattgehabten Umwandlungsprozesse damals noch nicht möglich war, so ist hier doch zuerst die wahre Natur dieser Bildungen als Produkte chemischer Umwandlung richtig erkannt worden. Als eine besondere Art von „Afterkrystallen“ werden auch einige der später als „Verdrängungspseudomorphosen“ bezeichneten Bildungen erwähnt. Weitere Beschreibungen von Pseudomorphosen, namentlich der auf den Erzlagerstätten vorkommenden, gab BREITHAUPT später in seiner „Paragenesis“.

Wesentliche Verdienste um die Kenntnis dieser Bildungen erwarb sich W. HAIDINGER (25) durch eine Reihe von meist in Poggendorffs Annalen erschienenen Arbeiten; in einer seiner frühesten (1828 im II. Bande der *Transact. of the roy. soc. of Edinburgh* veröffentlichten) Abhandlungen hat er zuerst sich eingehend mit den für die Bildung der Pseudomorphosen in Betracht kommenden Umwandlungen beschäftigt und dargelegt, daß es sich hierbei wesentlich um die Einwirkung von Sauerstoff, Kohlensäure und Wasser als die hauptsächlich in der Natur wirkenden Agentien handle; außerdem werden hier auch die Umwandlungen, bei denen die chemische Zusammensetzung unverändert bleibt und nur der Übergang einer Modifikation in eine andere stattfindet, die später so genannten Paramorphosen, erwähnt. Seine Arbeiten haben besonders dazu beigetragen, auf die Wichtigkeit der Pseudomorphosen für die chemische Geologie aufmerksam zu machen und dadurch eigene Werke über diesen Gegenstand zu veranlassen, in denen die bisherigen Beobachtungen zusammengestellt und durch weitere vermehrt wurden. Die erste derartige Schrift ist die von G. LANDGREBE, „Über die Pseudomorphosen im Mineralreich und verwandte Erscheinungen“, Cassel 1841, welche auch an chemischen Produkten gemachte Erfahrungen wiedergibt, eine weit umfangreichere und durch eigene Beobachtungen vervollständigte ist das Werk von R. BLUM¹⁾, „Die Pseudomorphosen des Mineralreichs“, Stuttgart 1843 (mit vier Nachträgen 1847—1879). Die große Anzahl der im letzteren Werke zusammengestellten Beschreibungen von Pseudomorphosen werden in zwei Abteilungen unterschieden: die durch Umwandlung entstandenen und diejenigen, bei deren Bildung eine Substanz durch eine andere, nicht in näherer chemischer Beziehung zu ihr stehende verdrängt wird; die ersteren werden eingeteilt in solche, die durch Verlust von Bestandteilen hervorgerufen werden, in solche, bei denen eine Aufnahme, endlich in solche (die große Mehrzahl), bei denen ein Austausch von Bestandteilen stattgefunden hat. Da abgesehen von einigen wenigen besonders einfachen Fällen, der stattgefundenene chemische Prozeß keineswegs festgestellt ist, so beruht die Zurechnung zu der einen oder anderen jener Abteilungen meist auf willkürlichen Annahmen. Alle bis zu den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts veröffentlichten Untersuchungen gründeten sich ferner nur auf makroskopische Bestimmungen; mikroskopische Methoden wurden zuerst angewendet in der auf Veranlassung F. ZIRKELS ausgeführten Dissertation

¹⁾ R. BLUM (1802—1883), Nachfolger LEONHARDS an der Universität Heidelberg, schuf zuerst eine eigene Sammlung von Pseudomorphosen, welche besonders das Interesse L. VON BUCHS erregte; er verkaufte sie vor seinem Tode an die Yale-Universität in New Haven, wo sie in der „BRUSH-Sammlung“ aufbewahrt wird. Wertvollere und zum Teil reichere Sammlungen dieser Art besitzen die großen Museen Europas, z. B. das Britische Museum in London und die mineralogische Staatssammlung in München.

von F. E. GEINITZ (N. Jahrb. f. Min. usw. 1876); seitdem ist eine große Zahl von Beobachtungen über das mikroskopische Verhalten von pseudomorphen Krystallen, namentlich den in Gesteinen eingewachsenen, angestellt worden und dadurch die Kenntnis der Umwandlungsvorgänge, besonders in bezug auf die Art ihres Vorschreitens, erheblich vermehrt worden.

Der Umstand, daß die Pseudomorphosen geeignet sind, über manche der in der Natur stattgehabten Vorgänge der Auflösung und der chemischen Veränderung der Mineralien Aufschluß zu geben, hat es veranlaßt, daß sie auch in Lehr- und Handbüchern der chemischen Geologie eingehend behandelt wurden, so besonders 1851 in dem 2. Bande des bekannten Werkes von G. BISCHOF und später in J. ROTHS „Allgemeiner und chemischer Geologie“, 1. Bd., Berlin 1879. Der Verfasser des ersten dieser beiden Werke hat das große Verdienst, daß er zuerst alle jene Vorgänge, welche in der unorganischen Natur durch Wasser, Kohlensäure und Sauerstoff hervorgerufen werden, vom chemischen Standpunkte aus eingehender Untersuchung und Erörterung unterwarf. Die Einwirkung von wässrigen Lösungen auf natürliche kieselsaure Verbindungen ist nach ihm besonders geprüft worden von J. LEMBERG in Dorpat in den Untersuchungen über die Bildung und Umbildung von Silikaten, welche 1876—1887 in der Zeitschr. d. dtsh. geol. Ges. veröffentlicht wurden.

Zahlreiche schwer lösliche Stoffe wurden von A. DE SCHULTEN in Helsingfors und Paris künstlich, zum Teil ebensogut, krystallisiert dargestellt, wie sie in der Natur vorkommen.

Was endlich die wichtigen Untersuchungen VAN 'THOFFS über die Bildung und Umbildung leicht löslicher Salze betrifft, so sind diese bereits im vorigen Abschnitt bei der Besprechung der Salzlagerstätten berücksichtigt worden.

Unter den Mineralien, welche im Verhältnis der Dimorphie zueinander stehen, sind weitaus die wichtigsten Kalkspat und Aragonit, deren Bildung Gegenstand der klassischen Arbeiten von G. ROSE, „Über die heteromorphen Zustände der kohlen sauren Kalkerde“ (Abh. d. Berliner Akad. 1856) waren; fortgesetzt und wesentlich ergänzt wurden dieselben im letzten Jahrzehnt des 19. Jahrhunderts durch die wichtigen Untersuchungen von H. VATER in Tharand (Zeitschr. f. Kryst. 1893 f.).

* * *

Neben den Forschungen, welche sich mit der Entstehung und der Zersetzung von Mineralien auf wässrigem Wege beschäftigen, sind auch solche über die Mineralbildung aus dem Schmelzflusse verfolgt worden. Auf die Wichtigkeit des Studiums der krystallisierten Schlacken für die Entstehung der pyrogenen Mineralien wies HAUSMANN hin in seinen „Beiträgen zur metallurgischen Krystallkunde“ (Abh. d. Ges. d.

Wiss. Göttingen, Bd. 4 u. 5, 1848 f.), ganz besonders kommen aber hierfür in Betracht die umfangreichen Arbeiten des Norwegers I. H. L. VOGT, welcher in der Abhandlung „Studien über Schlacken“ (Stockholm 1884) unter Benutzung der Analysen ÅKERMANS den Nachweis des Auftretens einer Reihe krystallisierter Verbindungen in metallurgischen Produkten lieferte und die Kenntnis der Entstehung von Mineralien in trockenen Schmelzflüssen in den folgenden Jahren bedeutend erweiterte.

Bereits im Anfange des Abschnittes über das Zusammenvorkommen der Mineralien wurde erwähnt, daß A. DAUBRÉE die krystallisierten Dioxyde von Zinn und Titan künstlich dargestellt habe. Der Zweck dieser Arbeiten war der Nachweis, daß die betreffenden Mineralien sich in der Natur aus flüchtigen Halogenverbindungen gebildet haben konnten, worauf ihre paragenetischen Verhältnisse hindeuteten. Um dieselbe Zeit, in der Mitte des 19. Jahrhunderts, begannen in Paris eine Reihe von experimentellen Arbeiten, welche, ohne von geologischen Erwägungen auszugehen, wesentlich den Zweck hatten, die in der Natur vorkommenden Verbindungen auf chemischem Wege darzustellen, und dadurch für die Mineralkunde und besonders für die chemische Krystallographie außerordentlich wichtig wurden, daß sie die in der Natur nicht in reinem Zustande sich findenden Substanzen bzw. deren verschiedene polymorphe Modifikationen genauer betreffs ihrer Eigenschaften zu untersuchen gestatteten. Auf diesem Gebiete wirkten namentlich bahnbrechend: J. J. EBELMEN (1814—1852), der die Einrichtungen der Porzellanfabrik in Sèvres zu seinen Arbeiten benutzen konnte, der berühmte Chemiker H. E. SAINTE-CLAIRE-DEVILLE (1818—1881) und der in dem Abschnitt über die krystallographische Erforschung der Mineralien bereits gewürdigte H. H. DE SÉNARMONT. Diesen schlossen sich an: CH. FRIEDEL, H. DEBRAY (1827—1888), P. G. HAUTEFEUILLE (1836—1902), der in der Sorbonne ein besonders der Mineralsynthese gewidmetes Laboratorium einrichtete, und eine Reihe jüngerer Forscher. Außerdem gehören hierher diejenigen Geologen, welche sich damit beschäftigten, die in den Eruptivgesteinen auftretenden Mineralien und deren Gemenge, also jene Gesteine, unter möglichster Annäherung an die Verhältnisse ihrer Bildung in der Natur und mit ähnlichen petrographischen Eigenschaften, darzustellen; es sind dies vor allem F. FOUQUÉ (1828—1904) und dessen Schüler und Mitarbeiter A. MICHEL-LÉVY (1844 bis 1911), welche ihre Arbeiten in dem mineralogischen Laboratorium der École norm. sup. ausführten. Dort befindet sich auch eine umfangreiche Sammlung von Präparaten der französischen Mineralsynthetiker, während die vollständigste in der mineralogischen Sammlung der École des mines aufgestellt ist. In derselben Richtung waren in Warschau A. LAGORIO und J. MOROZEWICZ tätig.

Die erste systematisch geordnete Besprechung der sämtlichen bis dahin ausgeführten künstlichen Darstellungen von Mineralien enthält

das Werk von F. FOUQUÉ und MICHEL-LÉVY, „Synthèse des minéraux et des roches“, Paris 1882; diesem folgte bald darauf (1884) die sorgfältige Zusammenstellung von L. BOURGEOIS in dem 1. Appendix zum 2. Bande der von FRÉMY herausgegebenen „Encyclopédie chimique“. Eine bis nahe zum Schlusse des 19. Jahrhunderts fortgeführte Darstellung dieses Gebietes gab R. BRAUNS in seiner „Chemischen Mineralogie“, Leipzig 1896, und in dem von DÖLTER neuerdings redigierten umfangreichen Handbuche der Mineralchemie sind bei den einzelnen Mineralien die Synthesen derselben ausführlich behandelt. Endlich hat in einer soeben in Leipzig erschienenen Preisschrift W. EITEL eine kritische und durch eigene Versuche ergänzte Behandlung der für die petrographische Forschung besonders wichtigen Synthesen der „Feldspatvertreter“ mitgeteilt, einer Gruppe von Silikaten, welche der Nachbildung besonders große Schwierigkeiten entgegenstellt.

Rückblick und Ausblick.

Der erste Abschnitt der Mineralkunde beginnt mit ihrer Vorgeschichte, d. i. ihrer Entstehung aus dem deutschen Bergbau, der im 15. und 16. Jahrhundert zu hoher Blüte gelangte und dessen Erfahrungen zuerst von AGRICOLA literarisch verwertet wurden, bis sie WERNER zu einer eigenen Wissenschaft zusammenfaßte, welche als Beschreibung des Mineralreichs mit der Tier- und Pflanzenkunde die „Naturgeschichte“ bildete. Dementsprechend versuchte man zunächst auch für dieses Gebiet der Naturkunde eine Systematik nach den gleichen Grundsätzen wie für die beiden anderen Gebiete aufzustellen, und diese Versuche sogenannter naturhistorischer Mineralsysteme wurden noch längere Zeit hindurch fortgesetzt, obgleich bereits WERNER darauf hingewiesen hatte, daß die chemische Natur die Grundlage des „Systems“ der Mineralien sein müsse. Dies kam seit der Zeit des Wirkens von BERZELIUS immer mehr zur Geltung, und aus der Natur der Mineralien als Stoffe ergibt sich, daß es ein „Mineralsystem“ überhaupt nicht geben kann. Ebenso wie für die weitere Entwicklung der Mineralogie als Wissenschaft die „Systematik“ hiernach nicht mehr in Betracht kommt, ist dies auch der Fall mit der „Nomenklatur“, welche nur als ein (zuweilen recht praktisches) Hilfsmittel zur Bezeichnung von Mineralstoffen betrachtet werden kann. Viel wichtiger ist die Entwicklung der Kenntnis über die Verbreitung der Mineralien, welche besonders gefördert worden ist durch die zusammenfassenden Bearbeitungen einzelner Gebiete, daher diese für die Zeit von Ende des 18. bis zum Anfang des 20. Jahrhunderts in dem folgenden Teile des ersten Abschnittes möglichst vollständig aufgeführt sind; eine derartige Zusammenstellung liefert zugleich eine Über-

sicht über die Pflege der Mineralogie in den einzelnen Ländern für den genannten Zeitraum. An sie schließt sich eine Betrachtung der Entwicklung des Sammlungswesens an, in welcher die Geschichte der wichtigeren staatlichen und privaten Mineralkollektionen behandelt wird; mit dieser Darstellung ist verbunden eine solche der Entstehung von mineralogischen mit größeren öffentlichen Sammlungen in Verbindung stehenden Forschungs- bzw. Lehrinstituten.

Nachdem durch WERNER die Geognosie als eine selbständige Wissenschaft begründet und von der Mineralogie getrennt worden war, hat sich die letztere, wie in den folgenden Abschnitten gezeigt wird, im Laufe des 19. Jahrhunderts aus dem geschilderten Anfangszustand in drei verschiedenen Richtungen entwickelt, 1. durch die Untersuchung der krystallographischen und physikalischen Eigenschaften der einzelnen Mineralien, deren Ausdehnung auf ihr mikroskopisches Verhalten demjenigen Teil der Geologie, welcher sich mit den Gesteinen beschäftigt, eine solche Förderung brachte, daß die moderne Petrographie zu einem der wichtigsten Zweige der letzteren Wissenschaft wurde; 2. durch das Studium des Zusammenvorkommens (der Paragenesis) der Mineralien, aus welchem in neuester Zeit als geologische Spezialwissenschaft die „Lagerstättenkunde“ hervorgegangen ist; 3. durch die Erforschung der chemischen Verhältnisse, welche im Verein mit den paragenetischen und mit den Resultaten der Mineralsynthese Aufschluß über die Entstehung der Mineralstoffe geben konnte und dadurch die Grundlage für die „Geochemie“ geworden ist.

Wie aus den betreffenden drei Abschnitten hervorgeht, sind die rein mineralogischen Forschungen auf keinem dieser Gebiete als abgeschlossen zu betrachten, daher auch der weitere Ausbau ihrer Hilfsmittel für die Zukunft von größter Wichtigkeit sein dürfte. Außer dem Sammlungswesen, welchem deshalb in dem einleitenden Abschnitt eine ausführliche historische Darstellung gewidmet wurde, könnte späterhin noch ein anderes Hilfsmittel in Betracht gezogen werden, für welches das Vorbild in einer allerdings einem ganz anderen Wissensgebiete angehörigen Einrichtung dargeboten wird, nämlich in dem „Thesaurus Linguae Latinae“ in München. Gerade so wie hier jedes Vorkommen eines Wortes in der Literatur einen eigenen Zettel mit den nötigen Angaben enthält, müßte jedes Vorkommen eines Minerals in der Weise registriert werden, daß daraus jede Erwähnung desselben hervorgeht, außerdem aber auch das Vorhandensein in allen größeren der Forschung zugänglichen Sammlungen. Wenn die Resultate dieser registrierenden Arbeit in ähnlicher Weise wie in dem erwähnten Vorbilde veröffentlicht würden, so wäre jeder Forscher in der Lage, zu erfahren, was über das von ihm zu bearbeitende Mineralvorkommen bereits bekannt ist, zugleich aber auch, wo sich das Material zur weiteren Untersuchung desselben befindet. Hierzu wäre also die

Gründung eines mit allen literarischen Hilfsmitteln ausgerüsteten und mit sämtlichen größeren Sammlungen in Verbindung stehenden Institutes nötig. Da das Geburtsland der wissenschaftlichen Mineralogie noch auf lange Zeit hinaus der für solche Unternehmungen erforderlichen Mittel beraubt ist, kämen für den Sitz einer derartigen Anstalt nur die Vereinigten Staaten in Frage, welche in dem „Geophysical Laboratory“ in Washington bereits ein einzigartiges, auch für die Mineralogie höchwichtiges Institut besitzen und wo eine genügende Anzahl jüngerer wissenschaftlicher Kräfte, welche zum großen Teil ihre Ausbildung in Deutschland erfahren haben, zur Verfügung steht. Da die wissenschaftlichen Gesellschaften in Dresden und Edinburgh, welche nach dem Begründer der mineralogischen Wissenschaften benannt waren, nicht mehr existieren, würde der gegebene Name für die hier in Vorschlag gebrachte Anstalt „Thesaurus Wernerianus“ sein.

* * *

Von den drei Abschnitten, welche die Entwicklungsgeschichte der Mineralkunde innerhalb des 19. Jahrhunderts nach den oben genannten Richtungen schildern, beginnt der die krystallographische Forschung betreffende mit dem wichtigsten in der ersten Hälfte dieses Zeitraums erschienenen Handbuche, dem unter dem bescheidenen Titel der Beschreibung einer Privatsammlung herausgekommenen Werke A. LÉVYS. Auf dessen Besprechung folgt diejenige des einschlägigen Studiums von besonders mineralreichen Gebieten, nämlich demjenigen der Vulkane in der Umgegend von Neapel und Rom, dann dem der Pegmatite Skandinaviens und anderer ähnliche Verhältnisse darbietender Länder.

Weiterhin wird die Förderung erörtert, welche die krystallographische Kenntnis einzelner Mineralien erfahren hat durch besondere Monographien, wie sie in erster Linie G. ROSE zu verdanken sind. Unter den zahlreichen Forschern, welche sich ferner um die Kenntnis einzelner Vorkommen verdient gemacht haben, ragen durch die Zahl ihrer Arbeiten besonders hervor G. VOM RATH und A. DES CLOIZEAUX, denen in Deutschland und Österreich viele, meist jüngere Forscher folgten; durch diese und eine Reihe von Mineralogen in Italien, Frankreich, den Niederlanden, England, Skandinavien, Rußland, in neuester Zeit besonders in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, ist nun ein ungeheures Material von Beobachtungen angehäuft worden, welches sich sowohl auf früher nicht bekannte oder nicht genügend untersuchte Vorkommen, als auch auf neu entdeckte Mineralien bezieht. Dieses Material hat in mehreren Werken, namentlich von V. GOLDSCHMIDT, eine kritische Zusammenfassung gefunden. Zur Ergänzung des Überblickes über die Tätigkeit der den verschiedenen Nationen angehörenden Forscher auf diesem Gebiete schien es geeignet, hier auch die spezielle Geschichte

einiger Mineralien einzufügen, denen eine besondere Bedeutung für die allgemeine Geschichte der Wissenschaft zukommt; es sind dies: Kalkspat, Quarz, Feldspat, Epidot, Turmalin, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit und Diamant. Den Schluß dieses Abschnittes bildet die Geschichte der Einführung des Mikroskops in die mineralogische Forschung; hier wird die überragende Wichtigkeit der Arbeiten H. FISCHERS dargelegt, während die Besprechung des Einflusses der mikroskopischen Methoden auf die Untersuchung der Gesteine natürlich der Geschichtsschreibung der Geologie vorbehalten bleiben muß.

* * *

Der Gegenstand des folgenden Abschnitts, die Entwicklung der Kenntnis des Zusammenvorkommens und der Lagerstätten der Mineralien, stützt sich zunächst auf die älteren Erfahrungen des Bergbaues in den verschiedenen Ländern, wird aber gegen die Mitte des 19. Jahrhunderts in eine ganz neue Bahn gebracht durch BREITHAUPTS Werk über die Paragenesis der Mineralien, in welchem nicht nur jene Erfahrungen erörtert und zusammengefaßt sind, sondern auch zuerst auf die Bedeutung der Altersfolge in der Bildung der Mineralien für das Verständnis der Entstehung der Lagerstätten die Aufmerksamkeit gelenkt wurde. Seitdem hat sich besonders die Kenntnis der Erzlagerstätten zu einem wichtigen Zweige der praktischen Geologie entwickelt, daher es geboten schien, nach ausführlicher Besprechung der BREITHAUPTSchen Schrift eine Übersicht über die Entwicklung der Erzlagerstättenkunde während der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts zu geben. Für die Genesis einer bestimmten Art solcher Lagerstätten, nämlich derjenigen des Zinnerzes, war schon vorher ein wichtiger Hinweis durch DAUBRÉE gegeben worden, indem dieser zeigte, daß bei deren Bildung gasförmige Stoffe eine wesentliche Rolle gespielt haben müssen. Weitaus die größte Bedeutung für das Verständnis der Entstehung der Erzlagerstätten haben aber die Anschauungen gehabt, welche sich auf die früher schon vielfach bemerkten Beziehungen derselben zu gewissen Erstarrungsgesteinen gründeten und zur Erklärung ihrer Bildung die Prozesse herbeizogen, welche sich bei der langsamen Abkühlung eines glutflüssigen Magmas im Erdinnern abspielen, infolgederen durch „magmatische Differentiation“ sich metallische Substanzen zu eigenen Lagerstätten konzentrieren können, anderseits auch metallhaltige Schmelzlösungen in bereits verfestigte Teile der Erdkruste einzudringen und hier die Entstehung von Erzlagerstätten zu veranlassen vermögen. Diese Prozesse führten, wie gleichzeitig erkannt wurde, zur Bildung von verschieden zusammengesetzten Erstarrungsgesteinen aus einem und demselben Magma, und diese Erkenntnis wurde von großer Bedeutung für die neuere Entwicklung der Petrographie. Die Ausscheidungsprodukte bei der allmählichen Abkühlung

großer plutonischer Massen mußten aber wesentlich bedingt und beeinflußt werden von dem Gehalt des Magmas an flüchtigen Stoffen, wie dies durch die neueren Forschungen der physikalischen Chemie immer mehr erkannt wurde, und so gelangte man zu der Annahme der „pneumatolytischen“ Entstehung für gewisse Minerallagerstätten. Zu diesen gehören die sogenannten Pegmatite, welche durch ihren Reichtum an ihnen eigentümlichen Mineralien und ihre besonderen Eigenschaften in bezug auf die Art des Zusammenvorkommens ihrer Bestandteile schon früh die Aufmerksamkeit auf sich zogen und Veranlassung zu zahlreichen mineralogischen Arbeiten gaben. Die Abhängigkeit der Mineralbildung in denselben von den Gesetzen der physikalischen Chemie hat nun in neuester Zeit eine wichtige theoretische Erörterung gefunden in der Schrift von P. NIGGLI, „Die leichtflüssigen Bestandteile im Magma“ (Preisschrift Leipzig 1920), in welcher sowohl die plutonischen („intrusiven“) als die natürlich durch Übergänge mit ihnen verbundenen vulkanischen („extrusiven“) Prozesse behandelt werden; von den hier allein in Betracht kommenden ersteren werden die während der Abkühlung des Magmas aufeinander folgenden Stadien: — flüssig-magmatisch, pneumatolithisch, hydrothermal bis hydratogen — betrachtet und an einer Reihe von Beispielen erläutert; schließlich wird der Versuch einer Systematik der so überaus mannigfachen pegmatitischen Lagerstätten gemacht. Damit ist nun eine theoretische Grundlage für die weitere Forschung auf diesem Gebiete gewonnen; bis es gelingt, ein vollständiges Bild der Vorgänge bei der Entstehung der pegmatitischen Lagerstätten zu erhalten, bedarf es noch vielfacher Studien, denn bisher fehlt in vielen Ländern noch die nähere Untersuchung dieser Lagerstätten oder hat erst begonnen und wird jedenfalls noch weitere neue Typen oder Übergänge zwischen den bisher erkannten liefern. Eine zweite Vorarbeit zu einer abschließenden Darstellung des ganzen Wissenszweiges sollte aber bald vorgenommen werden, nämlich eine kritische Neubearbeitung der älteren Beobachtungen, welche meist ohne die jetzt vorhandenen Richtlinien, zum Teil auf Grund von zweifellos unrichtigen Anschauungen über die Entstehung dieser Bildungen, vorgenommen wurden.

Diese Betrachtungen gelten auch für eine zweite Art von Mineral-lagerstätten von wesentlich rein wissenschaftlichem Interesse, den sogenannten Kontaktbildungen, welche wie die des Fassatales und des Vesuvs schon früh der Gegenstand mineralogischer Arbeiten gewesen sind. Während auf diesen Lagerstätten Erze meist nur eine ganz untergeordnete Rolle spielen (dasselbe gilt quantitativ auch für den durch seine seltenen Mineralien berühmten Dolomit des Binnentals im Wallis), sind von den außerordentlich mannigfachen skandinavischen Kontakt-lagerstätten eine große Anzahl zugleich wichtige Erzvorkommen und deshalb schon vorher berücksichtigt. In wissenschaftlicher Hinsicht haben aber die norwegischen Lagerstätten dadurch eine allgemeine Bedeu-

tung erlangt, daß aus ihrem Studium genetische Anschauungen hervorgegangen sind, welche geeignet sein dürften, den zukünftigen Forschungen über den Kontaktmetamorphismus zur Richtschnur zu dienen.

Eine wesentlich andere Entstehung kommt den als Fundstätten herrlicher Krystallisationen seit lange berühmten alpinen Mineralklüften zu, deren Genesis jedoch erst in neuester Zeit im wesentlichen klargestellt worden ist.

Das Studium der in die Sedimentformationen eingelagerten Salzlagerstätten hat seine hauptsächlichste Entwicklung in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erfahren durch die Entdeckung der Kalisalze in Norddeutschland. Die hier behandelte erste Periode dieser Entwicklung, welche um die Jahrhundertwende mit den Forschungen VAN 'T HOFFS abschließt, wird betreffs der Anschauungen über die Bildung dieser Lagerstätten beherrscht von der Ansicht, daß sie in einer im wesentlichen abgeschlossenen Meeresbucht entstanden seien. Zahlreiche Bohrungen und bergmännische Unternehmungen zeigten aber die Verbreitung dieser Bildungen über ein weites Gebiet, in dessen einzelnen Teilen die Aufeinanderfolge der Salzminerale zum Teil von der zuerst studierten bei Staßfurt abweicht, und die geologischen Untersuchungen bewiesen, daß die Zerlegung des Gebietes in einzelne Buchten erst in einer späteren Epoche durch tektonische Vorgänge erfolgt ist, welche die dislozierten permischen Schichten in mannigfacher Weise beeinflussten. Den hierdurch notwendig veränderten Anschauungen über die Entstehung der norddeutschen Salzschiefer ist bereits Rechnung getragen in der 1907 von der preußischen Geologischen Landesanstalt in Berlin herausgegebenen Festschrift zum 10. allgemeinen Bergmannstage in Eisenach, „Deutschlands Kalibergbau“; dieses umfangreiche Werk enthält eine vortreffliche Schilderung der geologischen Verhältnisse der deutschen Zechsteinsalze, welcher S. 137—183 ein durch seine Vollständigkeit musterergütiges Verzeichnis aller auf Steinsalz und seine Begleiter bezüglichen Arbeiten von 1600—1907 folgt, ferner Darlegungen über die Chemie und Industrie der Kalisalze, über deren bergmännische Gewinnung und über die wirtschaftlichen, rechtlichen und statistischen Verhältnisse der Kaliindustrie. Seitdem ist die wissenschaftliche Erforschung dieser Lagerstätten ununterbrochen fortgeschritten, und es ist besonders das Verdienst von F. RINNE, auf die Wichtigkeit des Studiums der „Salzgesteine“ für die Petrographie hingewiesen zu haben, welche auf den physikalisch-chemischen Beziehungen der Schmelzlösungen, aus denen die Eruptivgesteine hervorgegangen sind, mit den Lösungen der Salze beruht, deren weitere Verfolgung jedenfalls noch zu neuen Fortschritten in der Kenntnis der hier betrachteten Lagerstätten führen wird.

Das Vorkommen von wertvollen Mineralien auf sekundärer Lagerstätte in Sanden hat nur teilweise Bedeutung für die Kenntnis der Paragenesis und entbehrt eines wesentlichen Einflusses auf die Entwicklung der mineralogischen Wissenschaft.

* * *

Der letzte Abschnitt beschäftigt sich mit den chemischen Verhältnissen der Mineralien und beginnt mit der Analyse derselben, deren Entwicklung bis nach der Mitte des 19. Jahrhunderts hauptsächlich durch den Einfluß von BERZELIUS und den der damaligen Anschauungen über Isomorphie bestimmt wurde. Alsdann begannen die Versuche, die auf dem Sauerstoffverhältnis zwischen Säure und Basen in den salzartigen Verbindungen beruhenden Formeln durch solche zu ersetzen, welche mit den inzwischen zur Herrschaft gelangten Anschauungen über die Kohlenstoffverbindungen im Einklang stehen, und zugleich wurden die Methoden der Analyse derart verbessert, daß es nach und nach gelang, auch von den meisten kompliziert zusammengesetzten Silikaten die empirische Zusammensetzung mit einiger Sicherheit festzustellen. Erst hierdurch wurde die Grundlage geschaffen, auf welcher die Versuche einer theoretischen Erforschung der Konstitution derselben aufgebaut werden konnten. Der erste Schritt dazu war der von FRIEDEL geführte Nachweis, daß die Mehrzahl der einfacher zusammengesetzten natürlichen Silikate als normale Salze der beiden einfachsten Säuren des vierwertigen Siliziums betrachtet werden können, und mit dieser Deutung stimmen die Resultate der Mineralsynthese überein, namentlich die Tatsache, daß aus einem Schmelzfluß von Kieselsäure und Basen vom Typus RO sich besonders leicht Verbindungen von der Zusammensetzung eines normalen Ortho- oder Metasilikates bzw. Gemenge beider ausscheiden. Große Schwierigkeiten bereiten jedoch gerade die wichtigsten Mineralgruppen aus der Reihe der Silikate dadurch, daß die nach ihren Eigenschaften zweifellos nahe verwandten und vielfach durch allmähliche Übergänge miteinander verknüpften Glieder derselben Unterschiede ihrer chemischen Zusammensetzung zeigen, welche zum Teil so groß sind, daß es unmöglich erscheint, ihre Verwandtschaft durch irgendwelche Analogien ihrer chemischen Konstitution zu erklären. Die Lösung dieses Problems versuchte nun TSCHERMAK in einer Reihe von Arbeiten, welche auch insofern für die neuere Entwicklung der Mineralogie wichtig geworden sind, als sie die Kenntnis nicht nur der chemischen, sondern auch der kristallographischen und physikalischen Verhältnisse der behandelten Gruppen außerordentlich bereichert haben. Er gelangte zu dem Schlusse, daß jede dieser Gruppen eine Reihe isomorpher Mischungen von mehr oder weniger verschieden zusammengesetzten Silikaten, zum Teil sogar mit Aluminaten, darstelle, deren Konstitution aber größtenteils auf völlig

hypothetischen Annahmen beruht. In neuester Zeit hat er versucht, die schwierige Frage auf experimentellem Wege zu lösen durch langsame Zersetzung der Silikate; er nahm an, daß die hierbei erhaltenen Kieselsäuren diejenigen seien, als deren Salze die betreffenden Mineralien betrachtet werden müßten; gegen diesen Schluß wurde jedoch von den Kolloidchemikern, besonders von VAN BEMMELEN, der Einwand erhoben, daß es sich hier um Adsorptionsverbindungen amorpher Kieselsäure mit Wasser handle, deren Verhalten beim Erhitzen bekanntlich nicht nur von der Art ihrer Darstellung, sondern auch von anderen Verhältnissen abhängt. Außer TSCHERMAK hat sich mit der Frage der chemischen Konstitution der Silikate namentlich eine Reihe von nordamerikanischen Forschern, wie F. W. CLARKE, beschäftigt, mit dem größten Erfolge aber S. PENFIELD, dem wir zugleich die bedeutendsten Fortschritte in den Methoden der Analyse besonders komplizierter Silikate verdanken. In welcher Weise die Mineralchemiker des 19. Jahrhunderts an der Untersuchung der einzelnen besonders wichtigen Gruppen natürlicher Silikate teilgenommen haben, wurde an den Beispielen der Feldspäte, der Pyroxene und Amphibole, der Glimmer und ihrer Verwandten, endlich der Turmaline, gezeigt.

Abgesehen davon, daß trotz der zahlreichen Verbesserungen der analytischen Methoden die empirische Zusammensetzung vieler komplizierter Verbindungen der seltenen Erden und besonders derjenigen, welche außer Silizium und Aluminium noch andere säurebildende Elemente enthalten, keineswegs schon sicher festgestellt ist, sind alle Versuche, auf physikalisch-chemischem Wege in die Konstitution der natürlichen Silikate einzudringen, schon deshalb ohne Aussicht auf Erfolg, weil es bei diesen Körpern an denjenigen Reaktionen so gut wie ganz fehlt, aus denen man bei löslichen Stoffen auf die chemische Konstitution zu schließen imstande ist. Dazu kommt, daß das Problem der gesetzmäßigen Abhängigkeit der Krystallstruktur von der chemischen Natur noch ein völlig ungelöstes ist (vgl. den Schluß der Krystallkunde). Röntgenometrisch untersucht sind bisher nur ganz wenige Mineralien aus der großen Masse der Silikate. Es fehlen also auch nach dieser Richtung alle Voraussetzungen für die Aufstellung von Konstitutionsformeln für dieselben.

Während für die krystallisierten Mineralien wenigstens die empirischen Formeln in den meisten Fällen sicher festgestellt werden konnten, ist dies im allgemeinen nicht möglich bei den amorphen, deren eigentümliche Verhältnisse schon früh die Aufmerksamkeit auf sich gezogen haben.

ständnis derartiger Vorgänge, also für die chemische Geologie, von großer Bedeutung sind. Das gleiche gilt für die Pseudomorphosen, über welche während des 19. Jahrhunderts ein außerordentlich großes Material an Beobachtungen und genetischen Ansichten veröffentlicht worden ist, welches aber bis jetzt noch keine kritische Durcharbeitung und Prüfung nach den Grundsätzen der physikalischen Chemie erfahren hat.

Nach der analytischen Erforschung der chemischen Natur der Mineralien setzte endlich auch die synthetische ein, und es gelang in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts besonders einer Reihe französischer Forscher, eine große Anzahl von Mineralien künstlich darzustellen, wenn auch zum Teil nicht auf dem Wege der natürlichen Entstehung. Auch für derartige Arbeiten wurden die Grundzüge der physikalischen Chemie erst um die Jahrhundertwende maßgebend und seitdem begannen die Bestrebungen, die Gleichgewichtsverhältnisse erstarrender Schmelzen und die Ausscheidung bestimmter Verbindungen aus ihnen systematisch zu studieren; namentlich die Silikatschmelzen wurden von zahlreichen Forschern (z. B. H. E. BOEKE, P. NIGGLI u. A.) in dieser Richtung untersucht. Bei den vielfachen experimentellen Schwierigkeiten derartiger Arbeiten ist es für den weiteren Fortschritt auf diesem Gebiete von größter Bedeutung, daß in dem „Geophysical Laboratory“ in Washington jetzt ein Institut existiert, dessen reiche Mittel es gestatten, jene Schwierigkeiten durch geeignete Einrichtungen zu überwinden, und aus welchem bereits eine Reihe ausgezeichneter Untersuchungen hervorgegangen ist. So hat nunmehr für die chemische Kenntnis des Erdkörpers eine ganz neue Periode begonnen, deren Würdigung erst einem späteren Geschichtsschreiber der allgemeinen Geologie möglich sein wird.

Die Beantwortung der ebenfalls in das Gebiet der „Geochemie“ fallenden Frage nach der Verteilung der einzelnen Elemente im Erdkörper wurde vorbereitet von F. CLARKE durch seine statistischen Angaben über den durchschnittlichen Gehalt der Erdkruste an denselben, soweit er sich aus den Analysen der Gesteine ableiten ließ. Die Anschauungen über die Natur der chemischen Elemente haben sich jedoch durch die neuere Entwicklung der Atomtheorie derart geändert, daß die Frage der Verteilungsgesetze der Elemente im Erdkörper einer ganz neuen Bearbeitung bedarf. Mit einer solchen ist V. M. GOLDSCHMIDT in Kristiania beschäftigt, und es hat sich dabei die gründliche Erforschung der Isomorphieverhältnisse der Elemente als notwendig erwiesen. Wie am Schlusse der ersten Abteilung gezeigt wurde, sind die Gesetzmäßigkeiten dieser Verhältnisse noch keineswegs als festgestellt zu betrachten (vgl. auch den Nachtrag S. 143.).

So zeigt sich also in der Gesamtheit der mineralogischen Wissenschaften im Beginne des 20. Jahrhunderts eine bedeutsame Wendung, welche auf den weiteren Gang ihrer Entwicklung nicht ohne Einfluß bleiben kann. Durch den bisherigen Verlauf dieser Entwicklung sind die Krystall- und die Mineralkunde zu Gliedern zweier verschiedener Gruppen von Naturwissenschaften geworden, erstere der physikalisch-chemischen, letztere der geologischen Wissenschaften in weiterem Sinne. Die Geologie kann aber nur dann zu einer exakten Kenntniss des Baues und der Beschaffenheit des Erdkörpers gelangen, wenn sie auf strengen physikalischen und chemischen Grundlagen aufgebaut wird. Hierin dürfte auch in Zukunft die Verbindung zwischen Krystallographie und Mineralogie bestehen bleiben, welche in der Vergangenheit eine so große Bedeutung für die Entwicklung beider Disziplinen gehabt hat.



BIOGRAPHISCHE NOTIZEN.



**SACH-
UND NAMENREGISTER.**

Biographische Notizen.

1) Zu S. 3: **Nils Stensen** (lat. NICOLAUS STENO; eigentlich „N. Stenonis“ scil. filius) wurde 1638 in Kopenhagen geboren, studierte zuerst an der Universität seiner Vaterstadt und trat hier mit BERTHELSEN (BARTHOLINUS) in nähere Beziehung; später setzte er seine Studien in Holland fort und machte daselbst seine bekanntesten Entdeckungen auf dem Gebiete der Anatomie und Physiologie. 1665 kam er nach Florenz, wurde Leibarzt des Großherzogs Ferdinand II. und setzte mit Dessen Unterstützung seine wissenschaftlichen Arbeiten fort, die zunächst anatomische Gegenstände betrafen. Das Studium fossiler Zähne führte ihn zu allgemeinen Untersuchungen der in der Erdkruste vorkommenden festen Körper, über deren Resultate er 1669 als Vorläufer eines geplanten ausführlichen Werkes eine dem genannten Mediceer gewidmete Schrift herausgab unter dem Titel „NICOLAI STENONIS de solido intra solidum naturaliter contento Dissertationis Prodomus“ (deutsche Ausgabe von K. MIELEITNER in Ostwalds Klassikern der exakt. Wiss. Nr. 209, Leipzig 1923). In diesem, den Abschluß seiner wissenschaftlichen Tätigkeit bildenden Werke teilt er eine Fülle von Beobachtungen mit, in denen bereits die Grundlagen der geologischen und mineralogischen Wissenschaften enthalten sind, so daß man ihn zu den bedeutendsten der auf GALILEI folgenden Generation von Naturforschern zählen muß. Er starb 1686 in Schwerin als Bischof der katholischen Gemeinden Dänemarks und eines großen Teils von Norddeutschland; seine Gebeine wurden später nach Florenz übergeführt und in der Fürstengruft der Mediceer beigesetzt.

2) Zu S. 4: **Moritz Anton Cappeller** (oder KAPPELER) wurde 1685 in Willisau im Kanton Luzern geboren, studierte in Italien und Frankreich Medizin, kehrte 1710 nach seiner Heimat zurück und lebte von 1712 bis zu seinem 1769 erfolgten Tode als Stadtarzt und Mitglied des hohen Rates in Luzern. Nach einer 1719 erschienenen, nur aus vier Seiten (Titel, Vorwort und Inhaltsverzeichnis) bestehenden Druckschrift „Adumbratio Crystallographiae historicae, physicae, medicae“ veröffentlichte er sein wichtiges Werk „Prodromus Crystallographiae de Cristallis improprie sic dictis Commentarium“, Lucernae 1723 (Deutsch herausgegeben von K. MIELEITNER, München 1922). Dieses bildet einen Teil der von ihm verfaßten, aber nicht erschienenen ausführlichen Monographie des Bergkrystals und behandelt im wesentlichen die übrigen „crystallisata corpora“, deren Entstehung er als „crystallificatio“, die Bildung des Bergkrystals als „crystallisatio“ bezeichnet, ohne jedoch diesen Unterschied als wesentlich zu betrachten, da er die letztere Bezeichnung auch für andere Körper, also in dem heute üblichen Sinne, anwendet. Einen Auszug des „Prodromus“ veröffentlichte die kgl. Gesellschaft der Wissenschaften in London, deren Mitglied CAPPELLER 1726 wurde, in ihren Verhandlungen. Sein letztes Werk, eine Naturgeschichte des Luzerner Gebietes, erschien in Basel 1767, zwei Jahre vor seinem Tode.

3) Zu S. 5: **Jean Baptiste Louis Romé Delisle** (später schrieb er sich ROMÉ DE L'ISLE), geboren 1736 in Gray (Franche-Comté), erhielt seine Ausbildung in Paris, von wo aus er sehr jung an einer militärischen Expedition nach Indien teilnahm; von den Engländern gefangen genommen, verbrachte er eine Reihe von Jahren in verschiedenen Kolonien, während welcher Zeit sein Interesse an Naturbeobachtungen erwachte, und wurde nach seiner Rückkehr 1764 in Paris Schüler von LE SAGE, dem späteren Professor an der École des mines, welcher damals mit Erfolg für die Einführung des Studiums der Chemie und Mineralogie nach deutschem und schwedischem Muster tätig war. Abgesehen von einigen zoologischen und geologischen Beobachtungen, war seine erste wissenschaftliche Arbeit die Beschreibung einer besonders reichen mineralogischen Privatsammlung; er veranstaltete Lehrkurse der Mineralogie, die guten Erfolg hatten, und verschaffte sich mit Hilfe seiner Schüler eine eigene Mineraliensammlung, von welcher er ebenfalls einen beschreibenden Katalog verfaßt hat. Durch sein „Essai de Cristallographie“ (1772) erwarb er sich im Auslande so hohe Anerkennung, daß er von der kurfürstlich Mainzischen Akademie der Wissenschaften in Erfurt, dann auch von den Akademien in Berlin und Stockholm zum Mitgliede gewählt wurde, während seine 1780 erfolgte Bewerbung um einen Platz in der Pariser Akademie mit der Begründung zurückgewiesen wurde, daß er nur „Kataloge“ veröffentlicht habe! Abgesehen von einem kleinen, ihm vom König von Frankreich bewilligten Jahresgehalt, war er auf die Unterstützung seiner Gönner angewiesen, namentlich auf diejenige seines größten Wohltäters D'EMERY, eines berühmten Sammlers alter Medaillen, was ihn veranlaßte, sich auch mit archäologischen Gegenständen, wie z. B. den antiken Maßen und Gewichten, zu beschäftigen. Er starb in sehr beschränkten Verhältnissen 1790 in Paris. Sein von P. LÉLU gestochenes Bildnis, welches ein offenes, freundliches Antlitz zeigt, trägt die Unterschrift: „J. B. L. DE ROMÉ DE L'ISLE de l'Académie Impériale des Curieux de la Nature, des Académies Royales des Sciences de Berlin et de Stockholm; de celles des Sciences utiles à Mayence, honoraire de la Société d'émulation de Liège. Né à Gray le 26. Août 1736. P. LÉLU ad vivum fecit 1783 Paris.“

4) Zu S. 11: „ERASMI BARTHOLINI Experimenta Crystalli Islandici diaclastici quibus mira et insolita refractio detegitur“. Anno 1669. Hafniae sumpt. Dan. Paulli Reg. Bibl. — Deutsche Übersetzung unter dem Titel „Versuche mit dem doppeltbrechenden isländischen Krystall, die zur Entdeckung einer wunderbaren und außergewöhnlichen Brechung führten. Von ERASMUS BARTHOLINUS, Kopenhagen 1669“, von K. MIELEITNER. Mit 17 Textfiguren. In Ostwalds Klassikern der exakten Wissenschaften Nr. 205, Leipzig 1922.

Erasmus Berthelsen, geboren 1625 in Kopenhagen, wurde 1656 Professor der Mathematik und Physik an der dortigen Universität, übernahm 1657 daselbst den Lehrstuhl der Medizin, welcher eigentlich sein Studium gegolten hatte, wandte sich aber später der Jurisprudenz zu und starb 1698 als Mitglied des obersten dänischen Gerichtshofes. Er schrieb außer der hier erwähnten Schrift zahlreiche Werke über Astronomie und Mathematik.

5) Zu S. 11: **Christian Huyghens**, geboren 1629 im Haag, der große holländische Astronom und Physiker, der Entdecker des Saturnrings und Erfinder der Pendeluhr, hat sich bekanntlich besonders um die Entwicklung der Optik (s. die neue in Leipzig erschienene Ausgabe unter dem Titel Dr. CHRISTIAN HUYGHENS, „Traité de la lumière“ . . . ed. W. BURCHARDT) verdient gemacht als Begründer der Undulationstheorie des Lichtes, welche den Sieg über die von NEWTON aufgestellte Emanationstheorie davon-

trug. HUYGHENS lebte nach längeren Reisen in Frankreich, England und Deutschland von 1666—1681 in Paris als Mitglied der dortigen Akademie der Wissenschaften, kehrte dann (nach Aufhebung des Edikts von Nantes) in seine Vaterstadt zurück und starb daselbst 1695.

6) Zu S. 12: **Torbern Bergman**, geb. 1735, gest. 1784, wirkte an der Universität Upsala zuerst als Adjunkt der Mathematik und Physik, seit 1767 als Nachfolger von WALLERIUS in der Professur der Chemie und Pharmazie. Seine zahlreichen Abhandlungen chemischen, physikalischen und mineralogischen Inhalts, u. a. auch über elektrische Eigenschaften von Krystallen, sind zuerst in den *Nova Acta Reg. Societatis Scientiarum Upsalensis* erschienen und wurden dann von ihm gesammelt und vervollständigt herausgegeben unter dem Titel „*Opuscula Physica et Chemica*“, 6 Bde. Upsala 1779—1784 (Deutsch von TABOR, Frankfurt 1782—1789).

7) Zu S. 13: **J. G. Gahn**, 1745—1818, einer der hervorragendsten Mineralogen, Chemiker und Metallurgen Schwedens, brachte den größten Teil seines Lebens in Fahlun zu, wo er als Assessor des Bergkollegiums seinen Amtssitz hatte. Dort arbeitete er in einem von ihm vortrefflich eingerichteten Laboratorium bis zu seinem Tode unermüdlich an der Erfindung und Verbesserung chemischer Methoden, namentlich an der Ausarbeitung der Lötöhranalyse, von denen er aber aus übergroßer Bescheidenheit und Gewissenhaftigkeit fast nichts veröffentlichte. 1804 lernte BERZELIUS ihn kennen und trat zu ihm in ein inniges Freundschaftsverhältnis, wie aus dem Briefwechsel beider hervorgeht, der 1922 als 9. Band des von SÖDERBAUM im Auftrage der schwedischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Briefwechsels von BERZELIUS erschienen ist (leider sind von GAHNS Briefen nur zehn erhalten geblieben).

8) Zu S. 14: **René Just Haüy**, geb. 28. II. 1743 in St. Just (Oise), erhielt seine Erziehung als Kleriker im Collège de Navarre, wo er bis zum Professor vorrückte, und wirkte dann in derselben Stellung im Collège du Cardinal Lemoine. Nach und nach beschäftigte er sich mit verschiedenen Naturwissenschaften, bis er, angeregt durch die Vorlesungen von DAUBENTON am Jardin du Roi, sich ganz der Mineralogie zuwandte und seine Arbeiten über die Struktur der Krystalle begann. Bereits 1783 wurde er in die Akademie aufgenommen und 1784, um sich ganz seinen Studien widmen zu können, von den Pflichten der Professur am letztgenannten Collège, in dem er jedoch (bis auf zwei vorübergehende Verhaftungen während der Revolution) verblieb, entbunden. 1793 wurde er Mitglied des Komitees für Maße und Gewichte, 1794 Konservator des Cabinet des mines, dann Professor der Physik an der Ecole normale und 1802 Nachfolger DOLOMIEUS als Professor der Mineralogie am Museum; nach der Gründung der Universität Paris nahm er auch den Lehrstuhl der Mineralogie an dieser ein. Er starb am 3. Juni 1826.

Außer den ausführlich besprochenen Werken schrieb HAÜY ein elementares Lehrbuch der Physik 1803. Die zweite Auflage seines *Traité de Minéralogie*, für welche er noch viele Ergänzungen gesammelt hatte, gab nach seinem Tode DELAFOSSE heraus. Seine Privatsammlung wurde nach England verkauft, 1848 aber vom Staat zurückgekauft und im naturhistorischen Museum in Paris aufgestellt.

9) Zu S. 59: **Christian Samuel Weiß**, geb. 26. Februar 1780 in Leipzig, starb am 1. Oktober 1856 in Berlin. Betreffs seiner Jugendjahre und seiner physikalischen Erstlingsarbeiten sei auf die vortreffliche Denkrede, welche C. F. P. v. MARTIUS 1856 in der Münchener Akademie hielt („Akadem. Denk-

reden“, S. 327—344, Leipzig 1866), verwiesen. Bereits 1801 habilitierte sich WEISS in Leipzig, trat aber vor Beginn seiner Lehrtätigkeit mehrjährige Studienreisen an. Zunächst arbeitete er in dem Laboratorium von KLAPROTH in Berlin, dann ging er auf ein ganzes Jahr nach Freiberg, um sich unter WERNERS Leitung zum Mineralogen auszubilden. Von Ostern 1803 bis Herbst 1805 hielt er Vorlesungen über Mineralogie, Geologie, Chemie und Teile der Physik an der Leipziger Universität. Nachdem er dann noch einen Winter in Berlin zugebracht hatte, trat er eine zweijährige Reise an, hauptsächlich zum Studium der geologischen Verhältnisse der Alpen, Oberitaliens und Frankreichs, sowie der mineralogischen Sammlungen in Wien und Paris. 1808 wurde WEISS zum ordentlichen Professor der Physik in Leipzig ernannt und schon zwei Jahre später, besonders auf Empfehlung L. v. BUCHS, an die neugegründete Universität Berlin als Professor der Mineralogie berufen, unter gleichzeitiger Ernennung zum Vorstand des mineralogischen Museums, und hier hat er bis zu seinem Tode gewirkt.

10) Zu S. 77: **Franz Ernst Neumann**, geb. am 11. September 1798 in Joachimsthal in der Mark Brandenburg, lebte von 1807 ab in Berlin, trat 1815 als Freiwilliger in die Armee ein, wurde bei Ligny schwer verwundet, vollendete nach seiner Genesung die Gymnasialbildung und studierte von 1817 ab an der Berliner Universität, anfangs Theologie, dann, nach einem kürzeren Aufenthalte in Jena, Mathematik und Naturwissenschaften, besonders Mineralogie unter WEISS. Dieser wurde bald auf die hohe Begabung seines in bitterster Armut lebenden Schülers aufmerksam und förderte ihn tatkräftig, besonders dadurch, daß er es ihm 1820 ermöglichte, vor einem auserlesenen Kreis von Interessenten, unter denen sich LEOPOLD v. BUCH befand, Vorlesungen über Krystallographie zu halten. An der Universität Königsberg i. Pr. waren damals die gesamten Naturwissenschaften durch einen einzigen Professor vertreten; als dieser 1826 von den Vorlesungen über Mineralogie zurücktrat, wurde NEUMANN, der zuvor noch in Berlin promoviert hatte, als Privatdozent an die ostpreußische Universität berufen, an der er bis zu seinem Tode (23. Mai 1895) gewirkt hat, von 1828—1829 als außerordentlicher, von da ab als ordentlicher Professor der Mineralogie und Physik. Die erstere dieser Wissenschaften lehrte er, abwechselnd mit Krystallographie, im ersten Jahrzehnt seiner Tätigkeit alljährlich, dann mit größeren Unterbrechungen, zum letzten Male 1871. Sehr bald wurde die Physik der Schwerpunkt seines Wirkens und er der Begründer des theoretischen Teiles dieser Wissenschaft in Deutschland und einer Schule von Forschern, denen die Mehrzahl der deutschen Vertreter der mathematischen Physik, an ihrer Spitze KIRCHHOFF, angehörten. Eine Würdigung seiner Verdienste gab W. VOIGT, „Zur Erinnerung an F. E. NEUMANN“ (Nachr. d. K. Ges. d. Wiss. Göttingen 1895) und ausführlicher P. VOLKMANN in seiner 1896 in Leipzig erschienenen Schrift: „FRANZ NEUMANN, ein Beitrag zur Geschichte deutscher Wissenschaft“. Eine eingehende, außerordentlich interessante und durch ihre Wärme anmutende Schilderung seines Lebensganges verdanken wir der treuen Pflegerin seines Greisenalters in dem Werke: „FRANZ NEUMANN, Erinnerungsblätter“ von seiner Tochter LUISE NEUMANN, Tübingen und Leipzig 1904.

11) Zu S. 85: **Carl Friedrich Naumann**, geb. am 30. Mai 1797 in Dresden, gest. ebenda am 26. November 1873, studierte von 1816 ab an der Bergakademie zu Freiberg, dann an den Universitäten Leipzig und Jena, wo er 1819 promovierte. Nach einer längeren Studienreise in Norwegen habilitierte er sich 1823 in Jena, von wo er im nächsten Jahre nach Leipzig übersiedelte. 1826 wurde er an die Bergakademie in Freiberg als Professor der

Krystallographie und Disziplinarinspektor berufen; von 1835 ab bekleidete er auch die Professur der Geognosie, in welcher Stellung er unter Mitwirkung von B. v. COTTA bis 1844 die erste geologische Kartierung Sachsens durchführte. 1842 wurde er zum Professor der Mineralogie und Geognosie an der Universität Leipzig ernannt, wo er bis 1871 wirkte; die beiden letzten Jahre seines Lebens brachte er, immer noch schriftstellerisch tätig, in seiner Geburtsstadt Dresden zu. Von seinen Werken sind am meisten verbreitet die „Elemente der Mineralogie“, welche er im Jahre 1828 herausgab und die seitdem in zahlreichen (die letzten von seinem Nachfolger F. ZIRKEL besorgten), immerwährend vermehrten Auflagen erschienen sind.

Unter NAUMANN'S Biographien ist besonders zu nennen diejenige von H. B. GEINITZ im Neuen Jahrb. f. Mineralogie, Geologie u. Paläontologie 1874, S. 147—154.

12) Zu S. 90: **William Hallowes Miller**, geb. am 6. April 1801 zu Velinder in Wales, gest. am 20. Mai 1880 in Cambridge, wo er das St. John's College 1826 absolvierte und 1829 Fellow desselben wurde. Seine erste Publikation beschäftigte sich mit Hydrostatik, und dieser folgten später noch mehrere physikalische Arbeiten. Im Jahre 1832, nach dem Rücktritte von WHEWELL, wurde er Professor der Mineralogie an der Universität Cambridge, wo er bis zu seinem Lebensende verblieb und auch als Mitglied des Komitees für die Wiederherstellung der englischen Normalmaße und Gewichte, besonders der letzteren, tätig war. Von dem 1839 erschienenen „Treatise on Crystallography“ gab er 1863 unter dem Titel „A Tract on Crystallography“ eine noch kürzer gefaßte und mehrfach verbesserte Bearbeitung heraus, nachdem er eine sehr vollständige und gleichzeitig außerordentlich knappe Darstellung der krystallographischen Verhältnisse der Mineralien gegeben hatte in dem wichtigen Werke: „An elementary Introduction to Mineralogy, by the late WILLIAM PHILLIPS. New Edition, with extensive Alterations and Additions“, by H. J. BROOKE and W. H. MILLER, London 1852, an dessen Ausarbeitung der Hauptanteil unzweifelhaft MILLER zukommt; dasselbe ist mit Vorteil noch heute als Nachschlagewerk für krystallographische Angaben über Mineralien zu benutzen und war als solches für die damalige Zeit das vollständigste und zuverlässigste.

13) Zu S. 94: **David Brewster**, geb. 11. Dezember 1781 zu Sedburgh in Roxburghshire, Schottland, studierte Pharmazie, dann Jura und war längere Zeit Professor der Physik an den Universitäten St. Andrews und Edinburgh; er lebte zum Teil an letzteren Orten, zum Teil auf seinem Landgute Allerby bei Melrose in Roxburghshire, wo er am 10. Februar 1868 starb. BREWSTER war Mitherausgeber einiger der wichtigsten englischen Zeitschriften der exakten Wissenschaften (Transactions of the Roy. Soc. of London, of Edinburgh u. a.), sowie Verfasser mehrerer Werke von historischem Interesse, von denen nur genannt sein mögen diejenigen über NEWTON und über die Märtyrer der Wissenschaft GALILEI, TYCHO DE BRAHE und KEPLER. Von seinen zahlreichen Abhandlungen aus den verschiedensten Gebieten der Physik und verwandten Wissenschaften sind die für die Krystallkunde wichtigsten hier besprochen; ein vollständiges Verzeichnis derselben findet sich in POGGENDORFF'S „Biogr.-liter. Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Wissenschaften“ 1863, 1, 295—297 und 1898, 3 I, 190—191.

14) Zu S. 101: **Joh. Gottl. Christ. Nörrenberg** (nicht NÖRREMBERG), geb. 11. August 1787 zu Pustenbach (nicht Putzenbach), Kr. Gummersbach, in der preuß. Rheinprovinz, gest. 20. Juli 1862 in Stuttgart, war erst Handlungslehrling, dann Geodät und Generalstabsoffizier, von 1823—1833 Professor der Mathematik und Physik an der Militärschule in Darmstadt

und von da ab bis 1851 Professor der Physik an der Universität Tübingen. Hier führte er den größten Teil seiner bei einem Aufenthalt in Paris begonnenen, äußerst sorgfältigen optischen Untersuchungen an Krystallen aus, zu denen er sowohl die geschliffenen Platten als die Instrumente selbst anfertigte, welche noch jetzt im physikalischen Institut der Tübinger Universität aufbewahrt werden. Die älteste Form seines Polarisationsapparates, wie sie z. B. in MÜLLER-POUILLETS Physik beschrieben und abgebildet ist, enthält als Polarisatoren zwei unter 35° zur senkrechten Schichtung geneigte Spiegelglasplatten; zur Vergrößerung des Gesichtsfeldes fügte er dem Apparate später Linsen hinzu und wahrscheinlich auch NICOLSsche Prismen, da er diese, wenn nicht früher, jedenfalls unabhängig von NICOL erfunden hatte (die Wiedergabe seines Vortrages über einen neuen Polarisationsapparat in dem Bericht über die Naturforscherversammlung zu Karlsruhe 1858, S. 152 enthält keinerlei nähere Beschreibung und rührt jedenfalls nicht von NÖRRENBERG selbst her). NÖRRENBERG war wohl eine von jeder Selbstsucht freie Persönlichkeit von derselben Art wie GAHN, welche es anderen überließ, die ihnen mitgeteilten Resultate ihrer wissenschaftlichen Arbeit zu veröffentlichen. Nähere Angaben über sein Leben und seine Entdeckungen finden sich in einem Aufsätze des Freiburger Physikers J. MÜLLER in den Ber. üb. d. Verhandl. d. naturf. Ges. zu Freiburg i. B. Bd. 6, Heft 2, S. 105 bis 110, 1873—1876.

15) Zu S. 108: **Joh. Friedr. Christ. Hessel**, geb. 27. April 1796 in Nürnberg, gest. 3. Juni 1872 zu Marburg in Hessen, besuchte an seinem Geburtsorte die Industrieschule, spätere Realstudienanstalt, wo er sich eine gute Elementarusbildung in Mathematik und Physik erwarb. Von 1813 ab studierte er in Erlangen, von 1814 in Würzburg Medizin und promovierte hier 1817 in diesem Fache. Alsdann hielt er sich in München auf und lernte dort den Mineralogen C. C. LEONHARDT kennen, der seit kurzem daselbst tätig war; dieser, durch seine rege kompulatorische und redaktionelle Betriebsamkeit in hohem Ansehen stehend, erkannte die große Originalität und Begabung des jungen Gelehrten und veranlaßte ihn 1818, als er dem Rufe auf den Lehrstuhl der Mineralogie an der Universität Heidelberg folgte, als sein Assistent ebenfalls dahin übersiedeln und sich ganz dem Studium der Mineralogie zu widmen. Auf Dessen Wunsch fertigte HESSEL im nächsten Jahre die deutsche Übersetzung einer der zahlreichen Abhandlungen HAÜYS, in denen dieser seine „Theorie“, jedesmal mit etwas anderen Worten, in verschiedenen französischen Zeitschriften veröffentlicht hatte; diese überflüssige Arbeit, in welcher die auf die Verdeutschung der französischen Fachausdrücke verwandte Sorgfalt das Bemerkenswerteste ist, erschien unter dem Titel „Haüys Ebenmaaßgesetz der Krystallbildung. Übers. u. m. Anm. begl. v. H.“ Frankf. a. M. 1819. Im Jahre 1821 promovierte HESSEL in Heidelberg, habilitierte sich unmittelbar darauf (Diss.: „Parallelepipedum rectangulum ejusdemque sectiones in usum crystallographiae“) und wurde noch in demselben Jahre an die Universität Marburg berufen als (1821 a. o., 1825 ord.) Professor für Mineralogie, Berg- und Hüttenkunde. Hier lebte er bis zu seinem Tode als ein stiller, bescheidener und in seinem Wesen etwas altertümlicher, aber in wissenschaftlicher Forschung seiner Zeit weit voranschreitender Gelehrter ganz seinen hauptsächlich mathematischen Studien.

Eine vortreffliche Würdigung seiner hohen Bedeutung und der Vielseitigkeit seiner wissenschaftlichen Leistungen findet man in der Abhandlung seines Schülers, des Mathematikers EDM. HESS in Marburg, „J. F. C. HESSEL. Zur Säkulargeier seines Geburtstages (27. April 1896)“. Neues Jahrb. f. Mineral., Geol. usw. 1896, II, 107—122.

16) Zu S. 110: **Aug. Bravais**, geb. 28. August 1811 in Annonay, Dép. Ardèche, gest. 30. März 1863 in Versailles, war zuerst Marineoffizier, dann Professor der Astronomie in Lyon, hauptsächlich tätig in Paris als Professor der Physik an der Polytechnischen Schule, als Mitglied der Akademie und vielfach auf wissenschaftlichen Expeditionen. Unter seinen zahlreichen Arbeiten auf den verschiedensten Gebieten der Mathematik, Astronomie, Meteorologie, Geodäsie und Physik sind die wichtigsten diejenigen über die regelmäßige Anordnung der kleinsten Teilchen, die sogenannte Gitterstruktur, der Krystalle.

17) Zu S. 111: **Mor. Ludwig Frankenheim**, geb. 29. Juni 1801 in Braunschweig, gest. 14. Januar 1869 in Dresden, war 1826—1827 Dozent an der Universität Berlin, von da ab (seit 1850 ord.) Professor der Physik an der Universität Breslau. Er beschäftigte sich besonders mit denjenigen Eigenschaften der krystallisierten Körper, welche mit der Kohäsion in Zusammenhang stehen, und veröffentlichte neben seinen eigenen Beobachtungen auch zusammenfassende Darstellungen. Sein Schüler CHR. A. H. MARBACH (1817—1873) hat sich durch Untersuchungen über die optischen Eigenschaften kubischer Krystalle (1851 u. folg. Jahre) verdient gemacht.

18) Zu S. 126: **Eilhard Mitscherlich**, geb. 7. Januar 1794 zu Neuende bei Jever in Ostfriesland, gest. 28. August 1863, studierte in Heidelberg, Paris und Göttingen orientalische Sprachen, wandte sich aber an letzterem Orte der Chemie zu. Nach dem Aufenthalte in Berlin und Stockholm wurde er 1822 außerordentl., 1825 ordentl. Professor der Chemie an der Universität Berlin, welche Stellung er bis zu seinem Tode einnahm.

19) Zu S. 131: **Arcangelo Scacchi**, geb. 9. Februar 1810 in Gravina, T. di Bari, gest. 11. Oktober 1893 in Neapel, studierte an der dortigen Universität von 1827—1830 Medizin und war von 1842 bis zu seinem Tode daselbst Professor der Mineralogie. Außer seinen zahlreichen Arbeiten auf dem Gebiete der chemischen Krystallographie ist ihm hauptsächlich zu verdanken die Kenntnis der Mineralien des Vesuvs.

20) Zu S. 131: **Quintino Sella**, geb. 7. Juli 1827 in Mosso bei Biella, gest. 14. März 1884 in Biella, studierte Bergwissenschaften in Turin und hauptsächlich in Paris, wo er Schüler SÉNARMONTS war. 1851 wurde er Professor der Mathematik, später auch der Mineralogie, in Turin und Mitglied des obersten Rates für das Bergwesen, sowie desjenigen für den öffentlichen Unterricht. 1861 betrat er seine politische Laufbahn in der Stellung eines Generalsekretärs des sardinischen Unterrichtsministeriums und wurde später Finanzminister, als welcher er mit der Regierung nach Rom übersiedelte. Nach seinem Rücktritt wirkte er hier als Parlamentarier, besonders aber als Reorganisator der Akademie der Wissenschaften und als Begründer des italienischen Alpenklubs, bekundete aber fortgesetzt sein Interesse an Krystallographie und Mineralogie durch wertvolle Veröffentlichungen; von denjenigen über die erstere ist auch eine deutsche Bearbeitung mit biographischen Angaben von F. ZAMBONINI in Ostwalds Klassikern Nr. 155 erschienen. Unter seinen Forschungen auf dem Gebiete der theoretischen Krystallographie ist besonders eine originelle Fassung des Grundgesetzes zu erwähnen. Er stand in Verbindung mit den bedeutendsten ausländischen Chemikern und erhielt von diesen, wie z. B. von WÖHLER, das Material zu seinen chemisch-krystallographischen Untersuchungen.

21) Zu S. 134: **Louis Pasteur**, geb. 27. Dezember 1822 in Dôle, Dép. Jura, gest. 28. September 1895, promovierte 1847 in Paris, wo er einige

Jahre Assistent an der höheren Normalschule war, wurde dann Professor der Physik am Lyzeum in Dijon, 1849 Professor der Chemie an der Fakultät in Straßburg, von wo er 1854 in der gleichen Stellung nach Lille kam; von 1857 wirkte er in Paris als Studiendirektor der höheren Normalschule und 1867—1875 als Professor der Chemie an der Sorbonne. Seine krystallographischen Arbeiten sind hauptsächlich in Straßburg entstanden; welche großen Verdienste er später sich um die medizinische Wissenschaft erworben hat, ist allgemein bekannt.

* * *

22) Zu S. 147: **Georg Bauer** (lat. AGRICOLA), geb. 24. März 1494 zu Glauchau in Sachsen, gest. 21. November 1555 zu Chemnitz. Ursprünglich Philologe, war er 1519—1522 Subrektor der lateinischen Schule in Zwickau, von 1522 ab Lektor der Philologie an der Universität Leipzig, wandte sich 1524 der Arzneykunde zu, studierte zwei Jahre in Italien und siedelte sich nach seiner Rückkehr in der aufblühenden Bergstadt Joachimsthal in Böhmen an, wo er 1527—1533 als Stadtarzt wirkte; hier schrieb er sein erstes bergwissenschaftliches Werk „Bermannus, sive (dialogus) de re metallica“, Basel 1530. Im Jahre 1534 siedelte AGRICOLA nach Chemnitz über, wo er den Rest seines Lebens zubrachte und als Arzt, Stadtrat und Bürgermeister tätig war. Hier sind seine übrigen Werke entstanden, deren auf den Erfahrungen des damaligen Berg- und Hüttenwesens beruhender Inhalt so Vieles zur Kenntnis der Mineralien beigetragen hat, daß ihn WERNER als den „Vater der Mineralogie“ bezeichnete (mit noch größerem Rechte kann man ihn den „Vater der Metallurgie“ nennen). Es kommen hier folgende Schriften in Betracht: „De ortu et causis subterraneorum“, Basel 1545 — „De natura fossilium“, Basel 1546 — „De veteribus et novis Metallis“, Basel 1546 und hauptsächlich „De re metallica“ (477 S., Fol.), Basel 1556, Deutsch „Bergwerksbuch“, übers. v. BECHTOLD, Basel 1557. Eine deutsche Ausgabe von AGRICOLAS mineralogischen Schriften, übersetzt von E. J. T. LEHMANN, erschien in Freiberg 1806—1813 in vier Bänden.

Der verdiente österreichische Mineralog A. SCHRAUF hat eine Würdigung der Tätigkeit AGRICOLAS und der Beziehungen derselben zum Bergbau gegeben in einem Vortrag „Über den Einfluß des Bergsegens auf die Entstehung der mineralogischen Wissenschaft im Anfang des 16. Jahrhunderts“ in dem Album der Akademie der Wissenschaften zu Wien 1894. Eingehende Angaben über seine Werke enthält die Schrift von A. WRANÝ, „Die Pflege der Mineralogie in Böhmen“, Prag 1896, eine sehr vollständige Darstellung der älteren und neueren in diesem Lande gemachten Fortschritte, namentlich mit vielen wertvollen Angaben über die dortigen Sammlungen.

23) Zu S. 149: **Abraham Gottlob Werner**, geb. 25. September 1750 zu Wehrau bei Görlitz in der Oberlausitz, gest. 30. Juni 1817 in Dresden, beschäftigte sich schon in seiner Jugend unter der Leitung seines Vaters, der Inspektor des Eisenhüttenwerkes zu Wehrau war, mit Berg- und Hüttenwesen; nachdem er seine Schulbildung in Bunzlau erhalten hatte, wurde er bereits im 15. Lebensjahre zur Unterstützung seines Vaters als Hütten-schreiber in Wehrau angestellt. Im Jahre 1767 mußte er seines Gesundheitszustandes wegen die Heilquellen von Karlsbad aufsuchen und kam auf der Reise dahin nach Freiberg, wo er die Verhältnisse des dortigen Bergbaues wie die der neugegründeten Bergakademie kennen lernte und wo der begabte und strebsame Jüngling schon die Aufmerksamkeit der dortigen Kreise auf sich lenkte. Dieser Besuch wurde ausschlaggebend für seinen

Entschluß, sich den Bergwissenschaften zu widmen, und im Jahre 1769 bezog er als Studierender die Bergakademie; hier eignete er sich alle Kenntnisse an, welche damals dort zu erreichen waren. Zu höherer Ausbildung, namentlich in Rechtskenntnis, siedelte er 1771 an die Universität Leipzig über, wo er sich auch mit dem Studium neuerer Sprachen und weiter mit Naturwissenschaften beschäftigte. Hier verkehrte er u. a. mit J. S. T. GEHLER, der später durch sein physikalisches Wörterbuch bekannt wurde, und lernte die bereits 1757 erschienene Dissertation „De characteribus fossilium externis“ von dessen Bruder, J. C. GEHLER, kennen, welcher als Professor der Botanik und Therapie auch die ersten Vorlesungen über Mineralogie an der Universität Leipzig gehalten hat. WERNER übersetzte Dessen Schrift und wollte sie mit Anmerkungen herausgeben; auf den Rat seiner Freunde ersetzte er sie jedoch durch eine eigene Arbeit, seine berühmte „Abhandlung über die äußeren Kennzeichen der Fossilien“, Leipzig 1774. In demselben Jahre kehrte er in seine Heimat zurück, um sich zu einigen mineralogischen Reisen vorzubereiten; ehe er diese antrat, erhielt er 1775 einen Ruf an die erledigte Stelle eines Inspektors und Lehrers der Mineralogie und Bergbaukunst an der Freiburger Bergakademie und siedelte sofort an diese über. Anfangs lehrte er hier beide Fächer in gemeinsamen Vorlesungen, trennte sie aber bald und allmählich auch diejenigen über Mineralogie in solche über „Oryktognosie“, wie er die Kenntnis der einfachen, nicht gemengten Fossilien nannte, und über „Geognosie“, d. i. Kenntnis der Gebirge und Gebirgsarten, welche letztere Wissenschaft er unter diesem Namen besonders seit 1785 vortrug. Seine Lehrtätigkeit, welche er bis zum letzten Jahre vor seinem Tode ausübte, nahm ihn derartig in Anspruch, daß er nur zu wenigen Veröffentlichungen durch den Druck kam, und diese betrafen meist das Gebiet der „Geognosie“; von den mineralogischen sei nur erwähnt sein „Ausführliches und systematisches Verzeichnis des Mineralien-Cabinetts des Berghauptmannes PABST v. OHAIN“, 2 Bde., Freiberg u. Annaberg 1791 u. 1792, in welchem er seine Ansichten über mineralogische Sammlungen begründete. Die meisten Ergebnisse seiner Forschungen wurden durch seine Schüler weiteren Kreisen bekannt; für die Mineralogie sind sie in seinem Sinn besonders enthalten in dem Werke von G. A. S. HOFFMANN, „Handbuch der Mineralogie“, fortgesetzt von AUG. BREITHAUPT, Freiberg 1811—1817.

Näheres über Leben und Wirken WERNERS findet man in der 1848 in Dresden erschienenen Denkschrift zur Erinnerung an seine Verdienste und an die Fortschritte bei der Bergakademie zu Freiberg von T. L. HASSE. Welche Anerkennung WERNER im Auslande fand, beweist der Umstand, daß der englische Mineralog JAMESON in Edinburgh 1808 eine Gesellschaft von Naturforschern gründete, welche sich „Wernerian Society“ nannte.

24) Zu S. 153: **Friederich Mohs**, geb. 29. Januar 1773 zu Gernrode in Anhalt-Bernburg, gest. 29. September 1839 zu Agordo in Tirol, studierte von 1796 ab an der Universität Halle Naturwissenschaften, dann in Freiberg das Bergfach und wurde dadurch Schüler von WERNER. Nach einer kurzen praktischen Tätigkeit in seiner Heimat (in Neudorf a. Harz) nach Freiberg zurückgekehrt, erhielt er durch die dort weilenden Engländer MITCHELL und JAMESON (später Professor der Naturgeschichte in Edinburgh, s. oben) den Auftrag, an der Einrichtung eines der Freiburger Bergakademie ähnlichen Institutes, welches der Mineralog KIRWAN leiten sollte, teilzunehmen, und dadurch die Gelegenheit zu einer Reise nach Großbritannien und Irland; die Gründung des geplanten Institutes kam jedoch nicht zu-

stande infolge des baldigen Todes von MITCHELL und KIRWAN. Indessen erhielt MOHS 1802 durch Vermittlung des ersten dieser beiden eine Einladung des Wiener Bankiers VON DER NULL, eine „räsonnierende“ Beschreibung seiner bedeutenden Mineraliensammlung zu verfassen, und begab sich zu diesem Zwecke nach Wien, wo er 1804 außer diesem dreibändigen Werke eine Schrift „Über die oryktognostische Klassifikation, nebst Versuch eines auf bloße äußere Kennzeichen gegründeten Mineralsystems“ herausgab. In den Jahren 1804—1810 machte er von Wien aus geognostische und bergmännische Forschungsreisen in den österreichisch-ungarischen Ländern und traf während des letzten Jahres in Karlsbad wieder mit WERNER zusammen, den er von der Unzulänglichkeit seines Mineralsystems zu überzeugen versuchte; da dies nicht gelang, entschloß er sich (wie er in seiner Selbstbiographie sagt), die Mineralogie nach seinen eigenen Ansichten „ganz neu zu begründen“. 1811 ging MOHS nach Graz, um im Auftrage des mit der Gründung des Joanneums daselbst beschäftigten ERZHERZOGS JOHANN die Aufsammlung der Mineralien und Gesteine Steiermarks, sowie deren Ordnung und Aufstellung, zusammen mit der vom Erzherzog geschenkten Mineraliensammlung, vorzunehmen; zu diesem Zweck zog er 1812 als Mitarbeiter den jungen HAIDINGER aus Wien heran, der bis 1822 bei ihm verblieb. In demselben Jahre (1812) wurde MOHS als Professor am Joanneum angestellt und veröffentlichte den ersten Teil seines Werkes „Versuch einer Elementarmethode zur naturhistorischen Erkennung und Bestimmung der Fossilien“, in welcher die bekannte Härteskala aufgestellt wurde. Nach sechsjähriger Tätigkeit in Graz machte MOHS eine Reise durch England und Schottland, auf der er bei den dortigen Mineralogen für seine Lehre wirkte, und siedelte im Herbst 1818 als Nachfolger WERNERS nach Freiberg über. Hier gab er seinen „Grundriß der Mineralogie“ (Dresden 1822—1824) heraus, dessen erster allgemeiner Teil seine bereits S. 84f. besprochene Darstellung der Krystallographie enthält, während im zweiten Teile die einzelnen Mineralien nach seinem System beschrieben werden. In seiner Tätigkeit an der Bergakademie fand MOHS mancherlei persönliche Schwierigkeiten und folgte daher 1826 einem Rufe nach Wien, wo er zuerst das Hofmineralienkabinett reorganisierte und dessen Vermehrung durch die VON DER NULLSche Sammlung veranlaßte, sowie nach diesen u. a. vorbereitenden Arbeiten seine Vorlesungen im Jahre 1828 begann und bis 1835 fortsetzte. Während dieser Zeit gab er den allgemeinen Teil einer Neubearbeitung seines „Grundrisses“ unter dem Titel „Leichtfaßliche Anfangsgründe der Naturgeschichte des Mineralreichs“, Wien 1832 heraus, deren spezieller Teil, von ZIPPE bearbeitet, erst 1838 erschien. 1835 wurde MOHS mit den Vorbereitungen zur Gründung eines „montanistischen Instituts“ beauftragt, welches eigene Sammlungen und Einrichtungen zum Unterricht in den Bergwissenschaften enthalten sollte. Zu diesem Zwecke unternahm er in den folgenden Jahren längere, mehrfach durch Krankheit unterbrochene Reisen in allen Teilen der österreichisch-ungarischen Monarchie und starb auf einer solchen in Tirol.

Die Hauptquelle für vorstehendes, welche auch seine Selbstbiographie bis 1830 enthält, ist die Schrift „FRIEDRICH MOHS und sein Wirken in wissenschaftlicher Hinsicht. Ein biographischer Versuch“ von W. FUCHS, G. HALTMEYER und F. LEYDOLT, Wien 1843.

25) Zu S. 153: **Wilhelm Haidinger**, geb. 5. Februar 1795 in Wien, gest. 19. März 1871 zu Dornbach bei Wien, wurde nach Absolvierung des Gymnasiums in seiner Vaterstadt Schüler von MOHS, dem er 1812 nach Graz und auch 1818 nach Freiberg folgte (s. vorige Nummer). Im Jahre 1822 trat er

mit dem GRAFEN BREUNNER eine Reise nach Frankreich und England an und lebte vom Herbst 1823 an in Edinburgh im Hause des Bankiers THOMAS ALLAN, des Eigentümers einer ausgezeichneten Mineraliensammlung; hier übersetzte er MOHS' „Grundriß“ ins Englische und fügte ihm viele Verbesserungen und Zusätze bei, veröffentlichte außerdem mehrere wichtige mineralogische Arbeiten und wurde durch den Verkehr mit BREWSTER zu seinen späteren optischen Untersuchungen, besonders über den Pleochroismus der Krystalle, angeregt. In den Jahren 1825 und 1826 bereiste er Skandinavien, Deutschland (wobei er sich längere Zeit in Berlin aufhielt), Italien und Frankreich; 1827—1840 lebte er in Elbogen (Böhmen) auf der Porzellanfabrik seiner Brüder und verfaßte hier für die damalige Zeit vortreffliches Lehrbuch „Anfangsgründe der Mineralogie“, Leipzig 1829, sowie eine große Anzahl wissenschaftlicher Arbeiten. 1840 wurde er als Nachfolger von MOHS nach Wien berufen, wo er als Lehrer und Forscher, sowie als Leiter der von ihm gegründeten geologischen Reichsanstalt bis zum Jahre 1866 wirkte.

Seine wissenschaftlichen Verdienste um Krystallographie und Mineralogie sind am besten dargelegt in dem schönen Nachrufe seines Freundes G. ROSE in der Zeitschr. d. dtsh. geol. Ges. 1871, S. 449—455. Eine Ergänzung dazu bietet, namentlich in Hinsicht seiner organisatorischen Tätigkeit in Wien, der Aufsatz FR. V. HAUERS, „Zur Erinnerung an WILHELM HAIDINGER“ (Jahrb. d. geol. Reichsanst. 1871, 21, 31—40).

26) Zu S. 153: **August Breithaupt**, geb. 18. Mai 1791 zu Probstzella in Thüringen, gest. 22. September 1873 in Freiberg, absolvierte das Gymnasium in der Bergstadt Saalfeld, studierte von 1809—1811 an der Universität Jena Naturwissenschaften und dann in Freiberg das Bergfach. Auf die Verwendung seines Lehrers WERNER wurde er hier schon 1813 als Lehrer der Mineralogie an der mit der Akademie verbundenen Bergschule angestellt und übernahm als Nachfolger des verstorbenen C. S. HOFFMANN auch die Fortsetzung des unter Nr. 23 erwähnten Handbuches. Nachdem er während der letzten Erkrankung seines Lehrers auch dessen Vorlesungen 1817 vertretungsweise gehalten hatte, wurde er nach dem Weggang von MOHS 1826 zum Professor der Mineralogie an der Bergakademie ernannt und wirkte in dieser Stellung, bis er durch Erblindung im Jahre 1866 gezwungen wurde, seine Tätigkeit einzustellen. BREITHAUPT war nicht nur der anregendste Lehrer, sondern auch der durch seinen Scharfblick ausgezeichnetste praktische Mineralog, den die Wissenschaft seit WERNER gehabt hat. Infolgedessen entdeckte er eine sehr große Zahl neuer Mineralien und verbesserte die Charakteristik vieler anderer; als ein Beispiel seines Scharfblickes ist zu nennen die Unterscheidung zweier neuer „Spezies“ unter den „zerfressenen“ Quarzen von Elba, von welchen das eine („Castor“) sich später als im wesentlichen übereinstimmend mit dem Petalit erwies, das andere („Pollux“) nach der Analyse seines Kollegen PLATTNER ein neues Alkali-Aluminiumsilikat war; daß die Summe der Bestandteile sich hierbei nur zu 92 vH. ergab, lag daran, daß das damals für Kalium gehaltene Alkalimetall wesentlich aus Caesium bestand. Bereits im Jahre 1815 veröffentlichte BREITHAUPT die kleine Schrift „Über die Echtheit der Krystalle“, die erste über die später so wichtig gewordenen Pseudomorphosen, 1820 seine „Charakteristik des naturhistorischen Mineralsystems“ und 1836—1847 die ersten Teile seines unvollendet gebliebenen „Handbuches der Mineralogie“. Für die Entwicklung der mineralogischen Wissenschaften wurde weitaus wichtiger seine „Paragenesis der Mineralien“, Freiberg 1849.

27) Zu S. 154: **Gustav Rose**, geb. 18. März 1798 in Berlin, gest. 15. Juli 1873 ebenda, war der Sohn des Chemikers VAL. ROSE und jüngerer Bruder

des berühmten Vertreters der analytischen Chemie an der Universität seiner Vaterstadt, HEINRICH ROSE. Er war zuerst Bergeleve, wandte sich dann aber unter WEISS, gleichzeitig mit dem ihm befreundeten NEUMANN, dem Studium der Mineralogie zu und war in jener Zeit an der Entdeckung der Isomorphie beteiligt (s. S. 126). 1820 promovierte er mit einer Dissertation über den Titanit, der ersten krystallographischen Monographie dieses Minerals, welcher später (1844) diejenige über den Quarz folgte; letztere hat es ermöglicht, die Kenntnis der gesetzmäßigen Beziehung zwischen Drehungsvermögen und Form der Krystalle (s. S. 186) wesentlich zu vervollständigen. Nach seiner Promotion ging G. ROSE nach Stockholm zu BERZELIUS, wo auch sein Bruder HEINRICH arbeitete. 1823 habilitierte er sich in Berlin, wurde 1826 außerordentlicher, 1839 ordentlicher Professor der Mineralogie und nach dem Tode von WEISS auch Direktor des mineralogischen Museums. 1829 machte er mit A. v. HUMBOLDT und EHRENBERG die berühmte Reise nach dem Ural und dem Altai und begründete die Kenntnis der russischen Mineralien in dem 1837—1842 erschienenen zweibändigen Werke über diese Reise. 1836 und 1843 erschienen seine Arbeiten über den Zusammenhang zwischen der Form und der elektrischen Polarität der Krystalle, 1856 und 1858 diejenigen über die heteromorphen Zustände der kohlen sauren Kalkerde, vor- und nachher zahlreiche krystallographische Untersuchungen einzelner Mineralien und chemischer Produkte, sowie eine Reihe petrographischer Arbeiten. Epochemachend für die Systematik der Mineralien war sein 1852 erschienenes „Krystallochemisches Mineralsystem“.

Betreffs seiner Persönlichkeit sei verwiesen auf den Nachruf seines Schwiegersohnes G. VOM RATH (in Bonn separat erschienen) und den seines Schülers P. GROTH im Jahrb. f. Min. usw. 1873.

28) Zu S. 173: **Armand Lévy**, geb. 1794 in Paris, gest. 1841 ebenda, hat jedenfalls seine Studien unter HAÛY in seiner Geburtsstadt gemacht. Als etwa 25jähriger zum Professor der Mathematik am Collège auf der Insel Bourbon bestimmt, wurde er durch Schiffbruch nach England verschlagen und lebte dort von 1820—1827 als Privatlehrer und besoldeter Gehilfe von HEULAND mit dem Auftrage, eine Beschreibung von dessen Sammlung zu liefern; dann wurde er Lektor an der Universität Lüttich; 1830 in Paris Maître de conférence an der Ecole normale und Professor der Mineralogie am Collège roy. de Charlemagne. Während seines Aufenthaltes in England veröffentlichte LÉVY eine größere Anzahl krystallographisch-mineralogischer Untersuchungen, denen noch einige in seinen letzten Lebensjahren in Paris folgten; außerdem ist er Verfasser mehrerer mathematischer Arbeiten (alle diese Publikationen sind aufgezählt in Poggendorffs biogr. u. liter. Handwörterbuch d. exakt. Wiss. Leipzig 1863, I, 1442).

29) Zu S. 178: **Gerhard vom Rath**, geb. 20. August 1830 zu Duisburg, gest. 23. April 1888 in Koblenz (infolge eines Schlaganfalles auf einer Reise von seinem Wohnorte Bonn nach Italien), studierte zuerst in Bonn und Genf; nach einer Reise durch die Alpen und einem nochmaligen Aufenthalt in Bonn vollendete er seine Studien in Berlin, wo WEISS und namentlich G. ROSE seine Lehrer waren; durch letzteren wurde er mit den berühmten, damals an der Berliner Universität wirkenden Chemikern und Physikern, sowie auch mit den Kreisen um AL. v. HUMBOLDT und LEOP. v. BUCH bekannt. Im Jahre 1853 promovierte er in Berlin mit einer mineralchemischen Arbeit über den Skapolith und 1856 habilitierte er sich für Mineralogie und Geologie an der Universität Bonn, wo er 1863 außerordentlicher, 1872 ordentlicher Professor und Direktor des mineralogischen Museums wurde. Den 1873

an ihn ergangenen Ruf zum Nachfolger seines Schwiegervaters G. ROSE lehnte er ab und trat 1880 auch von der Leitung der Bonner Sammlung zurück, um sich ganz seinen wissenschaftlichen Arbeiten zu widmen, welche er einerseits in seinem für krystallographische und chemische Untersuchungen vortrefflich eingerichteten eigenen Hause in Bonn, andererseits in der Natur auf zahlreichen Studienreisen vornahm. Letztere führten ihn in die niederrheinischen Vulkangebiete, die verschiedensten Teile der Alpen, besonders häufig aber nach Italien; ferner besuchte er Ungarn, Frankreich, England, Skandinavien, Griechenland und Kleinasien, endlich auch in einem längeren Aufenthalte Nordamerika. Seine eingehenden Berichte über diese Reisen sind deshalb von besonderem Interesse, weil sie außer den Ergebnissen seiner mineralogischen und geologischen Beobachtungen auch vortreffliche Schilderungen über Land und Leute der betreffenden Länder enthalten.

Eingehende Angaben über sein Leben und Wirken finden sich in der Schrift von H. LASPEYRES, „Gerhard vom Rath, eine Lebensskizze“ (Vortrag im naturhist. Ver. d. pr. Rheinl. u. Westf. 22. Mai 1888).

30) Zu S. 179: **Chr. Friedr. Martin Websky**, geb. 17. Juli 1824 zu Weißbiersdorf, Kr. Waldenburg in Schlesien, gest. 27. November 1886 in Berlin, war nach Absolvierung des Gymnasiums in Breslau (1843) einige Zeit als Bergeleve in Schlesien praktisch tätig und studierte dann an den Universitäten Berlin und Bonn, dazwischen auch an der Bergakademie in Freiberg; 1851 wurde er schlesischer Bergbeamter und kam 1861 als Oberbergrat nach Breslau, nahm aber schon 1865 seinen Abschied, um sich ganz der Wissenschaft zu widmen. Als Mitarbeiter des ausgezeichneten Lehrers der Mineralogie und Geologie FERD. RÖMER hatte er einen tätigen Anteil an der Einrichtung des mineralogischen Museums der Universität Breslau genommen und begann nun auch daselbst eine eigene Lehrtätigkeit, infolge deren ihm mehrere jüngere Mineralogen einen wesentlichen Teil ihrer Ausbildung verdanken; im Jahre 1874 wurde er als Nachfolger seines Lehrers G. ROSE nach Berlin berufen und verwendete den Rest seines Lebens auf die Reorganisation der dortigen Sammlung (vgl. S. 163). Bereits 1846 begann er seine mineralogischen Veröffentlichungen, zuerst in Poggendorffs Annalen, dann in der Zeitschr. d. dtsh. geol. Ges., den Jahresber. d. schles. Ges. f. vaterl. Kultur in Breslau und in anderen Zeitschriften; 1868 gab er unter dem Titel „Mineralogische Studien“ in Breslau eine besondere Schrift heraus, welche sich hauptsächlich mit dem spezifischen Gewicht der Mineralien beschäftigt. In der letzten Zeit seines Lebens machte er sich wissenschaftlich verdient durch Verbesserungen der krystallographischen Methoden, worüber eine Anzahl Mitteilungen in den Monatsber. d. Berliner Akad. d. Wiss. enthalten ist; mit diesen Studien im Zusammenhang stand die Ausarbeitung des ersten Teiles eines Lehrbuches der rechnenden Krystallographie, welches in seinem Todesjahre erschien.

31) Zu S. 183: **Friedr. Aug. Genth**, geb. 16. Mai 1820 zu Wächtersbach bei Hanau in Hessen-Kassel, gest. 2. Februar 1893 in Philadelphia, studierte hauptsächlich Chemie, zuerst in Heidelberg, dann in Gießen im Laboratorium LIEBIGS, speziell unter der Leitung von dessen Assistenten FRESSENIUS, dem nachmaligen berühmten Analytiker, endlich in Marburg unter BUNSEN, bei dem er dann noch mehrere Jahre als Assistent und Privatdozent blieb; während seiner Studien beschäftigte er sich auch eingehend mit Mineralogie und Krystallographie. Im Jahre 1848 ging GENTH nach Philadelphia und gründete dort ein Privatlaboratorium für den Unterricht in chemischen,

mineralogischen und geologischen Untersuchungen; 1872—1888 war er Professor der Chemie und Mineralogie an der Universität von Pennsylvania. Unter seinen zahlreichen mineralogischen Arbeiten ist wohl die wichtigste diejenige über die Umwandlungen des Korund, unter den rein chemischen die mit W. GIBBS ausgeführte über die komplexen Kobalt-Ammoniakbasen.

32) Zu S. 183: **George Jarvis Brush**, geb. 15. Dezember 1831 in Brooklin N. Y., gest. 6. Februar 1912 in New Haven, Conn., machte den größeren Teil seiner hauptsächlich chemischen Studien im Yale College an letzterem Orte, ging 1853 nach München, wo er unter LIEBIG arbeitete, und von da zu weiterer Ausbildung nach Freiberg; 1855 kehrte er nach New Haven zurück und wurde hier 1857 Professor der Metallurgie, 1864 auch der Mineralogie, endlich von 1871 ab nur der letzteren, seines Lieblingsfaches, in welchem er mit glänzendem Erfolge tätig war, sowohl durch eigene Untersuchungen, als durch rege Teilnahme an den neueren Bearbeitungen des DANASchen Handbuches, vor allem aber durch die Anregung jüngerer Forscher zu wissenschaftlicher Arbeit. Er war ein ausgezeichnete praktischer Mineralog und Sammler, überhaupt ein hervorragender Organisator, was namentlich den mit der Yale-Universität zusammenhängenden wissenschaftlichen Instituten, denen er seine schöne Sammlung mit einem Fonds zu ihrer Vermehrung hinterließ, zugute gekommen ist.

33) Zu S. 183: **Samuel Lewis Penfield**, geb. 16. Januar 1856 in Catskill am Hudson, gest. 12. August 1906, studierte Chemie und Naturwissenschaften am Yale College in New Haven und wurde 1877 daselbst Assistent im analytischen Laboratorium; hier führte er für die Arbeit von BRUSH und E. S. DANA (s. S. 183) eine Reihe von Mineralanalysen aus. In der Absicht, sich ganz der Chemie zu widmen, ging er 1880 nach Straßburg und arbeitete im dortigen organisch-chemischen Laboratorium unter FITTIG; im nächsten Jahre, nach New Haven zurückgekehrt, übernahm er zur Entlastung von BRUSH die Stelle eines „Instruktors“ in praktischer Mineralogie und brachte das Sommersemester 1884 zu weiterer Ausbildung in den mikroskopischen und optischen Methoden in dem Heidelberger Institut von ROSENBUSCH zu. 1888 wurde PENFIELD „Assistant-Professor“ der Mineralogie und erhielt 1893 als Nachfolger von BRUSH die Stellung des ordentlichen Lehrers dieses Faches, als welcher er bis zu seinem Ende wirkte.

34) Zu S. 192: **Leop. Heinrich Fischer**, geb. 19. Dezember 1817 zu Freiburg im Breisgau (Baden), gest. 1. Februar 1886 ebendasselbst, studierte in seiner Vaterstadt Medizin und Naturwissenschaften und ließ sich in derselben, nach einem kurzen Aufenthalte in Wien, als praktischer Arzt nieder. Von dieser Tätigkeit wenig befriedigt, habilitierte er sich 1845 an der Universität Freiburg für Zoologie und Mineralogie, wurde 1854 zum außerordentlichen, 1855 zum ordentlichen Professor der Mineralogie und Geognosie, sowie zum Direktor der mineralogisch-geognostischen Sammlung der Universität ernannt. Seitdem verließ er seine, besonders auf dem Gebiete der Insektenkunde erfolgreiche zoologische Tätigkeit fast ganz und wandte sein Interesse vorwiegend den mineralogischen Wissenschaften zu, um welche er sich Verdienste erwarb, wie sie in solcher Mannigfaltigkeit und Gründlichkeit der Arbeit nur wenigen Forschern beschieden wurden. Zuerst veröffentlichte er eine Reihe von Beobachtungen über verschiedene Mineralien und Gesteine, hauptsächlich aus dem Schwarzwalde, dann im Jahre 1864 unter dem Titel „Clavis der Silikate“ eine tabellarische Zusammenstellung der Eigenschaften, besonders des chemischen Verhaltens aller damals bekannten kiesel-sauren Verbindungen des Mineralreichs zum Zwecke ihrer Unterschei-

dung und Bestimmung. Die in letzterer Arbeit gemachten Erfahrungen des Verfassers führten ihn naturgemäß zur gründlichen Prüfung der Mineralien auf ihre Homogenität und damit zu seinem Hauptwerke, den kritischen mikroskopisch-mineralogischen Studien. Schon vor dem Erscheinen derselben, im Jahre 1866, veröffentlichte FISCHER im Archiv für Anthropologie einen Aufsatz über die in den Pfahlbauten gefundenen Gegenstände aus Nephrit und ähnlichen Mineralien, welcher zum Ausgangspunkt umfassender Untersuchungen wurde, die ihn in den Jahren von 1874 bis zu seinem Lebensende fast ausschließlich beschäftigten (ein gedrucktes Verzeichnis aller seiner wissenschaftlichen Publikationen bis 1881 hat er damals an Interessenten versendet); die Resultate dieser Studien legte er hauptsächlich nieder in dem Werke „Nephrit und Jadeit nach ihren mineralogischen Eigenschaften, sowie nach ihrer urgeschichtlichen und ethnographischen Bedeutung“, Stuttgart 1875 (2. verm. Ausg. 1880); wenn auch die von ihm über die Herkunft der betreffenden Materialien gezogenen Schlüsse sich zum Teil nicht aufrechterhalten ließen, so wäre es doch angemessen gewesen, die von ihm mühsam zusammengebrachte wertvolle Sammlung von Belegstücken zu seinen Arbeiten in der Freiburger mineralogisch-geognostischen Sammlung in unveränderter Weise aufzubewahren.

35) Zu S. 195: **Gabr. Aug. Daubrée**, geb. 25. Juni 1814 in Metz, gest. 29. Mai 1896 in Paris, wurde 1839 Professor der Mineralogie und Geologie an der Fakultät der Wissenschaften in Straßburg, 1858 Ingénieur-en-chef des Mines in Paris, 1861 ebenda Professor der Geologie am Musée d'Histoire Naturelle und Professor der Mineralogie an der École des Mines, 1872 Direktor der letzteren. Als junger Bergingenieur wurde er mit wissenschaftlichen Reisen in England und Skandinavien, dann mit der geologischen Untersuchung des Elsaß beauftragt. Seine Arbeiten über Mineralsynthese und über Metamorphismus begann er bereits während seines Aufenthaltes in Straßburg, doch wurde die Mehrzahl seiner Untersuchungen über diese Gegenstände, über Bildung der Mineralien, über Meteoriten usw. erst nach seiner Übersiedlung nach Paris ausgeführt und veröffentlicht.

36) Zu S. 212: **Mart. Heinr. Klaproth**, geb. 1. Dezember 1743 zu Quedlinburg, gest. 1. Januar 1817 in Berlin, arbeitete als Pharmazeut bis 1770 an verschiedenen Orten, dann in Berlin in der Apotheke des Großvaters nach HEINR. ROSE, des Erfinders des „Roseschen Metalls“, VAL. ROSE; nach dessen Tode (1771) übernahm er auf des Verstorbenen Wunsch die Offizin als Provisor und verwaltete sie, bis er 1780 sich eine eigene gründete; bald darauf wurde er Mitglied des Obermedizinalkollegiums, später Professor der Chemie an verschiedenen Staatsanstalten, endlich erhielt er 1810 an der neugegründeten Universität Berlin die ordentliche Professur der Chemie (s. auch die Denkschrift von E. G. FISCHER, gelesen in der öff. Sitz. d. k. pr. Akad. d. Wiss. 3. Juli 1819, Abhandl. Berlin 1820, S. 11–26). KLAPROTH entdeckte die folgenden Elemente: das Uran und das Zirkonium (1789), das Titan (1797), das Cerium (1803, gleichzeitig mit BERZELIUS), bewies die Eigentümlichkeit des Strontiums (1793), des Tellurs (1798), des Chroms u. a., sowie die Existenz des Kaliums im Mineralreich (im Leucit).

37) Zu S. 213: **Joh. Nepomuk von Fuchs**, geb. 15. Mai 1774 zu Mattenzell bei Bronnberg am Bayer. Wald, gest. 5. März 1856 in München, studierte bis 1801 Medizin in Heidelberg; bei einem Aufenthalte in Wien wandte er sich der Chemie und Mineralogie zu, ging nach Freiberg zu LAMPADIUS und WERNER und wurde dort Studiengenosse von CHR. S. WEISS; alsdann setzte er seine Studien in Berlin unter KARSTEN, KLAPROTH und VAL. ROSE fort.

1805 wurde er Privatdozent, 1807 ordentlicher Professor der Chemie und Mineralogie an der bayerischen Universität Landshut, 1823 Mitglied der Akademie der Wissenschaften und Vorstand der mineralogischen Staatssammlung in München, endlich bei der Verlegung der Universität von Landshut dorthin auch Vertreter der Mineralogie an letzterer. Außer seinen mineralanalytischen Arbeiten sind besonders wichtig seine Untersuchungen über Kieselsäure, welche zu der Abhandlung über die Bildung der Porzellanerde, zur Darstellung des Wasserglases und zu den ebenfalls technisch hochwichtigen Arbeiten über Zement führten und zu denen auch seine Abhandlung über den Amorphismus in Beziehung steht. Eine vortreffliche Darstellung seines Lebens und Wirkens gab 1856 F. v. KOBELL in seiner Denkrede in der bayerischen Akademie der Wissenschaften, während in demselben Jahre ein anderer Schüler von ihm, C. G. KAISER, Professor der Technologie an der Universität München, seine gesammelten Schriften herausgab.



Sachregister.

- Absorption des Lichtes 98—99.
Achsen, elektrische 55, 120.
— der Kohäsion 101.
— krystallographische 63.
— der optischen Elastizität 100.
— physikalische 65, 101.
— thermische 100, 119.
Adular, optisches Verhalten 103, 187.
Ätzfiguren 123.
Affinität 120.
Albit 82
Alpine Mineralklüfte 207, 208—209.
Amorphe Mineralien 153, 223—224.
Amphibolgruppe, chemische Zusammensetzung 221.
Anlegegoniometer 10.
Anomalie, optische 97.
Arsensaure Salze, Isomorphie 127 bis 128.
Augitgruppe, chemische Zusammensetzung 220—221.
Ausdehnung durch die Wärme 119.
Axinit 82.
- Baryt, siehe Schwerspat.
Berechnung der Krystalle 63, 75.
— — graphische 80.
Bergakademien, Geschichte der 149.
Bergbau als Quelle der mineralogischen Wissenschaften 147—148.
Bezeichnung der Kristallflächen 73, 75—76.
Bezeichnung der Krystallformen 86 bis 87.
Blende, siehe Zinkblende.
Boracit 55, 118.
Borax, optisches Verhalten 101.
- Calcit, siehe Kalkspat.
Carangeots Goniometer 10.
Chalkopyrit, siehe Kupferkies.
Chloritgruppe, chemische Zusammensetzung 222.
Chromsaure Salze, Isomorphie 129 bis 130.
- Groth, Entwicklungsgeschichte.
- Deformationen, homogene 123.
Dehnungskoeffizienten, Oberfläche der 121.
Dekreszenzen 13.
Diamant 189—190.
Dichroismus 98.
Dimorphie 127—128.
Dispersion der Doppelbrechung 99.
Dispersion der Ebenen der optischen Achsen 101, 102.
— der optischen Achsen 99.
Dolomit 174.
Doppelbrechung des Lichtes 11, 55.
Doppelsulfate, Isomorphie 130, 136.
- Eisenglanz, Krystallform 4, 38.
Eisenkies, siehe Pyrit.
Elastizität 120.
Elektrische Eigenschaften 120.
Elemente, krystallographische 62.
Enantiotrope Umwandlungen 138.
Epidot, Krystallformen 73, 177, 187.
Erzlagerstättenkunde 194—203.
- Farben der Krystalle 98.
Feldspat, Krystallstruktur 36—37, 61, 71, 117—118, 177, 178, 186—187.
— Zonenverhältnisse 72, 76.
Feldspatgruppe, chemische Zusammensetzung 220.
Fluorit, siehe Flußspat.
Flußspat, Krystallstruktur 32—33, 46, 174.
- Gitterstruktur 58.
Gleitflächen 12, 122.
Glimmergruppe, chemische Zusammensetzung 221.
Goniometer 10.
Granat, Krystallstruktur 13, 14—16, 33—34.
Grundgesetz 80, 89—90.
Gyps, Krystallstruktur 33.
— optisches Verhalten 100, 102.

- Härte 12, 122.
 Härtekurve 122.
 Hemiedrie 66.
 Heteromorphie 128.
 Holoedrie (Homoedrie) 66.
 Hornblendegruppe, chemische Zusammensetzung 221.
 Humit 175, 178, 219.
 Ikosaeder 38.
 Indicatrix, optische 115.
 Indices 76, 89, 91, 107.
 Institute, mineralogische 163f.
 Interferenzerscheinungen
 einachsiger Krystalle 94—95.
 monokliner Krystalle 101—103.
 rhombischer Krystalle 101.
 trikliner Krystalle 104.
 zweiachsiger Krystalle 95—96.
 Isodimorphie 139.
 Isomerie, chemische 135.
 — physikalische 138.
 Isomorphe Mischungen 128—129, 139 bis 140.
 Isomorphie 127.
 — partielle 135.
 Kalkspat, Ausdehnung durch die Wärme 30 Anm.
 — Doppelbrechung 11.
 — künstliche Zwillingsbildung 123.
 — Krystallformen 93 Anm.
 — Krystallstruktur 11, 12, 16—18, 29 bis 31, 34, 99, 184.
 Kohlenstoffverbindungen, Krystallformen 133.
 Konstitutionsformeln der Mineralien 215—218, 219, 235.
 Kontaktlagerstätten 200, 206—207, 232—233.
 Korrosionsflächen 123.
 Krystall, allgemeine Bedeutung des Wortes 4.
 Krystallstruktur, Theorien 11, 12f., 14f., 57.
 Krystallsysteme 86.
 Kupferkies 188.
 Kupfervitriol 82 Anm.
 Leitfähigkeit, thermische 119.
 Lemniskaten 99.
 Leucit 118, 175.
 Lösungen, feste 139.
 Lösungsgeschwindigkeit 123, 124.
 Mikroskopische Untersuchung 191f.
 Mineralanalyse 212f.
 Mineralienhandlungen 172.
 Mineraliensammlungen 161—172, Nachtrag S. 262.
 Mineralklüfte, alpine 207, 208—209.
 Mineralsynthese 227—228.
 Mineralsysteme 152f.
 Mischkrystalle, anomale 139.
 Mischkrystalle isomorpher Körper 128—129, 139—140.
 Modelle der Krystallformen 6.
 Monotrope Umwandlungen 138.
 Morphotropie 135.
 Optisch anomale Krystalle 97.
 — einachsige Krystalle 96, 100.
 — einfach brechende Krystalle 96, 97, 100.
 — zweiachsige Krystalle 94, 95, 100.
 Organische Verbindungen, Krystallformen 133.
 Pegmatite 175—176, 203—205, 231 bis 232.
 Pentagondodekaeder 37.
 Perchlorate und Permanganate, Isomorphie 130.
 Phosphorsaure Salze, Isomorphie 127 bis 128.
 Piezoelektrizität 120.
 Plastizität 122.
 Pleochroismus 98.
 Pol einer Krystallfläche 79.
 Polarisationsbüschel 98.
 Polarität, elektrische und geometrische 177.
 Polyedrie 125.
 Polymerie, physikalische 138.
 Polymorphie 127—128, 137—139.
 Polysymmetrie 131.
 Porodine 153, 223.
 Primitivformen 8, 12, 15.
 Projektion der Krystallflächen 79.
 Pseudomorphosen 224—226.
 Pyrit, Krystallform 4, 188—189.
 — Krystallstruktur 37—38.
 — thermoelektrisches Verhalten 189.
 Pyroelektrizität 55, 120.
 Pyroxengruppe, chemische Zusammensetzung 220—221.
 Quarz, Doppelbrechung 11.
 — Krystallformen 106, 186.

- Quarz, Krystallstruktur 38—39.
— Winkelkonstanz 3.
- Rationalität der Doppelverhältnisse 90.
— der Indices 89, 109.
Reflexionsgoniometer 74, 83.
- Salzlagerstätten 209—211, 233.
Sammlungen von Krystallen 6.
— von Mineralien 161—172, Nachtrag.
Schörl, siehe Turmalin.
Schwefel, Dimorphie 128.
Schwefelkies, siehe Pyrit.
Schwefelsaure Salze, Isomorphie 128 bis 130.
Schwerspat, Krystallstruktur 32.
Selsaure Salze, Isomorphie 128 bis 130.
Silikate, Konstitutionsformeln 215 bis 218, 219.
Sklerometer 122.
Sphalerit, siehe Zinkblende.
Steinesalz, Krystallstruktur 26.
— Zugfestigkeit 122.
Struktur der Krystalle, Theorien 11, 12f., 14f., 57.
Sulfate, Isomorphie 128f.
Symbole der Krystallflächen 72, 91.
— Krystallformen 89—90, 91.
Symmetrie, Arten 109.
— des chemischen Moleküls 133.
Symmetrieachsen 109.
Symmetrieebene 106.
Systematik der Krystalle 66, 86.
— der Mineralien 152f.
- Thermische Achsen 100, 119.
— Eigenschaften 119.
Thesaurus Wernerianus 229—230.
Titanerzlagertstätten 208.
Titanit 177.
Topas, chemische Zusammensetzung 219.
— Krystallstruktur 34.
Topische Achsenverhältnisse 136.
Topographie der Mineralien 156.
Tridymit 178.
Trimorphie 127.
Tschermaksches Silikat 221.
Turmalin, chemische Zusammensetzung 222—223.
— elektrische und geometrische Polarität 177, 187—188.
— Krystallstruktur 39.
- Vizinalflächen 125
Vollflächige Krystallformen 66.
- Wachstum 123—125, 131 Anm.
Wachstumsgeschwindigkeit der Flächen 123, 124.
Wärme, Einfluß auf die optischen Eigenschaften 116.
Wärmeleitung 119.
Weinsaure Salze 134.
Winkel der optischen Achsen 96.
Winkelkonstanz 3.
- Zersetzungsfiguren 99.
Zinkblende, Krystallformen 188.
Zinnerzlagertstätten 194, 195, 200.
Zonenlehre 61, 76, 79, 91.
Zwillingsbildung, künstliche 123.

Namenregister.

- Agricola, G. 147—148, 161, 248.
- Bakhuis siehe Roozeboom.
- Baldauf, R. 162.
- Barlow, W. 114.
- Bauer, G., siehe Agricola.
- Baumhauer, H. 123, 179.
- Bartolinus, E. 11, 242.
- Becke, F. 123, 188.
- Beckenkamp, J. 119.
- Bement, C. S. 171.
- Bergman, T. 12, 152, 243.
- Bernhardi, J. J. 65, 89 Anm.
- Berthelsen, E. 11, 242.
- Berzelius, J. J. 128, 154, 213.
- Beudant, F. S. 128.
- Bischof, F. 210.
- Biot, J. B. 94.
- Bournon, J. L. Comte de 96, 185.
- Bravais, A. 110, 111, 247.
- Breithaupt, A. 153, 196—199, 223, 224, 251.
- Brewster, D. 94—99, 100, 102 Anm., 245.
- Bröger, W. C. 159, 175—176, 204 bis 205, 207.
- Brush, G. J. 183, 254.
- Bunsen, R. 203.
- Cappeller, M. A. 4, 241.
- Charpentier, W. 148—149, 156, 194.
- Clarke, F. W. 219, 222, 235.
- v. Cronstedt, A. F. 152.
- Curie, J. 120.
- Curie, P. 120, 124.
- Damour, A. 215.
- Dana, E. S. 183.
- Dana, J. D. 160, 183.
- Daubrée, A. 195, 255.
- Delafosse, G. 55.
- Descloizeaux, A. 130, 178, 190.
- Eschwege, W. L. 160, 161.
- Exner, F. M. 122.
- v. Fedorow, E. 114, 193.
- Fischer, H. 191 Anm., 192—193, 212, 254.
- Fizeau, A. 119.
- Fletcher, L. 115, 119, 170.
- Flurl, M. 157.
- Frankenheim, M. L. 111, 247.
- Freiesleben, J. K. 156, 194.
- Frenzel, A. 156.
- Fresnel, A. J. 94.
- Friedel, Ch. 181, 216.
- Fuchs, J. N. 127, 213—214, 223—224, 255.
- Gadolin, A. 110.
- Gahn, J. G. 13, 243.
- Gauß, C. F. 89.
- Geinitz, H. B. 162.
- Genth, F. A. 183, 218, 253.
- Gesner, C. 148 Anm.
- Giesecke, C. 160.
- Goldschmidt, V. 190.
- Goldschmidt, V. M. 207.
- Gonnard, F. 159, 182.
- Grailich, J. 92, 105, 131.
- Graßmann, J. G. 107.
- Graßmann, H. 107.
- v. Groth, P. 135—137.
- Grünling, F. 159, 179.
- Haidinger, W. 84 Anm., 153, 225, 250.
- Hankel, W. G. 120.
- v. Hauer, C. 131 Anm., 167.
- Hausmann, L. 76—77 Anm., 159, 226.
- Haüy, R. J. 14—57, 173, 243.
- Henckel, J. Fr. 148.
- Herschel, J. F. W. 106.
- Hessel, J. F. C. 108—110, 120, 246.
- Hessenberg, F. 165, 179.
- v. Hisinger, W. 159.
- Hjortdahl, Th. 135.
- Hoff van t', J. H. 210.
- Huyghens, Ch. 11—12, 242.

- v. Jeremejew, P. 159.
 Johnsen, A. 139—140.
- Kappeler, siehe Cappeller.
 Karsten, D. L. G. 149.
 Kentmann, J. 148 Anm., 161.
 Kjerulf, Th. 159.
 Klaproth, N. H. 212, 255.
 Knop, A. 125, 154 Anm.
 v. Kokscharow, N. J. 159.
 Königsberger, J. 208.
 Kopp, H. 132.
 Krenner, J. A. 166, 181.
 Kundt, A. 120.
 Kupffer, A. Th. 74, 82 Anm.
- Lavizzari, L. 123.
 Le Blanc, N. 126.
 Lehmann, O. 125, 137—138.
 Lévy, A. 173—174, 185, 252.
 Limur, Comte de 158, 168.
 Liversidge, A. 160.
 Lüdecke, O. 156.
- Mallard, E. 112, 117, 181—182.
 Malus, F. L. 56, 93.
 Marignac, Ch. de 130, 132.
 Maskelyne, N. St. 169, 182.
 Merrill, G. P. 171.
 Michel-Lévy, A. 193.
 Miers, H. A. 125, 169.
 Miller, W. H. 76 Anm., 90—92, 104,
 190, 245.
 Mitscherlich, E. 102 Anm., 126f., 247.
 Mohs, Fr. 84, 153, 249.
 Mügge, O. 123, 180.
- Naumann, C. F. 85—89, 159, 244.
 Neumann, C. 78.
 Neumann, Fr. E. 77, 85, 94, 100, 104,
 120, 244.
 Nordenskiöld, N. G. 159.
 Nörrenberg, J. G. Ch. 101, 105, 245.
- Ochsenius, C. 210.
 Oschatz, A. 191.
 Ostwald, W. 138—139.
- Pasteur, L. 134, 247.
 Penfield, S. L. 183—184, 218—219,
 222, 235, 254.
- Rammelsberg, C. 130, 214.
 Rath, G. vom 175, 177—178, 252.
 Rauber, A. 123.
 Retgers, J. W. 139.
- v. Reusch, E. 123.
 Reuß, A. E. 153, 157, 199.
 Rinne, Fr. 180.
 Römer, F. 165.
 Romé Delisle, J. B. L. 5—10, 242.
 Roozeboom, H. W. Bakhuis 139.
 Rose, G. 120, 126, 154, 159, 177, 185
 bis 186, 189, 226, 251.
 Rose, H. 214.
- Sansoni, F. 185.
 Scacchi, A. 125, 131, 158, 175, 247.
 Schabus, J. 131.
 Scharff, F. 165.
 Schönflies, A. 114.
 Schrauf, A. 153.
 Seeber, L. A. 57—58.
 Sella, Qu. 131, 247.
 Seligmann, G. 164—165.
 Sénarmont, H. 119, 130.
 Sohncke, L. 112—113, 122.
 Sorby, H. C. 192.
 Stensen Niels (Steno. Nicolas) 3, 241.
 Streng, A. 179.
 Strüver, J. 158, 175.
- Tamrau, Fr. 164.
 Topsøe, H. 131.
 Traube, H. 157.
 Tschermak, G. 153, 216—218, 220,
 221—222 35.
 Tutton, A. E. 136.
- Van t' Hoff, siehe Hoff.
 Vauquelin, L. N. 212—213.
 Vernadsky, W. 219.
 Vogt, J. H. L. 227.
 Voigt, W. 120—121.
- Wada, T. 159.
 Wallerius, J. G. 152.
 Websky, M. 125, 163, 179, 191—192,
 253.
 Weinschenk, E. 206.
 Weiß, Chr. S. 59f., 177, 243.
 Werner, A. G. 149—151, 152, 248.
 Whewell, W. 76 Anm., 89 Anm.
 Wiser, Fr. 158.
 Wollaston, W. H. 56, 74.
 Wolf, Th. 164.
 Wulff, G. 124, 140.
 Wyruboff, G. 130.
- v. Zepharovich, V. 153, 157, 180.
 Zippe, F. X. M. 153, 157, 185.

Nachtrag.

Zu Seite 167: Hier sind die Sammlungen in Italien nicht berücksichtigt worden, weil über dieselben keinerlei Publikation vorliegt; übrigens wird der Verfasser in einem später erscheinenden Werke „Lebenserinnerungen eines Naturforschers“ aus eigener Anschauung darüber berichten, ebenso über die im Text nicht berücksichtigten Sammlungen in Süddeutschland.

Zu Seite 170 unten: Über den jetzigen Zustand der Sammlungen in der Petersburger Akademie vgl. A. von FERSMAN in „Der Geologe“, herausg. von MAX WEG, Leipzig 1926, **39**, 905 – 907.