

Quellen und Literatur

- Archiv Stift Admont: Faszikel F-4, Gagatbergbau 1460–1560.
- Alberi, Otto v. (1889): Württembergisches Adels- und Wappenbuch. 1. Bd., Stuttgart, 98.
- Borst, Otto (1977): Geschichte der Stadt Esslingen am Neckar. – Esslingen, 178–179.
- Freh, Wilhelm (1954): Ein weiterer Gagatbergbau auf oberösterreichischem Boden. – In: Jahrbuch des oberösterreichischen Musealvereins, **95**, 180–185.
- Freh, Wilhelm (1956): Alte Gagatbergbaue in den nördlichen Ostalpen. – In: Joanneum, Mineralogisches Mitteilungsblatt, **1**, 1–14.
- Hable, Bertraud (2010): Der historische Bergbau in der Gams bei Hieflau. – In: „Norisches Eisen“. Mitteilungen des montangeschichtlichen Vereins Hüttenberg-Knappenberg, **16**, 5–7.
- Hable, Bertraud (2010): Der Gagatbergbau in der Gams bei Hieflau. Ein Beispiel steirisch-schwäbischer Wirtschaftsbeziehungen. – In: „Da Schau Her“. Die Kulturzeitschrift aus Österreichs Mitte, Schloss Trautenfels, 2910/3, 18–20.
- Halbekann, Joachim, Leiter des Stadtarchives Esslingen. Schriftliche Mitteilung an die Verfasserin vom 9.10.2009.
- Kirchgässner, Bernhard (1964): Wirtschaft und Bevölkerung der Reichsstadt Esslingen im Spätmittelalter. (= Esslinger Studien, **9**), Esslingen, 130–136.
- Krause, Albert (1965): Ein alter Gagatbergbau in der Gams bei Hieflau. – In: Der Anschnitt. Zeitschrift für Kunst und Kultur im Bergbau, **17/3**, 23–27.
- Muchar, Albert (1883): Beyträge zu einer urkundlichen Geschichte der altnordischen Berg- und Salzwerke, zweyter Beytrag. – In: Steyermärkische Zeitschrift, **11**, 27–38, bes. S. 30.



Chronologische Dokumentation der im Hinblick auf die Gesteinskunde überwiegend historisch verwendeten Termini „Molekularvolumen, Volumgesetz, Volumenregel“

Magret Hamilton & Franz Pertlik

Institut für Mineralogie und Kristallographie, Universität Wien, Geozentrum, Althanstraße 14, 1090 Wien

Mit der Entwicklung der unterschiedlichen erdwissenschaftlichen Disziplinen im 18. und 19. Jahrhundert entstanden neue Definitionen und Fachbegriffe. Im Besonderen erlangten die Termini Molekularvolumen, Volumgesetz und Volumenregel in der deutschsprachigen Literatur in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts einen bedeutenden Stellenwert. Diese Begriffe werden in der folgenden Besprechung anhand von Literaturbeispielen eingehend erörtert. Insbesondere wird auf die Publikationen des Mineralogen und Petrographen Friedrich Becke hingewiesen, in dessen Untersuchungen im Bereich der metamorphen Gesteine diese Begriffe erstmals Verwendung fanden.

Einleitung

Die dynamischen Entwicklungen auf den verschiedensten Gebieten der Naturwissenschaften führten ab dem 17. Jahrhundert in Europa naturgemäß auch zu mannigfaltigen, Fächer übergreifenden Verschränkungen unterschiedlicher wissenschaftlicher Disziplinen. Neue Forschungsergebnisse beeinflussten Wissenschaftler in ihren Arbeitsausrichtungen und Arbeitsweisen in vielerlei Hinsicht und in unterschiedlicher Intensität. Durch die zunehmende Reichweite des wissenschaftlichen Publikationswesens, vor allem ab dem ausgehenden 18. Jahrhundert, verbesserte sich auch die Informationslage an den Forschungsstätten signifikant, sodass immer öfter auf den Erkenntnissen von

Fachkollegen aufgebaut wurde und es immer weniger zu unfruchtbaren Mehrgleisigkeiten kam - dies alles naturgemäß im Rahmen eines lebhafter werdenden internationalen wissenschaftlichen Diskurses.

Ein Teilgebiet dieser Fächer-übergreifenden Arbeitsweise stellte das Problem der fachlichen Nomenklatur dar. Die Übernahme von Arbeits- und Forschungsmethoden verwandter Disziplinen führte zu einer Vielzahl neuer Ergebnisse, und damit verbunden schien daraus der Bedarf an neuen, streng definierten Fachbegriffen zu entstehen.

Im folgenden Beitrag sollen aus dem Gebiet der Gesteinskunde einige solche Fachbegriffe herausgegriffen werden und - wertungsfrei - versucht werden, darzustellen, in welchen unterschiedlichen Formen verschiedene Wissenschaftler ihre Arbeitsweisen, Beobachtungen und daraus resultierenden Folgerungen und Schlüsse publiziert und letztendlich neue Fachbegriffe geschaffen haben, die in weiterer Folge - vielfach kontrovers diskutiert - in die Fachsprache Eingang gefunden haben.

Aus den Fachwissenschaften Chemie und Physik sind durch die Auseinandersetzung mit den Objekten Mineral und Gestein auch Begriffe aus deren Fachsprache in die Mineralogie und Petrographie übernommen worden. Dies war und ist legitim, sofern diese Begriffe einer strengen Zensur unterworfen werden, die auf die Mannigfaltigkeit natürlich entstandener Körper Rücksicht nimmt, und keineswegs Ergebnisse darstellen, welche an synthetischen Substanzen ermittelt wurden, auch wenn man diese kritisch auf die Entstehung oben genannter Festkörper überträgt.

Im vorliegenden Artikel soll keine Definition der im Titel angeführten Begriffe diskutiert werden, sondern es wird versucht, Wortschöpfungen und die Kommentare zu diesen nebst ihrem Eingang in die Fachwissenschaften Mineralogie und Petrographie aufzuzeigen.

Molekularvolumen

In einer umfassenden Veröffentlichung hat Lepsius (1893) die experimentellen Untersuchungen und die aus der Feldbeobachtung empirisch ermittelten Ergebnisse zur Umkristallisation in chemischen Systemen unter der Einwirkung von Druck an Hand der vorliegenden Literatur zusammengestellt. In dieser Arbeit wurde der Begriff Molekularvolumen (= Molekulargewicht / Spezifisches Gewicht) definiert und darauf hingewiesen, dass neben dem Druck auch weitere Parameter, wie Temperatur, bei der Metamorphose der Gesteine eine Rolle spielen. Im folgenden Absatz eine kurze Passage aus dem Werk von Lepsius:

Aus allgemeinen energetischen Gründen ist anzunehmen, dass bei der Umkrystallisierung der Mineralien in den metamorphen Gesteinen stets die Molekularvolumina der neophytischen Mineralien kleiner sind als die Volumina der Verbindungen, aus denen sie entstanden, obwohl aus obigen Gründen eine direkte Anwendung der Springerschen [sic!] Versuche, d.h. Druck als alleinige Ursache, ausgeschlossen ist.

An Hand eigener Versuche, bei denen definierte chemische Verbindungen hohen Drucken unterworfen wurden, postulierte Spring (1880) einen hohen Grad an Plastizität, weitestgehend freie Beweglichkeit der Moleküle und ein dadurch neues Gefüge dieser Körper. Er vermeidet jegliche Schlussfolgerung in Bezug auf eine Änderung des Volumens.

Becke (1896a, b) berichtete in zwei gleichlautenden Artikeln über den Vergleich der am Aufbau der Massengesteine mit den aus ihnen durch Metamorphose hervorgegangenen metamorphen Gesteinen in Bezug auf deren mineralogische Zusammensetzung. Er wies des Weiteren auf den in Summe gleichen Chemismus bei Vorliegen von unterschiedlichen Verbindungen (Mineralien) in den beiden Gesteinsarten hin, abgesehen von einem geringen Gehalt an Wasser, der die metamorphen Gesteine auszeichnet. Ein Vergleich der Summen der Molekularvolumina (Molekularvolumen = Molekulargewicht / Spezifisches

Gewicht) der Minerale vor und nach der Metamorphose zeigte an Hand der ausgewählten Beispiele, dass das metamorphe Gestein ein geringeres Volumen aufweist. In Faksimile (Abb. 1) ist ein Auszug aus der Originalarbeit wiedergegeben. In diesem Artikel vermeidet Becke den Begriff Gesetz, das beschriebene Phänomen wird auch nicht als Prinzip bzw. Regel bezeichnet. Bereits vorhandene Literatur aus verwandten Disziplinen der Naturwissenschaft erwähnte Becke in diesen Publikationen nicht (Hamilton, 2015).

Eine Veröffentlichung von Heim (1896), die von Becke (1913) angeführt wurde, behandelte ebenfalls die Wechselwirkung Metamorphose und Volumen der Komponenten vor und nach einer Druckbelastung. Erwähnenswert ist in diesem Zusammenhang auch eine Textstelle in einem Tagungsbericht anlässlich des Congrès Géologique International 1899 in St. Petersburg. In diesem wurde von Loewinson-Lessing in einem umfangreichen Aufsatz über die Bedeutung der von Becke aufgestellten Regel diskutiert.

Volumgesetz

Der Druck stellt eines der wichtigsten Kriterien für die Bildung der kristallinen Schiefer nach Grubenmann (1904, 1910) dar und wurde in seiner Veröffentlichung (mehrere Auflagen) bezüglich dieser Gesteine ausführlich behandelt. In diesen Abhandlungen wurde die von Becke 1896 aufgestellte Regel in Bezug auf den Einfluss des Druckes auf die Metamorphose bereits als „Volumgesetz“ bezeichnet und auf eine Literaturstelle „Becke (1903)“ hingewiesen. In ausführlichen rechnerischen Beispielen versuchte Grubenmann, das erwähnte Gesetz zu belegen. Nach den persönlichen Recherchen der Autoren hat Grubenmann den Begriff „Volumgesetz“, *expressis verbis*, in die Literatur eingeführt.

In einer Denkschrift der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften verwendete Becke (1913) den Begriff Volumgesetz als Überschrift zu einem Kapitel und gibt eine einfache Rechenregel zur Berechnung des Molekularvolumens auch für die aus vielen Mineralgruppen bekannten isomorphen Mischungen (Mischkristalle) an. In einer Fußnote, im Folgenden wiedergegeben, wurde von ihm auch die Literatur angeführt, welche sich mit dem Phänomen des Volumens in isochemischen Gesteinen beschäftigte, ein Hinweis auf Grubenmann (1904, 1910) scheint nicht auf. Im Folgenden die Wiedergabe der erwähnten Fußnote (Becke, 1913):

Die Regel, welche hier als Volumgesetz bezeichnet wird, wurde zuerst publiziert von R. Lepsius: Geologie von Attika, Berlin 1893. Unabhängig von dieser Publikation wurde sie Anfang 1895 gefunden, ausgesprochen und für die Umwandlung von Anorthit, Orthoklas und Wasser in Zoisit, Glimmer und Quarz in Form einer chemischen Gleichung dargestellt vom Verfasser (Anzeiger der kais. Akad. d. Wiss. Wien 1896, 13, und Neues Jahrb. f. Min. etc. 1896, II. 182). Wiederum unabhängig von beiden fand dieselbe Regel A. Heim (Festschr. der Naturf. Gesellschaft in Zürich, 1746-1896. 2. Teil. 354 [1896]). Es ist übrigens recht fraglich ob einer von den drei genannten das Verdienst hat, das Volumgesetz zuerst gefunden zu haben. Als ich im Jahre 1895 die Beziehung Rosenbusch brieflich mitteilte, war sie ihm schon bekannt und von einem Freund wurde mir mitgeteilt, daß schon lange vorher Rosenbusch in Vorlesungen die Tatsache betont hatte, daß von mehreren heteromorphen Mineralen in den kristallinen Schiefen immer das schwerste aufträte (Disthen, Rutil).

In einem Absatz aus einer Exkursionsbeschreibung in das nordwestliche Böhmen wurde von Stark (1913), einem Kommilitonen von Becke, auf den Einfluss des Druckes als eine wichtige Komponente in der Metamorphose hingewiesen. Dieser Autor zeigte des Weiteren aber auch auf, dass es keine allgemeine Gültigkeit für das Volumgesetz gibt. Wörtlich nach Stark:

Der Mineralbestand kontaktmetamorpher Gesteine in den oberen Zonen der Erdrinde wird wenig vom Druck, dafür aber vornehmlich von der Temperatur beherrscht, demnach bilden sich bekanntlich gern Minerale von größerem Molekularvolumen; bei der Ausbildung der anderen metamorphen Gesteine

aber in der oberen Tiefenstufe hat die Temperatur geringeren Einfluß, hier diktiert der Druck die Gesetze; demnach bilden sich Minerale mit kleinem Molekularvolumen.

In der unteren Tiefenstufe herrscht Antagonismus von Druck und Temperatur; demnach bilden sich vielfach auch Minerale mit größerem Molekularvolumen und diese Eigentümlichkeit bedingt, daß manche regionalmetamorphe Gesteine im Mineralbestand eine große Ähnlichkeit mit Kontaktgesteinen aufweisen, die in verhältnismäßig geringerer Rindentiefe gebildet sind.

Harsche Kritik sowohl am Begriff Gesetz als auch an der stark vereinfachten Darstellung von chemischen Vorgängen während der Metamorphose übte Boeke (1915) in seinem Lehrbuch Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie. Zum Begriff Volumgesetz ein kurzes Kapitel aus diesem Werk „Metamorphose der Gesteine“:

Die Möglichkeit einer chemischen Reaktion unter gegebenen Bedingungen des Drucks und der Temperatur wird jedoch nicht durch den Volumeffekt oder die Wärmetönung der Reaktion, sondern nur durch die Änderung der freien Energie des Systems eindeutig bestimmt und zwar so, daß die sich vollziehende Reaktion mit einer Abnahme der freien Energie des Systems verknüpft ist. Das „Volumgesetz“ hat daher ebensowenig Berechtigung wie das längst als unrichtig erkannte „Berthelotsche Prinzip“, das die alleinige Abhängigkeit von der zugeführten Wärmetönung postulierte. Nur wenn zwischen den reagierenden Stoffen ein Gleichgewicht von der Form



besteht, wird eine Druckerhöhung bei gleichbleibender Temperatur die Reaktion unter Volumabnahme im Sinne des Volumgesetzes zur Folge haben. Liegt jedoch ein solches Gleichgewicht nicht vor, so könnte durch Druckzunahme sehr wohl eine Reaktion ausgelöst werden, die einer Volumvermehrung entspricht.

In einem Artikel mit dem Titel „Fortschritte auf dem Gebiet der Metamorphose“ wurde von Becke (1916) in einer Fußnote der Begriff Volumgesetz angeführt, Hinweise auf weitere Literatur, vor allem auf eine Namensgebung dieses Gesetzes im Zusammenhang mit seiner Person, aber nicht gegeben. Auch die am Begriff Gesetz geübte Kritik durch Fachkollegen fand keine Erwähnung.

Volumenregel

In der Neuen Deutschen Biographie wurde von Fischer (1953) in einer Biographie zu Becke das Vokabel Volumenregel bereits mit der Vorsilbe Becke'sche versehen. Der Hinweis auf das Jahr 1896 bezieht sich hier auf die zwei Veröffentlichungen von Becke (1896a, b).

Führend wurde B.[ecke] als Petrograph, insbesondere für die Erkenntnis der Gesteinsmetamorphose. 1896 formulierte er [Becke] die B.'sche Volumenregel, nach der bei Druckzunahme die Phase stabil ist, die unter Volumenabnahme entsteht (gleiche Temperatur vorausgesetzt).

In einer Hommage als Erinnerung an seinen Lehrer Friedrich Becke wurde von Tertsch (1956), ohne Hinweise auf die vorliegenden Kommentare zum Begriff Volumgesetz, dieses mit der Bezeichnung „Beckesches“ in die Literatur eingebracht. Wörtlich ein Absatz aus diesem Artikel (Fettdruck durch die Autoren vorgenommen):

*Das Rieckesche Prinzip ist weniger wirksam, dagegen tritt eine andere Erscheinung auf, die heute als das „**Beckesche Volumgesetz**“ bezeichnet wird. Schon in Prag befaßte sich Becke (1896) mit den „**Beziehungen zwischen Dynamometamorphose und Molekularvolumen**“ und erbrachte den Nachweis, daß sich unter den Bedingungen großer Rindentiefe und höherer Temperatur aus dem chemischen Bestand des umkristallisierten Gesteines neue Minerale bilden können, die durch ein beträchtlich geringeres Molekularvolumen auffallen.*

Im Folgenden drei Literaturstellen, welche sich kritisch mit dem Begriff Volumengesetz auseinandergesetzt haben. Fyfe et al. (1958):

It is no longer satisfactory to interpret metamorphic mineral assemblages as products of reactions in a closed system determined by a single physical variable such as temperature or confining pressure. Rather we envisage even the simplest cases of metamorphism as complex reactions in multicomponent systems subject to the influence of many physical variables among which may be mentioned temperature, load pressure, fluid pressure, partial pressures of fluid components such as H₂O and CO₂, and so on. The system cannot be regarded as closed to some components.

Pfeiffer et al. (1981):

Angewandt auf die Metamorphoseprozesse, kann aus dem Le Chatelier-Braun'schen Prinzip gefolgert werden, daß ein hoher Druck die Bildung von Mineralparagenesen mit kleinerem Volumen fördern wird. Von Lepsius (1893), Grubenmann (1910) u. a. wurden diese Aussagen des le Chatelierschen Prinzips als sog. Volumenregel in die Geologie eingeführt.

Tomkeieff, Sergei Ivanovich (1983):

Volume Law.

For igneous rocks it was discovered by Loewinson-Lessing that alkali and calc-alkali minerals have a molecular volume greater than the sum of the molecular volumes of the constituent oxides (plus minerals) and that for ferromagnesian minerals the relation is reversed (minus minerals). For metamorphic rocks Becke suggested that during the metamorphic process of dynamic metamorphism the molecular volume of minerals is decreasing.

Becke, F. (1896b). Neues Jb. Miner. Geol. Paläont. 182.

Loewinson-Lessing, F. (1899). C. R. Septième Congr. Géol. Inter., St. Pétersb., 327.

Resümee

Die vorliegende Dokumentation zu einer physikalischen Größe, dem Volumen, welche in die Gesteinskunde in komplexer Definition Eingang gefunden hat, bedarf im Speziellen einiger Kommentare. Während das Volumen (Molekularvolumen) in mathematischer Form, im vorliegenden Fall sowohl vor als auch nach einer physikalisch-chemischen Reaktion, hier Metamorphose genannt, ausgedrückt werden kann, ist die Änderung des Volumens lediglich eine empirische Größe. Von einem Begriff Volumengesetz zu sprechen, ist nicht angebracht, da ein solches nur auf Grund allgemeiner Gültigkeit Verwendung finden sollte. Nach den kritischen Bemerkungen, wie vorliegend angeführt, sind die Kriterien für ein Gesetz nicht erfüllt, eine Bezeichnung wie Regel, Hypothese oder Theorie würde den wahren Ergebnissen der vorliegenden Analysen eher entsprechen.

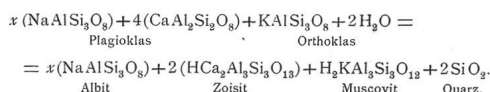
Eine Kritik, die sich an einer Namensgebung orientiert, sollte jedoch nicht allgemein auf die wissenschaftliche Leistung reflektieren. Auch eine Hommage an einen der zu seiner Zeit bekanntesten Erdwissenschaftler, Friedrich Becke, und die Belegung eines Begriffes mit seinem Namen sollte nicht in einer abwertenden Kritik enden und stellt keine Minderung der Verdienste dieser Person dar. Wenn sich die Fachkollegen der einschlägigen Wissensdisziplinen der Bedeutung des Begriffes „Volumengesetz“ bewusst sind, ist gegen eine Verwendung des Begriffes nichts einzuwenden, und dieser stellt einen weiteren Terminus in der Fachsprache dar.

Dank

Für Hinweise aus der einschlägigen Literatur, anregende Diskussionen und für technische Hilfe gilt der Dank Herrn Ing. Wolfgang Zirbs (Institut für Mineralogie und Kristallographie, Universität Wien).

Vergleicht man gewisse Massengesteine mit den aus ihnen durch Dynamometamorphose hervorgegangenen Gesteinen nach ihrer mineralogischen Zusammensetzung, so zeigt sich, dass sie dieselben chemischen Elemente in verschiedenen Verbindungen enthalten, abgesehen von einem kleinen Gehalt von Wasser, der die metamorphen Gesteine auszeichnet. So finden wir in den Porphyren K, Al, Si als Orthoklas, in den daraus hervorgegangenen Sericitschiefern als Muscovit und Quarz. In Gabbro und Diabas sind Na, Ca, Al und Si zu basischen Plagioklasen verbunden; in den Diabasschiefern und in gewissen metamorphen Gabbros (Saussurit-Gabbros, Allalinschiefer) zu sauren Na-reichen Plagioklasen und Zoisit.

Die letztere Umwandlung lässt sich leicht in Form einer chemischen Gleichung anschreiben; es wird bei derselben etwas Wasser aufgenommen und der Plagioklas in Albit einerseits, Zoisit andererseits zerlegt; dabei bleibt ein Rest, $H_2Al_2Si_2O_8$, der einem Theil der Muscovitformel entspricht. Nimmt man noch eine kleine Menge Kalifeldspath in die Reaktionsgleichung auf, so lässt sich durch dieselbe ohne Rest die Zerlegung von Plagioklas und Orthoklas in Albit, Zoisit, Muscovit und Quarz darstellen:



Vergleicht man das Molecularvolumen der Verbindungen zu beiden Seiten des Gleichheitszeichens, so zeigt sich auf der rechten Seite eine bedeutend kleinere Zahl. Von der Albit-substanz, die beiderseits wiederkehrt, kann dabei abgesehen werden:

	Molecular- volum		Molecular- volum
Anorthit	$4 \times 100 \cdot 7 = 402 \cdot 8$	Zoisit	$2 \times 137 \cdot 9 = 275 \cdot 8$
Orthoklas	$108 \cdot 3 = 108 \cdot 3$	Muscovit	$141 \cdot 1 = 141 \cdot 1$
Wasser	$2 \times 18 = 36$	Quarz	$2 \times 22 \cdot 8 = 45 \cdot 6$
	<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> 547 · 1		<hr style="width: 50%; margin: 0 auto;"/> 462 · 5

Abb. 1 Faksimile aus der Veröffentlichung von Becke (1896b), in der ein Rechenbeispiel zur Bestimmung der Molekularvolumina angegeben wurde.

Quellen und Literatur

- Becke, Friedrich (1896a): Beziehungen zwischen Dynamometamorphose und Molecularvolumen. – In: Anzeiger der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Classe, 33. Jg., Nr. III, 13–15.
- Becke, Friedrich (1896b): Ueber Beziehungen zwischen Dynamometamorphose und Molecularvolumen. – In: Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie. Jahrgang 1896, II. B., 182–183.
- Becke, Friedrich (1903): Versiegeltes Schreiben zur Wahrung der Priorität (Über Mineralbestand und Struktur der kristallinen Schiefer). – In: Sitzungsberichte der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Bd. 112, 329 (Druckjahr 1913).
- Becke, Friedrich (1913): Das Volumgesetz. – In: Denkschriften der kaiserlichen Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, 75 (I. Halbbd.), 6–7.
- Becke, Friedrich (1916): Fortschritte auf dem Gebiet der Metamorphose. – In: Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie, 5. B., 210–264, bes. 223.
- Boeke, Hendrik Enno (1915): Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie. – Berlin (Verlag von Gebrüder Bornträger), bes. 399–400.
- Fischer, Walther (1953): Becke, Friedrich Johann Karl, Mineraloge. – In: Neue Deutsche Biographie. 1. Bd., Berlin (Duncker & Humblot), 708.
- Fyfe, William Sefton, Turner, Francis John, Verhoogen, John (1958): Preface. – In: Metamorphic reactions and metamorphic facies. Geological Society of America Memoirs, 73, XI–XII.
- Grubenmann, Johann Ulrich (1904): Der Druck. – In: Die Kristallinen Schiefer. I. Allgemeiner Teil. 105 S., Berlin (Verlag von Gebrüder Bornträger), bes. 33–38.
- Grubenmann, Johann Ulrich (1910): Der Druck. – In: Die Kristallinen Schiefer. Eine Darstellung der Erscheinungen der Gesteinsmetamorphose und ihrer Produkte. 298 S., Berlin (Verlag von Gebrüder Bornträger), bes. 51–56.
- Hamilton, Margret (2015): Der Weg von der praktischen Erkenntnis zur theoretischen Deutung im Anschluss an die Notizbücher des Mineralogen und Petrographen Friedrich (Johann Karl) Becke (1855-1931). – Dissertation an der philosophischen Fakultät der Universität Wien.
- Heim, Jacob Albert (1896): Stauungsmetamorphose an Walliser Anthracit und einige Folgerungen daraus. – In: Sonderdruck aus der Festschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich (1746-1896).
- Lepsius, Richard (1893): Geologie von Attika. Ein Beitrag zur Lehre vom Metamorphismus der Gesteine. – Berlin, Dietrich Reimer, 196 S., bes. 191. (Referiert in N. Jb. Miner., Jg. 1895, 1. Bd., 296–301).

- Loewinson-Lessing, Fjodor Juljewitsch (Franz) (1899): Studien über die Eruptivgesteine. (Seiten 196-464). Zweites Capitel: Die durch Kristallisation bedingte Differentiation. – In: Congrès Géologique International. Comte Rendu de la VII. Session, St. Petersburg 1897, 317–365.
- Pfeiffer, Ludwig, Kurze, Manfred, Mathé, Gerhard (1981): Einführung in die Petrologie. Kinetik der metamorphen Kristallisation, Stuttgart (Ferdinand Enke Verlag), 453.
- Spring, Walter (Walthère) (1880): Recherches sur la propriété que possèdent les corps solides de se souder sous l'action de la pression. – In: Bulletin de l'Académie royale des sciences de Belgique, 49. Jg., 2. Folge, 323–379.
- Stark, Michael (1913): Bericht über die mineralogisch-petrographische Exkursion des Naturwissenschaftlichen Vereines in das nordwestliche Böhmen. B. Wissenschaftliche Ergebnisse. – In: Mitteilungen des Naturwissenschaftlichen Vereines an der Universität Wien. XI. Jg., 25–87, 102–137, bes. 129.
- Tertsch, Hermann (1956): Erinnerungen an Friedrich Becke. – In: Mitteilungen der Österreichischen Mineralogischen Gesellschaft, Sonderheft 4, 3–22, bes. S. 16.
- Tomkeieff, Sergei Ivanovich (1983): Volume law. – In: Dictionary of Petrology. John Wiley & Sons, 600.



Die Menschheit als geologischer Faktor: Von der Anthropogeologie zur Umweltgeoforschung im Anthropozän

Hermann Häusler

Department für Umweltgeowissenschaften, Universität Wien, Geozentrum, Althanstraße 14, 1090 Wien;
hermann.haeusler@univie.ac.at

„Man darf die bisherige Vernachlässigung der „Anthropo-Geologie“ seitens der geologischen Fachwelt daraus erklären, dass die Länge des „anthropozoischen“ Zeitraumes weit unter erdgeschichtlichen Maßen liegt“.

[Geleitwort des Geologen der Universität Rostock, Dr. Kurd von Bülow, zur Arbeit: „Das Wirken des Menschen im geologischen Geschehen. Eine Vorstudie zur Anthropogeologie...“ von Heinrich Häusler (1959)]

Definitionen einer Anthropo-Geologie unterscheiden sich, je nachdem, ob die Menschheit als Konsument der geologischen Umwelt oder als Akteur im geologischen Kreislauf des Systems Erde betrachtet wird. Die Begründung der Anthropogeologie im Jahr 1959 basierte auf der Analyse und Prognose geologischer Prozesse, die durch den geotechnisch planenden Menschen bewirkt werden. Eine Definition der Anthropogeologie unter dem Gesichtspunkt der Beziehungen zwischen Mensch und geologischem Geschehen in Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft bezog sich auf das Wirken des Menschen als geologischer Faktor in der Dimension endogener und exogener geologischer Prozesse. Gerade im Zuge des Kraftwerkbbaus war es daher notwendig, konkrete Umwelt-Prozessanalysen und geologisch-ökologische Prognosen über einen Zeitraum von mindestens 100 Jahren, jedoch bis zum Ende einer Funktionsperiode des Bauwerkes abzugeben. Diese anthropogeologische Betrachtungsweise betonte vor allem das Risiko geotechnischer Großprojekte, das vom Projektanten ökonomisch kalkuliert werden musste. Vertreter dieser aus der Baupraxis resultierenden Sichtweise waren die Ingenieurgeologen Heinrich F. Häusler (Österreich), Heinrich Jäckli (Schweiz) und Rudolf Hohl (Deutschland).

In einer anderen Sichtweise der späten 1970er-Jahre wurde Anthropogeologie als eine Wissenschaft betrachtet, welche den Menschen als Konsumenten der geologischen Umwelt durch Nutzung von Rohstoffen beschrieb. Einziger Vertreter dieser Richtung war der deutsche Geologe Werner Kasig. Mitte der 1980er-Jahre erfolgte ein weiterer Paradigmenwechsel, der besonders die im Konflikt zwischen