

Beudant, Berzelius und die mineralogische Spezies

Autor(en): **Schütt, Hans-Werner**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Gesnerus : Swiss Journal of the history of medicine and sciences**

Band (Jahr): **41 (1984)**

Heft 3-4

PDF erstellt am: **18.04.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-521353>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

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

Beudant, Berzelius und die mineralogische Spezies *

Von Hans-Werner Schütt

Mit dem Anwachsen mineralogischer Kenntnisse im 18. Jahrhundert wurde das Problem einer mineralogischen Taxonomie immer dringender. Nach 1781 schien das Problem aber grundsätzlich gelöst zu sein, und zwar durch die Klassifikationsmethodik des Abbé René Just Haüy (1746–1822), in der die alte naturhistorische Methode, die sogenannte chemische Methode und die zunächst nicht rational begründbare *methodus mixta* der Klassifikation integriert werden konnten¹. Ausgehend vom Konzept des *molécule intégrante*, eines artspezifischen, submikroskopischen Polyeders, das alle wesentlichen chemischen Bestandteile in konstanten Proportionen enthält², entwickelte Haüy nämlich ein Verfahren, mit Hilfe sogenannter Dekreszenzgesetze (*lois de décroissement*) Sekundärformen von Kristallen aus ihren Primärformen abzuleiten³. Die zweite Säule der Haüyschen Klassifikation war das Dogma, daß der chemische Inhalt und die äußere Form einer diskreten Mineralspezies eindeutig aufeinander bezogen sind, sitzen doch – im Normalfall – die artspezifischen *molécules intégrantes* in dichter Packung aufeinander, um so den ebenfalls artspezifischen Kristall zu bilden. Damit war auch die Spezies nach Form und Inhalt genau definiert. Wenn nämlich Kristalle des kubischen Systems bei unterschiedlichem chemischen Inhalt gleiche Kristallformen aufweisen können, so sind dennoch in Haüys Lehre sowohl eine echte Polymorphie chemisch gleicher Kristalle als auch eine Isomorphie chemisch ungleicher Kristalle ausgeschlossen. Daß auch Kristalle des kubischen Systems nicht wirklich isomorph sind, zeigt sich daran, daß sie nach dem *molécule-intégrante*-Konzept nicht zu unbegrenzter Mischkristallisation fähig sind⁴.

Wie erfolgreich Haüys Lehre in vielen Fällen auch war, sie hatte doch bald mit Schwierigkeiten zu kämpfen. Die bekannte Dimorphie von Calcit und Aragonit war zum Beispiel schwer zu erklären⁵, und auch Kristallisationsversuche mit Alaunen und Vitriolen brachten überraschende Ergebnisse⁶. So hatte ein Anhänger Haüys, François Sulpice Beudant (1787–1850), 1817 Vitriolkristalle gezüchtet, die zu 91 % aus Kupfersulfat und nur zu 9 % aus Eisensulfat bestanden, aber dennoch in der Kristallform

* Nach einem Vortrag auf der Jahresversammlung der SGGMN am 8. Oktober 1982 in Basel.

des Eisensulfats auskristallisierten⁷. Heute würden wir dies als Beispiel induzierter isomorpher Kristallisation ansehen⁸, damals aber deutete Haüy das merkwürdige Phänomen mit der Hypothese essentieller Bestandteile, die besagt, daß bestimmte, mit besonderer Kristallisationskraft begabte *molécules intégrantes* dem Kristall ihre Form aufzuzwingen vermögen, ohne daß man von einem mechanischen Gemenge sprechen kann⁹. Wenig später, nämlich 1818, entdeckte Eilhard Mitscherlich (1794–1863) jedoch eine Isomorphie von Natriumsulfat und Natriumarsenat und konstatierte, daß allgemein isomorphe Verbindungen zu lückenloser Mischkristallisation fähig sind¹⁰.

Mitscherlichs Entdeckung wurde sofort vom Papst der damaligen Chemie, Jöns Jacob Berzelius (1779–1848), anerkannt, der in ihr eine Chance sah, mit Hilfe isomorpher Verbindungen Atomgewichtsbestimmungen durchzuführen, da diese Verbindungen ja bis auf das jeweils isomorph ausgetauschte Element chemisch gleich sind¹¹. Sie besitzen, wie sich beim Vergleich der Kristallwassermengen herausstellt, gleiche Konstitutionsformeln und vermutlich gleiche Konstitution.

Neben chemischen hatte Berzelius allerdings auch mineralogische Interessen, glaubte er doch, sein Korpuskularkonzept der Materie, das im Sinne John Daltons (1766–1844) von element-spezifischen, durch ihr relatives Gewicht bestimmbaren sphärischen Korpuskeln ausging, und seine elektrochemische Bindungstheorie seien geeignet, der mineralogischen Klassifikation eine ausschließlich in der atomaren Zusammensetzung kristallisierter Substanzen begründete Basis zu geben¹². Bereits 1814 hatte er versucht, ein System der Mineralogie aus der elektrochemischen Theorie und der chemischen Proportionenlehre abzuleiten, dies allerdings nicht in der Meinung, seine mehr chemisch orientierten Ansichten seien grundsätzlich von denen Haüys verschieden, dem er die französische Ausgabe seines Werkes widmete¹³. So bezweifelte Berzelius im Prinzip weder das Dogma der uneindeutigen Verknüpfung von Form und Inhalt noch die Hypothese formgebender Bestandteile, das heißt, jede in ihren essentiellen Bestandteilen chemisch diskrete kristallisierte Substanz bildete auch für ihn eine mineralogische Spezies. Im Rahmen dieser Grundüberzeugung klassifizierte er durchweg nach chemisch-stöchiometrischen Gesichtspunkten und setzte dabei Minerale, die wir heute als isomorph oder isotyp bezeichnen würden, zuweilen sogar in verschiedene Gattungen oder Familien, und zwar dann, wenn die essentielle Salzbase, nach der er klassifizierte, vollständig durch ein anderes Oxid ersetzt war. Deshalb wurde er übrigens von den zahlreichen Anhängern

des Mineralogen Abraham Gottlob Werner (1750–1817) scharf kritisiert, waren diese doch der Meinung, daß es bei Mineralen graduelle Übergänge geben könne, die keine neue Spezies rechtfertigen, und daß deshalb auch chemisch variierende Minerale manchmal aus kristallographischen Gründen derselben Spezies zugerechnet werden müßten¹⁴.

Nach der – von Haüy heftig angezweifelte¹⁵ – Entdeckung des Isomorphismus und der Entdeckung des Polymorphismus im Jahre 1821¹⁶ sah sich Berzelius jedoch zur Abkehr von der mineralogischen Lehre Haüys und damit zur Abkehr von einigen fundamentalen Prinzipien seines eigenen Systems gezwungen, das allerdings weiterhin chemisch-stöchiometrisch begründet blieb¹⁷. Unter den Änderungen ist nicht entscheidend, daß Berzelius ab 1824 in der Neufassung seines Mineralsystems aus pragmatischen Gründen nach dem elektronegativen Teil der Verbindung klassifizierte, entscheidend ist, daß er in Fällen, in denen isomorphe Minerale, wie etwa Pyroxene, Granate und Amphibole, zu klassifizieren waren, die ehemalige Spezies in mehrere selbständige Entitäten auflöste, die allerdings dennoch stöchiometrisch zusammengehören und sich bei gleichbleibender Kristallform unbegrenzt mischen können¹⁸. Bei isomorph austauschbaren Verbindungen gab es somit keine essentiellen und akzidentiellen Bestandteile mehr.

Das tangierte natürlich die Definition der Spezies, weshalb Berzelius nun unter Hinweis auf die Phänomene des Isomorphismus und des Polymorphismus ganz folgerichtig schloß: «daß weder das bisherige chemikalische Princip der Speciesbestimmung: gleiche Elemente verbunden in gleichen Verhältnissen geben gleiche Arten, noch das Haüysche: gleiche Krystallformen bedingen gleiche Arten-Eigenwerthe, dem jetzigen Stande der Wissenschaft entspricht (indem beide in allen Fällen, wo isomorphe Austauschungen in Frage kommen, unanwendbar sind)». ¹⁹

Der Ausweg, den Berzelius aus diesem Dilemma suchte, ist folgender: «Mischungsformel und Krystallform bestimmen mit einander den Eigenwerth der Gattung (oder den generischen Charakter); die Natur der Grundstoffe (oder die Art der chemischen Elemente, d. i. der Stoffwerth) bestimmt den Eigenwerth der Art oder die Species (oder den speziellen Werth).» ²⁰

Damit hat Berzelius zwar klargemacht, nach welchen Prinzipien er nun klassifizieren will, aber die Abgrenzung von den früher von ihm vertretenen Klassifizierungsprinzipien bleibt meines Erachtens undeutlich und könnte zu Fehlschlüssen führen, weil Berzelius Faktoren nicht erwähnt, die hätten zur Sprache kommen müssen. Prima facie könnte man nämlich meinen, daß

das «bisherige chemikalische Princip der Speciesbestimmung: gleiche Elemente verbunden in gleichen Verhältnissen geben gleiche Arten» und das neue Prinzip der Speziesbestimmung: «die Natur der Grundstoffe bestimmt den Eigenwerth der Art» sich decken. Da Berzelius die Gattung mit der stöchiometrischen Mischung (der Konstitution) identifiziert und die Spezies der Gattung unterordnet, ist seine neue Definition der Spezies offensichtlich nicht so gemeint, daß lediglich die – qualitative – Art der chemischen Elemente, nicht aber auch zugleich ihre quantitativ-stöchiometrische Zusammensetzung die Spezies bestimmt. Daß man nach der Entdeckung des Isomorphismus und des Dimorphismus in vielen Fällen einerseits einer Form A den chemischen Inhalt a und einer gleichen Form A den Inhalt b, andererseits einer Form A den Inhalt a und einer Form B den gleichen Inhalt a zuschreiben mußte, sagt nichts dagegen, daß es bei jeder Einzelentscheidung über eine Spezies immer noch auf die Beziehung der Form zum quantitativen Inhalt ankam. Der Unterschied der beiden zitierten Spezies-Definitionen liegt vielmehr für Berzelius darin, daß die eindeutige Verknüpfung von Form und Inhalt der Kristalle aufgrund der neuen Entdeckungen aufgegeben werden mußte, weil nun nicht mehr nur eine einzige spezifische Form einem einzigen spezifischen Inhalt zukam und umgekehrt. Infolgedessen verlangte jetzt auch die Frage, ob man in Zweifelsfällen nach kristallographischen oder nach chemischen Gesichtspunkten klassifizieren sollte, nicht mehr eine pragmatische, sondern eine prinzipielle Antwort. Klassifiziert man nach der Form, dann bleiben die isomorphen Pyroxene, Granate und Amphibole jeweils distinkte Spezies, während dimorphe Substanzen wie Natriumdihydrogenphosphat, Calciumcarbonat und Schwefel in jeweils zwei Spezies getrennt werden müssen. Klassifiziert man dagegen nur nach dem chemischen Inhalt, dann erscheinen Natriumdihydrogenphosphat, Calciumcarbonat und Schwefel zwar als distinkte Spezies, doch müssen die Pyroxene, Granate und Amphibole jeweils in mehrere Spezies unterteilt werden, die allerdings zu einer Reihe zusammengehören und nicht auf verschiedene Gattungen oder Familien verteilt werden dürfen.

Natürlich entschied sich Berzelius als Chemiker für eine Klassifikation nach chemischen Gesichtspunkten. Die Schwächen seines Ansatzes zeigen sich allerdings darin, daß im Falle stark variierender Mischungsverhältnisse isomorph austauschbarer Elemente die im Vergleich mit früheren Klassifikationsschemata ohnehin schon stark vermehrte Zahl der Spezies oder, wie Berzelius sich ausdrückt, der Prototype²¹ ihrerseits in eine oft

unüberschaubare große Zahl von Abarten oder Varietäten oder Subspezies zerfällt.

Während man mit der Hypothese formgebender Bestandteile noch die eigentliche Spezies von «uneigentlichen» Beimengungen trennen konnte und deshalb eine Subspezies immer noch eine bestimmte Art, wenn auch mit Zusatz, war, erschien jetzt der Speziesbegriff selbst vage. Zwar unterscheidet sich die einzelne Gattung, die wesentlich die Rolle der alten Spezies übernommen hat, von allen anderen Gattungen, aber die Spezies wird realiter so unbestimmt, daß sie unter Umständen rein hypothetisch bleibt, und zwar dann, wenn die Mineralanalyse lediglich variierende Mischungen isomorpher Elemente oder, anders gesagt, lediglich Abarten nicht existierender Arten feststellen kann. Das *molécule intégrante* Haüys blieb auch in jeder Abart eine Realität; der Prototyp von Berzelius dagegen war eine Idee, der keine empirische Wirklichkeit zu entsprechen brauchte.

Dazu kam, daß nun weder die Kristallographie noch die Chemie mehr eindeutige und unabhängige taxonomische Bestimmungskriterien an die Hand geben konnten. Nicht nur, daß gleiche Kristallformen verschiedenen Gattungen angehören können und gleiche chemische Konstitutionen ebenfalls verschiedenen Gattungen (Bsp. Feldspat und Natronfeldspat [Albit]), wegen der Möglichkeit isomorphen Austausches erfuhren auch die Gattungen selbst eine Binnendifferenzierung in eine theoretisch unendliche Reihe von Spezies und Subspezies, die ihrerseits nicht scharf begrenzt sind. Da das mineralogische Individuum nicht mehr mit der Spezies gekoppelt werden kann und also taxonomisch nicht mehr zu fassen ist, ist die Stellung der Spezies innerhalb eines Klassifikationssystems unbestimmt und letztlich willkürlich. Wie sehr der Artbegriff damit seine Bedeutung als Fundament der Klassifikation verloren hat, geht schon daraus hervor, daß es für Berzelius irrelevant geworden war, was eigentlich als Spezies bezeichnet werden soll: «Wir haben also hier Gattungen, Arten und Varietäten; oder, wenn man mit dem Namen Gattungen nicht einverstanden ist, haben wir Arten, Unterarten und Varietäten.»²²

Haüy, der 1822 gestorben war, konnte sich dazu nicht mehr äußern, sein Schüler Beudant jedoch antwortete 1826 auf die Vorschläge von Berzelius. Dabei leugnete Beudant, der ja selbst auf dem Gebiet der Mischkristallisation gearbeitet hatte, nicht, wie Haüy dies noch getan hatte, den Isomorphismus schlechthin. Er blieb allerdings der Meinung, daß man bei isomorphen Kristallen nicht von Formidentität, sondern nur von einer «analogie très grande» reden könne. Dahinter steckt implizit eine Verteidigung des

molécule intégrante, das übrigens in modifizierten Formen in den Strukturtheorien vor allem französischer Mineralogen noch während des ganzen 19. Jahrhunderts eine Rolle spielen sollte²³.

Beudants Klassifikationsversuche zeigen jedoch, daß man keine kristallographisch orientierte Taxonomie mehr auf den behaupteten geringen Winkeldifferenzen aufbauen konnte. Um so mehr fürchtete Beudant, daß mit der Aufweichung des Speziesbegriffs jeder rationalen und vor allem auch hinreichend präzisen und doch differenzierten Mineralklassifikation die Basis entzogen würde. Und so versuchte er, die mineralogische Taxonomie auf eine den Bedürfnissen der Mineralogen besser angepaßte Grundlage zu stellen. Die Spezies war für ihn auch dann eine Realität, wenn die Entscheidung, zu welcher Spezies ein Mischkristall gehören soll, nicht einfach ist. Um seine Meinung anschaulich zu machen, verglich er das Problem der mineralogischen Klassifikation mit der biologischen Klassifikation menschlicher und tierischer Rassen, die er den Arten gleichsetzte:

«Elle (la difficulté) se trouve dans la faculté que possèdent les oxides de même ordre d'oxidation et les divers composés, simples ou doubles, de même formule, qu'ils soient isomorphes ou non, de se réunir en toutes proportions pour former en quelque sorte des métis, qu'on me passe cette expression, dont la place dans la méthode peut, il est vrai, laisser quelquefois des incertitudes. Mais ces métis ne peuvent détruire la notion de l'espèce, comme M. Berzelius semble le croire; car, de ce qu'il existe des mulâtres, des quarterons, etc., personne n'imaginera que ce soit une raison pour qu'on ne puisse pas distinguer les races nègres et les races blanches; le mulet et le bardeau ne peuvent empêcher de regarder l'âne et le cheval comme espèces bien déterminées.»²⁴

(Die Schwierigkeit besteht darin, daß Oxide derselben Oxidationsstufe und verschiedene einfache oder doppelte Verbindungen der gleichen Formel, seien sie nun isomorph oder nicht, die Fähigkeit besitzen, sich in allen Verhältnissen zu vereinigen, um gewissermaßen Mestizen, wenn mir dieser Ausdruck erlaubt ist, zu bilden, deren Plazierung innerhalb der Methode [dem Klassifikationsschema] zuweilen Unsicherheiten mit sich bringen kann. Aber diese Mestizen können den Spezies-Begriff nicht zerstören, wie Herr Berzelius dies zu glauben scheint; denn aus der Tatsache, daß es Mulatten, Viertelneger usw. gibt, wird niemand schließen, daß dies ein Grund sei, die negriden und die weißen Rassen nicht zu unterscheiden; das Maultier und der Maulesel können nicht verhindern, den Esel und das Pferd für gut bestimmte Arten zu halten.)

So wie man in der Biologie klassifiziert, sollte man auch in der Mineralogie klassifizieren. Und um das tun zu können, erweitert Beudant – allerdings ohne präzise Neueingrenzung – den Geltungsbereich des Spezies-Begriffs. Die Spezies ist nun definiert als «... la réunion des individus qui ont entre eux plus d'analogie qu'ils n'en ont avec tous les autres»²⁵ (... die Vereinigung von Individuen, die unter sich eine größere Analogie besitzen, als sie mit allen anderen haben).

Das klingt etwas vage und scheint auf eine schwer zu präzisierende *methodus mixta* hinzuweisen. Außerdem widerspricht es, wie Beudant selbst zugibt, dem Vorschlag von Berzelius nicht direkt. Ein Unterschied zu dessen Klassifikation liegt jedoch darin, daß Beudant bestimmte Mischkristalle zu eigenständigen Arten erklärt. Er weist darauf hin, daß ein taxonomisches Konzept, nach dem Mischungen schlechthin zu Subspezies von manchmal realiter gar nicht vorhandenen Spezies erklärt werden, zu Fehlern führt, weil Doppelsalze und lückenlose Mischungen nicht unterschieden werden. Doppelsalze sind für Beudant diskrete Spezies, Mischkristalle nicht. Das Problem, die Spezies von der Subspezies zu unterscheiden, stellt sich vor allem bei natürlichen Mineralen, weil hier oft nur wenige Kristalle vorliegen und man prima facie nicht weiß, ob ein bestimmtes Mineral zu einer lückenlosen Mischkristallreihe gehört oder nicht. Für Beudant ist immer dann ein Doppelsalz, also eine distinkte Spezies, gegeben, wenn die Verhältnisse der verschiedenen Salze, aus denen der Kristall besteht, einfach sind. Aufgrund dessen behauptet er, ohne Zahlenangaben zu machen, daß etwa Pyroxene, Granate und Amphibole jeweils Serien von Doppelsalzen seien, die ihrerseits gemischt auftreten könnten und zuweilen zusätzlich mit akzidentiellen Bestandteilen (*matières étrangères*) kontaminiert seien²⁶. Diese Bemerkung zeigt, daß die Unterscheidung Doppelsalz-Mischung in praxi nicht einfach war und daß Beudant hier noch an der alten Unterscheidung essentieller und akzidentieller Bestandteile festhielt.

Auch in der Definition des Genus unterscheidet sich Beudant von Berzelius. Während dieser die mineralogische Gattung durch die Konstitutionsformel bestimmt hatte, definiert Beudant den Genus wie folgt: «Le genre est la réunion des espèces qui ont entre elles plus d'analogie qu'elles n'en ont avec toutes les autres.»²⁷ (Die Gattung ist eine Vereinigung derjenigen Arten, die unter sich eine größere Analogie besitzen, als sie mit allen anderen haben.)

Wie Berzelius ordnet auch Beudant seine Gattungen nach dem elektro-negativen Bestandteile der Verbindung, Berzelius aber hatte sich bei der

Abgrenzung der Gattungen nach der Konstitutionsformel gerichtet, während Beudant die Grenzen weiter faßt. So gibt es bei Berzelius eine Gattung von Carbonaten der Formel $\ddot{R} \ddot{C} 2$ (Bi- oder Hydrogencarbonate), eine zweite der Formel $\ddot{R} \ddot{C}$ (einfache Carbonate) und weitere Gattungen für jeden bestimmten Kristallwassergehalt. Beudant meint, daß die alten Gattungen dadurch in fast unübersehbar viele neue aufgesplittert würden und daß häufig Kristalle, die unter sich größte – wohl kristallographische – Ähnlichkeit besitzen, zu verschiedenen Gattungen gerechnet werden müßten. Er selbst unterscheidet hier lediglich hydratisierte Carbonate und Carbonate ohne Kristallwasser als zwei Gattungen und kommt zu folgender Reihe von Kohlenstoffgattungen: 1. reiner Kohlenstoff, 2. Kohlensäure, 3. Carbonate mit Kristallwasser, 4. Carbonate ohne Kristallwasser, 5. Kohlenstoffverbindungen ohne Sauerstoff (Carbide)²⁸.

Neben der Gattung führt Beudant ein zweites, unabhängiges Ordnungsprinzip ein, indem er Gattungen, die unter sich die größte Analogie besitzen, zu Familien zusammenfaßt. Eine Gruppierung nach Familien lediglich aufgrund des elektronegativen Bestandteils, wie Berzelius sie vorgenommen hatte, ist für Beudant eine *méthode artificielle*, der er seine *méthode naturelle* gegenüberstellt. Die Methode von Berzelius ist deshalb künstlich, weil in ihr sowohl die Gattungen als auch die Familien nach demselben Prinzip klassifiziert werden, nämlich zum einen nach dem anionischen Teil der Verbindung, das führt zum Genus, zum anderen nach dem elektronegativsten Element dieses anionischen Teils, das führt zur Familie. Folglich müssen zum Beispiel die Sulfide und die Sulfate bzw. Sulfite in zwei verschiedene Familien geordnet werden, wobei die Sulfate und Sulfite in der Familie der Oxide aufgeführt werden müssen, die ihrerseits drei Viertel aller bekannten Minerale umfaßt. Beudant dagegen führt als Klassifikationsmerkmal ein spezifisches Leitelement ein (*un principe chimique commun*), das nicht grundsätzlich im elektronegativsten Teil der Verbindung erscheinen muß und deshalb ein unabhängiges Kriterium der Ordnung liefern kann. Ein Leitelement ist zum Beispiel Kohlenstoff. Die Klassifikation nach zwei unabhängigen Prinzipien führt tatsächlich zu einer zweidimensionalen Ordnung im Gegensatz zu einer seriellen Ordnung, wie sie von Berzelius vorgetragen worden war. In einer Tabelle, die Beudant mitveröffentlichte, sind die Gattungen, die zusammen eine Familie bilden, horizontal geordnet, während die fünf Gruppen, die jeweils einen ähnlichen chemischen Zustand, z. B. eine bestimmte Oxidationsstufe, bezeichnen, vertikal geordnet sind²⁹.

Beudant versuchte auch, eine Ordnung der Familien untereinander zu finden, wobei er vom allgemeinen chemischen Verhalten der Leitelemente ausgeht. Allerdings ist, obwohl dies zu vermuten wäre, in Beudants Anordnung der Familien nach den Leitelementen keinerlei Anklang an eine Reihung dieser Elemente analog zu den Gruppen des Periodensystems zu entdecken.

Immerhin zeigen die Bemühungen Beudants wie die von Berzelius, daß der Isomorphismus die Mineralogen und Chemiker zum Umdenken zwang. Sowohl bei Berzelius als auch bei Beudant standen dabei chemische Gesichtspunkte im Vordergrund. Erst nach 1912, und zwar aufgrund der Bestimmung der Kristallstrukturen durch Röntgeninterferenzen, gelang es, die Kristallform, jetzt im Konzept der Elementarzelle, und die chemische Zusammensetzung wieder zur Definition der mineralogischen Spezies zusammenzuführen³⁰. Nach Hugo Strunz 1978 umfaßt eine Mineralart «alle Mineralindividuen, deren chemische Zusammensetzung und Struktur gleich ist oder innerhalb enger Grenzen von Individuum zu Individuum variieren».³¹

Anmerkungen

¹ Vertreter der naturhistorischen Methode waren – neben anderen – C. v. Linné, R. Jameson und J. Hill; zu den Anhängern der chemischen Methode sind A. F. Cronstedt, T. Bergman und R. Kirwan zu rechnen, während einige Mineralogen wie C. E. Pabst v. Ohain und A. G. Werner eine «methodus mixta» vertraten.

Haüy selbst stützte sich u. a. auf Vorarbeiten T. Bergmans und J. B. L. Romé de l'Isle: Bergman, T.: *Variae crystallorum formae a spatho orthae*. Nova Acta Reg. Soc. Sci. Upsa. 1 (1773), S. 150–155, dazu Haüy, R. J.: *Extrait d'un mémoire sur la structure des spaths calcaires*. J. de Physique 20 (1782), S. 33–39; Romé de l'Isle, J. B. L.: *Cristallographie etc.*, 4 Bde., Paris 1783 (als 2. Aufl. des *Essai de cristallographie* von 1772), dazu

Haüy, R. J.: *Description de la Cymophane, avec quelques réflexions sur les couleurs des gemmes*. J. des Mines 4 (1796), S. 5–16, darin ein Abschnitt: «Service rendue à la science par M. Deslisle» (S. 10–11).

² Dabei gibt es nach Haüy nur drei Typen von *molécules intégrantes*, nämlich das regelmäßige Tetraeder, das trigonale Prisma und das Parallelepiped; doch variieren die *molécules* substanzspezifisch in den Größen der Kantenlängen (den Achsenverhältnissen) und den Winkeln, und zwar so, daß im Normalfall die jeweiligen Winkel nur für eine diskrete Verbindung gelten.

³ Die erste grundlegende Veröffentlichung dazu erschien 1784: Haüy, R. J.: *Essai d'une Théorie sur la Structure des Crystaux appliquée à plusieurs Genres de Substances cristallisées*. Paris 1784, s. a.

- Burke, J.G.: *Origins of the Science of Crystals*. Berkeley, Los Angeles 1966; hier S. 78–106.
- ⁴ Zur eindeutigen Verknüpfung von Form und Inhalt der Minerale bei Haüy s. Hooykaas, R.: The species concept in the 18th century. *Archives Int. d'Histoire des Sciences* 5 (1952), S. 45–55,
derselbe: The concept of «individual» and «species» in chemistry. *Centaureus* 5 (1956/58), S. 307–322.
- ⁵ Vgl. Schütt, H.-W.: Calciumcarbonatkristalle als Streitobjekte in Chemie und Mineralogie. *Rete* 2 (1974), S. 253–268.
- ⁶ Zum Problem der Alaune vgl. Schütt, H.-W.: Wollaston, Fuchs, Gay-Lussac und Klaproth als Vorgänger Mitscherlichs. *Dt. Museum, Abh. u. Ber.* 41, H. 3 (1973), S. 5–28; hier S. 14–18.
- ⁷ Beudant, F.S.: *Recherches tendantes à déterminer l'importance des formes cristallines et de la composition chimique dans la détermination des espèces minérales*. *Ann. des Mines* 2 (Sér. 2) (1817), S. 1–29, vgl.
Schütt, H.-W.: Das Problem der Mischkristallisation von Vitriolen vor der Entdeckung des Isomorphismus. *Arch. f. Hist. of Exact Sciences* 12 (1974), S. 188–198.
- ⁸ Kupfersulfat kann polymorph kristallisieren und bildet in einer seiner möglichen Kristallformen lückenlose Mischkristallreihen mit dem korrespondierenden Eisensulfat. – Übrigens redet man heute besser von Isotypie statt von Isomorphie, kommt doch eine ideale Isomorphie in der Natur nicht vor.
- ⁹ Die Hypothese wird in dem Bericht über Beudants Arbeit vorgebracht, den Haüy, Vauquelin und Brochant de Villiers der Académie des Sciences vorgelegt haben und der der Veröffentlichung Beudants auszugsweise angehängt wurde. *Ann. Min.* 2 (1817), S. 29–32.
Zur Auseinandersetzung um das Vorkommen essentieller bzw. akzidentieller Bestandteile in Mineralen s. Melhado, E.M.: Mitscherlich's discovery of isomorphism. *Hist. Stud. in the Physical Sciences* 11 (1980), S. 87–123.
- ¹⁰ Über die Krystallisation der Salze, in denen das Metall der Basis mit zwei Proportionen Sauerstoff verbunden ist. *Abh. Akad. d. Wissenschaften, Berlin* (1818–1819), S. 427–437, vgl.
Schütt, H.-W.: Die Entdeckung des Isomorphismus (im Druck).
- ¹¹ Berzelius, J.J.: *Jahres-Ber. üb. d. Fortschritte d. physischen Wissenschaften* 7 (1828), S. 67–71.
- ¹² Zum Korpuskularkonzept und zur Bindungstheorie von Berzelius s. Melhado, E.M.: *Jacob Berzelius: The Emergence of his Chemical System*. Madison 1982.
- ¹³ Berzelius, J.J.: *Nouveau Système de Minéralogie*. Paris 1819 (Übers. d. schwed. Ausgabe v. 1814).
- ¹⁴ Als Beispiel einer solchen Kritik vgl. Pusch, G.: Kritische Betrachtung über das auf die elektrochemische Theorie und die chemische Proportionslehre gegründete Mineralsystem des Herrn Professor Berzelius. *Taschenb. f. d. ges. Mineralogie* 11 (1817), S. 471–522; 12 (1818), S. 3–66.
- ¹⁵ Haüy erwiderte anonym: *Réflexions sur le mémoire de M. Mitscherlich concernant l'identité de la forme cristalline dans plusieurs substances différentes*. *Ann. de Chimie* 14 (1820), S. 305–308. –
Auch Haüys Schüler Beudant antwortete: *Lettre de M. Beudant à M. Gay-Lussac, sur le Mémoire de M. Mitscherlich*. *Ann. de Chimie* 14 (1820), S. 326–335.

- ¹⁶ Mitscherlich, E.: Sur la relation qui existe entre la forme cristalline et les proportions chimiques. II^{me} mémoire. Ann. de Chimie 19 (1821), S. 350–419; hier S. 407–419.
- ¹⁷ Berzelius, J.J.: Über jene im chemikalischen Mineralsystem nöthigen Veränderungen, welche sich daraus ergeben, daß isomorphe Körper einander in unbestimmten Verhältnissen zu ersetzen vermögen. Arch. f. d. ges. Naturlehre 4 (1825), S. 1–46).
- ¹⁸ Für Haüy hatten die nun selbständigen Arten noch als Varietäten gegolten. Für Berzelius war selbstverständlich: «daß z. B. zwei Granate, die keinen anderen Bestandtheil gemeinsam haben, als die Kieselerde, nicht als eine und dieselbe Species betrachtet werden können (da sie in der That nicht einerlei sind)». Berzelius, a. a. O., S. 5 (Anm. 17).
- ¹⁹ Berzelius, a. a. O., S. 5 f. (Anm. 17).
- ²⁰ Berzelius, a. a. O., S. 6 (Anm. 17).
- ²¹ Für die Granate z. B. konstatierte Berzelius acht «bestimmte ungleiche Species oder Prototypen». A. a. O., S. 6 f. (Anm. 17).
- ²² A. a. O., S. 7 (Anm. 17).
- ²³ Beudant, F.S.: *Traité élémentaire de Minéralogie*. Paris 1824; hier S. 401. –
Zur Weiterentwicklung der Strukturtheorie Haüys in Frankreich vgl. vor allem Mauskopf, S.H.: *Crystals and Compounds. Molecular Structure and Composition in Nineteenth-century French Science*. Philadelphia 1976 (Transact. of the Am. Phil. Soc., N.S. 66, P. 3).
- ²⁴ Beudant, F.S.: Sur la classification des substances minérales. Ann. de Chimie 31 (1826), S. 181–205, 225–243; hier S. 185 f.
- ²⁵ Beudant, a. a. O., S. 186 (Anm. 24).
- ²⁶ Beudant, a. a. O., S. 192 f. (Anm. 24). Erst 1829 untersuchte Beudant die Pyroxene, Granate und Amphibole genauer (Bericht darüber in Ann. des Mines 5).
- ²⁷ Beudant, a. a. O., S. 193 (Anm. 24).
- ²⁸ Wenn Beudant durchgehend nach dem elektronegativen Bestandteil der Verbindung klassifiziert hätte, hätte er – wie Berzelius es tat – alle sauerstoffhaltigen Verbindungen in einer ungewöhnlich umfangreichen Gattung zusammenfassen müssen. Er nahm seine Inkonsequenz aber bewußt in Kauf; s. Beudant, a. a. O., S. 195 f. (Anm. 24).
- ²⁹ Beudant, a. a. O., S. 202, 204 (Anm. 24).
- ³⁰ Friedrich, W., Knipping, P., Laue M.v.: Interferenzerscheinungen bei Röntgenstrahlen. Sitzungsber. d. Kgl. Bayer. Akademie d. Wissenschaften, München (1912), S. 303–322.
- ³¹ Ramdohr, P., Strunz, H.: *Klockmanns Lehrbuch der Mineralogie*. ¹⁶Stuttgart 1978; hier S. 385.

Summary

The discovery of isomorphism by E. Mitscherlich in 1818 led to important changes in the generally accepted theory of crystal structure presupposed by R.J. Haüy. Haüy's taxonomy was based on the assumption that the crystal is made up of polyhedrons, which have different shapes for all different chemical compositions. This means that with Haüy the mineralogical species was well defined both by its crystallographical form and its chemical contents. It was the discovery of isomorphism which falsified this species concept. To avoid falsification of the

species concept J. J. Berzelius in 1824 linked the mineralogical genus to the constitution of the chemical compound forming the crystal and he defined the species as a group of minerals having a stoichiometrically pure content within a certain constitution. Consequently all mixtures and double salts are treated by him as subspecies. In 1826 F.S. Beudant challenged this conception and argued that Berzelius' definition of the species obscured rather than clarified mineralogical taxonomy. Beudant pointed to the fact that according to Berzelius it could well be possible to find only subspecies of certain minerals while the species itself does not exist in nature. He also remarked that within Berzelius' method of taxonomy double salts and chemical mixtures cannot be distinguished. So Beudant followed a more general line by defining the mineralogical species as being made up of an assembly of individuals showing amongst themselves more analogy than to other mineralogical individuals; he used this definition as a starting point for his own system of mineralogical classification outlined in this paper.

Prof. Dr. rer. nat. Hans-Werner Schütt
Technische Universität Berlin
Institut für Philosophie, Wissenschaftstheorie,
Wissenschafts- und Technikgeschichte
Ernst-Reuter-Platz 7
D-1000 Berlin 10