

II. Besprechungen.

A. Unter der Redaktion der Geologischen Vereinigung.

Die gasförmigen Mineralisatoren im Magma.

Von P. Niggli (Zürich).

Literatur.

1. ÉLIE DE BEAUMONT, Bull. soc. géol. France 2. série vol. 5. pag. 1249. 1847.
2. R. W. BUNSEN, Ann. chim. phys. vol. 38. 3. série. pag. 215. 1853.
3. C. SAINTE-CLAIRE DEVILLE, Bull. soc. géol. France 2. série. vol. 13. 1856.
4. — u. F. LEBLANC, Ann. chim. phys. 3. série. vol. 52. pag. 5. 1858.
5. C. F. NAUMANN, Lehrbuch der Geognosie 2. 1862.
6. F. FOUQUÉ, Compt. Rend. vol. 61. pag. 210, 421, 564, 754. 1865.
7. A. SCACCHI, Z. d. deutsch. geol. Ges. vol. 24. 1872.
8. F. FOUQUÉ, Santorin et ses éruptions. Paris 1879.
9. A. DAUBRÉE, Etudes synthétiques de géolog. expérimental. 1879.
10. F. GUTHRIE, Phil. Magaz. 5. série. vol. 18. 1884.
11. J. W. JUDD, Quart. Journal of Geol. vol. XLII. 1886.
12. A. SCACCHI, Aus „Vesuvius Catalogo dei min“. Naples 1887. Nach C. W. CLARKE, Data of Geochemistry. Washington 1911.
13. W. C. BRÖGGER, Mineralien der südnorwegischen Augitsyenite. Z. f. Krist. 16. 1890.
14. J. JOLY, Proc. Roy. Irish Acad. 3. serie vol. 2. pag. 38. 1891.
15. J. P. IDDINGS, 12. Ann. Report. U. S. geol. Survey. I. pag. 569. 1891.
16. W. LIBBEY, Am. Journ. of Sc. 3. ser. vol. 47. pag. 372. 1894.
17. A. MICHEL-LEVY, Bull. soc. géol. Franc. vol. 25. 3. ser. pag. 366ff. 1897.
18. F. LOEWINSON-LESSING, Studien über die Eruptivgesteine. Compt. rend. VII. Congrès Géol. pag. 187. 1899.
19. SV. ARRHENIUS, Geol. Fören Forhandl. vol. 22. pag. 411. 1900.
20. H. TRAUBE, Zentralbl. f. Min., Geol., Paläontol. pag. 679. 1901.
21. H. MOISSAN, Compt. Rend. vol. 135. pag. 1085. 1902. — Compt. Rend. vol. 138. pag. 936. 1904.
22. U. GRUBENMANN, Eclogae helv. geol. VIII. pag. 207. 1903.
23. R. A. DALY, Bulletin U. S. geol. survey. No. 209. 1903.
24. A. LACROIX, La Montagne Pelée et ses éruptions. Paris. 1904.
25. A. L. DAY u. E. T. ALLEN, C. W. WAIDNER, G. K. BURGNESS. Bull. Bureau of Standards vol. 1. pag. 109. 1904.
26. E. BAUR, Z. f. phys. Chemie 48. pag. 481. 1904.
27. U. GRUBENMANN, Vierteljahrsschrift d. naturf. Ges. Zürich 49. 1904.

28. G. M. MURGOCI, Am. Journ. of Sc. 4. série. XX. pag. 133. 1905.
29. A. GAUTIER, Annales des mines 10. sér. vol. 9. pag. 316. 1906. Siehe auch Compt. Rend. vol. 57, 132, 136, 142.
30. R. NASINI, F. ANDERLINI, R. SALVATORI, Gazz. chim. ital. vol. 36. p. 429. 1906.
31. W. C. BRÖGGER, Die Mineralien der südnorwegische Granit-Pegmatitgänge. Kristiania 1906.
32. WILHELM PRANDTL u. H. MURSCHHAUSER, Z. f. anorg. Chem. 56. pag. 173. 1907.
33. R. T. CHAMBERLIN, Pub. Carnegie Institution. Washington. 1908.
34. J. P. IDDINGS, Igneous Rocks. vol. I. Newyork. 1909.
35. W. SALOMON, Berichte oberrhein. geol. Ver. 1909.
36. A. HARKER, Natural History of igneous rocks. London. 1909.
37. THORKELSSON, Mem. of the Danish. Acad. 7. ser. vol. 8. p. 181. 1910.
38. FR. REINHOLD. Tscherm. Min.-petr. Mitt. 29. Bd. pag. 43. 1910.
39. R. A. DALY, Bull. Geol. Soc. of Am. XXI. 1910.
40. W. SALOMON, Die Adamellogruppe II. Teil. Abh. k. k. geol. R.-A. 21. 1910.
41. F. N. GUILD, Z. f. Kristallogr. 48. pag. 449. 1911.
42. E. S. BASTIN, Geology of the Pegm. and assoc. Rocks of Maine. Bull. Geol. Soc. U. S. 445. 1911.
43. CH. PALACHE u. C. H. WARREN, Z. f. Krist. Bd. 49. pag. 332. 1911.
44. L. DUPARC, WINDER u. SABOT, Bull. d. la soc. fr. Min. Bd. 34. pg. 131. 1911.
45. A. BRUN, Recherches sur l'Exhalation volcanique. Genève. 1911.
46. F. RINNE, Fortschritte der Mineralogie usw. 1. pag. 181. 1911.
47. V. M. GOLDSCHMIDT, Die Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiet. 1911.
48. E. BAUR, Zeitschr. f. anorg. Chem. Bd. 72. pag. 119. 1911.
49. FR. LOEWINSON-LESSING, The Geol. Magaz. vol. VIII. Dec. V. pag. 248. 1911.
50. R. A. DALY, Journal of Geology. vol. XIX. pag. 289. 1911.
51. P. NIGGLI, Z. f. anorg. Chemie. Bd. 75. pag. 161. 1912. — Centralblatt für Min. pag. 321. 1912. — Berichte Oberrheinischen geologischen Vereins. Bd. II. pag. 35. 1912. Z. f. anorg. Chemie. Bd. 77. pag. 321. 1912.
52. E. GUTZWILLER, Diss. Zürich 1912.
53. TH. VOGT, Centralblatt für Min. pag. B 73. 1911.
54. J. SCHEETELIG, Centralblatt für Min. pag. 712. 1911.
55. L. DUPARC, Mem. Soc. Phys. et d'Hist. Nat. de Genève XXXVI. 3. pag. 283—410. 1910.

Über das Wesen und die Natur der Gase im Magma können wir auf 3 verschiedenen Wegen Aufklärung erlangen. Wichtige Ergebnisse liefern die Untersuchungen über

1. die vulkanischen Exhalationen,
2. die in Eruptivgesteinen okkludierten Gase und
3. die unter besonderer Mitwirkung der Gase entstandenen Mineralien.

Keine dieser drei Methoden gibt eine vollständige synthetische Lösung des Problems, eine jede gibt nur ein meroedrisches Zerrbild der wissenschaftlichen „Wirklichkeit“. Wenn wir aber die Ergebnisse der drei unvollkommenen Forschungsmethoden kombinieren, so erhalten wir ein schon angenähert richtiges Bild.

I. Die vulkanischen Exhalationen.

Die in Vulkangebieten ausströmenden Gase sind vorwiegend (H_2O), H_2 , N_2 , O_2 , CO_2 , CO , H_2S , SO_2 , HCl , Cl_2 , CH_4 , HF , SiF_4 (lit. 11). Die ersten wichtigen Untersuchungen über Fumarolengase veröffentlichten ELIE DE BEAUMONT (lit. 1) und R. W. BUNSEN (lit. 2).

C. SAINTE-CLAIRE DEVILLE und F. LEBLANC (lit. 3 und 4) kamen in den Jahren 1855—1858 zu dem Schluss, dass die Natur der Fumarolengase sich ändere mit der seit der Eruption verflossenen Zeit und mit der Entfernung vom Eruptionszentrum.

F. FOUQUÉ zeigte bald darauf (lit. 6), dass die Temperatur des Ausströmens die Zusammensetzung der Exhalationen bestimme.

Damit war einer einfachen Interpolation von den Fumarolengasen zu den Gasen im Tiefenmagma von vornherein jede Berechtigung genommen. Es galt daher jetzt Gase zu analysieren, die zeitlich möglichst nahe mit einer grösseren Eruption verknüpft waren. F. FOUQUÉ (lit. 8) glaubte feststellen zu können, dass nach den im März gesammelten Gasen des im Januar ausgebrochenen Vulkanes Nea Kaméni Wasser zum Teil in seine Elemente dissoziiert sei. CO_2 erschien erst später und dann in grosser Menge. H. MOISSAN fand in den Gasen der westindischen Fumarolen kleinere Mengen von Argon (lit. 21).

CO wurde von LACROIX in den Montagne Pelée-Emanationen und u. a. von W. LIBBEY auch am Kilauea (lit. 24 und lit. 16) nachgewiesen.

Die Wasserdampf Wolken, die bei vielen grossen Eruptionen auftreten, wurden von allen Forschern als juvenilen Ursprungs angesehen. A. BRUN (lit. 45) trat dem entgegen. Er zeigte die anhydre Natur von Exhalationen am Stromboli und Kilauea.

Ausser eigentlichen Gasen strömen bei vulkanischen Vorgängen auch Gassublimationen aus. Sublimate sind solche Stoffe, die infolge eines relativ hohen Dampfdruckes im gasförmigen Zustand entweichen und sich nachher fest niederschlagen. Man darf aber ja nicht alle pneumatolytisch gebildeten Mineralien als Sublimate auffassen. Viele entstehen erst durch Reaktionen von Gasen miteinander, (z. B. viele Oxyde) andere waren in den Emanationen gelöst.

Sublimierte Substanzen sind z. B. Realgar, Borsäure, Schwefel, Tellur, Kobalt, Zink, Wismut, Natriumchlorid, Ammonchlorid, Eisenchlorid und viele andere Chloride.

Komplizierteren Ursprungs sind z. B. Leucit, Augit, Hornblende (lit. 41), Glimmer, Sodalit, Granat, Vesuvian (lit. 7).

Über reine Sublimation schwerflüchtiger Substanzen, wie Feldspat und Augit, bei hohen Temperaturen berichten H. TRAUBE (lit. 20) und A. L. DAY, E. T. ALLEN (lit. 25), sowie J. JOLY (lit. 14).

Wie wir schon eingangs bemerkten, kann das Studium der Fumarolengase nur ein unvollkommenes Bild von den im Tiefen-

magma vorhandenen gasigen Bestandteilen ergeben. Während im allgemeinen der Einfluss des Druckes auf geologische Vorgänge bedeutend überschätzt wurde, weil man es sehr häufig mit sogenannten „kondensierten Systemen“ zu tun hat, wird er hier unterschätzt. Sobald gasförmige Stoffe vorhanden sind, kann sein Einfluss sehr gross sein. So bilden die unter geringem Drucke stehenden Exhalationen ganz andere Gleichgewichtssysteme als die Mineralisatoren in lakkolithischen Magmen. Aus dem Fehlen oder der geringen Anwesenheit einzelner Gase bei bestimmten Eruptionen, darf man nicht auf ein Fehlen derselben im Tiefenmagma schliessen.

Der gleiche Fehler haftet den Interpolationen an, die sich auf

II. die in den Eruptivgesteinen okkludierten Gase

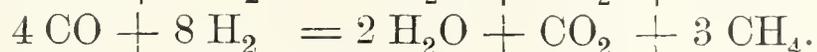
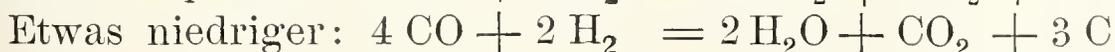
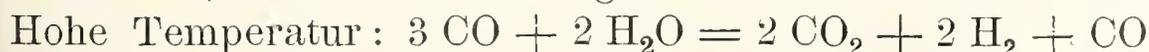
stützen. Die in der Tiefe erstarrten Gesteine und die vulkanischen Gläser haben relativ viel Gas okkludiert. Die gasigen Bestandteile werden durch Erhitzen ausgetrieben, gesammelt und analysiert. Bei dieser Prozedur müssen zwei Hauptfehlerquellen berücksichtigt werden.

Es brauchen die zurückbehaltenen Gasrestchen die einzelnen Bestandteile nicht in den gleichen Proportionen zu enthalten, wie das ursprüngliche Gas. Beim Erhitzen der Gesteine können dann ganz andere Gleichgewichte entstehen als die, die ursprünglich vorhanden waren.

Aus dem Umstande, dass die Gase in ein und demselben Gestein in sehr wechselnder Menge verteilt sind, muss man nicht wie A. BRUN auf eine sehr grosse Viskosität des Magmas rückschliessen. Das ist nur der Ausdruck dafür, dass der Zustand, den wir untersuchen, keinem Gleichgewichte entspricht. Bei der Erstarrung entweichen die Gase, und was zurückbleibt ist der letzte, durch die Festwerdung am Entweichen verhinderte Rest einer „fraktionierten Destillation“.

Untersuchungen über die Natur der okkludierten Gase liegen insbesondere von A. GAUTIER (lit. 29), R. T. CHAMBERLIN (lit. 33) und A. BRUN (lit. 45) vor. Die umfassendsten Arbeiten sind die von A. GAUTIER. Gefunden werden hauptsächlich CO_2 , CO , H_2 , CH_4 , N_2 . CO_2 und H_2 werden nach den Experimenten GAUTIER'S aus CO und H_2O gebildet. H_2O kann also in dem Magmabassin als soches sehr wohl vorhanden sein, ohne beim Erhitzen der Gesteine in grösserer Menge aufzutreten.

Reaktionen, die beim Trocknen und Glühen des Gesteinspulvers statthaben, sind z. B. die folgenden:



A. BRUN untersuchte ganz junge vulkanische Gläser. Er glaubt, dass in dieser Beziehung kein primärer Unterschied gegenüber Tiefen-

gesteinen vorliege. Das H_2O in den Tiefengesteinen müsste sekundären Ursprungs sein. Seine Untersuchungen sind sehr wichtig, doch ist, wie schon oben mitgeteilt, die Interpolation auf die Tiefenfazies des Magmas nicht einwandfrei. Die in vulkanischen Gläsern gefundenen Gase sind Cl_2 , HCl , SO_2 , CO_2 , O_2 , CO , N_2 . Wasser sei niemals primär vorhanden, es komme erst später von aussen hinzu. Seine Ansicht stützt A. BRUN noch durch die Beobachtung sogenannter Sublimate wasserlöslicher Substanzen bei Exhalationen. In dieser Hinsicht ist ihm schon von A. GAUTIER entgegnet worden, zu bedenken ist auch, dass man die Löslichkeitsverhältnisse in den Gasmineralisatoren nicht ausser Betracht lassen darf. Ebensogut aber wie $NaCl$ aus wässrigen Lösungen abgeschieden werden kann, kann es eventuell aus wässrig-gasförmigen Lösungen oberhalb 365^0 entstehen. In Konsequenz seiner Ansicht bestreitet A. BRUN die direkte Bildung OH-haltiger Mineralien aus dem Magma. Der mikroskopierende und im Feld arbeitende Petrograph wird sich dieser Ansicht kaum anschliessen können. (Siehe auch J. SCHWERTSCHLÄGER, Centralblatt für Min. 777. 1911.)

Auf alle Fälle hat aber die Arbeit BRUN's eine sehr wichtige Frage aufgerollt, nämlich die nach den quantitativen Verhältnissen der gasigen Bestandteile im Magma. Und ohne Zweifel ist bis jetzt, insbesondere bei Exhalationen, dem Wasserdampf viel zu viel zugeschrieben worden, was auf Konto anderer Gase zu setzen ist.

III. Die unter Mitwirkung von Gasmineralisatoren [entstehenden Mineralien.

Noch auf andere Weise können wir etwas über die Zusammensetzung der Gase im Magma erfahren. In eine Reihe primärer Mineralien treten die „Gase“ konstitutionell oder in Lösung ein. Wir denken hiebei nicht nur an die Mineralien der typischen Erstarrungsgesteine sondern auch an die der Pegmatite. Dass die echten Pegmatite magmatischen Ursprungs sind, ist in letzter Zeit von verschiedenen Autoren dargetan worden, wir kommen später auf die Frage zurück. Die beste Auskunft werden uns die Gesteine ergeben, die in der Tiefe gebildet wurden, wo das Entweichen der Gase schwieriger war. Auch die in engster Verbindung mit magmatischen Intrusionen auftretenden pneumatolytischen Kontakterscheinungen müssen berücksichtigt werden. Oft wird vermutet, dass die Tiefengesteine zuerst zu einer isotropen Masse erstarrten und erst später umkristallisierten. Der Mineralbestand müsste dann teilweise sekundäre Einflüsse zeigen. Gegen diese Annahme sprechen aber sehr gewichtige Gründe u. a. die beobachtete Dünnschichtigkeit an den Rändern die direkte Verknüpfung mit Pegmatiten und die Kristallisationsfolge¹⁾.

¹⁾ Siehe auch F. B. MENELL, Geol. Mag. vol. VIII. pag. 10. 1911.

Minerale, die teils in Erstarrungsgesteinen, teils in magmatischen Pegmatiten auftreten und chemisch den Einfluss der Gasmineralisatoren zeigen, sind z. B. Biotit, Turmalin, Beryll, Lepidolit, Lithiumglimmer, Amblygonit, Topas, Flussspat, Riebeckit, Hornblenden, Apatit, Muskowit, Cl-Mineralien wie Sodalit usw. Diese zeigen deutlich, dass Fluorwasserstoff und Wasser unter den gasigen Bestandteilen eine grosse Rolle spielen.

Sehr häufig finden sich in den Pegmatiten äusserst komplizierte Mineralien der seltenen Erden.

W. C. BRÖGGER (lit. 31) nennt aus den südnorwegischen Granit-Pegmatitgängen:

- I. Wesentliche Mineralien: Biotit, Muskowit, Mikroklin, Albit, Oligoklas, Quarz.
- II. Zum Teil pneumatolytischen Ursprungs:
Magnetit, Thoruranin, Apatit, Fergusonit, Xenotim, Monazit, Ilmenit, Hämatit, Columbit, Euxenit, Polykras, Blomstrandin, Wolframit, Samarskit, Yttrotantalit, Keilhaut, Spessartin, Topas, Hellandit, Kainosit, Gadolinit, Orthit, Phenakit, Beryll, Turmalin, Zirkon, Alvit, Thorit.
- III. Rein pneumatolytisch:
Bismutit, Wismut, Gold, Molybdänit, Sphalerit, Pyrrothin, Pyrit, Chalkopyrit, Bornit, Fluorit, Parisit.

CH. PALLACHE und C. H. WARREN (lit. 43) berichten neuerdings über Riebeckit und Aegirin aus Pegmatiten. Auch sie fanden das Fluorkarbonat des Calciums und der Cererden, den Parisit, neben Ilmenit, Fluorit und Anatas in pneumatolytischen Gängen¹⁾.

L. DUPARC, WINDER und SABOT (lit. 44) fanden neben Beryll den borsäurereichen Rhodozit. (Siehe auch lit. 55.)

In den Kontakthöfen findet man sehr häufig Borsäure angereichert. Nach V. M. GOLDSCHMIDT (lit. 47) wurden durch metasomatisch-pneumatolytische Prozesse in den Kalkgesteinen des Kristiania-gebietes folgende Substanzen angereichert:

Eisen, Zink, Kupfer, Blei, Mangan, Wismut, Silber, Molybdän, Kobalt, Antimon, Beryllium, Cer, Kieselsäure, Phosphorsäure,

Haben wir so durch Kombination der uns bis jetzt zugänglichen Untersuchungsmethoden ein gewisses Bild über die Art der Gasmineralisatoren im Magma erhalten, müssen wir uns jetzt über ihre Wirkungsweise orientieren.

¹⁾ Über Yttrifluorit und Yttrocit siehe lit. 53 und 54.

IV. Die physikalische Rolle der Gasmineralisatoren im Magma.

Die Gase sollen die hauptsächlichsten Agentien der vulkanischen Explosionen sein. Wie z. B. Metalle im flüssigen Zustand erhebliche Gasmengen okkludieren und einen Teil davon beim Erstarren abgeben, so auch das Magma. Über die Erstarrungsbilder bei verschiedenen Drucken orientiert eine Arbeit des Referenten (lit. 51). Durch Änderung der Bindungsmöglichkeiten mit sinkender Temperatur werden ähnliche Zerspratzungserscheinungen auftreten, wie sie z. B. WILHELM PRANDTL und H. MURSCHAUSER bei den Vanadaten beschreiben (lit. 32). Der Ursprung der Gase im Magma hängt mit der Frage der Erdbildung zusammen; wir wollen hier auf dieses weit-schichtige und hypothetische Gebiet nicht näher eintreten.

Ein gewissermassen physikalischer Effekt der Gasmineralisatoren ist die Viskositätsverminderung und die Erniedrigung der Erstarrungs-temperatur des Magma.

F. GUTHRIE (lit. 10) will gefunden haben, dass ein Obsidian bei Gegenwart von Wasser bei 1250° schmolz, getrocknet aber erst um 1650. Genaue Messungen stehen noch aus und müssen mit definierten Substanzen gemacht werden.

V. Das chemische Verhalten der Gase.

Über das chemische Verhalten der Gase im Magma bestehen, aus Mangel an experimentellen Daten, naturgemäss sehr differente Anschauungen. Insbesondere gab das Wasser stets Anlass zu der Entstehung einer Menge verschiedener Ansichten. Sv. ARRHENIUS (lit. 19) wies darauf hin, dass das Stärkeverhältnis der Kieselsäure und des Wassers sich mit der Temperatur verschiebt, so dass (nach ihm) schon über 300° Wasser die stärkere Säure ist¹⁾. Sie kann daher die Kieselsäure aus ihren Verbindungen vertreiben. Dass in den Gasen ein Stoff von Säurecharakter vorkommt, scheint mir aus verschiedenen Beobachtungen hervorzugehen.

Die intrusiven Gesteine des Electric Peak (Yellowstone National Park, Amerika) erweisen sich nach J. P. IDDINGS (lit. 15) als die Gang- und Lakkolithformen der extrusiven Gesteine der Sepulchre Mountains. Die chemische Zusammensetzung ist fast identisch. In den extrusiven Gesteinen ist Biotit nur bei einem Kieselsäuregehalt von 61 % als wesentlicher Gemengteil vorhanden. In den intrusiven Gesteinen kommt er in grosser Menge auch in den basischen Gesteinen vor. Quarz findet sich in den lakkolithischen basischen Formen häufig, den vulkanischen Gesteinen desselben Chemismus fehlt er ganz. Man sieht daraus m. E., dass Wasser (Biotit) im

¹⁾ Wichtig in dieser Hinsicht sind die Arbeiten von J. KÖNIGSBERGER (Centralblatt für Mineralogie 1906), besonders auch für die Gleichgewichtsverschiebung $\frac{\text{Si O}_2}{\text{CO}_2}$.

Tiefenmagma vorhanden war, während es im extrusiven Lavastrom zum grössten Teil verdampfte. Zugleich hat dieses Wasser offenbar einen Teil der Kieselsäure aus den Verbindungen gedrängt und so in der Tiefenfazies zu freiem Si O_2 geführt. J. W. JUDD (lit. 11) konstatierte folgende Tatsache. In den mit Gabbro assoziierten Gesteinen von Schottland und Irland finden sich in der Tiefenfazies keine primären Spinelle und Magnetite, wohl aber in den zugehörigen Basalten. Im ersten Fall bildeten sie mit Si O_2 Pyroxen und Olivin. Es waren also mehr Säureradikale vorhanden. Im zweiten Fall verschob sich durch entweichende Gase das Gleichgewicht in dem Sinne, dass die Spinellide sich ungebunden abschieden.

U. GRUBENMANN (lit. 22) fand in einem wasserreichen Gabbropegmatit ebenfalls freien Quarz.

In welchem Zustand können nun das Wasser und die übrigen Gasmineralisatoren im Magma vorhanden sein? Das ist wohl der strittigste Punkt. Nehmen wir eines der ausgezeichnetsten neueren Lehrbücher der Petrologie zur Hand.

A. HARKER (lit. 36), *Natural History of igneous rocks* pag. 29 schreibt z. B.:

„Da die kritische Temperatur für Wasser ungefähr 365° C ist und für die anderen Substanzen niedriger, müssen sie im Gaszustande vorhanden sein, wie gross auch der Druck ist, dem sie unterworfen sind“ (a. a. O. steht HARKER nicht auf diesem Standpunkt.)

Man hätte dann von Anbeginn an zwei gesonderte Teile:

1. flüssiges Magma, ganz ohne Gasmineralisatoren;
2. Gasmineralisatoren ohne oder mit etwas gelösten Substanzen.

Diese weitverbreitete Ansicht findet theoretisch keine Stütze, ja sie ist, prinzipiell wenigstens, unrichtig. Ein Gas kann sehr leicht oberhalb seiner kritischen Temperatur in flüssigem Zustand erhalten werden, sobald schwerer flüchtige, leicht lösliche Stoffe vorhanden sind. Über diesen Gegenstand sind neuerdings vom Referenten einige Mitteilungen erschienen (lit. 51).

F. RINNE hat ausdrücklich darauf hingewiesen (lit. 46), dass unter hohem Druck Wasser im flüssigen Magma als eine Komponente zu betrachten ist wie irgend eine andere. Unter relativ sehr hohen Drucken wäre es sogar prinzipiell möglich (wenn keine Entmischungserscheinungen auftreten), dass alle Gasmineralisatoren vom flüssigen Silikatschmelzfluss in flüssiger Lösung behalten werden. Dann tritt naturgemäss starke Schmelzpunktserniedrigung und Viskositätsverminderung in Funktion.

Im allgemeinen werden nun allerdings bei der Abkühlung, wie schon Sv. ARRHENIUS dartat (lit. 19), vorerst mindestens 2 Phasen entstehen. Die eine wird als Dampf aufzufassen sein, sie besteht aus einer Lösung schwerflüchtiger Stoffe in Gasmineralisatoren. Die

andere flüssige Phase wird die Hauptmenge der silikatischen Bestandteile enthalten, aber Gasmineralisatoren in Lösung haben. Dass prinzipiell die Gasmineralisatoren oberhalb ihrer kritischen Temperatur schwerflüchtige Stoffe auflösen können, ist von A. SMITS und M. CENTNERSZWER geprüft und in der Konsequenz von mir (lit. 51) dargelegt worden.

Zur Erklärung verschiedener geologischer Phänomene ist das schon lange postuliert worden, ich erwähne aus neuerer Zeit bloss die Arbeiten von J. P. IDDINGS (lit. 34), A. HARKER (lit. 36), W. SALOMON (lit. 35). Wie die quantitativen Verhältnisse sind, wissen wir noch nicht. Wahrscheinlich ist auch bei hohen Temperaturen und mittleren Drucken Wasser ein wenig gutes Lösungsmittel für Silikate; die übrigen Mineralisatoren wie SO_2 , HCl , HF werden aber das Lösungsvermögen sehr stark erhöhen.

Näher untersucht ist von den Gassystemen bloss das System HF—SiF_4 von E. BAUR (lit. 26).

Selbstverständlich haben die Gasmineralisatoren als essentielle Bestandteile des Magmas auch Einfluss auf den Mineralbestand der Tiefengesteine. Es gibt eine Menge von Mineralien, die man besonders leicht mittelst Mineralisatoren erhalten kann, aus dem trockenen Schmelzfluss aber nur mit unnatürlichen Mitteln oder gar nicht. Dazu gehören vielleicht auch die Alkalifeldspäte und der Quarz. Sodalit, Hauyn, Nosean, Hornblende, gewisse Biotite, Beryll, Zirkon, Perowskit, Titanit, Topas, Turmalin brauchen schon ihrer Konstitution wegen Gasmineralisatoren zu ihrer Entstehung.

G. M. MURGOCI (lit. 28) glaubt, dass in den Alkaligesteinen der Riebeckit eine ähnliche Rolle spiele wie der Turmalin in den gewöhnlichen Graniten, also auch der Mineralisatoren bedürfe. Riebeckitgranite und Turmalingranite sind übrigens beide alkalireich. In miarolitischen Hohlräumen findet man Flusspat, Bleiglanz, Zirkon neben Riebeckit.

Eine Menge von Tatsachen sprechen dafür, dass die Pegmatite ihre Entstehung den Gasmineralisatoren verdanken. Sie treten als Begleiterscheinung der Erstarrung verschiedener Magmen auf und zwar entweder gleichaltrig mit der äusseren Erstarrungsrinde oder jünger. Andererseits geht aus unseren Mitteilungen hervor, dass wenigstens theoretisch das Zurückbleiben gasförmiger Lösungen bei jeder magmatischen Erstarrung gefordert wird.

Die Pegmatite sind schon lange in dem Sinne aufgefasst worden, so z. B. von C. F. NAUMANN (lit. 5), A. HARKER (lit. 36), W. C. BRÖGGER (lit. 13), J. P. IDDINGS (lit. 34), W. SALOMON (lit. 35), U. GRUBENMANN (lit. 27) usw.

W. C. BRÖGGER (lit. 13) zeigte, dass sich die Systeme von Pegmatitgängen auf ein zugehöriges Massiv von Tiefengesteinen beziehen lassen. Die Pegmatitgänge erweisen sich als echt magmatisch durch

die Kristallisationsfolge, die wesentlich gleiche Zusammensetzung wie das Magma, die innige Beziehung zu Apliten und das Vorkommen von Einschlüssen der Nebengesteine.

Neuerdings ist eine ausführliche Monographie von E. S. BASTIN erschienen (lit. 42).

Kennzeichnend für Pegmatite ist nach ihm insbesondere die Textur, das heisst die Unregelmässigkeit in der Korngrösse. Neben sehr grossen Kristallen finden sich solche von mikroskopischen Dimensionen. Bezeichnend ist auch das plötzliche Anschwellen und wieder schmaler werden der Pegmatitadern (Druck!) Im Pegmatitquarz finden sich sehr häufig Gaseinschlüsse, doch nicht häufiger als im Granit. Was ist die Ursache der spezifischen Pegmatittextur? Es kann im Chemismus und Mineralbestand des fertigen Pegmatitgesteins nichts gefunden werden, das stark abweichend vom Granit ist. Daher muss die Annahme gemacht werden, dass es insbesondere die verschiedenen Gasmineralisatoren sind, die die Textur bedingen. Miarolitische Hohlräume sind in groben Pegmatiten häufig. Diese enthalten viel Quarz. In den Gaslösungen muss also in beträchtlicher Menge SiO_2 vorhanden gewesen sein, was auf Mitwirkung von HF schliessen lässt. Der Übergang von Granit zu Pegmatit ist oft ein durchaus kontinuierlicher. Fragmente von Nebengestein im Pegmatit lassen auf eine etwas grössere Viskosität schliessen als man gewöhnlich annimmt. Das geologische Thermometer des Quarzes zeigt, dass die Pegmatite gerade ungefähr um 575° erstarrten. Die Schriftgranite scheinen keinem Eutektikum zu entsprechen.

W. SALOMON betont (lit. 40), dass Pegmatite, im Gegensatz zu den gleichzeitig entstehenden Apliten, oft Kristalle zeigen, die vom Salband aus wuchsen.

Die Injektionsphänomene, wie sie z. B. FR. REINHOLD (lit. 38), E. GUTZWILLER (lit. 52) und P. NIGGLI (lit. 51) beschreiben, sprechen für sehr leichtflüssige, gasige Emanationen.

Die Pegmatite und Injektionslagen sind häufig gleichalterig mit dem Tiefengestein, oder aber sie intrudierten kurz nach der Erstarrung der äusseren Hülle des Magmabassins.

V. M. GOLDSCHMIDT hebt (lit. 47) ausdrücklich hervor, dass die pneumatolytische Kontaktmetamorphose im Kristianiagebiet jünger ist als die normale Kontaktmetamorphose ohne Stoffzufuhr. Sie fand kurz vor der Verfestigung der Gesteine statt.

Wie ich zeigte (lit. 51) kommt es hauptsächlich auf den Druck an.

Das Intrudieren gasreicher Lösungen wird eine stete Begleiterscheinung der Erstarrung sein, aber schon vorher können mineralisatorenreiche Schmelzen intrudieren und ähnliche Phänomene hervorrufen. Man kann somit Übergänge leichtviskoser zu stärker viskosen mineralisatorenreichen Lösungen erwarten. Da dieser Übergang in der Natur häufig ist, darf man umgekehrt schliessen, dass sehr oft

die Bedingungen verwirklicht sind, die einen konstanten Übergang von gasigen zu magmatischen Lösungen erlauben. Das wird dann der Fall sein, wenn der Druck grösser als der Maximaldruck im kritischen Zustand ist.

Im allgemeinen werden bei normaler Erstarrung die den gleichen Erstarrungsherd besitzenden Pegmatitgänge um so pneumatolytischer sein, je jünger sie sind.

Die Gasmineralisatoren sollen aber nicht nur bei der Injektion und Pegmatitbildung eine grosse Rolle spielen, sondern auch bei der Differentiation der Magmen.

Schon durch Verringerung der Viskosität können Abspaltungen und Diffusionen, die schliesslich jeder Differentiationstheorie zugrunde liegen, leichter stattfinden.

Eine sehr grosse Mitwirkung wird den alkali- und kieselsäurereichen „agents minéralisateurs“ bei der Differentiation von der französischen Schule zugeschrieben. (Insbesondere A. MICHEL-LEVY (lit. 17)). G. M. MURGOCI betont, dass mannigfaltig differenzierte Gesteine stets reich an miarolitischen Hohlräumen seien (lit. 28). Neuerdings verfechten F. LOEWINSON-LESSING (lit. 18 und 49), R. A. DALY (lit. 23, 39 und 50) und in einer etwas abweichenden Form W. SALOMON (lit. 40) die sogenannte Assimilations- resp. Platztauschhypothese zur Erklärung der die Differentiation einleitenden Vorgänge. Nach R. A. DALY sollen insbesondere die Alkaligesteine durch Assimilation von Kalksteinen abdifferentiert worden sein. Ursprüngliche Magmen sind nach DALY das basaltische, nach LOEWINSON-LESSING das gabbroide und granitische.

Die Gasmineralisatoren sollen auch hier einen erheblichen Anteil an der Differentiation haben. Dabei ist zu bedenken, dass bei einer abyssalen Assimilation von Sedimenten CO_2 und H_2O sowieso frei werden und durch ihr Bestreben emporzusteigenden Konvektionsströme hervorrufen. Solche aufgenommene Mineralisatoren nennt R. A. DALY „resurgent“.

Dass eventuell die Alkalialuminate und bei etwas FH die Kieselsäure eine besondere Rolle in den Gasmineralisatoren spielen können, scheint insofern berechtigt, als sie wohl zu einem anderen Typus gehören als die alkalifreien Silikate. Vielleicht sind starke alkalische Silikate in jedem Verhältnis mit Wasser, oberhalb seiner kritischen Temperatur, mischbar. Versuche zur Aufklärung dieser Probleme sind im Gang. (Siehe auch C. BARUS: Am. Journ. Sc. vol. 9. 1900.)

Zürich, Mineralogisch-petrographisches Institut, Juli 1912.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Geologische Rundschau - Zeitschrift für allgemeine Geologie](#)

Jahr/Year: 1912

Band/Volume: [3](#)

Autor(en)/Author(s): Niggli Paul

Artikel/Article: [Die gasförmigen Mineralisatoren im Magma 472-482](#)