

# Die Entwicklung der Lehre von den Mineral-Pseudomorphosen.

## Der Begriff der Pseudomorphosen.

Als Begründer der Lehre von den Pseudomorphosen kann mit Recht A. G. Werner bezeichnet werden,<sup>1)</sup> da er der Erste war, welcher es klar aussprach, daß ein erheblicher Unterschied bestände zwischen eigentlichen Kristallen, die er wesentliche Kristalle nannte, und solchen Mineralgestalten, die zwar die äußere Form eines Kristalles aufzuweisen haben, deren stofflicher Inhalt jedoch zu dieser Form durchaus in Widerspruch steht, da die ihm eigentümlichen gestaltenden Kräfte erfahrungsgemäß die Bildung ganz anderer Formen bewirken. Daher erscheint ihre Gestalt als etwas Fremdartiges und nur erklärbar als das Ergebnis der Wirkung bildender Kräfte eines anderen Mineralstoffes, der vorher dieselbe Stelle einnahm und seine Form dem Nachfolger als eine Art Erbschaft hinterließ.<sup>2)</sup>

Wenn auch Werner über die Entstehung dieser merkwürdigen Gebilde Ansichten entwickelte, die jetzt keine Geltung mehr haben können, wenn er auch diese Truggestalten noch als eine Art von Kristallen betrachtete und sie unter dem Namen der Afterkristalle neben die sogenannten wesentlichen Kristalle stellte, so vermochte er doch das Wesen derselben schon recht treffend zu kennzeichnen, indem er sagte: „Afterkristalle hingegen sind solche, welche ihre regelmäßige Form nicht den Anziehungsgesetzen der integrierenden Theile, aus denen sie zusammengehäuft sind, sondern dem schon vorhandenen Kristalle eines anderen Fossils, dessen Form sie angenommen haben, verdanken. Die Form der Afterkristalle ist dem Fossile, bei welchem sie vorkommen, ganz fremd und steht mit den übrigen Kristallisationen desselben in keiner Verbindung.“ Die wesentlichen Kristalle aber sind nach ihm durch eine wahre Kristallisation entstanden; die Gestalt, in welcher sie erscheinen, gehört ihnen eigentümlich, ist nicht erborgt.

Viele von den zahlreichen Schülern und Anhängern des berühmten Freiburger Mineralogen nahmen die Anschauungen ihres Meisters an und stellten die Afterkristalle als eine besondere Art von Kristallen an die Seite der wesentlichen Kristalle. So L. A. Emmerling,<sup>3)</sup> Aug. Breithaupt;<sup>4)</sup> auch Estner,<sup>5)</sup> der aus Wernerschen Quellen schöpft, unterscheidet wahre Kristalle und Afterkristalle und erklärt die letzteren als regelmäßig gebildete Körper, denen diese Gestalt nicht eigentümlich ist, deren Modell vielmehr von einem fremden Körper geliefert wurde. Auch der von Werner herrührende Name „Afterkristalle“, der wohl geeignet schien, irrige Vorstellungen zu erwecken und zu erhalten, wurde noch von vielen Mineralogen beibehalten, nachdem sich längst die Überzeugung Bahn gebrochen hatte, daß solche Mineral-

<sup>1)</sup> G. Spiels (Zur Geschichte der Pseudomorphosen des Mineralreichs, Leopoldina, Heft XIV) bemerkt darüber: „Es läßt sich nun schwer entscheiden, ob Romé Delisle oder Werner zuerst diese Erscheinungen erkannt hat; soviel ist jedoch gewiß, daß Werner dadurch, daß er dieselben zusammenfaßte und sie als Afterkristalle den wahren Krystallisationen gegenüberstellte, zunächst bei seinen Schülern ein allgemeineres Interesse für diese Seite der Mineralkörper wachrief, so daß er nicht mit Unrecht der Begründer des Studiums der Pseudomorphosen genannt werden kann.“ — <sup>2)</sup> C. A. S. Hoffmann, Handbuch der Mineralogie. Erster Band, Freiberg 1811, S. 115. — <sup>3)</sup> L. A. Emmerling, Lehrbuch der Mineralogie. I. Thl., Gießen 1793, S. 126. — <sup>4)</sup> Aug. Breithaupt, Über die Aechtheit der Kristalle. Freiberg 1815, S. 9. — <sup>5)</sup> Abbé Estner, Versuch einer Mineralogie. I. Bd., Wien 1794, S. 143.

gestaltungen als bloße Nachbildungen nicht verdienten, mit den Kristallen auf gleicher Stufe zu stehen.

Schon Haüy hatte dieselben passender Pseudomorphosen genannt und folgende Begriffsbestimmung derselben gegeben:<sup>6)</sup> „*Il existe un troisième ordre de concrétions, que nous appellerons pseudomorphoses, c'est-à-dire corps qui ont une figure fautive et trompeuse, parce que les substances qui appartiennent à cet ordre présentent d'une manière très-reconnoissable des formes étrangères qu'elles ont en quelque sorte dérobés à d'autres corps qui les avoient reçues de la nature.*“ Ferner:<sup>7)</sup> „*On trouve quelques substances de ce règne (règne minéral) sous des formes cristallines qui ne sont qu'empruntées, et il est assez probable, qu'au moins dans certains cas, la nouvelle substance s'est substituée graduellement à celle qui lui a cédé la place, comme on pense que cela a lieu pour le bois pétrifié.*“

Der Kreis der Pseudomorphosen war bei ihm aber ein sehr weiter; denn seine Ausführungen ergeben zweifellos, daß ihm als solche nicht bloß Mineralkörper in erborgten Kristallformen galten, daß er vielmehr, wie das nahe liegt, auch die den mannigfaltigen Gestalten des Tier- und Pflanzenreiches entlehnten Formen des Mineralreiches, die große Zahl der Versteinerungen, denselben zugesellte.

Fr. Mohs,<sup>8)</sup> der die Pseudomorphosen als „regelmäßige nachahmende Gestalten gestörter Bildung“ bezeichnete, erkannte zuerst, wie irrig es sei, wenn man diese Körper den Kristallen gleichstelle, und erklärte: „Die Pseudomorphosen haben so wenig mit den Crystallen gemein, daß der gebräuchliche Name After-Crystall unpassend für sie ist.“

Einen nicht geringen Fortschritt in der Bestimmung des Wesens der Pseudomorphosen bedeutet es auch, wenn C. F. Naumann<sup>9)</sup> sie Mineralaggregate nennt, deren äußere Gestalt eine mehr oder weniger ausgeprägte Kristallgestalt ist, wenn er, Mohs sich anschließend, unzweideutig fordert, daß alle Pseudomorphosen, da ihre Kristallgestalt dem Wesen ihres Stoffes nicht entspreche, also keine wesentliche sei, aus der Reihe der Kristalle unbedingt ausgeschieden werden müßten. Sie sind bloße Mineralaggregate, sagt er, die Maske allein, welche sie angenommen haben, sichert ihnen gegenüber der großen Schar der übrigen Aggregate eine Sonderstellung. Wie festgewurzelt aber die hergebrachte ungenaue Vorstellung von der Natur der Pseudomorphosen war, wird wohl am deutlichsten dadurch belegt, daß dreizehn Jahre nach dem Erscheinen des Naumannschen Lehrbuches G. Landgrebe<sup>10)</sup> die Pseudomorphosen noch als Kristalle bezeichnete, allerdings als solche, deren Form dem Stoffe, woraus sie bestehen, nicht angehöre, sondern irgend einem anderen.

Mehr und mehr befestigte sich unterdessen die Überzeugung, daß die Pseudomorphosen vorzugsweise chemischen Vorgängen ihr Dasein verdankten. So erscheinen sie bei R. Blum,<sup>11)</sup> der sich Jahrzehnte lang mit unermüdlichem Fleiße ihrer Erforschung widmete, als solche „regelmäßige Gestalten, welche dem Minerale, das dieselben besitzt, seinem chemischen Bestande nach nicht zukommen“. Blums großer Zeitgenosse, G. Bischof,<sup>12)</sup> schließt sich diesem an, wenn er unter Pseudomorphosen diejenigen Fossilien versteht, „welche nicht in der ihrer chemischen Zusammensetzung entsprechenden Krystallform, sondern in einer fremden, in der eines anderen Fossils, auftreten“.

Als wesentlich für die Pseudomorphosen erscheint nach den angeführten Begriffsbestimmungen immer der Besitz einer fremden Gestalt, in der Regel einer Kristallgestalt, nur ausnahmsweise, wie bei Haüy und Delesse,<sup>13)</sup> auch der Gestalt eines organischen Wesens (Naumanns Zoomorphosen und Phytomorphosen). Die Frage, auf welche Weise das fragliche Mineral die ihm ursprünglich nicht zukommende Gestalt erlangt habe, bleibt dabei zunächst offen.

Ganz abweichend davon sind die Vorstellungen, welche G. G. Winkler sich über das Wesen der Pseudomorphosen macht, indem er die Formerhaltung als einen unwesentlichen Umstand betrachtet, weil dieselbe keinen Aufschluß gebe über die Art des Bildungs-

<sup>6)</sup> R. J. Haüy, *Traité de minéralogie*. Tome premier. Paris 1801, S. 140. — <sup>7)</sup> Ebenda, S. 143. — <sup>8)</sup> Fr. Mohs, *Grundriß der Mineralogie*. Erster Theil. Dresden 1822, S. 316. — <sup>9)</sup> C. F. Naumann, *Lehrbuch der Mineralogie*. Berlin 1828, S. 208. — <sup>10)</sup> G. Landgrebe, *Ueber die Pseudomorphosen im Mineralreiche und verwandte Erscheinungen*. Cassel 1841, S. 1. — <sup>11)</sup> R. Blum, *Die Pseudomorphosen des Mineralreichs*. Stuttgart 1843, S. 5. — <sup>12)</sup> G. Bischof, *Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie*. II. Bd., 1. Abthlg., Bonn 1851, S. 186. — <sup>13)</sup> Delesse, *Recherches sur les pseudomorphoses*. Annales des mines. Cinquième série. Tome XVI, 1859, S. 335: „Lorsqu'un minéral se présente sous une forme qui ne lui appartient pas, il y a ce que j'appellerai pseudomorphisme.“ „La substance à laquelle le minéral emprunte sa forme peut être quelconque, non organisée ou bien organisée.“ NB. Ein vom Verfasser besorgter Auszug aus dieser Abhandlung findet sich in *Comptes rendus*, Tome L, S. 944 ff.

prozesses einer Pseudomorphose.<sup>14)</sup> Allerdings beweise die Pseudoform, daß ein Mineral an die Stelle eines anderen getreten sei und dessen Gestalt gewissermaßen als eine Maske angenommen habe;<sup>15)</sup> die Umstände bei seiner Bildung hätten indes ebensogut irgend eine andere äußere Form bedingen können, wie gerade die falsche Kristallform. Für Winkler sind daher die Pseudomorphosen ganz allgemein Neubildungen im Mineralreiche, welche durch die Wirksamkeit der Affinität aus schon vorhandenem Materiale hervorgehen. Dieses letztere stammt aber bald teilweise von demjenigen Minerale, welches zufällig auch die Kristallgestalt lieferte, bald entstammt es durchaus anderen Mineralien.<sup>16)</sup> Aus diesem Grunde sieht Winkler die Bedeutung der pseudomorphen Mineralien nicht in deren Form, sondern in deren Substanzen. Die etwa angenommene Kristallform, deren Erhaltung nicht der Art des chemischen Prozesses, sondern namentlich einem sehr langsamen Verlaufe desselben zu danken ist, giebt nur das Merkmal dafür, daß ein chemischer Prozeß sich abgespielt hat.<sup>17)</sup>

Völlig in Einklang mit Winkler befindet sich besonders F. v. Richthofen,<sup>18)</sup> der ebenfalls den Begriff der Pseudomorphosen nicht beschränkt wissen will auf diejenigen mineralischen Verbindungen, welche in einer Kristallform auftreten, die ursprünglich einem anderen Minerale angehörte. Er dehnt ihn vielmehr aus auf „jede in der Natur vorkommende chemische Verbindung, welche sich successive an der Stelle und auf Kosten einer früher dagewesenen gebildet hat.“ Dieselben chemischen Vorgänge, welche z. B. die Zerstörung eines kristallisierten Kalkspates und die Erfüllung seiner Form mit Quarz herbeiführten, bewirkten auch die Verwandlung einer von Basalt umschlossenen Kalkspatkugel in eine Quarzkugel, und auf demselben Wege konnte sich ein ganzer Kalkspatgang in einen Quarzgang verwandeln. Obgleich die Auffassung Winklers teilweise auch die Zustimmung Bischofs<sup>19)</sup> gewann, so ist sie doch nicht zu allgemeiner Geltung gelangt. Und mit Recht; denn hat ein kristallisiertes Mineral chemische Veränderungen erlitten, ohne daß seine Form erhalten blieb, oder ist denselben Veränderungen ein irgendwie gestaltetes Aggregat des nämlichen Minerals unterlegen, so ist es meist schwierig, einen sicheren Beweis dafür zu erbringen, daß eine solche Umbildung erfolgte und welches Mineral ihr verfiel. Eine von dem ursprünglichen Mineralkörper an den neugebildeten überlieferte Kristallform dagegen gestattet mehr oder minder leicht einen Rückschluß auf diesen selbst. So trägt ein in der Kristallgestalt eines Kalkspates auftretender Quarz eben mit dieser Gestalt ein offenkundiges Zeugnis dafür an sich, daß vor ihm ein Kristall von Calciumkarbonat vorhanden war, der zerstört wurde, während Kieselsäure-Anhydrid an seiner Stelle zur Ausscheidung kam. „Ohne Form keine Pseudomorphose“ betonte daher auch Blum<sup>20)</sup> gegenüber jenem Versuche Winklers, die Formerhaltung als etwas für die Bildung der Pseudomorphosen ganz Unwesentliches hinzustellen.

Nicht immer ist es aber möglich, aus einer vererbten Kristallform allein einen zwingenden Schluß auf das Urmineral selbst zu machen, und oft gelingt dann eine Deutung mit Hilfe anderer Eigentümlichkeiten, die sich ebenfalls unverändert erhielten, wie namentlich die Spaltbarkeit, aus der sich sogar auch beim Fehlen jeder Kristallform in manchen Fällen die Abstammung einer Neubildung ersehen läßt. Auf diese Weise ist es möglich gewesen, z. B. blättrige Massen von Aragonit, welche noch die Spaltflächen von Gips erkennen ließen, als Pseudomorphosen von Aragonit nach Gips zu bezeichnen. Nicht minder können Oberflächengestaltung und inneres Gefüge kristallinische Aggregate gewisser Mineralien derart kenntlich machen, daß eine ganze oder teilweise Erhaltung dieser Merkmale bei stofflicher Umwandlung solcher Massen hinreichen kann, den Ursprung des aus der Umwandlung hervorgegangenen Minerals zu verraten. Hierher gehört die Umwandlung von traubig oder nierförmig gestaltetem braunem Glaskopf in den roten Glaskopf mit derselben Oberflächenbildung und dem gleichen radialfaserigen und konzentrischschaligen Gefüge. Bereits W. Haidinger<sup>21)</sup> beschrieb dieselbe und nahm nicht Anstoß, sie als eine Pseudomorphose von rotem Glaskopf nach braunem aufzuführen.

<sup>14)</sup> G. G. Winkler, Die Pseudomorphosen des Mineralreiches. Gekrönte Preisschrift. München 1855, S. 52. — <sup>15)</sup> Ebenda, S. 3. — <sup>16)</sup> Ebenda, S. 11 und S. 29. — <sup>17)</sup> Ebenda, S. 31, Anm. und S. 52. — <sup>18)</sup> F. v. Richthofen, Über die Bildung und Umbildung einiger Mineralien in Süd-Tirol. Sitzungsber. der kaiserl. Akademie der Wissensch. Mathematisch-naturwissenschaftl. Classe. 27. Bd., Wien 1858, S. 296. — <sup>19)</sup> G. Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 2. Aufl., I. Bd., Bonn 1863, S. 155. Dasselbst S. 143 definiert aber Bischof: „Pseudomorphosen nennen wir solche Mineralien, welche Krystallformen besitzen, die ihnen ursprünglich nicht angehörten und die sie auf einem anderen Wege, als dem der Krystallisation erhalten haben.“ — <sup>20)</sup> R. Blum, Dritter Nachtrag zu den Pseudomorphosen des Mineralreiches. Erlangen 1863, S. 3. — <sup>21)</sup> Poggendorffs Annalen. Bd. LXVIII, 1846, S. 478.

Mit Rücksicht auf Vorkommnisse dieser Art erachtete in neuerer Zeit G. Tschermak<sup>22)</sup> eine Erweiterung des Begriffes der Pseudomorphosen für unerlässlich. Danach hätten als Pseudomorphosen kristallinische oder amorphe Minerale zu gelten, wenn sie „entweder die Form oder die Textur eines von ihnen verschiedenen Mineralen oder auch beides an sich tragen“. Einen Widerspruch gegen eine derartige weitere Fassung scheint nur F. Zirkel<sup>23)</sup> erhoben zu haben, der an dem Dasein einer äußeren Kristallform bei dem Begriff der Pseudomorphosen festhalten wissen will.

### Die Entstehung der Pseudomorphosen.

Zu der Zeit, als die Pseudomorphosen die Aufmerksamkeit der Mineralogen zu erregen begannen, bildeten sie eine nur kleine Schar von merkwürdigen Gestaltungen, noch zu wenig ihrem wahren Wesen nach gekannt, als daß sie schon diejenige Stellung unter den Körpern des Mineralreiches hätten einnehmen können, welche ihnen heutigestags, zufolge ihrer allgemein anerkannten weitgehenden Bedeutung, niemand versagt. Werner<sup>24)</sup> beobachtete am häufigsten Quarz, Hornstein und Feuerstein als Afterkristalle, während er bei anderen Mineralien erborgte Formen seltener vorfand. Zunächst galt es, in den Tiefen der Erde und in den Sammlungen weiter nach solchen Körpern zu forschen, die Art ihres Vorkommens genau zu beobachten und festzustellen, welche Mineralien fremde Gestalten annehmen und von welchen anderen Mineralien sie diese entlehnen. Auf solche eigentlich mehr vorbereitende Arbeit gegründet und Hand in Hand mit ihr fortschreitend, konnte mit größerer Aussicht auf Erfolg die Lösung der Hauptaufgabe unternommen werden, die Beantwortung der Frage: Wie bringt die Natur pseudomorphe Bildungen hervor, auf welchem Wege kommt ein Mineral dazu, die äußere Gestalt eines anderen anzunehmen?

Begreiflicherweise konnten die ersten Versuche zur Beantwortung dieser Frage nur weit zurückstehen hinter den späteren; wohl namentlich aus zwei Gründen, deren einer in der noch spärlicheren Menge des unbedingt erforderlichen Beobachtungsmaterials lag. Erhält doch dessen Herbeischaffung und sorgfältige Sichtung, wie ein Blick in die Jahrbücher der Mineralogie lehrt, heute noch zahlreiche Kräfte in dankenswerter Thätigkeit. Der zweite und wichtigste Grund aber war der Umstand, daß die Mineralogen sich wesentlich damit begnügten, die Mineralien mit Rücksicht auf ihre physikalischen Merkmale zu betrachten und zu unterscheiden, während die chemischen Merkmale bei ihnen kaum Beachtung fanden, zum Teil auch gar nicht finden konnten, da die chemische Zusammensetzung vieler Mineralkörper noch völlig unbekannt war. Die chemische Wissenschaft hatte unter Führung geistvoller Männer selbst eben erst neue, fruchtbringende Bahnen beschritten und konnte daher noch nicht die geachtete und mächtige Helferin der Mineralogie sein, zu welcher sie erst allmählich heranwachsen sollte.

Dem damaligen Stande seiner Wissenschaft entsprechend, hatte für Werner auch die falsche Gestalt eines Minerals nur den Wert eines äußeren Merkmals, ebensogut wie die wahre Kristallform; ihm mußte es hauptsächlich darauf ankommen, beide Merkmale sicher voneinander unterscheiden zu lernen. Was aber die Entstehung der Pseudoform anlangt, so suchte er dieselbe durch rein mechanische Vorgänge zu erklären. Ein Mineral, sagte er, kann dadurch eine fremde Gestalt annehmen, daß es einen Kristall eines anderen, welcher als Modell dient, einfach krustenförmig überzieht und umhüllt. Der eingeschlossene Kern bleibt manchmal erhalten, wittert aber meist aus, so daß dann der Afterkristall hohl erscheint, und zwar mit rauher und drusiger Außenfläche und glatter Innenfläche. In anderen Fällen bildete sich nach Werners Meinung zunächst eine Hohlform, indem ein Kristall, der auf irgend eine nicht näher erörterte Weise verschwand, einen Abdruck seiner Gestalt in der ihn umschließenden Masse hinterließ. Füllte nun ein anderes Mineral diese Hohlform ganz oder teilweise aus, so entstand ein Afterkristall, inwendig drusig, mit glatterer Oberfläche und schärferen Ecken und Kanten, als ein auf die erste Art gebildeter.<sup>25)</sup>

<sup>22)</sup> G. Tschermak, Lehrbuch der Mineralogie. Wien 1883, S. 123. — <sup>23)</sup> C. F. Naumann, Elemente der Mineralogie. 12. Aufl., bearbeitet von F. Zirkel. Leipzig 1885, S. 129, Anmerkung. — <sup>24)</sup> C. A. S. Hoffmann, a. a. O. S. 117. — <sup>25)</sup> C. A. S. Hoffmann, a. a. O. S. 116. Vergl. auch L. A. Emmerling, Lehrbuch der Mineralogie, I. Thl. Gießen 1793, S. 126 und 127.

Dafs übrigens auch Ansichten über die Afterkristalle ausgesprochen wurden, welche heute geradezu abenteuerlich erscheinen, zeigt sich bei Estner.<sup>26)</sup> Alle regelmäfsig gebildeten Körper, beginnt dieser, sind aus einer flüssigen Masse hervorgegangen. Beim Erhärten der letzteren wurde zuerst die Rinde eines Kristalls erzeugt, von welcher aus dann die Erstarrung nach dem Innern zu vorschritt. Bevor die Erstarrung beendet war, konnte eine fremde flüssige Substanz in den noch übrigen flüssigen Körper eindringen, diesen verdrängen und so zu der ihm eigentlich nicht gehörigen Gestalt kommen. Es konnte auch eintreten, meint er, dafs nach Bildung der ersten Kristallrinde nicht mehr hinreichend Stoff im Innern war, um den Kristall fertig zu bilden, und dafs die fremde flüssige Masse den infolgedessen leer gebliebenen Raum ausfüllte.

Wahrscheinlich mit Werner gleichzeitig ist Romé Delisle auf die Erscheinung der Pseudomorphosen aufmerksam geworden.<sup>27)</sup> Er beschreibt z. B.<sup>28)</sup> die Überkrustung von Bleiglanzwürfeln, Pyritwürfeln und anderen Kristallen durch Quarz, welche zur Folge hätte, dafs der Quarz in anderen, als den gewohnten Gestalten erscheine und dann die Mineralogen irre führe. Er beobachtet ferner sogar bereits,<sup>29)</sup> wie sich Mineralien, namentlich metallische, ohne Verlust ihrer äufseren Form stofflich verändern. Die Vorgänge seien dabei ganz ähnlich denjenigen, welche die Versteinerung und Verkiesung tierischer Körper bewirkten, wobei auch nur die Form erhalten bliebe, während ihre stoffliche Mischung sich gänzlich verändere. Und mit welchem Scharfblick Delisle diese Erscheinungen auffafste und wie richtig er die Bedeutung derselben erkannte, beweisen am besten folgende Worte:<sup>30)</sup> „*Ceci doit faire sentir combien la connoissance des formes propres à différens mixtes peut jeter de jour sur la nature de ces mixtes, puisque les formes nous indiquent souvent l'origine de certaines substances qui de tout ce qu'elles possédoient dans un état antérieur n'ont conservé que ce seul caractère.*“

Vorzugsweise beschäftigen ihn die so häufigen und leicht wahrnehmbaren Umwandlungen der Schwefelkiese, die er auch chemisch zu erklären versucht. In den Fällen, in welchen die Form nicht mit verfiel, begannen die Veränderungen an der Oberfläche und schritten unmerklich nach der Mitte vor; dabei verschwände der Schwefel, der neue Körper sei wasserhaltig und enthalte den gröfsten Teil des Eisens als Ocker.

An anderer Stelle erwähnt Delisle<sup>31)</sup> auch die bekannten Pseudomorphosen von Bleiglanz nach Pyromorphit von Zschopau etc., zunächst freilich nur als eine besondere Art des Bleierz, „*mine de plomb noire cristallisée*“; er fügt jedoch hinzu, dieselbe scheine eine Verwitterung des grünen oder weifsen säulenförmigen Bleierz zu sein, und spricht später endlich die Vermutung aus,<sup>32)</sup> es wäre letzteres Erz durch Schwefelwasserstoffgas in Bleiglanz umgewandelt worden.

Auch Haüy<sup>33)</sup> hält dafür, dafs nicht bei allen Pseudomorphosen an eine blofse mechanische Abformung gedacht werden könne; es sei schwer einzusehen, wie bei der Bildung der Pseudomorphosen des Quarzes nach Gips von Passy bei Paris die Masse, welche die ursprünglichen Kristalle umgab, so scharfe Abdrücke derselben hätte bewahren können. Leichter verständlich wäre hier nach seiner Meinung eine Ersetzung der Gips-  
teilchen durch Quarzteilehen, welche in demselben Mafse allmählich fortschritte, als die Gipskristalle zerstört würden.

Aber erst Aug. Breithaupt<sup>34)</sup> sprach nach sorgfältigen Untersuchungen mit Bestimmtheit aus, nur ein Teil der Pseudomorphosen verdanke sein Dasein den von Werner bezeichneten Vorgängen der Überkrustung und Ausfüllung; ein anderer Teil derselben müsse als das Ergebnis einer stofflichen Veränderung betrachtet werden, welche vielleicht durch mächtige chemische Einwirkung hervorgerufen werde, wenn das auch nach dem Stande der Chemie oft unerklärlich erscheine. Bildungen der letzteren Art, welche er noch zu den seltenen Erscheinungen zählt, unterscheidet er als „verwandelte oder metamorphische Kristalle“ von den ersteren, den weniger seltenen Afterkristallen.

<sup>26)</sup> Abbé Estner, a. a. O. S. 144. — <sup>27)</sup> G. Spiels, Zur Geschichte der Pseudomorphosen des Mineralreichs. Separat-Abdruck aus Leopoldina, Heft XIV, S. 2. — <sup>28)</sup> Romé Delisle, Cristallographie. 2. Ed., T. I, Paris 1783, S. 97. Vergl. auch F. v. Kobell, Geschichte der Mineralogie, München 1864, S. 110. — <sup>29)</sup> Romé Delisle, Observations de alterationibus, quae naturaliter contingunt in variis mineris metallicis et imprimis in pyritibus martialibus. Acta Academiae Electoralis Moguntinae Scientiarum, quae Erfurti est. Ad. Ann. MDCCLXXVI. — <sup>30)</sup> Dasselbst S. 109. — <sup>31)</sup> Romé Delisle, Versuch einer Crystallographie. Aus dem Französischen übersetzt mit Anmerkungen und Zusätzen von Christian Ehrenfried Weigel. Greifswald 1777, S. 351. — <sup>32)</sup> Cristallographie, T. III, S. 400. — <sup>33)</sup> Haüy, Traité de minéralogie, T. II, Paris 1801, S. 437 und 438. — <sup>34)</sup> Aug. Breithaupt, Ueber die Aechtheit der Kristalle. Freiberg 1815.

Seine Untersuchungen knüpfen an die Pseudomorphosen des Brauneisensteins nach Schwefelkies in Würfelform an. Drei Gründe sprechen, wie er auseinandersetzt, für eine Herleitung der Brauneisensteinwürfel von Schwefelkies; an erster Stelle „die ganz gleiche Kristallisation mit derselben Art der gestreiften Flächen und der Zusammenhäufungen“. Dann die häufig im Innern gefundenen Kerne von Schwefelkies, welche oft so vorwiegen, daß nur eine oberflächliche Umänderung in dichten Brauneisenstein zu bemerken ist; endlich auch das gleiche geognostische Verhalten. Wie jedoch eine Metamorphose von Schwefelkies in dichten Brauneisenstein unbeschadet der Form erfolge, wagt Breithaupt nicht zu entscheiden, da es hierzu noch an gewissen genauen und wiederholten Beobachtungen fehle. Beide Mineralien seien indes wegen der ihnen gemeinsamen Bestandteile nicht so sehr verschieden, daß die Möglichkeit einer Metamorphose angezweifelt werden müsse.

Zur Zeit höchst schwierig, meint Breithaupt, sei eine Erklärung der Quarz- und Kalkspatformen des Wunsiedeler Specksteins durch metamorphische Prozesse, an die er selbst lange nicht hätte glauben können. Andererseits wären diese Formen so scharfkantig und glattflächig, weder außen drusig, noch innen hohl, daß auch an eine Entstehung durch Überkrustung nicht zu denken sei. Nicht minder sei eine Ausfüllung von Eindrücken ausgeschlossen, weil derselbe Speckstein, der die Kristallformen zeige, genau übereinstimme mit derjenigen Masse, in welcher diese lägen. Demnach bleibe hier und in manchen anderen Fällen doch nur die Annahme einer Metamorphose übrig.

Gerade in dem Hinweise auf die unbedingte Notwendigkeit der Annahme eines neuen Bildungsweges für die Pseudomorphosen besteht ein Hauptverdienst Breithaupts; doch sollte die Anregung zu weiterem Forschen, welche er durch Andeutung der noch einer Lösung bedürftigen Rätsel gab, nicht so bald zu wesentlichen Fortschritten führen.

Im Jahre 1816 nun erschien eine Schrift von J. L. C. Gravenhorst,<sup>35)</sup> in welcher mit großer Schärfe der Weg vorgezeichnet wird, den die Forschung einzuschlagen habe, um zu einem Verständnis der Umwandlungsprozesse im Mineralreiche zu gelangen. Leider blieb dieselbe ganz unberücksichtigt, woraus sich nach Spiels auch erklärt, daß fast alle Mineralogen der beiden folgenden Decennien die Breithauptsche Einteilung mit geringen Änderungen beibehielten.

Gravenhorst sieht die Ursache aller Umwandlungen der anorganischen Naturkörper in Veränderungen ihrer Bestandteile und Elemente, welche durch die mannigfaltig wirkenden Kräfte bald voneinander getrennt, bald wieder miteinander vereinigt werden. Abgesehen von der gänzlichen Zersetzung, bei welcher von einem Körper nichts zurückbleibt, indem seine Teile sich voneinander scheiden, um neue Verbindungen einzugehen, besteht die Umwandlung eines anorganischen Naturkörpers darin, daß „derselbe entweder gewisser wesentlicher Bestandteile beraubt oder von anderen so durchdrungen wird, daß sie in dessen Wesen mit eingehen und der Körper selbst nicht nur seine Selbständigkeit, sondern auch seine ursprüngliche Form behauptet“. Der allmähliche Übergang eines Minerals in ein anderes durch Umwandlung läßt sich am sichersten verfolgen durch eine Reihe von Analysen der verschiedenen Umwandlungsstadien, welche dasselbe durchläuft.

Wohl am wenigsten von Breithaupt weicht J. F. L. Hausmann<sup>36)</sup> in seinen Ansichten über die Pseudomorphosen ab. Er unterscheidet ebenfalls drei Arten von Afterkristallen, von denen die dritte sich mit Breithaupts metamorphischen Kristallen deckt, da sie diejenigen Afterkristalle umfaßt, welche durch Umwandlung entstanden sind, indem ein Kristall durch chemische Zersetzung sich veränderte, ohne seine Form dabei einzubüßen.<sup>37)</sup> Solche Afterkristalle sollen am vollkommensten die Gestalten der ächten nachahmen, jedoch meist eine nicht so glatte und glänzende Oberfläche besitzen wie diese, zuweilen auch innerlich porös sein. Für die beiden anderen Arten nimmt auch Hausmann eine Bildung durch Überzug und durch Ausfüllung an. Wird der durch einen Überzug umhüllte Kristall zerstört, so kann, meint er, der dadurch leer gewordene Raum nachträglich wieder von einer anderen Mineralsubstanz ganz oder teilweise eingenommen werden.

Was endlich die Ausfüllung von Eindrücken anlangt, die nach Zerstörung eingewachsener Kristalle zurückbleiben, so hebt Hausmann hervor, daß daran nur gedacht

<sup>35)</sup> J. L. C. Gravenhorst, Die anorganischen Naturkörper nach ihren Verwandtschaften und Übergängen betrachtet und zusammengestellt. Breslau 1816. Da mir diese Schrift nicht zugänglich war, konnte ich im folgenden nur das Wesentlichste von dem anführen, was Spiels in seiner schon genannten Abhandlung auf Seite 3 und 4 über dieselbe berichtet. — <sup>36)</sup> J. F. L. Hausmann, Untersuchungen über die Formen der leblosen Natur. Göttingen 1821. — <sup>37)</sup> a. a. O. S. 667.

werden könne, wenn die den ursprünglichen Kristall umschließende Masse verschieden sei von der des Kristalls selbst, damit sie nicht gleichzeitig mit demselben zerstört würde.

Für manche anderen Afterkristalle jedoch scheint ihm keine dieser Erklärungsweisen ausreichend,<sup>38)</sup> wie z. B. für die Afterkristalle des Specksteins von Wunsiedel in der Form des Bergkristalls und nach rhomboedrischem Kalkspat, die auch nicht durch eine Umwandlung entstanden sein könnten, da es doch unbegreiflich wäre, wie zwei so verschiedenartige Mineralkörper, Bergkristall und Kalkspat, in dieselbe Specksteinmasse sich verändern könnten.

Ebensowenig ein Fortschritt wie bei Hausmann, wenn schon etwas mehr Selbständigkeit in der Auffassung ist bei Fr. Mohs<sup>39)</sup> zu bemerken, einem der bedeutendsten Schüler Werners, zugleich dessen Nachfolger und Breithaupts Vorgänger in der Freiburger Professur. Er unterscheidet sich zunächst darin erheblich von seinen Zeitgenossen, daß er eine Entstehung der Pseudomorphosen nur durch Ausfüllung für möglich hält und bloße Überzüge gar nicht als Pseudomorphosen gelten lassen will. Am allerwenigsten ist er aber mit der Annahme von Umwandlungs-Pseudomorphosen einverstanden; in den Brauneisenerzwürfeln erblickt er nicht Pseudogestalten des Brauneisenerzes, welche dem Schwefelkies nachgeformt sind, sondern bloß Zersetzungsprodukte des Schwefelkies, die als solche nur fälschlich in der Regel dem Brauneisenerz zugerechnet werden, in Wirklichkeit aber doch dem Schwefelkies zugehören.<sup>40)</sup> Nicht minder abweichend faßt Mohs die Ausfüllung auf. Er meint, für eine solche können nicht eingewachsene Kristalle die Hohlform liefern, sondern nur aufgewachsene, und zwar dadurch, daß ein Überzug zunächst sie umhüllt. Dieser unerläßlichen Überkrustung muß selbstverständlich die Auflösung des Kristallkernes folgen, dann erst die Ausfüllung des entstandenen Abdruckes. Verschwindet endlich die abformende Rinde wieder, so erscheint die Pseudomorphose wie ein aufgewachsener Kristall.

Mit Mohs stimmt C. F. Naumann<sup>41)</sup> in der Beurteilung der Ausfüllungs-Pseudomorphosen überein, während er die Überzugs-Pseudomorphosen oder Inkrustate anerkennt und auch an der dritten Art festhält, welche Breithaupt als metamorphische Kristalle bezeichnet hatte. Da bei den letzteren indes ja die Kristalle nur ihrer Substanz nach eine gänzliche Umwandlung erlitten haben, ohne daß sich die äußere Form veränderte, also nur eine „*mutatio naturae*“, aber nicht „*figuræ*“ stattfand, meinte er, sie richtiger metasomatische Pseudomorphosen nennen zu müssen.

Die von Breithaupt ausgegangene Anregung hatte also immer noch nicht zu einem fruchtbaren Studium der Pseudomorphosen geführt. Erst W. Haidinger<sup>42)</sup> war bestrebt, auf dem von diesem angedeuteten Wege weiter vorzugehen und mehr Klarheit zu schaffen, indem er auf die Umwandlungserscheinungen der Mineralien die Erfahrungen der Chemie anwandte. Jeden anderen Bildungsweg für die Pseudomorphosen, als den durch chemische Umwandlung, schloß er überhaupt aus. Es sei eben nur eine Annahme, wenn man sage, Pseudomorphosen hätten sich durch Ausfüllung von Höhlungen gebildet, die nach Zersetzung eines umhüllten Kristalls übrig blieben; denn noch nie habe ein Mineralog solche Höhlungen wirklich gesehen oder beschrieben. Darum ist er geneigt zu glauben, daß derartige Höhlungen auch niemals vorhanden waren, sondern daß die neuen Substanzen immer gebildet wurden während des Verschwindens der alten.

Haidinger untersuchte namentlich eine Reihe einzelner Fälle von chemischen Veränderungen metallischer Mineralien, machte auch darauf aufmerksam, daß oft mit der chemischen Veränderung zugleich im Innern ein Umkristallisieren stattfindet. Auf Grund einer Vergleichung der chemischen Formeln des Spateisensteins und des Eisenoxydhydrates unternahm er z. B. eine Erklärung der Veränderungen, durch welche der erstere Körper in den letzteren übergeht. Auch die schon erwähnten Pseudomorphosen von Bleiglanz nach Pyromorphit besprach er, von denen schon Delisle vermutet hatte, daß sie das Produkt einer Zersetzung des Pyromorphits durch Schwefelwasserstoffgas seien. Das Experiment ergebe thatsächlich die Möglichkeit dieser Zersetzung; leite man nämlich einen Strom von Schwefelwasserstoffgas über gepulverten Pyromorphit, so werde sowohl das phosphorsaure Bleioxyd, als auch das Chlorblei zersetzt unter Bildung von Schwefelblei.

Die größten Schwierigkeiten dagegen fand Haidinger natürlich in denjenigen Fällen, in welchen die Neubildung von dem ursprünglichen Minerale so sehr verschieden

<sup>38)</sup> a. a. O. S. 668. — <sup>39)</sup> Fr. Mohs, Grundriß der Mineralogie. I. Thl., Dresden 1822, S. 316—320. —

<sup>40)</sup> II. Thl., Dresden 1824, S. 479. — <sup>41)</sup> C. F. Naumann, Lehrbuch der Mineralogie. Berlin 1828, S. 209. —

<sup>42)</sup> W. Haidinger, Über die Veränderungen, welche gewisse Mineralien mit Beibehaltung ihrer äußern Form erleiden. Poggendorffs Annalen, Bd. XI, 1827, S. 173 und 366.

war, daß sich aus der Vergleichung beider keine Andeutung eines Bildungsweges gewinnen liefs.

Als Ursache der chemischen Zersetzungen im Erdinnern, durch welche ein Teil der Pseudomorphosen entstehe, glaubte F. X. M. Zippe<sup>43)</sup> galvanische Ströme annehmen zu müssen. Ein Beispiel soll erläutern, wie er sich den Verlauf denkt. Bleiben in chloritischem Schiefer eingewachsene Schwefelkieswürfel durch das umgebende Gestein vor der Berührung mit Wasser bewahrt, so erleiden sie keine Veränderung. Dagegen wirkt eindringende Feuchtigkeit nach Zippes Ansicht zwischen dem Kies und dem Gestein als feuchter Leiter einer galvanischen Kette, und es beginnt nun eine oberflächliche Zersetzung der Kristalle, welche unmerklich gleichförmig weitergeht bis zur völligen Umänderung des Schwefelkieses in Brauneisenerz. Die dabei entstehende Schwefelsäure soll von dem umgebenden Gestein aufgenommen werden und dieses zerstören.

Trotzdem die Pseudomorphosen jetzt noch zu den seltenen Erscheinungen im Mineralreiche gerechnet wurden, waren inzwischen die über diese Körper an den verschiedensten Stellen niedergelegten Beobachtungen zu einer so beträchtlichen Zahl angewachsen, daß die für weitere Studien notwendige Übersicht bereits anfang schwer zu werden. Deshalb unternahm G. Landgrebe<sup>44)</sup> mit der Sammlung und Gruppierung des weit zerstreuten Materials eine höchst verdienstliche Arbeit; er erscheint durch dieselbe geradezu als der Vorläufer Blums, der ihn allerdings durch sein Werk weit übertreffen und in Schatten stellen sollte.

Landgrebe will einen Überblick über die mannigfaltigen Entstehungsarten der Pseudomorphosen dadurch erreichen, daß er dieselben zurückführt auf zwei wesentlich von einander verschiedene Vorgänge, nämlich auf Abformung und auf Umwandlung. Während die Abformung entweder durch Umhüllung oder durch Ausfüllung möglich ist, lassen sich bei der Umwandlung vier Fälle unterscheiden:

- I. Umwandlung ohne Abgabe oder Aufnahme von Stoffen.
- II. Umwandlung mit Verlust von Bestandteilen.
- III. Umwandlung mit Aufnahme von Bestandteilen.
- IV. Umwandlung mit Umtausch von Stoffen.

Durch Umhüllung sind nach Landgrebe fast nur die Gestalten der Mineralien Kalkspat, Gips und Flußspat abgeformt worden, welche leicht den Angriffen selbst der schwächsten Säuren und der Atmosphärien unterliegen. Ein zweifelloses Beispiel für die Abformung durch Ausfüllung ist ihm gar nicht bekannt.

Unter den Umwandlungen findet er am häufigsten diejenigen, welche in einem Umtausch von Stoffen bestehen; dahin rechnet er die Umwandlungen des Granats in Speckstein, des Feldspats in Zinnstein, in Kaolin, des Kalkspats in Gips und andere. Die Entstehung gerade dieser zahlreichsten Pseudomorphosen aber ist für Landgrebe meist noch ein unlösbares Rätsel.

Umwandlungen mit Aufnahme von Bestandteilen liegen vor, wenn Anhydrit in Gips übergeht, Rotkupfererz in Malachit, Bleiglanz in Bleivitriol u. s. w. Nur sehr selten finden in der Natur Umwandlungen mit Verlust von Bestandteilen statt, und bei den künstlich erzeugten Umwandlungen dieser Art handelt es sich meist um kristallisierte Salze, welche durch Erwärmen einen Teil ihres Kristallwassers verlieren.

Ohne Abgabe oder Aufnahme von Stoffen endlich ist eine Umwandlung nur denkbar bei dimorphen Substanzen, also Stoffen, welche die Fähigkeit besitzen, in zwei wesentlich verschiedenen Gestaltungen aufzutreten, z. B. bei Schwefel, Calciumkarbonat u. a. So verwandeln sich bekanntlich die künstlich aus dem Schmelzflusse erhaltenen monoklinen Säulen des Schwefels nach einiger Zeit ohne Zerfall in ein Haufwerk von rhombischen Oktaedern. Das einzige Beispiel einer entsprechenden Veränderung in der Natur bilden bei Landgrebe die rhombischen Kristalle des Aragonits, welche innerlich aus zahlreichen Kalkspatrhomboedern zusammengesetzt sind. Eine Abgabe von Stoffen kann hier ebensowenig stattgefunden haben wie eine Aufnahme, sondern nur eine andere Gruppierung der schon vorhandenen Stoffteilchen, welche Landgrebe nach dem Vorgange anderer Forscher der Einwirkung erhöhter Temperatur zuschreibt; hatten doch bereits verschiedentlich wiederholte Versuche erwiesen, daß durch Erhitzen künstlich eine Umwandlung von Aragonit in Kalkspat bewerk-

<sup>43)</sup> F. X. M. Zippe, Ueber einige in Böhmen vorkommende Pseudomorphosen. Verhandlungen der Gesellschaft des vaterländischen Museums in Böhmen. Prag 1832, S. 43 ff. — <sup>44)</sup> G. Landgrebe, Ueber die Pseudomorphosen im Mineralreiche und verwandte Erscheinungen. Cassel 1841.

stellt werden könnte. Auch an einem Aragonitkristalle, welcher an dem Abhange des Vesuvs der Wirkung glühender Lava ausgesetzt gewesen war, war eine oberflächliche Umwandlung in Kalkspat wahrgenommen worden.<sup>45)</sup>

Im Jahre 1843 erschien nun Blums unvergängliches Werk,<sup>46)</sup> von keinem Geringeren, denn von Leopold von Buch als ein herrliches, an Thatsachen überreiches Werk begrüßt. Noch besonders wertvoll sollte dasselbe aber dadurch werden, daß Blum bis zum Jahre 1879, dem Fortschreiten der Wissenschaft entsprechend, vier Nachträge<sup>47)</sup> dazu folgen ließ und so eine jedem Forscher auf diesem Gebiete unentbehrliche Fundgrube schuf. Blum wurde bei der Abfassung von dem Gedanken geleitet, es würde nur durch eine streng systematische Zusammenstellung sämtlicher bis dahin beschriebener Pseudomorphosen gelingen, diejenigen Kräfte und Stoffe aufzufinden, denen die Pseudomorphosen ihren Ursprung verdanken. Durch die Betrachtung aller Fälle gewann er die Überzeugung, daß die Pseudomorphosen nach ihrer Entstehung in zwei Gruppen sich scheiden ließen, in die Gruppe der Umwandlungs-Pseudomorphosen und die Gruppe der Verdrängungs-Pseudomorphosen. Zu den ersteren stellte er alle diejenigen, bei welchen sich ein chemischer Zusammenhang zwischen der ursprünglichen Substanz und der neugebildeten erkennen läßt; deren Entstehung sei zweifellos auf chemische Prozesse zurückzuführen. Er bezeichnete dagegen eine Pseudomorphose als Verdrängungs-Pseudomorphose, wenn die beiden Substanzen keinen Bestandteil miteinander gemeinsam haben, höchstens ausnahmsweise einen solchen, von dem man annehmen kann, daß er sowohl mit der neu auftretenden, als auch mit der verschwindenden Substanz während des Bildungsprozesses fest verbunden geblieben ist, wie z. B. bei Pseudomorphosen von Zinkkarbonat nach Calciumkarbonat. Hier blieb für Blum kein anderer Ausweg, als für die Entstehung der Pseudomorphosen mechanische Vorgänge anzunehmen, wie Inkrustationen, Auswaschungen, Infiltrationen oder Vorgänge, welche der Endosmose und Exosmose bei organischen Prozessen entsprechen. Es läßt sich nicht leugnen, daß diese Einteilung, wie Th. Scheerer<sup>48)</sup> bemerkte, eigentlich voraussetzt, „daß man mit der Genesis der Pseudomorphosen bereits bis zu einem gewissen Grade im klaren sei, nämlich so weit, um mit Sicherheit zwischen dem Produkte einer chemischen Umwandlung und einer mehr oder weniger mechanischen Nachbildung entscheiden zu können“. Auch G. Bischof,<sup>49)</sup> der Blums Einteilung als ganz sachgemäß bezeichnet, hält eine Unterscheidung zwischen Umwandlung und Verdrängung in manchen Fällen für sehr schwer. So könne man bei der Pseudomorphose von Kalkspat nach Gipsspat nicht feststellen, ob der Kalk im Kalkspate noch derselbe Kalk sei, welcher auch im Gipsspate enthalten war.<sup>50)</sup> Indessen dürfe dieser Umstand nicht abschrecken, auf der von Blum eingeschlagenen Bahn fortzuschreiten. Blum selbst ist sich übrigens bewußt, daß mit seiner Einteilung durchaus noch nicht eine Erklärung der eigentlichen Bildungsvorgänge erreicht sei, meint aber andererseits, daß auch Laboratoriumsversuche wenig entscheiden würden, weil bei allen Pseudomorphosen die Erhaltung der Kristallgestalt Zeugnis ablege für eine lange Dauer der betreffenden Vorgänge, die vielleicht manche uns jetzt unbegreifliche Wirkungen ganz bekannter Kräfte bedinge. Leider wären die Pseudomorphosen bisher immer zu sehr außer allem Zusammenhang mit ihrer natürlichen Umgebung beurteilt worden, von der man in vielen Fällen gar nicht einmal Kenntnis habe. Gerade von einer sorgfältigen Beobachtung der in Frage kommenden geognostischen Verhältnisse erwartet er mit Recht eine wirksame Förderung, die auch darin bestehe, daß jede Erklärung von vornherein ausgeschlossen erscheine, welche diesen Verhältnissen widerspreche. Aus diesem Grunde bestrebt sich auch Blum in seinem Werke, für die einzelnen Pseudomorphosen genaue Angaben des Fundortes wie der Art und Weise ihres Vorkommens zu liefern. Und Bischof erkennt an, daß es dadurch dem Chemiker sehr erleichtert worden sei, klare Vorstellungen von den pseudomorphischen Prozessen zu gewinnen.

Am wenigsten Schwierigkeiten findet Blum bei den Umwandlungs-Pseudomorphosen, deren Vergleichung mit den ursprünglichen Mineralien ihn zu dem Schlusse bringt, daß sie

<sup>45)</sup> Poggendorffs Annalen. Bd. XXI, 1831, S. 157. — <sup>46)</sup> R. Blum, Die Pseudomorphosen des Mineralreichs. Stuttgart 1843. — <sup>47)</sup> Nachtrag zu den Pseudomorphosen des Mineralreichs. Stuttgart 1847. — Zweiter Nachtrag zu den Pseudomorphosen des Mineralreichs. Heidelberg 1852. — Dritter Nachtrag zu den Pseudomorphosen des Mineralreichs. Erlangen 1863. — Die Pseudomorphosen des Mineralreichs. Vierter Nachtrag. Heidelberg 1879. — <sup>48)</sup> Poggendorffs Annalen. Bd. LXXXIX, 1853, S. 3. — <sup>49)</sup> G. Bischof, a. a. O. 1. Aufl., II. Bd., 1. Abthlg., S. 187. — <sup>50)</sup> Später wurde Bischof durch Blum überzeugt, daß die genaue Beobachtung gewisser Umstände in dem angeführten Falle eine Entscheidung möglich mache. Vergl. R. Blum, Zweiter Nachtrag etc., S. 1 und 2. G. Bischof, a. a. O. 2. Aufl., I. Bd., Bonn 1863, S. 146.

auf drei verschiedene Weisen hervorgerufen werden: 1. durch Verlust von Bestandteilen (gediegen Kupfer nach Rotkupfererz); 2. durch Aufnahme von Bestandteilen (Brauneisenstein nach Eisenglanz); am häufigsten 3. durch Austausch von Bestandteilen (Kalkspat nach Gipsspat).<sup>51)</sup>

Die Übereinstimmung dieser Einteilung mit derjenigen von Landgrebe ist allerdings so groß, daß man mit G. G. Winkler<sup>52)</sup> wohl Landgrebe als den eigentlichen Schöpfer derselben ansehen muß.

Als Ursache der Umwandlungen bei den metallischen Mineralien erkennt Blum meist den Sauerstoff, außerdem auch sehr oft Wasser und Kohlensäure; hauptsächlich ist es dabei der Schwefel, welcher dem Sauerstoff weichen muß.

Die erdigen Umwandlungs-Pseudomorphosen, welche naturgemäß weniger auf Gängen, sondern vorzugsweise im Gestein auftreten, bieten dagegen gar manches Unerklärliche, da hier die Veränderungen in der Regel weit verwickelter sind, als bei den metallischen. Eine große Rolle spielt nach Blums Meinung sicher auch bei ihnen das Wasser, dessen außerordentliche Thätigkeit bei der Verwitterung der Gesteine ja allgemein bekannt sei. Die Mitwirkung der Atmosphärien bei der Bildung der erdigen Umwandlungs-Pseudomorphosen sei überhaupt vielleicht bedeutender, als man gewöhnlich glaube; um ihren Einfluß recht zu würdigen, müsse man nur die lange Dauer der Vorgänge mehr beachten. Unleugbar kämen auch Wärmewirkungen aus dem Erdinnern und Wirkungen der Kontaktelektricität in Betracht.

Die Verdrängungs-Pseudomorphosen unterscheidet Blum nach ihrer Entstehung als Umhüllungs-Pseudomorphosen und Ersetzungs-Pseudomorphosen; eine Entstehung durch Ausfüllung hält er für ganz unwahrscheinlich, da sie höchst komplizierte Vorgänge erfordere, und kein Beispiel in der Natur dieselbe zweifellos erweise.<sup>53)</sup>

Während bei den Umhüllungs-Pseudomorphosen die schon mehrfach erwähnte Überkrustung und darauf folgende Auflösung eines Kristalls stattgefunden hat, soll bei der Ersetzung eine Substanz gegen eine andere gleichsam feindlich auftreten und, nur mechanisch wirkend, dieselbe Teilchen für Teilchen allmählich von ihrer Stelle verdrängen, um diese sogleich selbst einzunehmen. Beispiele derartiger Bildungen bieten die Pseudomorphosen von Gips nach Steinsalz, Zinnerz nach Feldspat.

Welche mächtige Anregung die Forschung durch Blum erfahren hatte, sollte sich in kurzem zeigen. Immer mehr thätige Kräfte fanden hier ein ergiebiges Arbeitsfeld und halfen eine solche Fülle von neuen Thatsachen an das Licht befördern, daß an der weiten Verbreitung der Pseudomorphosen, die man früher gar nicht vermutet hatte, bald nicht mehr gezweifelt werden konnte.

Im Jahre 1844 versuchte W. Haidinger,<sup>54)</sup> für die Gesamtheit der Pseudomorphosen eine elektrochemische Erklärung zu geben. Er empfand es als einen Mangel, daß bei den bisherigen Einteilungen die einzelnen Fälle in den verschiedenen Gruppen ohne irgend welchen Zusammenhang miteinander zusammengestellt waren, und hielt es daher vor allen Dingen für notwendig, die chemische Zusammensetzung des ursprünglichen und des neugebildeten Minerals von einem allgemeinen Gesichtspunkte aus zu vergleichen. Als solcher empfiehlt sich nun nach seiner Ansicht am natürlichsten der elektrochemische Gegensatz der Stoffe. Er denkt sich nach diesem die Stoffe in eine Reihe geordnet, an deren Anfang Sauerstoff, an deren Ende Kalium steht. Dann bedeutet die Bildung eines Minerals aus einem anderen gewissermaßen ein Fortschreiten in der Reihung chemischer

<sup>51)</sup> F. v. Richthofen (Sitzungsber. der kaiserl. Akademie der Wissensch., 27. Bd., Wien 1858, S. 297) äußerte später mit Bezug auf diese Unterscheidung: „Als Blum seine erste Zusammenstellung bekannter Pseudomorphosen herausgab, die über das noch unbekanntes Reich Licht verbreitete und der Geologie ein wichtiges noch zu bearbeitendes Gebiet eröffnete, da konnte man bei der Eintheilung der Erzeugnisse unbekannter Vorgänge nur nach jenen Gesichtspunkten verfahren, von denen Blum ausging. Jetzt, da man die Vorgänge besser kennt, da man weiß, daß derselbe im Wasser gelöste Stoff hier eine Verminderung, dort eine Vermehrung der Bestandtheile herbeiführen kann, muß jener Eintheilungsgrund als unzureichend erscheinen, er hat nur noch historischen Werth.“ — Es stellen sich aber einer Gruppierung nach anderen Grundsätzen wohl größere Schwierigkeiten in den Weg, als es danach scheint; denn heute noch haben sich die Mineralogen meist nicht dazu entschließen können, Blums so übersichtliche Einteilung der Umwandlungsvorgänge zu verlassen. — <sup>52)</sup> a. a. O. S. 55. — <sup>53)</sup> C. F. Naumann (Elemente der Mineralogie, 4. Aufl., Leipzig 1855, S. 89) giebt zu bedenken, die oft vielfache Aufeinanderfolge und Wiederholung sehr verschiedenartiger Substanzen in Gangräumen beweise die Möglichkeit einer Folge zahlreicherer Akte der Bildung und Zerstörung. Außerdem könne die Wegführung eines Kristalls und die Wiederausfüllung seines Raumes gleichzeitig stattgefunden haben, wenn nur die Bildung einer Umhüllung vorausgegangen sei. — <sup>54)</sup> W. Haidinger, Über die Pseudomorphosen und ihre anogene und katogene Bildung. Poggendorffs Annalen, Bd. LXII, 1844, S. 161 und 306. Abhandlungen der königl. böhm. Gesellschaft der Wissensch. Fünfter Folge dritter Band, Prag 1845, S. 231.

Verbindungen, entweder, der Oxydation entsprechend, nach dem Anfange oder, der Reduktion entsprechend, nach dem Ende der Reihe zu. Da eine wasserhaltige Verbindung dem Anfangspunkte näher steht als eine wasserfreie, so gilt die Umwandlung von Anhydrit in Gips z. B. als eine der Oxydation entsprechende Bewegung. Bedingt seien die Änderungen aber ganz wesentlich von der Temperatur und dem Drucke, durch welche namentlich die Wirkungen des Wassers und der Luft unterstützt würden. Erfährt z. B. Schwefelkies äußerlich eine Umwandlung in Eisenoxydhydrat, also eine Oxydation, so muß diese, meint Haidinger, in den veränderten Druckverhältnissen begründet sein, der Schwefelkies muß sich früher in größerer Tiefe unter höherem Drucke befunden haben, der die Reduktion begünstigte.

Es erklärt sich daher jede chemische Veränderung einer Erdschicht durch eine Änderung ihrer geognostischen Höhenstellung; Hebung derselben hat Oxydation, Senkung aber Reduktion zur Folge. Um diese Auf- und Abwärtsbewegung, welche der Oxydation und Reduktion entsprechen würde, anzudeuten, unterschied Haidinger anogene und katogene Pseudomorphosen. Zu den ersteren würde gehören die Pseudomorphose von Bleivitriol nach Bleiglanz, zu den letzteren Weißbleierz nach Bleivitriol.

Die Einreihung aller Pseudomorphosen in die beiden großen Fächer wird jedoch oft nur mit ziemlichem Zwange möglich und läßt die Schwächen der Theorie am meisten hervortreten.<sup>55)</sup> So werden Gips nach Steinsalz und Polyhalit nach Steinsalz deshalb als katogene Pseudomorphosen bezeichnet, weil die Bildung von den unlöslichen Salzen nach dem mehr löslichen Steinsalze augenscheinlich unter vermehrtem Drucke geschehen sei, da sich ja sonst das Steinsalz nur spurlos verloren hätte. Haidinger sagt selbst, es sei ihm mehr um das Prinzip zu thun.<sup>56)</sup> Da aber die Anwendung dieses Prinzips von vornherein keinen Gewinn für die Erkenntnis der einzelnen Prozesse erwarten ließ, so blieb es ohne Einfluß auf die Weiterentwicklung der Lehre von den Pseudomorphosen.

Auch die im folgenden Jahre von J. D. Dana<sup>57)</sup> unternommene Gruppierung der Pseudomorphosen schien nicht geeignet, einen Fortschritt anzubahnen. Zwei Arten von Pseudomorphosen ließ er auf mechanischem Wege entstehen, nämlich 1. durch Infiltration, womit er das bezeichnete, was gewöhnlich Ausfüllung genannt worden ist; 2. durch Inkrustation oder Bildung eines Überzugs und darauffolgende Auflösung des überzogenen Kristalls. „In gewissem Sinne chemisch“ und wohl auch verschieden von dem einfachen Vorgange der Ablagerung sollte das sein, was er 3. Ersetzung nannte. Auf chemischem Wege erfolgte nach ihm aber 4. die Veränderung, und zwar a) bei gewöhnlicher Temperatur durch die Atmosphären, b) bei erhöhter Temperatur durch dieselben und andere Agentien.<sup>58)</sup> Endlich 5. Allomorphismus nannte er die ohne Zerfall vor sich gehende Umwandlung der einen Form einer dimorphen Substanz in ein Aggregat der anderen.

C. F. Naumann<sup>59)</sup> führte hingegen die Bildung aller Pseudomorphosen auf folgende zwei Vorgänge zurück:

- A. auf den Absatz eines fremdartigen Minerals von den Begrenzungsflächen eines Kristalls aus (hypostatische Pseudomorphosen);
- B. auf eine substantielle Umwandlung eines Kristalls (metasomatische Pseudomorphosen).

Bei den letzteren unterschied er dieselben vier Gruppen, wie Landgrebe bei den Umwandlungs-Pseudomorphosen.

Die hypostatischen Pseudomorphosen Naumanns sind von dreierlei Art, nämlich 1. exogene, 2. amphigene, 3. esogene Pseudomorphosen.

Die exogenen Pseudomorphosen, welche man sonst Umhüllungs-Pseudomorphosen genannt hat, sind Krustenbildungen, welche nach Zerstörung des Kristallkerns hohl erscheinen.

Amphigene Pseudomorphosen entstehen, wenn sich zu der exogenen Bildung nach Auflösung des Kristallkerns eine esogene gesellt, d. h. wenn ein Absatz neuer Stoffe an der

<sup>55)</sup> Vergl. G. G. Winkler, a. a. O. S. 57. — <sup>56)</sup> Es bemerkt auch F. v. Richthofen (a. a. O. S. 297), die geringe Zahl genau festgestellter Thatsachen erlaube nicht, dieses Prinzip mit genügender Sicherheit anzuwenden, wo es sich um eine Darstellung einzelner Bildungsprozesse handle. — Und W. Stein (Neues Jahrbuch für Mineralogie, 1845, S. 396) sagt, nach seinem Ermessen sei der Gesichtspunkt, von welchem Blum in seinem gediegenen Werke ausgehe, naturgemäßer und zur Erforschung der Wahrheit geeigneter. — <sup>57)</sup> J. D. Dana, On pseudomorphism. Sillimans American Journal, 1. Ser., Vol. XLVIII, 1845, S. 81. — <sup>58)</sup> Vergl. R. Blum, Nachtrag zu den Pseudomorphosen des Mineralreichs. Stuttgart 1847, S. 7 und 8. — <sup>59)</sup> C. F. Naumann, Elemente der Mineralogie. 4. Aufl., Leipzig 1855, S. 87. Vergl. 8. Aufl., Leipzig 1871, S. 88.

Innenseite der hohlen exogenen Pseudomorphose eintritt (Verbindung einer Umhüllung mit einer Ausfüllung). Meist geschieht Umhüllung und Ausfüllung durch dasselbe Mineral (Beispiel: Quarz nach Flußspat).

Die esogenen Pseudomorphosen lassen sich entweder a) als Ausfüllungs-Pseudomorphosen, oder b) als Verdrängungs-Pseudomorphosen bezeichnen. Für erstere ist das Vorhandensein einer amphigenen Bildung vorauszusetzen, deren exogener und esogener Teil stofflich so verschieden sind, daß bei Zerstörung des einen nicht notwendig zugleich Zerstörung des anderen eintritt. Wird nur die Umhüllung weggeführt, so bleibt als Rückstand eine Ausfüllungs-Pseudomorphose, welche durch die Zusammensetzung aus einwärts gewendeten Individuen noch ihre esogene Bildung verrät. Bei den Verdrängungs-Pseudomorphosen dagegen wurde ein Kristall „gleichsam Atom für Atom durch das nachgebildete Mineral ersetzt“, indem die Auflösung des ursprünglichen Minerals und der Niederschlag des neuen gleichzeitig stattfanden (Beispiele: Speckstein nach Quarz, Zinnerz nach Orthoklas).

Über die Mehrzahl der pseudomorphischen Prozesse vermochte die Forschung eigentlich immer noch keine sichere Auskunft zu geben; nur die einfachsten Fälle waren ihr klar, während sie sich bei den meisten, namentlich den zusammengesetzteren Verbindungen, mit Vermutungen über den von der Natur eingeschlagenen Weg begnügen mußte. Soviel jedoch konnte als festgestellt gelten, daß hier chemische Prozesse in ausgiebigstem Maße sich abspielt hätten, und daß dem auflösenden Wasser eine Rolle bei manchen Bewegungen der Mineralstoffe zukomme, welche durch die Pseudomorphosenbildungen beurkundet werden. Daneben sollten aber auch besonders vulkanische Wärme, elektrische Kräfte und Kräfte unbekannter Art bei der Entstehung der Pseudomorphosen wesentlich thätig gewesen sein.

Anderer Ansicht war schon W. Stein,<sup>60)</sup> der in seiner schon erwähnten Abhandlung den Gedanken aussprach, die pseudomorphischen Prozesse, stets chemische Prozesse, wären nie auf trockenem Wege denkbar, sondern könnten nur als eine Einwirkung flüssiger oder gasförmiger Stoffe (im feuchten Zustande) auf irgend einen Körper gedacht werden.

Den umfassendsten Nachweis der von Stein angedeuteten Wirkungen flüssiger Stoffe suchte bald darauf G. Bischof<sup>61)</sup> durch seine denkwürdigen Untersuchungen zu führen. Alle Pseudomorphosen, auch die Verdrängungs-Pseudomorphosen Blums, entstehen danach durch chemische Prozesse auf nassem Wege, vergleichbar denjenigen künstlichen chemischen Prozessen, bei welchen Flüssigkeiten auf feste, und zwar auf unlösliche oder schwer lösliche Stoffe einwirken.

Ergiebt für Bischof schon die unbestrittene Analogie der pseudomorphischen Vorgänge mit den Versteinerungsprozessen wenigstens die Möglichkeit, erstere als die Äußerungen neptunischer Kräfte zu betrachten, so spricht die überwiegende Zahl von wasserhaltigen Umwandlungs-Pseudomorphosen ganz bestimmt für eine wesentliche Beteiligung des Wassers bei der Entstehung derselben. War doch auch bereits durch die vorhandenen Analysen von Gewässern die weite Verbreitung gelöster Stoffe nachgewiesen, bezeugten doch die Analysen der Pflanzenaschen, welche Mengen selbst schwer löslicher Mineralstoffe alljährlich das Wasser der Pflanzenwelt in gelöstem Zustande zuzuführen vermöge. Andererseits freilich hatten die Chemiker gerade verschiedene Stoffe, die bei den pseudomorphen Bildungen eine Hauptrolle spielen, wie Baryumsulfat, Kieselsäure, Silikate u. a., bisher als unlöslich bezeichnet. Aber auch solche Körper erscheinen, wie Bischof nachzuweisen versucht, gegenüber den ungemessenen Strömen von Wasser, welche die Schichten der Erde durchziehen und hinreichend lange Zeit mit den Mineralien in Berührung bleiben, nicht absolut unlöslich. Die nach den Gesetzen der Schwere und der Kapillarität die Felsen durchdringenden Gewässer werden daher bald zu meist verdünnten Lösungen der verschiedensten Substanzen. Solche Lösungen sind es, welche die Stoffe des unorganischen Reiches chemisch umwandeln und auch die Pseudomorphosen hervorrufen, indem sie beim Zusammentreffen mit Mineralien dieselben Veränderungen an diesen bewirken, wie die konzentrierteren Lösungen im Laboratorium des Chemikers, nur infolge ihrer Verdünnung weit langsamer.

Wie nun im Laboratorium die Anwendung hinreichend verdünnter Lösungen gestattet, allmähliche Umwandlungen von Kristallen ohne Änderung der Form künstlich herbeizuführen, so ist der langsame Verlauf und die dadurch wesentlich bedingte Erhaltung der Form des Urminerals bei den natürlichen Pseudomorphosen erklärlich durch die geringen

<sup>60)</sup> a. a. O. S. 399. — <sup>61)</sup> G. Bischof, Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. II. Bd., 1. Abthlg., Bonn 1851.

Mengen der in den Gewässern gelösten Stoffe und durch die Schwerlöslichkeit der Substanzen, welche aus einem in Umwandlung begriffenen Minerale ausgeschieden werden. Häufig indes, meint Bischof, ist ein auf dem Minerale vorher sich bildender Überzug schuld an der Erhaltung der ursprünglichen Gestalt. Ein solcher Überzug könne aus einem völlig fremden Stoffe bestehen, oft sei es eine Rinde von Brauneisenstein, deren Herkunft leicht begreiflich würde durch die weite Verbreitung des gelösten kohlensauren Eisenoxyduls in den Gewässern. Unter dem Schutze einer derartigen Rinde vermöge ein Kristall durch chemische Prozesse tiefgehende Veränderungen zu erleiden, ohne daß seine ursprüngliche Form verloren gehe. Die abgrenzende Hülle zwingt das neue Mineral auch dann, sich in eine fremde Form hineinzuschmiegen, wenn es kristallisierbar sei, also unter günstigeren Umständen seine ihm eigentümliche Kristallgestalt entwickeln würde. Ob außerdem noch andere Ursachen die alte Form wahren helfen, läßt Bischof dahingestellt sein.

In der Einteilung der Pseudomorphosen stimmt er insofern mit Blum überein, als er die Unterscheidung von Umwandlungs-Pseudomorphosen und Verdrängungs-Pseudomorphosen beibehält. Doch entstehen die letzteren nach seiner Ansicht keineswegs durch mechanische Prozesse, wie Blum angenommen hatte, sondern ebenfalls durch chemische, die allerdings zusammengesetzter sind als diejenigen, welche die Umwandlungs-Pseudomorphosen hervorrufen, sich aber auf die Wirkung der einfachen Wahlverwandtschaft zurückführen lassen. Das ursprüngliche Mineral soll bei allen pseudomorphischen Vorgängen gewissermaßen das Fällungsmittel für die in den Gewässern gelösten Stoffe sein, so daß im besonderen nach Bischof folgende Analogien mit den künstlich eingeleiteten chemischen Prozessen bestehen:

1. Die Entstehung von Umwandlungs-Pseudomorphosen durch Verlust von Bestandteilen ist vergleichbar der Zersetzung schwer löslicher Salze durch Basen, z. B. der Zersetzung der basisch schwefelsauren Thonerde durch ein Alkali. Dabei werden nur einzelne Bestandteile des als Fällungsmittel dienenden ursprünglichen Minerals fortgeführt.
2. Die Entstehung von Umwandlungs-Pseudomorphosen durch Aufnahme von Bestandteilen läßt sich vergleichen mit der Bildung schwefelsaurer Salze aus Schwefelmetallen, wie des Eisenvitriols aus Schwefelkies. Dabei nimmt das ursprüngliche Mineral nur neue Bestandteile aus den Gewässern auf.
3. Die Entstehung von Umwandlungs-Pseudomorphosen durch Austausch von Bestandteilen läßt sich vergleichen mit den Zersetzungen schwer löslicher Salze durch lösliche, wie z. B. des Baryumsulfats durch eine Lösung von Alkalikarbonat. Dabei nimmt das ursprüngliche Mineral nicht nur neue Bestandteile auf, sondern es werden ihm auch Bestandteile durch die Gewässer entführt.
4. Die Bildung der Verdrängungs-Pseudomorphosen entpricht der Zersetzung metallischer Salze durch Metalle, den sogenannten Metallvegetationen. Bei Vorgängen dieser Art geht das Fällungsmittel gänzlich in Lösung.

Zeigt nun die Natur, wie mit Hilfe des Wassers viele kristallisierte Körper pseudomorphosiert werden können, um wieviel leichter müssen erst formlose Mineralien Umbildungen erleiden. Da das Wasser überall seine Tätigkeit entfaltet, so erscheint die unorganische Körperwelt in allen ihren Teilen veränderlich und in fortwährender Umbildung begriffen. Ja, es läßt sich gar nicht angeben, ob überhaupt noch einzelne Mineralien oder ganze Schichten der Erdrinde sich im ursprünglichen Zustande befinden, und ob der weiteren Entwicklung von Neubildungen jemals eine Grenze gesteckt ist. Man kommt schließlichs zu der Vermutung, sagt Bischof, daß vielleicht die letzten Umwandlungsprodukte endlich wieder an den Anfang zurückführen, um, sich von neuem umwandelnd, nochmals dieselbe Reihe von Zuständen zu durchlaufen.

Daß thatsächlich ein Kreislauf bestehe, und jedes Mineral eigentlich nur ein Glied einer kreisähnlich geschlossenen Reihe bilde, von welcher wir weder Anfang, noch Ende kennen, suchte, an frühere Arbeiten Haidingers anschließend, namentlich G. H. O. Volger<sup>62)</sup> eingehender darzulegen. Das Studium der Pseudomorphosen galt ihm als der erste Schritt zur Lösung der wichtigsten Aufgabe der Geologie, zur Begründung einer wissenschaftlichen Entwicklungsgeschichte der Mineralien.

<sup>62)</sup> G. H. O. Volger, Studien zur Entwicklungsgeschichte der Mineralien als Grundlage einer wissenschaftlichen Geologie und rationellen Mineralchemie. Zürich 1855.

Die Überzeugung, daß sämtliche Pseudomorphosen als das Werk chemischer Kräfte zu betrachten seien, gewann nach Bischofs Vorgang immer mehr festen Boden. So war auch G. G. Winkler<sup>63)</sup> der Ansicht, daß eine naturgemäße Gruppierung der Pseudomorphosen nur mit Rücksicht auf die chemischen Bildungsprozesse erreicht werden könne. Die Zusammensetzung aller Mineralien, also auch der Neubildungen, nach bestimmten Verhältnissen verweise notwendig auf eine wesentliche Mitwirkung der chemischen Affinität bei der Entstehung der Pseudomorphosen. Zweierlei, erklärte Winkler, wäre für die letztere vorauszusetzen: 1. Zerstörung vorhandener Mineralverbindungen, namentlich durch die Affinitäten des Sauerstoffs, des Wassers und der Kohlensäure unter Beihilfe von Wärme und Licht. 2. Zusammenfügung des durch die Zerstörung ursprünglicher Mineralien gewonnenen Materials zu neuen Mineralverbindungen, ebenfalls vermittelt der chemischen Verwandtschaft.

Wird nun ein Teil der von dem zerstörten Minerale herrührenden Stoffe nicht fortgeführt, sondern gleich an derselben Stelle zu einer Neubildung verwendet, entweder für sich allein, oder, nach Aufnahme fremder Verbindungen, z. B. durch Wechselersetzung, so entsteht eine Pseudomorphose, für welche das formgebende Mineral auch die Bausteine teilweise lieferte. Beispiele solcher Neubildungen bieten die Pseudomorphosen von Brauneisenstein nach Schwefelkies, Kaolin nach Feldspat. Solche werden von Winkler homöomere Pseudomorphosen oder Pseudomorphosen der ersten Art genannt; sie würden den Umwandlungs-Pseudomorphosen Blums entsprechen. Dieselben zeigen schon äußerlich Merkmale, durch welche sie sich von Pseudomorphosen anderen Ursprungs unterscheiden lassen; namentlich erfüllen sie die Form, in welcher sie erscheinen, ganz, und oft läßt sich an ihnen noch ein scheinbarer Übergang des alten Minerals in das neue beobachten.

In anderen Fällen tragen jedoch die Stoffe des zerstörten Minerals gar nicht zu der pseudomorphen Neubildung bei; vielmehr kommen die nötigen Stoffe von anderen zerstörten Mineralien her, haben also keinen chemischen Zusammenhang mit dem alten Minerale, welches die Form für die Pseudomorphose hergab. Winkler nennt solche Neubildungen heteromere Pseudomorphosen oder Pseudomorphosen der zweiten Art (Verdrängungs-Pseudomorphosen Blums). Bei ihnen ist das neue Mineral von dem alten streng geschieden, beide Mineralien grenzen ohne scheinbaren Übergang aneinander; außerdem sind diese Pseudomorphosen meist hohl und besitzen drusige Außen- und Innenflächen.

Parallel dem Unterschied im Materiale der beiden Arten von Pseudomorphosen geht aber auch eine Verschiedenheit des Bildungsganges. Heteromere Pseudomorphosen können nämlich nur zustande kommen durch den verschiedenen Grad der Löslichkeit zweier Mineralverbindungen, und zwar in der Weise, daß das schwerer lösliche Mineral durch das leichter lösliche aus seiner Auflösung gefällt wird, wenn auch oft nur mittelbar. So muß aus einer Lösung von Kieselsäure beim Zusammentreffen mit Calciumkarbonat die Kieselsäure ausfallen, während dafür das Calciumkarbonat gelöst wird. Die Kieselsäure nimmt dadurch nach und nach die Stelle des Kalkspatkristalls ein und bildet eine Pseudomorphose von Quarz nach Kalkspat. Der große Unterschied in der Löslichkeit von Quarz und Kalkspat hat aber zur Folge, daß ungleich mehr Kalkspat fortgeführt, als Quarz ausgefällt wird. Das erklärt nach Winkler die Häufigkeit hohler Formen. Nur durch mittelbare Ausfällung dagegen ist es z. B. möglich, daß der Quarz die Form des unlöslichen Schwefelkieses annimmt. Hier muß der Ausfällung eine Oxydation des Schwefelkieses zu dem löslichen schwefelsauren Eisenoxydul vorausgehen; letztere Verbindung erst ist fähig, eine Ausfällung der Kieselsäure zu bewirken.

Als obersten Einteilungsgrund für eine systematische Zusammenstellung der Pseudomorphosen verwendet aber Winkler nicht den Gegensatz von Pseudomorphosen erster und zweiter Art, sondern er scheidet die Pseudomorphosen zuerst in solche der nichtmetallischen und solche der metallischen Mineralien, innerhalb dieser Gruppen wieder in Pseudomorphosen erster und zweiter Art. Weiter ordnet er dann die Pseudomorphosen, wie die Mineralien im System, nach den Gruppen der Karbonate, Sulfate, Fluoride, Silikate, Eisenerze u. s. w. Bei den Pseudomorphosen erster Art endlich wird darauf Rücksicht genommen, ob die Ausfällung durch ein nichtmetallisches oder durch ein metallisches Mineral geschah.

<sup>63)</sup> G. G. Winkler, Die Pseudomorphosen des Mineralreichs. Gekrönte Preisschrift, München 1855.

Die Hauptabteilungen des Systems der Pseudomorphosen sind demnach bei Winkler folgende:

I. Pseudomorphosen der nichtmetallischen Mineralien.

A. Pseudomorphosen erster Art (Flußspat nach Kalkspat).

B. Pseudomorphosen zweiter Art:

a) nichtmetallische Mineralien durch nichtmetallische gefällt (Quarz nach Kalkspat),

b) nichtmetallische Mineralien durch metallische gefällt (Quarz nach Bleiglanz).

II. Pseudomorphosen der metallischen Mineralien.

A. Pseudomorphosen erster Art (Brauneisenstein nach Eisenspat).

B. Pseudomorphosen zweiter Art:

a) metallische Mineralien durch nichtmetallische gefällt (Brauneisenstein nach Kalkspat),

b) metallische Mineralien durch metallische gefällt (Brauneisenstein nach Bleiglanz).

Von einer anderen Seite her beleuchtete J. F. L. Hausmann<sup>64</sup>) die pseudomorphischen Erscheinungen. Er ging von der Erfahrung aus, daß feste Körper unter Umständen Formveränderungen erleiden ohne Aufhebung ihres Aggregatzustandes.

Daß nicht bloß die Moleküle flüssiger und gasförmiger Körper imstande sind, durch Bewegungen ihre gegenseitige Lage zu verändern, lehren z. B. alle Volumänderungen fester Körper, welche infolge von Erwärmung oder Abkühlung eintreten. Möglicherweise, vermutet Hausmann, bringt häufig auch die Elektrizität molekulare Bewegungen in starren Körpern hervor. Da bei den stofflichen Veränderungen der Körper sich ebenfalls Bewegungen der kleinsten Teile vollziehen, wird weiter geschlossen, so ist keine chemische Erscheinung denkbar ohne Molekularbewegungen. Bewahrt ein fester Körper während der chemischen Veränderung seinen Aggregatzustand, so wird dadurch bewiesen, daß für derartige Molekularbewegungen der flüssige oder gasförmige Zustand auch nicht unerläßliche Bedingung ist. Mit der Änderung der inneren Gestalt bei solchen Vorgängen ist freilich in der Regel eine Änderung der äußeren verbunden. Die Pseudomorphosen zeigen jedoch, daß nicht selten nur eine Änderung der inneren Form eintritt, während die äußere Form unversehrt bleibt.

Geleitet durch Betrachtungen dieser Art, versuchte Hausmann, bei einer Anzahl von Pseudomorphosen die Spuren der Molekularbewegungen nachzuweisen, welche bei ihrer Bildung stattgefunden hätten ohne Mitwirkung eines flüssigen Zustandes. Auf erfolgte molekulare Umlagerung schloß er z. B. bei denjenigen Pseudomorphosen von Eisenglanz nach Magnetisen, welche er aus zahlreichen kleinen Eisenglanzkristallen zusammengesetzt fand. Wenn ferner Bleiglanzwürfel bei ihrer Umwandlung in Bleivitriol etwas an der Schärfe ihrer Form und ihre ausgezeichnete Spaltbarkeit eingebüßt hatten, so war auch diese Veränderung erklärlich durch Bewegungen der kleinsten Teile während des Umwandlungsvorganges. In großartigem Maßstabe bestätigten jedoch die mit der Umwandlung des Anhydrits in Gips durch Anziehung von Wasser verbundenen Erscheinungen Hausmanns Ansicht. Die beträchtliche Volumänderung, welche infolge dieser Umwandlung eintritt, giebt sich ja durch Aufschwellen und Aufbersten der Masse deutlich genug zu erkennen; gleichzeitig verschwindet die blättrige, strahlige oder schuppige Textur des Anhydrits, der dafür einen splittrigen oder unebenen Bruch, zuweilen sogar eine völlig erdige Beschaffenheit annimmt. Hausmann zeigte ferner, daß auch ein Austausch von Bestandteilen ohne Aufhebung des festen Zustandes vor sich gehen könne. Als Wirkungen der Molekularbewegungen in Fällen dieser Art deutete er z. B. den bei der Umwandlung von Sphärosiderit in Eisenoxydhydrat beobachteten Übergang einer kristallinen Masse in eine nichtkristallinische. Häufig jedoch, namentlich bei den verwickelteren Mischungsänderungen, war es zweifellos, daß die Ausscheidung oder Aufnahme gewisser Bestandteile unter Mithilfe flüssiger Körper von statten ging.

Zur Erklärung derjenigen Veränderungen, von welchen Kristalle dimorpher Stoffe, wie des monoklinen Schwefels oder des rhombischen Calciumkarbonats, ergriffen werden,

<sup>64</sup>) J. F. L. Hausmann, Über die durch Molekularbewegungen in starren leblosen Körpern bewirkten Formveränderungen. Abhandlungen der königl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Sechster und siebenter Band, Göttingen 1856 und 1857.

indem sie ohne Zerfall in ein Aggregat von kleinen Kristallen der zweiten Form übergehen, waren schon früher molekulare Bewegung angenommen worden. Trotzdem bei diesen Umbildungen die chemische Zusammensetzung mit der äußeren Form in Einklang bleibt, widerstreitet doch die innere Form derselben ihrer äußeren, welche nur den zufälligen Rahmen für die Zusammenhäufung fremdartiger Gestalten abgibt. Sie wurden daher meist als Pseudomorphosen bezeichnet, und zwar als solche, welche ohne Verlust und ohne Aufnahme von Stoffen entstanden seien, auch von Dana, der Veränderungen dieser Art unter dem Namen des Allomorphismus zusammengefaßt hatte.

W. Stein<sup>65)</sup> betonte dagegen, daß diese Fälle von den Pseudomorphosen verschieden seien, und schlug vor, dieselben als Paramorphosen von den Pseudomorphosen zu trennen. Th. Scheerer<sup>66)</sup> fand eine solche Trennung naturgemäß, weil der chemische Inhalt der fraglichen Gebilde ihrer Form nicht widerspreche, die Entstehung der Paramorphosen also nur auf physischen Veränderungen beruhe, und zwar auf einer bloßen Molekül-Umsetzung im kleinsten Raume. Er nahm nur diejenigen Vorkommnisse unter die Pseudomorphosen auf, welche dadurch entstanden, daß die Masse eines Kristalls chemisch verändert wurde, während seine äußere Form unverändert oder doch erkennbar blieb, ohne Rücksicht darauf, ob die Bildung der pseudomorphen Substanz mit der chemischen Veränderung des Kristalls gleichzeitig erfolgte oder nicht. Dabei müsse eine ausgiebigere Stoffbewegung stattgefunden haben, eine durch Flüssigkeiten oder Gase vermittelte Molekül-Wanderung,<sup>67)</sup> welche meist über die Grenzen des ursprünglichen Kristalls hinausging.

Scheerer war geneigt, dem Paramorphismus eine weitere Verbreitung im Mineralreiche zuzuschreiben, und glaubte, auf denselben manche Erscheinungen zurückführen zu müssen, welche sonst in das Gebiet der chemischen Umwandlungen verwiesen worden waren. Wenn es nun aber meist nicht gelang, die seinen Paramorphosen entsprechenden unversehrten Kristallformen in der Natur aufzufinden, so lag es für ihn nahe, anzunehmen, daß die meisten der betreffenden dimorphen Substanzen unter den gegenwärtigen Bedingungen nicht mehr in diesen Formen zu bestehen vermöchten und sich deshalb immer in ein Aggregat der zweiten möglichen Gestaltung umwandelten. Die Paramorphosen trügen dann die Gestalt eines Minerals an sich, welches früher vorhanden war, beim Eintreten anderer Bedingungen aber gleichsam gänzlich ausstarb, um einem anderen Minerale von derselben chemischen Zusammensetzung Platz zu machen, für dessen Form die neuen Verhältnisse günstig waren. Zur Bezeichnung eines solchen ausgestorbenen Urminerals setzte Scheerer auf Vorschlag Haidingers<sup>68)</sup> das Wort „Paläo“ vor den Namen des jetzt an dessen Stelle vorhandenen. Uralit ist danach Amphibol in der augitischen Form von Paläo-Amphibol, Spreustein eine Paramorphose von Natrolith nach Paläo-Natrolith.

Fast bei allen Paramorphosen zeigten die das Innere bildenden kleinen Kristalle eine regellose Anordnung; nur beim Uralit ergab sich, daß die Fasern des Amphibols mit ihren Achsen parallel der Vertikalachse der Augitform gerichtet waren. Auf Grund dieser Verschiedenheit teilte Scheerer die Paramorphosen in die beiden Gruppen der heteroaxen und der homoaxen Paramorphosen.<sup>69)</sup>

Bei seinen Untersuchungen über die eigentlichen Pseudomorphosen stützte sich Scheerer<sup>70)</sup> auf die Beobachtung der künstlich an Kristallen hervorgerufenen chemischen Umwandlungen. Indem er voraussetzte, daß im Mineralreiche Pseudomorphosen vorkämen, welche analog den künstlich erzeugten gebildet wurden, war er sich doch wohl bewußt, daß die Natur zur Erreichung derselben Ziele auch andere Wege eingeschlagen haben könne, wie der Chemiker im Laboratorium.

Die künstlich erzeugten Pseudomorphosen ließen sich nun in zwei Gruppen sondern, je nachdem der ursprüngliche Kristall ein einziges Bildungsstadium oder mehrere bei der Umwandlung zu durchlaufen hatte. Dementsprechend wurden von Scheerer diese Gebilde als monogene und polygene Pseudomorphosen unterschieden. Zu den ersteren gehört z. B. die Umwandlung von Bleivitriol in Schwefelblei durch Schwefelammonium. Wird aber ein Kalkspatkristall zuerst durch eine Lösung von neutralem schwefelsauren Eisenoxyd in eine

<sup>65)</sup> a. a. O., S. 402. — <sup>66)</sup> Poggendorffs Annalen, Bd. LXXXIX, 1853, S. 11. — Th. Scheerer. Der Paramorphismus und seine Bedeutung in der Chemie, Mineralogie und Geologie. Braunschweig 1854. — <sup>67)</sup> Ursprünglich hatte Scheerer die Ausdrücke „Atom-Umsetzung“ und „Atom-Wanderung“ gebraucht. — <sup>68)</sup> Poggendorffs Annalen, Bd. XC, 1853, S. 479. — <sup>69)</sup> Poggendorffs Annalen, Bd. XCI, 1854, S. 379. — <sup>70)</sup> Th. Scheerer, Bemerkungen und Beobachtungen über Afterkrystalle, Braunschweig 1856. Besonderer Abdruck aus dem Handwörterbuche der reinen und angewandten Chemie, begründet von Liebig, Poggendorff und Wöhler. 2. Aufl.

rötlichgelbe Masse von basisch schwefelsaurem Eisenoxyd verwandelt und dieses hierauf durch Ammoniak in Eisenoxydhydrat, so sind zur Erzeugung der sich ergebenden Pseudomorphose von Eisenoxydhydrat nach Kalkspat zwei Bildungsstadien erforderlich gewesen. Das Produkt gehört also bei Scheerer zu den polygenen Pseudomorphosen, und zwar zu den bigenen. Erfolgte eine Umwandlung durch drei Stadien hindurch, so entstand eine trigene Pseudomorphose u. s. w.

Die von Blum eingeführte Unterscheidung von Umwandlungs- und Verdrängungs-Pseudomorphosen konnte Scheerer auch auf die künstlich dargestellten monogenen Pseudomorphosen anwenden, da auch bei ihnen in vielen Fällen die Bestandteile des ursprünglichen Kristalls ganz oder teilweise für die Neubildung Verwendung fanden, während dieselben in anderen Fällen vollständig fortgeführt wurden.

Die chemische Veränderung besteht bei manchen monogenen Umwandlungs-Pseudomorphosen in einem Verluste von Bestandteilen (Erhitzen von zweifach kohlensaurem Natron), bei anderen in einer Aufnahme von Bestandteilen (Umwandlung eines Silberkristalls in Schwefelsilber durch Schwefelammonium), bei anderen in einem Austausch von Bestandteilen (Umwandlung von Kupfervitriol in kohlensaures Kupferoxyd durch eine Lösung von kohlensaurem Kali).

Was die künstlichen Verdrängungs-Pseudomorphosen betrifft, so lehren die Versuche, daß ihre Bildung entweder auf Differenzen der chemischen Verwandtschaft oder auf Differenzen der Löslichkeit begründet ist. So läßt sich auf die Wirkung von Differenzen der chemischen Verwandtschaft z. B. die Verdrängungs-Pseudomorphose von basisch schwefelsaurem Eisenoxyd zurückführen, welche entsteht, wenn ein Kalkspatkristall mit einer Lösung von neutralem schwefelsaurem Eisenoxyd behandelt wird. Dagegen wird ein Kristall von schwefelsaurem Kali in einer konzentrierten Gipslösung, welche Kaliumsulfat enthält, durch Gips allmählich nur deshalb verdrängt, weil der schwerer lösliche Gips zur Ausscheidung kommt, sobald seine Lösung sich mit dem leichter löslichen Kaliumsulfat sättigt.

In allen bisher angeführten Fällen monogener Pseudomorphosen fand gleichzeitig mit der chemischen Veränderung des ursprünglichen Kristalls die Bildung der pseudomorphen Masse statt. Scheerer bezeichnete diese monogenen Gebilde daher als syngenetische. Die Natur bot ihm jedoch auch Pseudomorphosen, bei deren Entstehung die genannten beiden Vorgänge nicht zu gleicher Zeit sich abgespielt hatten, nämlich die Umhüllungs-Pseudomorphosen in drei verschiedenen Stufen der Ausbildung und die Ausfüllungs-Pseudomorphosen, entstanden durch Ausfüllung leerer Kristalleindrücke. Sie wurden als epigenetische Pseudomorphosen zusammengefasst und in die Gruppe der monogenen Bildungen eingereiht.

Für die Beurteilung der Pseudomorphosen des Mineralreichs, der Erzeugnisse längst beendeter Prozesse; erscheint es übrigens nach Scheerer sehr beachtenswert, daß es gelingt, Pseudomorphosen gleicher äußerer Erscheinung und gleicher chemischer Zusammensetzung künstlich auf ganz verschiedene Weise hervorzubringen. Aus diesem Grunde ist auch ein sicherer Rückschluß aus der Beschaffenheit der fertigen Pseudomorphose auf die besondere Art der Entstehung nicht immer möglich. So kann es nicht gestattet sein, eine Pseudomorphose von Schwefelblei nach Bleivitriol immer auf eine Abgabe von Sauerstoff zurückzuführen, da bei Einwirkung von Schwefelammonium auf Bleivitriol dieselbe Neubildung durch einen Austausch von Bestandteilen entsteht. Wenn auch die Umwandlungsprozesse in der festen Erdrinde oftmals Spuren hinterließen, aus welchen auf den Bildungshergang geschlossen werden kann, so mußte es doch Scheerer unmöglich finden, die natürlichen Pseudomorphosen mit derselben Sicherheit rücksichtlich ihrer Entstehung in ein System einzuordnen, wie die künstlich erzeugten.

Es soll hier nur erwähnt werden, daß A. Kenngott<sup>71)</sup> bald darauf vorschlug, die bloßen Kristallumhüllungen als Perimorphosen ganz von den Pseudomorphosen zu trennen; desgleichen auch die Ausfüllungen der von Kristallen herrührenden Hohlformen jeder Art als Pleromorphosen. Diese letzteren sollten syngenetische genannt werden, wenn die Fortführung des ursprünglichen Kristalls und die Ausfüllung einander unmittelbar folgten, epigenetische, wenn die Ausfüllung erst in späterer Zeit stattfand.

Umfangreichere Untersuchungen von A. Delesse<sup>72)</sup> verfolgten vorzugsweise den Zweck, eine Sichtung des Beobachtungsmateriales herbeizuführen und festzustellen, in

<sup>71)</sup> A. Kenngott, Uebersicht über die Resultate mineralogischer Forschungen in den Jahren 1856 und 1857. Leipzig 1859, S. 204. — <sup>72)</sup> A. Delesse, Recherches sur les pseudomorphoses. Annales des mines. Cinqüième série. Tome XVI, 1859, S. 317.

welchen Fällen gewisse Erscheinungen im Mineralreiche leicht irrtümlicherweise als Pseudomorphosen aufgefaßt würden. Vor allen Dingen böten die so häufigen Einschlüsse von Mineralien in anderen nicht selten Anlaß zu Verwechslungen, so daß gar manches in die Reihe der Pseudomorphosen Aufnahme gefunden habe, was nicht in dieselbe gehöre. Sicherlich könne doch nicht, wie es verschiedene Mineralogen wollten, ein Mineral ein für allemal als pseudomorphe Bildung nach einer umschließenden Substanz gelten, da die Entstehung von Einschlüssen auf sehr verschiedene Weise möglich sei. Wenn das eingeschlossene Mineral gleichzeitig mit dem einschließenden entstand oder früher als dasselbe, so dürfe es keinesfalls als pseudomorph nach dem einschließenden angesehen werden. Aber auch eine spätere Entstehung des umhüllten Minerals sei nicht in allen Fällen gleichbedeutend mit pseudomorpher Bildung, da selbst ein fertiger Kristall durch nachträgliche Infiltration Stoffe aufzunehmen vermöge, die dann als Einschlüsse erschienen.

In der folgenden Zeit hatte das Mikroskop, schon längst für den Botaniker, den Zoologen und den Anatomen ein unentbehrliches Werkzeug, auch bei der Durchforschung der Steinwelt eine immer ausgedehntere Anwendung gefunden und durch seine vergrößernde Kraft dem forschenden Auge des Mineralogen und Petrographen ungeahnte Schätze neuer Thatsachen enthüllt. Allmählich erwuchs in ihm auch dem Studium der Umwandlungsvorgänge eine mächtige Hilfe, da es gestattete, in Dünnschliffen der teilweise zersetzten Mineralien die gegenseitige Anordnung der alten und der neuen Substanzen bis ins kleinste zu beobachten und daraus auf die Bahnen zu schließen, in welchen die zerstörenden und neubildenden Kräfte bei ihrem Werke vorgegangen waren.<sup>73)</sup>

Schon die ersten, noch wenig zahlreichen Untersuchungen auf diesem Gebiete waren ergebnisreich genug. Es zeigte sich, daß die bei den Umwandlungen vorzugsweise wirksamen wässrigen Lösungen meist an den Wänden der feinsten Spalten, Klüfte und Sprünge, welche das Mineral durchsetzten, ihre zerstörende und aufbauende Thätigkeit begonnen und von da aus ihre Angriffe auf die innerlich zerstückelte Masse eröffnet hatten.<sup>74)</sup> Je nach der verschiedenen physikalischen Beschaffenheit im Innern des Kristalls und je nach den vorhandenen Sprüngen siedelte sich das Umwandlungsprodukt bald in unregelmäßigen körnigen, flockigen oder strahligen Teilchen an, bald trat es mit den seiner Substanz eigentümlichen Kristallumrissen auf, bald mit solchen, welche denen des ursprünglichen Minerals entsprachen. Oft erschienen fremde Einschlüsse im Mineral für die Richtung der Umwandlung bestimmend, mitunter, wie bei manchen Feldspaten, war vielleicht eine abweichende physikalische und chemische Beschaffenheit der Grund gewesen, daß die Umwandlung, entgegen der Regel, zuerst den Kern ergriff und die oberflächlichen Teile verschonte, indem die Gewässer durch feine Risse der widerstandsfähigeren Rinde zu dem leichter zersetzbaren Kerne vordrangen. In manchen Fällen gelang auch durch das Mikroskop der sichere Nachweis einer Aufeinanderfolge zweier Umwandlungsprozesse, wie beim Cordierit, dem Stammvater einer besonders großen Zahl der verschiedensten Neubildungen.<sup>75)</sup> Auffallend war es übrigens, daß nirgends bei den Umwandlungen ein allmählicher Übergang entdeckt werden konnte, etwa vermittelt durch ein Zwischenprodukt zwischen dem veränderten und dem unveränderten Minerale; stets offenbarte sich vielmehr eine scharfe Abgrenzung der pseudomorphen Substanz gegen die Reste der ursprünglichen.

Mehrfache weitere Belege für ein gesetzmäßiges Vorschreiten der Umwandlung in Kristallen förderten die von F. E. Geinitz<sup>76)</sup> angestellten mikroskopischen Untersuchungen einer größeren Anzahl verschiedener Pseudomorphosen zu Tage. Namentlich an Pseudomorphosen von Brauneisenstein nach Pyrit in Würzelform liefs sich erkennen, daß die Beschaffenheit der ursprünglichen Mineralsubstanz oft ein Vordringen der Umwandlung in regelmäßigen, kristallographischen Formen bedingt hatte. Bisweilen schienen die Adern des Brauneisenerzes parallel oder senkrecht zu den Würfelkanten oder auch parallel einer die Ecken abstumpfenden Fläche in die Pyritmasse hineingesenkt; von ihnen aus war die Zersetzung des ursprünglichen Minerals meist in ganz bestimmten Richtungen weitergegangen,

<sup>73)</sup> F. Zirkel, Die mikroskopische Beschaffenheit der Mineralien und Gesteine. Leipzig 1873, S. 97. — F. Zirkel, Die Einführung des Mikroskops in das mineralogisch-geologische Studium. Leipzig 1881, S. 57 und 58. — <sup>74)</sup> Vergl. G. Tschermak, Über Serpentinbildung. Sitzungsberichte der kaiserl. Akad. der Wissenschaften. Mathematisch-naturwissenschaftl. Classe. LVI. Bd., I. Abthlg., Jahrgang 1867, S. 283. — <sup>75)</sup> A. Wichmann, Die Pseudomorphosen des Cordierits. Inaug.-Diss. — Sonder-Abdruck aus der Zeitschrift der deutschen geolog. Gesellsch., 1874, S. 675 ff. — <sup>76)</sup> F. E. Geinitz, Studien über Mineral-Pseudomorphosen. Inaug.-Diss. — Sonder-Abdruck aus dem N. Jahrbuch für Mineralogie, 1876, S. 449 ff.

so daß schließlich zwischen dem pseudomorphen Brauneisenerz die unversehrten Teile des Pyrits in regulären Formen übrig geblieben waren. Bei mehreren Pseudomorphosen von Bleiglanz nach Pyromorphit dagegen war der Bleiglanz, seinem stärkeren Kristallisationsbestreben zufolge, teilweise mit den ihm eignen scharf begrenzten rechtwinkligen Formen in die ursprüngliche Substanz hineingedrungen. In das Innere von zonal gebauten Orthoklasen aus einem Porphyre von Borneo hatten die Gewässer durch Sprünge Eingang gefunden und jedesmal entlang den Grenzen der einzelnen konzentrischen Schichten der Kristalle die Umwandlung in Kaolin begonnen.

Geinitz kam ferner durch seine Untersuchungen zu dem Ergebnis, daß bei den Pseudomorphosen, mag nun ein chemischer Zusammenhang ihrer Bestandteile mit denen des Urminerals bestehen oder nicht, zwei Bildungsweisen möglich seien: 1. eine Umhüllung, oft durch die neue Substanz gebildet, bei eingewachsenen Kristallen schon durch die umgebende Gesteinsmasse; 2. eine eigentliche, allmähliche Verdrängung der alten Substanz durch die neue. Der Umhüllung hatte ja schon Bischof eine große Bedeutung für die Erhaltung der Kristallform bei den Umwandlungsvorgängen zugeschrieben. Aber nicht bloß da, wo dieselbe dem unbewaffneten Auge sichtbar ist, auch in mikroskopischer Entwicklung ist sie, wie Geinitz nachwies, außerordentlich verbreitet und hat unverkennbar bei zahlreichen Pseudomorphosen „gleichsam die Wandungen des Gefäßes“ gebildet, welches die neuen Stoffe in die alte Form zwang. So war bei einer Pseudomorphose von Kalkspat nach Gaylussit augenscheinlich durch engere Aneinanderlagerung von Kalkspatkörnern an der Oberfläche zunächst eine festere Rinde entstanden; unter dem Schutze eines zarten Quarzüberzuges war die Bildung von Pseudomorphosen des Quarzes nach Flußspat vor sich gegangen. Übrigens folgte der Umhüllung oft noch eine Ausfüllung oder auch eine eigentliche Verdrängung.

Die eigentliche Verdrängung, bei welcher das Urmineral Teilchen für Teilchen zerstört und sofort durch Teile des neuen Minerals ersetzt wird, kann auch ohne vorhergehende Umhüllung eingetreten sein und sowohl bei den durch teilweisen Austausch von Bestandteilen gebildeten Pseudomorphosen, als auch bei den Verdrängungs-Pseudomorphosen im Blumschen Sinne stattgefunden haben. Denn der Unterschied zwischen beiden Arten der Pseudomorphosen beruht doch nur darauf, daß bei den ersteren die zerstörte Substanz mit zum Aufbau der Neubildung dient, während sie bei den letzteren durch die Gewässer fortgeführt wird. Geinitz schlug deshalb vor, „die Bezeichnung Verdrängungs-Pseudomorphosen im Blumschen Sinne gänzlich fallen zu lassen“, und die Pseudomorphosen in folgenden fünf Gruppen unterzubringen:

1. Pseudomorphosen, gebildet ohne Verlust und ohne Aufnahme von Stoffen, sogenannte Paramorphosen.
2. Pseudomorphosen, gebildet durch Verlust von Bestandteilen.
3. Pseudomorphosen, gebildet durch Aufnahme von Bestandteilen.
4. Pseudomorphosen, gebildet durch (teilweisen) Austausch von Bestandteilen (Umwandlungs-Pseudomorphosen), wobei ein nachweisbarer, chemischer Zusammenhang zwischen den Substanzen des ursprünglichen und des pseudomorphen Minerals besteht.
5. Pseudomorphosen, (mechanisch oder hypostatisch) gebildet durch Hinzutreten von neuen, fremden Substanzen und, unabhängig davon, (gänzlicher oder teilweiser) Entfernung der alten Substanz, wobei kein Zusammenhang zwischen den Substanzen des ursprünglichen und des pseudomorphen Minerals stattfindet (Verdrängungs-Pseudomorphosen Blums, hypostatische Pseudomorphosen Naumanns).

Sind mehrere chemische Prozesse aufeinander gefolgt, so wird es allerdings vorkommen, daß eine Pseudomorphose, welche der vierten Gruppe zugerechnet werden müßte, scheinbar der fünften Gruppe angehört. In solchen Fällen kann indes die Auffindung von Zwischenstufen, wie Geinitz durch Beispiele erweist, zu einer richtigen Auffassung verhelfen. Was die Bildungsweisen betrifft, so muß es natürlich oft schwierig sein, mit Sicherheit festzustellen, ob es sich bei der Entstehung einer Pseudomorphose um den Vorgang der Umhüllung, der Ausfüllung oder der eigentlichen Verdrängung handelte.

Blum<sup>77)</sup> verharrete gegenüber den Geinitz'schen Vorschlägen zu einer veränderten Einteilung der Pseudomorphosen bei seiner Ansicht, daß die von ihm herrührende Gegen-

<sup>77)</sup> R. Blum, Die Pseudomorphosen des Mineralreichs. Vierter Nachtrag, Heidelberg 1879, S. 3.

überstellung der Umwandlungs- und Verdrängungs-Pseudomorphosen durch die Thatsachen gerechtfertigt sei. Die ersteren wären ja stofflich von dem formgebenden Urminerale ganz abhängig, da sie aus dessen Substanz hervorgingen, wogegen die Verdrängungs-Pseudomorphosen stofflich keinerlei Zusammenhang mit dem Minerale aufzuweisen hätten, das ihnen seine Form vererbte. Bei den Umwandlungen kämen übrigens weder Umhüllungen noch Ausfüllungen vor; denn die Bildung einer Zersetzungsrinde um einen Kristall könne nicht als eigentliche Umhüllung betrachtet werden, dieselbe sei ja nur Folge desselben Umwandlungsprozesses, welcher schließlic auch das Innere des Kristalls ergriff.

Geinitz<sup>78)</sup> machte dagegen nochmals geltend, die mechanischen Vorgänge der Umhüllung, Ausfüllung und Verdrängung dürften für eine Systematik der Pseudomorphosen überhaupt nicht in erster Linie in Betracht kommen, sondern seien vielmehr für eine Gruppierung niederer Ordnung, für die Bezeichnung der einzelnen Bildungsakte zu verwenden. Die Entstehung der Verdrängungs-Pseudomorphosen Blums beruhe doch eigentlich auch nur auf einem Austausch von Stoffen infolge von chemischen Prozessen, und zwar auf einem totalen Austausch, welcher durch Zwischenglieder vermittelt würde.

Als denjenigen Bildungsakt aber, welcher meist als erste Vorbedingung für die Erhaltung der Form anzusehen ist, bezeichnet Geinitz die Umhüllung, mag sie bestehen in einer Inkrustation, einer Zersetzungsrinde oder in dem umschließenden Gestein. Nur bei einigen Pseudomorphosen, namentlich oft bei den Paramorphosen, scheint sie ihm überflüssig zu sein, wenn nämlich eine starke „Krystallisations-Tendenz“ des Urminerals den Zerfall verhindert.

Der Umhüllung folgt als zweiter Bildungsakt die Auslaugung; mit dieser fast gleichzeitig oder später eintretend, als dritter Bildungsakt die Ersetzung durch die neue Substanz, indem entweder die begonnene Umwandlung weiter fortschreitet, oder eine von der Zersetzung mehr oder weniger unabhängige Ausfüllung stattfindet. Erfolgen Auslaugung und Ersetzung fast gleichzeitig, dann verdrängen die Teilchen der neuen Substanz „gleichsam feindlich“ diejenigen des Urminerals, gleichviel, ob der Verdränger in seinen Bestandteilen abhängig ist von dem Verdrängten oder nicht.

In vielen Fällen traten indes Unterbrechungen in der Aufeinanderfolge der Bildungsakte ein, und die Pseudomorphose blieb dann entweder auf der Stufe der Umhüllungs-Pseudomorphose oder auf dem der hohlen Pseudomorphose zeitweise stehen.

Der früher vorgeschlagenen Einteilung der Pseudomorphosen nach ihren chemischen Bildungsprozessen gab Geinitz jetzt die folgende Fassung:

1. Pseudomorphosen, entstanden ohne Verlust und ohne Aufnahme von Bestandteilen (Paramorphosen).
2. Pseudomorphosen entstanden durch Verlust von Bestandteilen (Apomorphosen). Hier ist die Auslaugung zugleich Ersetzung.
3. Pseudomorphosen, entstanden durch Aufnahme von Bestandteilen (Epimorphosen). Hier fehlt die Auslaugung, und die Ersetzung erfolgt durch eine Aufnahme von Bestandteilen.
4. Pseudomorphosen, entstanden durch Austausch von Bestandteilen, mit noch nachweisbarem Zusammenhange zwischen den Substanzen des ursprünglichen und des pseudomorphen Minerals (Partielle Allomorphosen).
5. Pseudomorphosen, entstanden durch Austausch von Bestandteilen, ohne jeden Zusammenhang (Totale Allomorphosen).

In neuester Zeit wurden von Max Bauer<sup>79)</sup> an Kalkspaten in Aragonitform merkwürdige Beobachtungen gemacht, welche geeignet sind, ein ganz neues Licht auf diese Bildungen zu werfen, die man bisher allgemein als wahre Paramorphosen betrachtete und auf bloße molekulare Umlagerung ohne Änderung des festen Zustandes zurückführte. Die betreffenden Formen entstammten dem gelben sogenannten Flammendolomit der Lettenkohlengruppe von Klein-Sachsenheim, Oberamt Vaihingen, in Württemberg, woselbst sie den Wandungen linsenförmiger Hohlräume aufsafszen, welche sämtlich mit einer harten eisenschüssigen Haut und einer dünnen Braunspatschicht ausgekleidet waren.

<sup>78)</sup> F. E. Geinitz, Zur Systematik der Pseudomorphosen. Tschermaks mineral. und petrogr. Mitteilungen. Bd. II, 1880, S. 489. — <sup>79)</sup> Max Bauer, Über Pseudomorphosen von Kalkspath nach Aragonit. Neues Jahrbuch für Mineralogie. 1886, I. Bd., S. 62.

Die Umbildung der Aragonite war sicher allmählich von außen nach innen vorgegangen, da der neugebildete Kalkspat stets als äußere Rinde, Aragonit dagegen als innerer Kern der aragonitischen Gestalten erschien. Ein nie fehlender Überzug von kalkreichem Braunspat, auf den veränderten, wie auf den unveränderten Aragoniten nachweisbar, hatte dabei formerhaltend gewirkt. Auffallenderweise schlossen die aus der Aragonitmasse hervorgegangenen kleinen Rhomboeder und unregelmäßigen Körner des Kalkspats nicht lückenlos aneinander, sondern bildeten, nur an einzelnen Kanten und Ecken sich wenig berührend, ein weitmaschiges Netz. In einer molekularen Umlagerung konnte demnach die Umwandlung des Aragonits nicht bestanden haben, dieselbe mußte vielmehr mit recht erheblichen Stoffverlusten verknüpft gewesen sein.

Nach Bauers Ansicht drang wahrscheinlich Wasser durch Lücken der schwer löslichen Braunspathaut zu der zerklüfteten leichter löslichen Aragonitsubstanz und sättigte sich mit kohlen-saurem Kalk. Die gesättigte Lösung konnte aber das Karbonat fortgesetzt als rhomboedrischen Kalkspat ausscheiden, da sie in ununterbrochener Berührung mit dem Aragonit sich immer sogleich wieder zu sättigen vermochte. Es wäre unter solchen Umständen möglich gewesen, daß sich sämtlicher Aragonit nach und nach in Kalkspat verwandelte. Anscheinend jedoch kam die Flüssigkeit in den Drusenräumen und den Aragonitkristallen nicht zu völligem Stillstande, weshalb ein Teil des gelösten Karbonats hinweggeführt wurde und für die Kalkspatbildung verloren ging. Dadurch erklären sich sehr einfach die zahlreichen leeren Räume zwischen den Teilen des Kalkspats.

Es sei gewiß, bemerkt Bauer, daß auch anderwärts Kalkspat auf demselben oder auf ähnlichem Wege die Aragonitform erlangt habe, namentlich bei lockerem Gefüge der Neubildung, und wenn ein formerhaltender Überzug vorhanden sei.<sup>80)</sup> Vielleicht würden aber auch manche sogenannte Paramorphosen anderer Substanzen in demselben Sinne aufgefaßt werden müssen, wie die geschilderten Kalkspate in Aragonitform.

<sup>80)</sup> Leuze berichtete einige Zeit darauf schon über derartige Kalkspat-Pseudomorphosen von Burgheim bei Lahr, welche schwerlich durch bloße Texturänderung entstanden waren, sondern unter dem Schutze einer braunen Rinde von thonhaltigem Kalkspate aus dem Aragonit in ähnlicher Weise hervorgingen, wie diejenigen von Klein-Sachsenheim (Bericht über die XXI. Versammlung des Oberrhein. geolog. Vereins. 3 p., 1888. Vergl. Neues Jahrbuch für Mineralogie. 1890, I. Bd., S. 14).

Oberlehrer Dr. Georg Schulze.