Werk

Titel: Die Ursachen der Differentiation in silikatischen Schmelzflüssen

Autor: Eitel , W.

Ort: Berlin

Jahr: 1918

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?34557155X_0006|LOG_0227

Kontakt/Contact

Digizeitschriften e.V.
SUB Göttingen
Platz der Göttinger Sieben 1
37073 Göttingen

info@digizeitschriften.de

Marxistischen Lehre ganz oder teilweise längst preisgegeben sind.

Indessen wäre es doch verkehrt, die Bedeutung, welche diese Unsicherheit und Oberflächlichkeit des historischen Materialismus für die Marxistische Lehre als Ganzes haben, zu überspannen. Denn diese ruht eben doch auf einem breiteren Fundament, als in dem Grundgedanken des historischen Materialismus zu Tage tritt. Und hier gilt eben auch *Goethes* Wort, daß bedeutende Menschen mit ihrer Zeit in der Regel durch gewisse Fehler zusammenhängen, während das bleibend Fruchtbare ihnen selbst, ihrer Individualität, angehört.

Die Ursachen der Differentiation in silikatischen Schmelzflüssen.

Von Privatdozent Dr. W. Eitel, Frankfurt a. M.

In der Lehre von den Eruptivgesteinen spielen diejenigen Erscheinungen eine besonders wichtige Rolle, welche auf eigenartige Trennungsvorgänge in einer ursprünglich vollständig homogenen Masse eines silikatischen Schmelzflusses zurückzuführen sind. Infolge derartiger Scheidungen wird die Masse an verschiedenen Orten eine verschiedene chemische Zusammensetzung zeigen. Des weiteren erhält nach der Verfestigung des Schmelzflusses auch der Mineralbestand und die Kristallisationsfolge des entstehenden Gesteinskomplexes an verschiedenen Stellen ein unterschiedliches Gepräge. Derartige Trennungsvorgänge sind also letzten Endes überhaupt die Ursache der Mannigfaltigkeit der Eruptivgesteine, es wird demnach für den Petrographen ganz besonders wichtig sein, sich womöglich über ihren Verlauf zu unterrichten. Wenn diese Aufgabe auch noch nicht in allen Einzelheiten experimentell gelöst werden kann, so hat man doch eine größere Anzahl von Hypothesen und Theorien über die Differentiation der Eruptivgesteine aufgestellt, welche im Folgenden kurz besprochen werden sollen. Es werden uns dabei kritische Betrachtungen über die Bedeutung der verschiedenen vorausgesetzten physikalischen oder chemischen Verhältnisse leiten, deren Wirkungen uns in den Erscheinungen der Differentiation begegnen. Insbesondere wollen wir uns auch darüber klar zu werden versuchen, inwiefern der Fortschritt auf dem Gebiete der Lehre von den heterogenen Gleichgewichten, die neuerdings mit großem Erfolge auf minero- und petrogenetische Fragen angewandt worden ist, diesen Anschauungen entgegnet oder sie unterstützt.

Zunächst müssen wir bei einer allgemeinen Betrachtung der Differentiationen feststellen, daß man von verschiedenen Stadien der Gesteinsbildung aus den magmatischen Schmelzflüssen ausgehen kann, in denen die charakteristischen Trennungsvorgänge einsetzen und so der Verlauf dieser Prozesse bestimmt wird. Man kann nämlich zunächst einmal annehmen, daß bereits in dem noch völlig flüssigen Zustande eines homogenen silikatischen Schmelzflusses die Tendenz zur Ausbildung von Trennungen zum Durchbruch kommt, so daß also schon im Magma die Differentiation vollständig wird und die verschieden zusammengesetzten Teilmagmen für sich alsdann verschiedenartige Gesteinstypen entstehen lassen; man bezeichnet derartige Prozesse als magmatische oder primäre Differentiationen. Demgegenüber kann man sich auch vorstellen, daß die Differentiation lediglich in einem bereits weiter fortgeschrittenen Stadium der Abkühlung eines Silikatmagmas sich ausbilden mag, daß also ein derartiger Schmelzfluß an sich vollständig homogen bleiben wird und daß erst bei einer Änderung der Zustandsbedingungen, insbesondere durch eine Temperaturerniedrigung oder eine Druckentlastung die heterogene Beschaffenheit des Ganzen bei der Kristallisation die Ursache der Differentiationserscheinungen wird. Wir sehen also, daß die Verfestigung eines Magmas ebenfalls eine Differentiation besonderer Art herbeiführen kann, und wir werden die Gesetze der Phasenlehre auf die hier vorauszusehenden Vorgänge in Anwendung zu bringen haben.

1. Primäre magmatische Differentiation durch Einwirkung gravitativer Kräfte auf homogene schmelzflüssige Gemenge.

Voraussetzung für die theoretische Betrachtung der Möglichkeit einer Differentiation in einem silikatischen Magma unter dem Einfluß des Schwerefeldes der Erde ist eine vollkommen homogene Beschaffenheit des ersteren zu einer gewissen Zeit, welche als Ausgangspunkt den Erörterungen zugrunde gelegt werden soll. Wir haben uns alsdann die Frage vorzulegen, ob die Gravitationskräfte Konzentrationsunterschiede im Innern dieses Schmelzflusses bewirken können. Die Magmen sind im allgemeinen bekanntlich nicht einfache Einstoffsysteme, sondern meist sehr kompliziert zusammengesetzte Gemenge verschiedenartiger Molekülarten, im Sinne der physikalischen Chemie also Schmelz*lösungen*, in denen eine Stoffart die andere gelöst enthält. Es wäre nun durchaus denkbar, daß eine Sonderung dieser Stoffarten nach der Dichte in dem Sinne stattfinden könne, daß in größeren Erdtiefen die schwereren Elemente sich anreicherten, die leichteren aber in einer größeren Entfernung vom Schwerpunkte der Erde zu liegen kämen. Ohne Zweifel haben wir ähnliche Scheidungen von Stoffarten, wenn wir den Differentiationsbegriff auch auf die allgemeineren geophysikalischen Verhältnisse ausdehnen dürfen, in der Zusammensetzung der Gasatmosphäre unseres Planeten sowie im Innersten der Erde deutlich zu erkennen. Wir wollen aber die Abmessung der in der Theorie vorausgesetzten einheitlichen Silikatschmelzflüsse in gewissen „Magmenherden" auf solche Dimensionen beschränken, welche im Verhältnis zu der Größe des Erdradius als geringfügig angesehen werden können, z. B. auf wenige Kilometer Mächtigkeit. Alsdann sind die Versuchsbedingungen, welche wir im Laboratorium zur Untersuchung

des Problemes beispielsweise in wässrigen Salzlösungen verwirklichen können, jedenfalls diesen Verhältnissen einigermaßen analog. Wir werden nun nachprüfen, ob in einem Rohre von einigen Metern Länge, das mit einer Salzlösung von bekannter Konzentration gefüllt ist, bei möglichster Konstanz der Temperatur in der Umgebung am unteren Ende eine höhere Konzentration entsteht als der Ausgangslösung entspricht, bzw. ob am oberen Ende der umgekehrte Effekt eintritt. Bekanntlich hat *Gay-Lussac* vor etwa hundert Jahren bei solchen Versuchen selbst nach monatelangem Stehen einer Salzlösung nichts derartiges beobachten können. Offenbar ist die Wirkung der Schwerkraft viel zu gering, als daß die Analyse die Konzentrationsverschiebungen nachzuweisen gestattete. Das Problem der gravitativen Differentiation in einem homogenen flüssigen Silikatmagma ist übrigens der thermodynamischen Behandlung zugänglich, und auf diesem Wege haben *Gouy* und *Chaperon* (Ann. dech et phys. *12*, 1887, p. 384) bereits vor 30 Jahren nachzuweisen vermocht, daß selbst in Flüssigkeitssäulen von 100 m Höhe einer homogenen wässerigen Lösung unter dem Einfluß der Schwerkraft nur so geringfügige Konzentrationsverschiebungen entstehen müßten, daß diese innerhalb der analytischen Fehlergrenzen fielen. Zu ganz entsprechenden Ergebnissen käme man, wenn man diese Rechnungen für die magmatischen Schmelzlösungen durchführte. Es ist demnach wohl als unwahrscheinlich zu bezeichnen, daß die Erscheinungen der rein gravitativen magmatischen Differentiation einen so großen Umfang erreicht hätten, wie ihn die Verschiedenheit in Typus und Zusammensetzung der differenzierten Gesteine in der Natur tatsächlich zeigt. Die thermodynamische Behandlung der Frage, wie sie *P. Niggli* gegeben hat (Zeitschr. f. anorg. u. allg. Ch. *91*, 1915, S. 107—133) und in der besonders eine Anwendung der Lehre vom chemischen Potential enthalten ist, möge als theoretisch interessante Arbeit hervorgehoben werden.

Man hat vor etwa 20 Jahren geglaubt, eine Bestätigung der Annahme von magmatischen Differentiationen durch Schwerkräfte in den Experimentaluntersuchungen von *J. Morozewicz* (Tschermaks Min. u. Petr. Mitt. *18*, 1898, S. 2320) gefunden zu haben. Dieser Forscher hatte bei der Herstellung einer Schmelze eines granitischen Gesteines beobachtet, daß die oberen Teile der im Glashafen verflüssigten Masse vorherrschend Kieselsäure enthielten, während am Boden des Hafens eine merklich basischere Zusammensetzung ermittelt werden konnte. Bei einer kritischen Betrachtung dieser Erscheinung bemerkte man indessen, daß hier offenbar von vornherein zu wenig auf die Herstellung einer durchaus homogenen Schmelze Bedacht genommen worden war. Es wurden in der Granitmasse zuerst die basischen leichter schmelzbaren Anteile mit einem hohen Gehalte an Eisen und Magnesia verflüssigt, diese Teilschmelzen waren durch die noch festen Anteile durchgesickert, und daher notwendigerweise am Boden des Hafens die basischen Bestandteile angereichert worden. Die wesentlich schwerer schmelzbaren sauren Mineralien sammelten sich wegen ihres geringeren spezifischen Gewichtes in den oberen Schichten an, so daß eine saure Schmelze über der basischeren entstehen mußte. Die Versuche von *Morozewicz* wären für eine gravitative magmatische Differentiation beweisend, wenn zu irgendeiner Zeit die Schmelze wirklich homogen gewesen wäre und *dann* nachweislich eine Scheidung in einen basischeren Teil am Boden des Hafens bzw. eine saurere Schmelze in den oberen Schichten stattgefunden hätte. In der Glasfabrik beobachtet man übrigens bei einer sehr lange andauernden Erhitzung der Glasschmelzflüsse nie selbsttätige Trennungen nach dem spezifischen Gewichte. Theorie und Experiment scheinen uns also übereinstimmend zu beweisen, daß eine gravitative Differentiation in homogenen magmatischen Silikatschmelzen als petrologischer Faktor keine allgemein ausschlaggebende Rolle zu spielen vermag.

2. *Einfluß von Zentrifugalkräften auf die Zusammensetzung silikatischer Schmelzlösungen.*

Man könnte sich die Frage vorlegen, ob in homogenen magmatischen Flüssigkeiten eine Einwirkung der bei der Rotation der Erde auftretenden Fliehkräfte stattfände. Es müßte dann eine eigentümliche Art der Differentiation bemerkbar werden, welche im Gegensatz zu einer Scheidung nach den verschiedenen Dichten eine Anreicherung der schwereren basischen Teilmagmen in solchen Gegenden eines von Magma erfüllten Raumes herbeiführen müßte, die von dem Schwerpunkte der Erde weiter entfernt sind. Daß wirklich in homogenen Mischungen gasförmiger oder flüssiger Stoffe derartige Scheidungen vorkommen können, ist eine schon seit längerer Zeit bekannte Erscheinung. So ist es *G. Bredig* (Zeitschrift f. phys. Ch. *17*, 1895, S. 459) gelungen, in einem Gemisch von Wasserstoff und Jodwasserstoff erhebliche Anreicherungen des letzteren in peripherischen Teilen des rotierenden Versuchsraumes zu beobachten. In diesem Fall müssen die sehr großen Unterschiede in den Dichten der verwendeten Stoffarten, welche sich wie 64 : 1 verhalten, die Differentiation besonders begünstigen. *Des Coudres* (Wied. Ann. *49*, S. 284) machte bereits im Jahre 1893 den Vorschlag, gasförmige Gemische solcherart durch Zentrifugalkräfte zur Ausbildung von örtlichen Änderungen der Zusammensetzung zu veranlassen, und seine Voraussagungen sind durch die Bredigschen Experimente im vollsten Maße erfüllt worden. Analog hatte seinerzeit *van't Hoff* angeregt (s. Zeitschrift f. Elektroch. *9*, 1903, S. 724) auch bei homogenen Lösungen von Salzen den Versuch zu machen, ob auch in diesen unter der Einwirkung von Zentrifugalkräften Konzentrationsverschiebungen an den peripherischen Teilen eines rotie-

renden Versuchsraumes sich ausbildeten. In der Tat haben *van Calcar* und *Lobry de Bruyn* (Versl. Akad. v. Wetensch. Amsterdam, *1904*, p. 940) aus einer gesättigten Lösung von Glaubersalz unter dem Einfluß von Zentrifugalkräften eine Kristallisation bewirkt; es gelang diesen Forschern, bis $^3/_5$ des in der Lösung enthaltenen Glaubersalzes in fester Form zur Ausscheidung zu bringen.

Übertragen wir nun die experimentell untersuchten Verhältnisse auf diejenigen in einem silikatischen Schmelzflusse, der den Einflüssen der Rotation unseres Planeten unterliegt, so wollen wir zunächst die Wirkung der Fliehkräfte rechnerisch verfolgen. Wir brauchen beispielsweise nur die Beschleunigung zu berechnen, die ein in der Nähe des Erdäquators gelegener Punkt eines Magmas durch die Drehung des Erdballes erfährt und diese dann zu vergleichen mit denjenigen Beschleunigungen, welche experimentell erzielt werden konnten. Nach der bekannten Beziehung

$$\gamma = 4\,\pi^2 \cdot \frac{r}{T^2}$$

ist die tangentielle Beschleunigung eines peripherisch gelegenen Punktes auf einem rotierenden System eine einfache Funktion des Drehungsradius sowie der Umdrehungszeit T. Bei der Erde ist $r = 6{,}366 \cdot 10^8$ cm, $T = 86\,400$ sec, also

$$\gamma = 4 \cdot \pi^2 \cdot \frac{6{,}366 \cdot 10^8}{8{,}64^2 \cdot 10^8}\ \text{cm/sec}^2.$$

Bei den Versuchen der genannten holländischen Forscher war r zu 6 cm bemessen, die Umdrehungszeit aber nur $2{,}5 \cdot 10^{-2}$ sec, also

$$\gamma' = 4\,\pi^2 \cdot \frac{6}{2{,}5^2 \cdot 10^{-4}}\ \text{cm/sec}^2.$$

Es ist demnach im ersten Falle die Beschleunigung $\gamma = 3{,}4$ cm/sec², im anderen aber $\gamma' = 379\,000$, mithin verhält sich γ' zu γ wie $112\,500 : 1$. Wir ersehen aus dieser Berechnung, daß die Zentrifugalkräfte im angestellten Versuche ungleich intensiver auf eine Lösung einwirken müssen als auf die Erdumdrehung ein silikatisches Magma. Bedenken wir des weiteren, daß die sehr große Zähigkeit der silikatischen Schmelzflüsse ganz bedeutend die Einwirkung der Zentrifugalkräfte abschwächte, so dürfen wir wohl annehmen, daß eine magmatische Differentiation auch in diesem Sinne kaum beträchtlicheren Umfang erreichen könnte.

3. *Das Ludwig-Soretsche Phänomen und seine Bedeutung für die magmatischen Differentiationen.*

Hat eine homogene Schmelzlösung in verschiedenen Teilen des von ihr angefüllten Raumes verschiedene Temperaturen, so findet eine Wanderung der gelösten Stoffe in Richtung des Temperaturgefälles statt. Dies war bereits im Jahre 1856 von *C. Ludwig* (Sitzgs.-Ber. d. K. Akad. d. Wiss. Wien, *20*, S. 539) beobachtet worden; *Ch. Soret* (Ann. de Ch. et phys. *22*, 1881, p. 293) hat später dieselbe Erscheinung nochmals experimentell untersucht. *Van't Hoff* (Zeitschr. f. phys. Ch. *1*, 1887, S. 487) deutete aus der Theorie des osmotischen Druckes der gelösten Stoffe das Phänomen so, daß im wärmeren Teil der Lösung die Konzentration eine geringere, im kälteren aber eine größere werden muß. Es ist alsdann das Verhältnis der Konzentrationen in beiden Teilen $C_{kalt} : C_{warm}$ gleich zu setzen dem umgekehrten Verhältnis der zugehörigen absoluten Temperaturen $T_{warm} : T_{kalt}$. Bei einem bestimmten Temperaturgefälle wird sich nach allerdings ziemlich langen Zeiträumen durch die Konzentrationsverschiebungen ein bestimmter Endzustand einstellen. In neuester Zeit hat eine eingehende kritische Nachprüfung der Gleichgewichte in diesen Endzuständen, welche *A. Eilert* (Zeitschr. f. anorg. Ch. *88*, 1914, S. 1—37) gegeben hat, freilich gezeigt, daß die einfachen Voraussetzungen, die *van't Hoff* seinen Betrachtungen zugrunde gelegt hat, nicht erfüllt zu sein scheinen. Es werden vielmehr anziehende Kräfte zwischen dem Lösungsmittel und dem gelösten Stoffe, welche *G. Tammann* (s. Über die Beziehungen zwischen den inneren Kräften und Eigenschaften der Lösungen, 1907) als innere Kräfte der Lösungen bezeichnet hat, das Phänomen komplizieren. Eine Änderung der Temperatur in der Lösung hat nämlich eine Änderung dieser inneren Kräfte ΔK zur Folge; infolgedessen werden in dem kälteren bzw. im wärmeren Teile der Lösung wiederum verschiedene Werte dieser Änderungen ΔK_k und ΔK_w sich zeigen. *Eilert* hat gefunden, daß die Beziehung

$$C_k/C_w = \sqrt{T_w/T_k \cdot \Delta K_k/\Delta K_w}$$

anstelle der van't Hoffschen

$$C_k/C_w = T_w/T_k$$

am besten den Versuchsergebnissen entsprechen kann.

Das Ludwig-Soretsche Prinzip auf silikatische homogene Schmelzflüsse zu übertragen, liegt offenbar sehr nahe; es könnte z. B. in den randlichen Teilen eines magmenerfüllten Raumes eine Abkühlung entstehen, die eine Anreicherung der gelösten Stoffe herbeiführen muß. Wir wollen uns aber zu einer richtigen Wertung des Ludwig-Soretschen Phänomens für die magmatische Differentiation klarmachen, daß damit durchaus noch nicht gesagt ist, daß die bei einer höheren Temperatur erstarrenden Kristallarten infolge derartiger Konzentrationsverschiebungen an den randlichen Teilen ausgeschieden werden müßten. Selbst dann, wenn etwa in einer verdünnten wässerigen Salzlösung durch die Ludwig-Soretschen Konvektionsströmungen eine Anreicherung des gelösten Stoffes an den kälteren Stellen stattgefunden hat, wird bei fortschreitender Abkühlung dort nicht das gelöste Salz zuerst auskristallisieren, sondern nach den bekannten Regeln der