

Untersuchungen
über die
Differentiation der Magmen.

Inaugural-Dissertation
der
philosophischen Facultät der Universität Jena
zur
Erlangung der Doctorwürde
vorgelegt von
Martin Schweig
aus Weisswasser (Oberlausitz).

Stuttgart.
E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung (E. Nägele).
1903.

Genehmigt von der philosophischen Facultät der Uni-
versität Jena auf Antrag des Herrn Professor Dr. LINCK.

Jena, den 11. Mai 1903.

Professor Dr. Gutzmer,
d. Zt. Decan.

Separat-Abdruck

**aus dem Neuen Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie.
Beilage-Band XVII.**

Untersuchungen über die Differentiation der Magmen.

Von

Martin Schweig in Jena.

Mit 15 Figuren im Text.

Während die letzten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts uns fast völlige Klarheit brachten über die Beziehung der Mineralien zu dem Magma, vermochte keine der aufgestellten Hypothesen über die Beziehung chemisch ungleicher Magmen zu einander sich allgemeine Anerkennung zu gewinnen. Zwar wuchs die Kenntniss der Vorgänge in Gesteinsmagmen in dem Maasse, wie die chemische und mineralogische Zusammensetzung der Gesteine und deren Structur bekannt wurden, indessen ist die Mehrzahl der Forscher in der letzten Zeit zu der Ansicht gekommen, dass zur gänzlichen Aufklärung der Vorgänge bei der Bildung der Magmen das Studium der daraus entstandenen Gesteine und das Inbetrachtziehen des geologischen Auftretens derselben allein nicht genügen wird, dass vielmehr nur das Experiment — die Wiederholung der natürlichen Vorgänge im Laboratorium bezw. das planmässige Studium künstlicher Silicatschmelzflüsse — die Lösung dieses Problems bringen werde. Dem Experimentator bietet sich hier ein grosses noch fast ganz unbeackertes Feld, sind doch die Eigenschaften feurig-flüssiger Silicate in physikalischer und chemischer Beziehung, abgesehen von den wenigen in der Technik verwendeten Silicaten, insbesondere den Gläsern, so gut wie gar nicht bekannt. Um so dankbarer bin ich

daher meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Hofrath Prof. Dr. LINCK, für die Anregung zu vorliegender Arbeit, die die erste einer Reihe von Untersuchungen auf dem gleichen Gebiete sein soll.

I. Historische Uebersicht¹.

Nach den ältesten Ansichten waren die Laven Theile des Urmagmas, das sich beim Übergang der Erde aus dem dampfförmigen in den flüssigen Zustand gebildet hatte, oder nach anderen wieder flüssig gewordene Sedimentgesteine, welche ihren Ursprung der Zersetzung der ersten Erstarrungskruste der Erde verdankten. Da diese Theorien in ähnlicher Weise noch des öfteren wiederkehren und von dem eigentlichen Thema zu weit abliegen, dürfte es unnöthig sein, hier näher auf dieselben einzugehen.

Der erste, der im 19. Jahrhundert seine Ansicht darlegte, war G. Poullet Scrope². Dieser hielt die Laven für durch „Intumescenz“ flüssig gewordene krystallinische Gesteine; Wasser sollte in die Poren des Gesteins eingedrungen sein und beim Erwärmen dasselbe verflüssigt haben. Die Verschiedenheit der mineralogischen Zusammensetzung der aus den Laven entstehenden Gesteine — der chemische Bestand wurde aus naheliegenden Gründen nicht berücksichtigt — könne dann ihren Grund haben

1. in einem Unterschied in der Zusammensetzung des verflüssigten Gesteins,
2. in wiederholter Intumescenz und Verfestigung der Lava vor dem Ausbruch.

Dass ganz verschiedene Gesteine nahe bei einander liegenden Gebieten entstammten, erklärte Scrope, indem er eine Art von Differentiation zwischen eisenhaltigen (ferruginous) und feldspathartigen (feldspathic) Mineralien annahm, dadurch hervorgerufen, dass letztere sich im gasförmigen Zustand von den anderen trennten.

¹ Der folgende Literatúrauszug hält sich im Wesentlichen an die ausführlichere geschichtliche Übersicht von P. Idding's in seiner Arbeit „The origin of igneous rocks“. Bull. Phil. Soc. Washington. 12. 1892—1894. p. 91 ff. und an Zirkel „Lehrbuch der Petrographie“. 2. Aufl. 1. p. 658 ff.

² G. P. Scrope, „Volcanos“. London 1825.

In seinem 1844 erschienenen Werke *Volcanic Islands*¹ giebt CH. DARWIN zwei Theorien für die Bildung chemisch ungleich zusammengesetzter Eruptivgesteine. Bei beiden geht er von einem ursprünglich homogenen Magma aus, in welchem sich bei der Abkühlung Krystalle abscheiden. Die Trennung dieser Krystalle von der übrigbleibenden Masse kann nun geschehen:

1. indem die Krystalle als specifisch schwerer zu Boden sinken, oder
2. indem die ganze Masse unter Druck kommt und der unkrystallisirte Theil in Spalten des halberkalteten Nachbargesteines gepresst wird.

Für beide Arten der Trennung will er Beispiele in der Natur gefunden haben. So glaubt er, dass „Basalte“ im Allgemeinen einem Krater am Fusse eines Vulcans entquellen und dass „Obsidiane“ am Gipfel ausbrechen, was dem ersten Fall entspräche, während ihm Adern eines dunklen Augit- oder Hornblendegesteines (dark coloured augitic or hornblende rock) im Gneiss als Beweismittel für die Richtigkeit des zweiten Theils seiner Hypothese gelten.

In seinem Bericht über die Expedition WILKES' 1849 stellt DANA² seine Ansicht über die Differentiation dar. Bei der Betrachtung der Basaltinseln des Pacifischen Oceans fällt ihm auf, dass das Innere der Felsen viel feldspathreicher ist als der Rand, und er wirft die wohlberechtigte Frage auf: „What has separated the feldspar, iron, and augite that constitute the basaltic rocks and left nearly pure feldspar alone at the center?“ Die Theorie DARWIN'S erscheint ihm unwahrscheinlich, denn gerade die Lava, die dem Gipfel des Kilauea entquillt, zeigt ein hohes specifisches Gewicht.

Die Erklärung DANA'S basirt auf der Gegenwart von flüchtigen Substanzen im Gestein und der ungleichen Schmelzbarkeit von Feldspath und Augit. Der Feldspath wird bei der Abkühlung zuerst fest, da er den höchsten Schmelzpunkt hat. Wenn nun die Dämpfe dem Gestein entweichen, werden

¹ CHARLES DARWIN, „*Volcanic Islands*“. London 1844.

² S. D. DANA, „*United States Exploring Expedition during the years 1838—42 under the Command of CHARLES WILKES, U. S. A.*“ Philadelphia 1849. 10. (Geologie.)

sie vor allen Dingen den noch flüssigen Theil an die Oberfläche drücken, während der Feldspath in der Mitte bleibt¹. — DANA discutirt weiter die Frage, ob in dem geschmolzenen Magma schon das Molecül einer Verbindung, die später auskrystallisirt, z. B. das Molecül des Augits, vorhanden ist, oder ob die Elemente in anderen Combinationen vorliegen. Letzteres scheint ihm das Wahrscheinlichere, denn er glaubt die Beobachtung zu machen, dass aus demselben Magma, je nach den Bedingungen, die bei der Verfestigung herrschen, Augit oder Hornblende auskrystallisiren kann.

Auf seiner Reise nach Island, deren Ergebnisse im Jahre 1851 veröffentlicht wurden², studirte BUNSEN die chemische Zusammensetzung der Eruptivgesteine dieser Insel. Er kam dabei zu dem Resultat, dass die Magmen, aus denen die beobachteten Eruptivgesteine entstanden waren, sich in eine Reihe anordnen liessen, deren Mittelglieder durch Mischung aus den beiden Endgliedern entstanden sind³. Diese Endglieder, das „normal trachytische“ (t) und das „normal pyroxenische“ (p) Magma sollten den SiO₂-reichsten bzw. -ärmsten Gesteinen, die er gefunden hatte, entsprechen.

BUNSEN war bei seinen Beobachtungen nur von rein chemischen Grundsätzen ausgegangen und hatte dadurch die physikalischen und geologischen Principien vernachlässigt. Es war also nicht zu verwundern, dass seine Theorie bald angegriffen wurde. Dies geschah bereits zwei Jahre nach Veröffentlichung seiner Arbeit von seinem Reisegefährten SARTORIUS v. WALTERSHAUSEN⁴. Dieser wirft BUNSEN vor, dass

¹ „Whenever the temperature of the liquid mass begins to be less than that necessary to retain the feldspar in fusion, there the feldspar will commence to solidify, or will slowly stiffen in the midst of the fluid material made up of the other ingredients. In this state the vapors ascending in the conduit will urge upward the feldspar much less freely than the more liquid part of the lava.“

² R. BUNSEN, „Über die Prozesse der vulcanischen Gesteinsbildungen Islands.“ Pogg. Ann. **83**. 1851.

³ Allerdings sah sich BUNSEN genöthigt, um die isländischen Gesteine in sein System einzupassen, bei einigen eine Substanzaufnahme aus dem Nachbargestein durch Einschmelzen von Theilen desselben anzunehmen.

⁴ S. v. WALTERSHAUSEN, „Über die vulcanischen Gesteine in Sicilien und Island . . .“ Göttingen 1853.

er die nach dem Mittelpunkte der Erde hin zunehmende Dichte der Gesteine ganz ausser Betracht lasse und zu einer unwahrscheinlichen Hypothese seine Zuflucht nehme. — WALTERSHAUSEN ist der Meinung, dass in dem Urmagma eine Trennung nach dem specifischen Gewicht stattgefunden habe, so zwar, dass die Oberfläche der Erdrinde aus Feldspath besteht, dessen Gehalt an basischen Oxyden und specifisches Gewicht nach dem Erdinnern hin zunimmt, bis in einer Tiefe von 21 Meilen schwerere Silicate und Metalloxyde, vorzugsweise Augit und Magneteisen, an seine Stelle treten¹.

Die Zerlegung eines Magmas nach dem specifischen Gewicht hält auch LYELL² für wahrscheinlich. Er ist im Wesentlichen der Ansicht SCROPE's und DARWIN's, nur geht nach seiner Hypothese die Trennung eines Magmas in Theilmagmen vor sich, während alle Bestandtheile flüssig sind, während bei SCROPE und DARWIN die sich trennenden Massen sich in verschiedenem Aggregatzustand befinden. „Wenn daher,“ sagt er auf p. 522 seines Werkes, „eine grosse Menge Gesteins im Innern der Erde durch vulcanische Hitze wieder geschmolzen ist, so werden die schwereren Bestandtheile der kochenden Flüssigkeit zu Boden sinken, und die leichteren, welche oben bleiben, werden dann durch die Expansivkraft der Gase zuerst an die Oberfläche getrieben werden.“ — Der gleichen Meinung ist er auch noch im Jahre 1871³.

Die von SCROPE ausgesprochene und dann von WALTERSHAUSEN und LYELL bekämpfte Ansicht, dass die mineralogische und chemische Zusammensetzung der Gesteine sich mit dem geologischen Alter nicht ändere⁴, erhielt im Jahre 1857 eine

¹ op. cit. p. 518. „Die ganze äussere Erdrinde ist in primitiver Form als eine Feldspathmasse zu betrachten, die an der Oberfläche nur verhältnissmässig wenig fremde Mineralkörper enthält, die aber, nachdem sie ihre basischste Zusammensetzung erlangt hat, in einer Tiefe von etwa 21 Meilen aufhört und durch specifisch schwerere Silicate und Metalloxyde, vorzugsweise durch Augit und Magneteisen, verdrängt wird.

² CHARLES LYELL, „A manual of elementary geology.“ New York 1855.

³ CH. LYELL, „The students elements of geology.“ London 1871.

⁴ Über die Bedeutung dieser Frage vergl. H. ROSEBUSCH, „Über die chemischen Beziehungen der Eruptivgesteine.“ Min. u. petr. Mitth. 11. 1889. p. 144. ROSEBUSCH stellt am Anfang dieser Arbeit folgende drei Fragen:

neue Stütze durch J. B. JUKES¹. Dieser denkt sich einen Zerfall eines aus dem Erdinnern emporquellenden Magmas nach dem Schmelzpunkt der in ihm enthaltenen Mineralien, so dass sich die am schwersten schmelzbaren Mineralien zuerst fest abscheiden und am tiefsten zu liegen kommen u. s. f. Dass es dabei vorkommen kann, dass ein specifisch schwereres Magma über einem leichteren liegt, ist nicht von Bedeutung, denn die Differenzen im specifischen Gewicht sind verschwindend klein gegen die das Empordringen verursachende Kraft². — Auch ist es JUKES also erklärlich, dass sich die Gesteine eines Eruptivgebietes in eine Reihe, wie z. B. die BUNSEN'sche, anordnen lassen, jedoch scheint ihm seine Deutung die grösste Wahrscheinlichkeit von allen bisher gegebenen beanspruchen zu können. — Die Bezeichnungen alt und neu, die man den Eruptivgesteinen beilegt, müssen nach seiner Meinung durch in der Tiefe gebildet („deeply formed“) [Tiefengesteine!] und an der Oberfläche gebildet („superficially formed“) [Ergussgesteine!] ersetzt werden.

-
1. „Lassen sich Unterschiede im stofflichen Bestande der Eruptivgesteine der verschiedenen geologischen Altersperioden erkennen und welche sind es?
 2. Zeigen sich bei der vergleichenden Betrachtung der stofflich verschiedenen Eruptivgesteine gewisse Gesetzmässigkeiten und welche sind es?
 3. Wie lässt sich die stoffliche Verschiedenheit der Eruptivmassen aus demselben Eruptivcentrum erklären?“

und bemerkt dann weiter: „Die erste der obigen Fragen ist eine Vorfrage. Ihre Bejahung würde nur die Folge haben, dass die Untersuchungen zur Beantwortung der Fragen 2 und 3 gesondert an so vielen Kategorien von Eruptivgesteinsgruppen durchzuführen wären, wie sich zufolge der durch das geologische Alter bedingten Verschiedenheiten ergeben würden. Ihre Verneinung würde gestatten, ohne Berücksichtigung des geologischen Alters sofort für alle bekannten Eruptivgesteine eine Beantwortung der aufgestellten Fragen zu versuchen.“

¹ J. B. JUKES, „The student's manual of geology.“ Edinburgh 1857.

² „From the very same stream of igneous matter, proceeding from the interior to the surface of the earth, the more readily fusible portions might be successively squeezed out, as it were, as the infusible ones solidified and contracted in consequence of that solidification. This action might take place in spite of the greater specific gravity of the more fusible minerals, since the difference of the specific gravity would probably be small compared with the power of the eruptive force.“

Noch in demselben Jahre 1857 erschien eine Abhandlung von DUROCHER¹, in der der Verfasser die Theorie BUNSEN'S und die Ansichten DARWIN'S und DANA'S gewissermaassen vereinigt. Er kommt wie BUNSEN zu dem Schluss, dass die festgewordenen Magmen durch Vermischung des Inhalts zweier Reservoirs gefüllt mit SiO₂-reichem (siliceux) bzw. SiO₂-armem (basique) Magma entstanden seien. Allerdings denkt er sich diese Grenzmagmen nicht nebeneinanderliegend wie BUNSEN, sondern sie sollen unter der festen Erdkruste in zwei concentrischen Schalen den Erdkern umgeben (vergl. v. WALTERSHAUSEN). Ferner will er nicht wie BUNSEN Gesteine gefunden haben, welche die Zusammensetzung dieser Endglieder besitzen², sondern seine Grenzmagmen sind rein hypothetisch. Entstanden denkt er sich dieselben im Anklang an DARWIN und DANA durch „Liquation“, d. h. Saigerung aus einem Urmagma, wobei eine Trennung von Krystallen und flüssigem Material stattfindet. Diese Magmen können nun weiter gesaigert werden und schliesslich verschiedene Gesteine liefern je nach den Bedingungen, die bei der Trennung geherrscht haben. „Pour les roches dérivant du même magma, les différences dans les caractères minéralogiques tiennent moins à leur composition élémentaire qu'à des conditions de pression, de température et en général aux circonstances de leur refroidissement, c'est-à-dire à des conditions d'un ordre externe plutôt que d'un ordre interne.“

DUROCHER vergleicht ferner hier als erster die Magmen mit geschmolzenen Metalllegierungen, indem er sagt: „Les magmas qui ont produit les roches ignées sont comparables à des bains contenant à l'état de fusion plusieurs métaux, et qui, en se figeant, se partagent en des alliages divers, suivant les circonstances de leur solidification, lors même que le bain primitif offrait la même composition.“

¹ V. DUROCHER, „Essai de Pétrologie comparée, ou recherches sur la composition chimique et minéralogique des roches ignées, sur les phénomènes de leur émission et sur leur classification.“ Ann. des Mines. 11. 1857.

² Die Endglieder können nicht vorhanden sein, da dieselben selbst wieder durch „liquation“ zerlegt sind, aber es ergibt sich die Zusammensetzung z. B. des normalen „magma siliceux“ durch Mischung eines Phonolith- und eines Trachyporphyr-(Rhyolith-)Magmas.

B. v. COTTA¹ nahm eine Saigerung bei der Bildung der ersten Erstarrungskruste der Erde an, allerdings ohne näher anzugeben, wie oder wodurch dieselbe entstanden sein sollte. Die erste feste Rinde der Erde sollte aus SiO₂-reichem Gestein bestehen, während die darunterliegende flüssige Masse in ihrer Zusammensetzung den an basischen Oxyden reichsten Gesteinen entspreche. Indem letztere bei einem Durchbruch durch die Erdrinde mehr oder weniger feste Theile auflöst, entstehen mehr oder weniger SiO₂-reiche Gesteine.

Von der Spaltung bezw. von einem Zerfall spricht auch J. ROTH² in seinen Tabellen 1861. Er hat indes keineswegs die Bildung der grossen Magmen im Auge, sondern er betrachtet nur die wirklich zur Eruption kommenden Materien. Dabei bemerkt er, dass feurig-flüssige Massen von gleicher oder sehr nahezu gleicher chemischer Zusammensetzung in verschiedene Mineralien „auseinanderfallen“ können, dass aber auch Verschiedenheit in der chemischen Zusammensetzung bis zu einem gewissen Grade nicht das Zerfallen in dieselben Mineralien hindere. — Was J. ROTH hier Spaltung nennt, hat nach ROSENBUSCH (p. 151) gewisse Verwandtschaft mit dem, was dieser Autor ältere Ausscheidungen in den Eruptivgesteinen nennt, während „DUROCHER's liquation in der Sprache vieler heutiger Geologen Schlierenbildung im Magma zu nennen sein würde.“

In der zweiten Auflage seines Students Manual of Geology (Edinburgh 1862) giebt JUKES eine Übersicht über die bis dahin veröffentlichten Theorien über die Entstehung der chemisch ungleichen Eruptivgesteine. Er selber bringt nichts wesentlich Neues; im Gegentheil, er behauptet, dass alle Eruptivgesteine ein und demselben Magma entstammen, ohne auch nur eine Andeutung über die Gründe für den Zerfall desselben zu machen.

Auch ZIRKEL beschränkt sich im ersten Band seines Lehrbuches der Petrographie (Bonn 1866) darauf, die bisher veröffentlichten Theorien zu referiren; die Ansicht, die

¹ B. v. COTTA, „Geologische Fragen.“ Freiberg 1858.

² JUSTUS ROTH, „Die Gesteinsanalysen in tabellarischer Übersicht und mit kritischen Erläuterungen.“ Berlin 1861.

ihm am wahrscheinlichsten zu sein scheint, ist die von v. WALTERSHAUSEN.

F. v. RICHTHOFEN¹ giebt 1868 im Anschluss an eigene Beobachtungen einen Bericht über die bisher veröffentlichten Theorien. Nach seiner Ansicht hat das BUNSEN'sche Mischungsgesetz — die Reservoirs der beiden Grenzmagmen sollen jedoch wie bei v. WALTERSHAUSEN vertical übereinanderliegen — allgemeine Gültigkeit nur für Tiefengesteine. Die Magmen der Ergussgesteine sollen sich durch Saigerung, wie sie DUROCHER angegeben hat, aus den grossen Magmenmassen abgespalten haben.

SCROPE hat in der Ausgabe seiner „Volcanos“ vom Jahre 1872 seine frühere Ansicht etwas geändert. Er denkt sich, dass in einem Magma Feldspath und Augit zu gleicher Zeit auskrystallisiren. Das specifische Gewicht der Mutterlauge steht nun zwischen dem der Krystalle; es wird also der Feldspath emporsteigen, während der Augit zu Boden sinkt. Dadurch wird der untere Theil reicher an basischen Oxyden, der obere an SiO_2 . — SCROPE macht keinen Anspruch auf die Originalität dieser Hypothese, er giebt vielmehr selber zu, dass er nur die Ansicht DARWIN's (s. o.) recapitulire. Auch den zweiten Theil der DARWIN'schen Anschauung, dass unter Umständen die Mutterlauge von den abgeschiedenen Krystallen abgepresst werden könne, hält er für richtig, indes dürfe diese Voraussetzung nur unter besonderen, durch locale Verhältnisse gegebenen Bedingungen gültig sein.

C. KING² veröffentlichte 1878 eine Arbeit, in der er ganz neue Gedanken über die Entstehung der Eruptivgesteine lieferte. Auf den Inhalt der interessanten Abhandlung einzugehen, würde hier zu weit führen, besonders da der Verfasser sich auf eine Theorie der Spaltung bzw. Saigerung eines Magmas nicht einlässt. Er erwähnt nur, dass eventuell in einem wieder flüssig gewordenen Gestein — in kleinerem Umfange — eine Trennung stattfinden kann, und zwar 1. indem in der völlig flüssigen Masse die schwereren Theile zu Boden

¹ F. v. RICHTHOFEN, „The Natural System of Volcanic Rocks.“ San Francisco 1868.

² C. KING, „U. S. Geological Exploration of the Fortieth Parallel.“ Washington 1878. 1. (Systematic Geology.)

sinken, oder aber 2. indem nach der Anschauung SCROPE'S eine Trennung von festem auskrystallisirten Material und der Mutterlauge nach dem specifischen Gewicht stattfinden kann.

Einen ganz anderen Gedanken bringt im Jahre 1880 DUTTON¹. Die erste Erstarrungskruste der Erde soll völlig oder nahezu völlig homogen gewesen sein und ungefähr die chemische Zusammensetzung eines Basaltes gezeigt haben, da Basalte zu allen geologischen Zeiten den grössten Theil der entstandenen Eruptivgesteine ausmachen². Durch die Verwitterung werden die Gesteine in SiO₂-reiche und -arme Sedimente zerlegt, z. B. in Sandstein einerseits und Kalkstein andererseits, während ein Bestandtheil von mittlerer chemischer Zusammensetzung, der Thon, zurückbleibt. Wenn nun einer dieser 3 Theile in grösserer Menge von Basaltmagma bei einem Durchbruch aufgenommen wird, so wird dies eine wesentlich andere chemische Zusammensetzung annehmen und aus diesem neuen Schmelzfluss werden bei der Krystallisation naturgemäss andere Gesteine als Basalt entstehen. — Eine Trennung von festen Krystallen und ihrer Mutterlauge erscheint ihm wenig wahrscheinlich, denn die Krystalle haben sich jedenfalls erst gebildet, als die Lösungsfähigkeit des Schmelzflusses geringer wurde, d. h. als er kälter und zähflüssiger geworden war, und dann hätten sie sich nicht mehr frei bewegen können. — Auch die Trennung des Magmas in einen specifisch schwereren und leichteren Theil, wie sie z. B. LYELL (s. o.) annahm, hält er für unmöglich oder wenigstens für sehr wenig wahrscheinlich, da ihm ein analoger Vorgang sonst nicht bekannt ist³.

¹ C. E. DUTTON, „Geology of the High Plateaus of Utah.“ Washington 1880.

² „ . . . the basalts are among the most abundant of eruptive rocks. and, if we reckon with them the more ancient dolerites or diabases, they have always been abundant in all ages as far back as our knowledge extends, but not only should we infer that the primordial matter of the earth were basic like the basalts or dolerites but that they were very nearly homogeneous.“

³ „We know of no natural processes capable of separating the more acid parts of such a magma, except the chemistry of the atmosphere acting at temperatures far below the melting points of the silicates. We have the results of that processes in the quartzites, granites, gneisses and

Die Eigenschaften eines Magmas betrachtet dann 1886 LAGORIO¹ näher. Mit ihm kommt ein ganz neuer Zug in die Anschauungen, die sich bisher in engen Grenzen immer gleich oder ähnlich geblieben waren. Er hebt vor Allem die chemischen und physikalischen Gesetze, die bei der Bildung eines Magmas in Betracht kommen, hervor und zeigt, wie lückenhaft die Kenntnisse von den Eigenschaften der Glasflüsse bis zu jener Zeit sind. — Nach LAGORIO ist „ein geschmolzenes Gesteinsmagma eine übersättigte Lösung verschiedener Silicate, die eines geringen Anstosses bedürfen, um je nach dem Sättigungsgrade mit der einen oder anderen Verbindung als Gemengtheile auszukrystallisiren. Die Analogie mit Salzlösungen ist eine vollständige, die für wässerige Salzlösungen gefundenen Gesetze lassen sich daher auf die geschmolzenen Gesteinsmagmen anwenden.“

Die Frage der Differentiation eines Magmas streift LAGORIO nur in seinen interessanten Ausführungen; eine Spaltung in flüssigem Zustand hält er für ausgeschlossen, dieselbe kann nur vor sich gehen bei der Abscheidung eines Bestandtheiles in fester Form entsprechend der Salzabscheidung in einer wässerigen Lösung. Als Lösungsmittel, als die am wenigsten zur Krystallisation befähigte Substanz, als Glas $\alpha\alpha'$ $\xi\xi\sigma\chi\gamma\upsilon$, betrachtet er ein Silicat von der Zusammensetzung $R_2O \cdot 2SiO_2$, wobei $R = K, Na$ ist. Gelöste Substanz sind die wenigen gesteinsbildenden Silicatmineralien, da sich diese aus den verschiedenen SiO_2 -reichen und -armen Magmen immer wieder bilden. — Spruchreif wird nach der Ansicht LAGORIO'S die Frage der Differentiation erst sein, wenn die chemischen und physikalischen Eigenschaften der Schmelzflüsse genauer studirt sein werden.

J. J. H. TEALL² discutirt die schon von LAGORIO angeschnittene Frage der Anwendbarkeit der SORET'Schen Beobachtung, dass in einer homogenen Lösung eine Anreicherung

syenites among the silicious rocks, and the limestones and dolomites among the basic rocks, with argillaceous rocks as the residuum of the decomposition.“

¹ A. LAGORIO, „Über die Natur der Glasbasis sowie der Krystallisationsvorgänge im eruptiven Magma.“ Min. u. petr. Mitth. 8. (1886.)

² J. J. H. TEALL, „British Petrography.“ London 1888.

der gelösten Substanz in den kälteren Theilen stattfindet, auf die Silicatschmelzflüsse. Der schwierigste Punkt bei dem Vergleich ist ihm die Angabe des Lösungsmittels und der gelösten Sustanz, und schliesslich lässt er die Frage offen: „SORET's Princip kann auch auf die Tiefengesteine anwendbar sein. Homogene geschmolzene Massen können durch Diffusion gewisser Constituenten während der Abkühlung heterogen werden. So kann ein Magma von mittlerer chemischer Zusammensetzung in ein „basisches“ und in ein „saureres“ Magma differenzirt werden.“

Eine neue Vorstellung über die Spaltung eines Magmas gab ROSENBUSCH im Jahre 1889 (op. cit.). Er versteht unter „Spaltung“ den „spontanen Zerfall eines chemisch gleichartigen Gesamtmagmas in zwei oder mehrere chemisch differente Theilmagmen“. Wie dieser Zerfall stattfinden soll, darüber giebt der Verfasser indes leider keine Auskunft; verursacht wird er durch chemische Affinitäten der gelösten Stoffe. „Mag man sich nun,“ sagt er auf p. 156 und 157, „das Urmagma im Erdinnern, von welchem alle Eruptivmassen in letzter Instanz abzuleiten sind, durch fortschreitende Oxydation einer den Erdkern bildenden Metalllegirung oder sonstwie entstanden denken, wir müssen uns dasselbe unbedingt uranfänglich homogen vorstellen, oder aber auf jede Bildung einer Anschauung von demselben verzichten. Im ersteren Falle zwingt die Thatsache, dass die zu unserer Kenntniss kommenden, den verschiedenen Eruptivgesteinen zu Grunde liegenden Magmen, nicht stofflich gleich, sondern sehr mannigfach verschieden sind, zu der Annahme, dass in dem Urmagma Spaltungen in Theilmagmen vor sich gehen. Dass diese nicht gesetzlos verlaufen, sondern unter der Einwirkung chemischer Affinitäten, ist von vornherein anzunehmen, und wird widerspruchslos dadurch erwiesen, dass gewisse an und für sich als möglich zu betrachtende Magmen offenbar nicht vorkommen. Warum z. B. sollte nicht ein alkalifreies, aber kalkreiches Magma von grossem Kieselsäure- und Thonerdegehalt, warum nicht ein thonerde- und zugleich magnesiaeisenreiches Magma vorkommen. Man kann diese Frage doch nicht dadurch erledigen, dass man sagt, solche Magmen könnten nicht in bekannte Silicatminerale zerfallen.“

Das würde zu sehr an die weise Vorsicht der Natur erinnern, welche die grossen Flüsse immer an den grossen Handelsstädten vorbeifliessen lässt, und wäre überdies noch falsch.“

„Die Ursache dafür, dass gewisse Magmen in allgemeiner Verbreitung vorkommen, andere fehlen, kann nur darin gesucht werden, dass gewisse Stoffe in schmelzflüssiger Lösung sich gegenseitig in gewissen Mengenverhältnissen bedingen und ausschliessen. Von dieser Annahme^{*} ausgehend, erkennen wir die thatsächlichen Spaltungen im Urmagma als nothwendig. Das Vorkommen, sowie die regelmässige Wiederkehr bestimmter Eruptivmassen wird dem Gebiete des Zufalls entrückt und giebt Anlass und Anhaltspunkte zum Aufsuchen der Gesetze, nach denen diese Spaltungsvorgänge verlaufen.“

Zu gleicher Zeit wie die Abhandlung von ROSENBUSCH erschien eine Arbeit von BRÖGGER¹, in der der Verfasser den Zerfall eines Magmas, oder richtiger gesagt eine Trennung der Bestandtheile desselben, nach dem SORET'schen Princip annimmt. Aus den chemischen Beziehungen, die zwischen den Gesteinen eines Eruptionsgebietes herrschen, schliesst er, dass dieselben einem gemeinsamen begrenzten „Magmaassin“ entstammen, dessen Inhalt aber nicht einfach ein Theil der flüssigen Masse ist, die das Erdinnere bilden soll. An der kühleren Oberfläche der flüssigen Masse reichern sich zuerst die schwerer löslichen SiO_2 -armen Bestandtheile an und werden zuerst ausgeworfen; die Materien der folgenden Ausbrüche werden immer mehr SiO_2 -haltig, bis zum Schluss wieder an basischen Oxyden reiches Material — die zuerst auskrystallisirten, zu Boden gesunkenen und wieder flüssig gewordenen SiO_2 -armen Mineralien — zur Eruption gelangt. — Für das von BRÖGGER untersuchte Eruptionsgebiet stimmt diese Theorie mit dem Alter der beobachteten Gesteine und ihrer chemischen Zusammensetzung überein.

Eine Trennung nach dem specifischen Gewicht und entsprechend dem SORET'schen Princip nimmt auch J. H. L. VOGT²

¹ W. C. BRÖGGER, „Die Mineralien der Syenitpegmatitgänge der südnorwegischen Augit- und Nephelinsyenite.“ Zeitschr. f. Kryst. u. Min. 16. 1890.

² J. H. L. VOGT, „On dannelsen af de vigtigste i Norge og Sverige representerede grupper af jernmalmforekomster.“ (Über die Bildung der

an. Er discutirt in eingehender Weise die Möglichkeiten einer Spaltung oder einer Saigerung, indem er die Vorgänge vom chemischen und physikalisch-chemischen Standpunkt aus betrachtet. Er kommt dabei zu dem Resultat, dass bei „basischen“¹ Eruptivgesteinen eine Spaltung in Metalle — Eisen, Kupfer, Platinmetalle — bzw. in Sulfide und Oxyde einerseits und in ein „basisches“ Magma andererseits möglich ist. Das SiO₂-arme Silicat kann sich dann weiter nach dem SORET'schen Princip oder nach anderen, bisher unbekanntem Gesetzen in chemisch verschiedene Theile trennen. Während die Abspaltung der Metalle, Oxyde und Sulfide durch Vorkommnisse in der Natur und durch künstliche Schmelzflüsse (Schlacken und Gläser) bewiesen ist, kommt er zur Spaltung des Magmas durch Diffusion, durch Speculation und durch Vergleich des Schmelzflusses mit einer wässrigen Lösung².

1892 treten DAKYNS und TEALL³ der Frage nach der Bildung der Gesteine eines Eruptivcentrums und nach der Theilung der Magmen näher. Sie kommen zu dem Schluss, dass die von ihnen untersuchten Gesteine chemisch und petrographisch so völlig in eine Reihe passen, dass dieselben unbedingt Producte eines fortlaufenden Processes sein, d. h. einem gemeinsamen Magma entstammen müssen. Über den Zerfall desselben sprechen sie keine bestimmte Meinung aus. Wahrscheinlich haben sich beim Erkalten der Masse eines Tiefengesteines zuerst die an basischen Oxyden reichsten und specifisch schwersten Mineralien abgeschieden, denen immer

wichtigsten norwegischen und schwedischen Gruppen von Eisenerzvorkommen. — Mit einem ausführlichen Resumé in deutscher Sprache.) Geol. Fören. Förh. Stockholm 1891 und „Bildung von Erzlagerstätten durch Differentiationsprocesse in basischen Eruptivmagmata“. Zeitschr. f. prakt. Geol. 1893.

¹ Richtiger dürfte es sein, in Bezug auf ein Silicat den Ausdruck „sauer“ durch SiO₂-reich und „basisch“ durch SiO₂-arm zu ersetzen, da wahrscheinlich die meisten Silicate als neutrale Salze aufzufassen sind und somit ein „saurer“ oder „basisches“ Silicat keineswegs einem sauren oder basischen Salze in der üblichen Auffassung entspricht.

² Auf diese Entwicklung wird bei der Betrachtung einer späteren Arbeit desselben Verf.'s genauer eingegangen werden.

³ J. R. DAKYNS and J. J. H. TEALL, „On the Plutonic Rocks of Garabel Hill and Meall Breac.“ Quart. Journ. Geol. Soc. London. 48. 1892.

SiO₂-reichere folgten. Die Krystalle haben sich bei ihrer Bildung zu Boden gesetzt, so dass der oberste Theil wesentlich verschieden in der chemischen Zusammensetzung von dem untersten, zuerst gebildeten ist. Indes können ihrer Meinung nach auch andere Processe, z. B. eine Trennung nach dem SORET'schen Princip, eine Rolle gespielt haben. Einen Beweis für die Richtigkeit ihrer Ansicht suchen sie darin, dass es für die SiO₂-ärmsten Tiefengesteine, die Peridotite, keine Vertreter unter den Ergussgesteinen giebt. Bei diesen ist eben das ganze Magma zum Ausbruch gekommen und bei der schnellen Abkühlung und der geringen Ausdehnung in verticaler Richtung hat eine Trennung in einen SiO₂-armen und in einen SiO₂-reichen Theil nicht stattfinden können.

IDDINGS (op. cit.) betrachtet die Bildung der Eruptivgesteine und der Spaltung der zugehörigen Magmen vom geologischen und petrographischen Standpunkt, während er die physikalischen und chemisch physikalischen Vorgänge bei der Spaltung sehr kurz behandelt. Aus einem potentiell flüssigen Urmagma haben sich eine Anzahl oft chemisch ähnlich zusammengesetzter Theilmagmen abgespalten. Wie das geschehen ist, will er unbeantwortet lassen, dazu reichen unsere Kenntnisse vorläufig noch nicht aus. Der Vorgang ist aber seiner Meinung nach nicht nur chemischer (ROSENBUSCH), sondern auch physikalischer Natur. Druck und Temperatur haben sicher eine Rolle dabei gespielt, ebenso die Anziehung nach dem Mittelpunkte der Erde (SORET'sches Princip), vielleicht auch der Zerfall der gelösten Stoffe in Ionen. Er empfiehlt das genaue Studium der wässrigen Lösungen und die Anwendung der erzielten Resultate auf die Silicatschmelzflüsse¹. — Die Theilmagmen oder

¹ „The differentiation of molten magmas must be of a chemico-physical nature.

Conceptions of the chemical and physical character and behavior of solutions are rapidly being developed. Much, however, remains to be learned of the true nature of the simplest aqueous solution. The complexities of a compound solution, that exists only at extremely high temperatures and experiences the pressures to which rock magmas have undoubtedly been subjected may long remain beyond the reach of direct investigation. Still the steady advancement of experimental physics offers great possibilities

„reservoirs“ liefern dann durch einen ähnlichen Zerfall die Gesteine eines Eruptivgebietes, deren Verwandtschaft („consanguinity“) sich in ihren mineralogischen, chemischen und geologischen Beziehungen kund thut.

Bemerkenswerth ist vielleicht noch die Anschauung IDDINGS', dass in einem Silicatschmelzfluss jedes Oxyd selbstständig vorhanden ist, so dass keine Vereinigung der Metalloxyde mit der Kieselsäure zu Silicaten stattfindet, solange keine Krystallbildung eintritt.

Die Frage, ob ein Silicat im feurigen Fluss als Legirung oder als Lösung in der üblichen Auffassung anzusehen ist, lösen 1892 BARUS und IDDINGS¹. Bei einer Metalllegirung steigt im Allgemeinen der elektrische Widerstand mit der Zunahme der Temperatur, während bei einer Salzlösung, allerdings nur bis zu einem gewissen Punkt, die Leitfähigkeit bei steigender Temperatur zunimmt. Die Verf. zeigen nun, dass bei einem Silicat mit der Temperaturerhöhung ein Abnehmen des Widerstandes stattfindet, ohne dass beim Flüssigwerden ein Sprung eintritt. Sie können ferner darthun, dass mit der Zunahme des SiO₂-gehaltes die Leitfähigkeit grösser wird, während reines Kieselsäureanhydrit, wie bereits WARBURG (WIED. Ann. 21. p. 622) gezeigt hat, dem Durchgang der Elektrizität einen ausserordentlich grossen Widerstand entgegensetzt. Der Vergleich mit der wässrigen Lösung eines Salzes stimmt also vollständig, wenn man annimmt, dass die Kieselsäure als Lösungsmittel dient. „The behavior of molten rock magmas is in its nature quite identical with that of any aqueous or other solution, the difference being one of solvent.“

Die Thatsache, dass bei der Verfestigung eines Silicat-schmelzflusses keine plötzliche Änderung des elektrischen Widerstandes stattfindet, beweist ferner, dass auch ein festes

in this direction. Until the establishment of definite knowledge concerning the nature of molten magmas we must proceed along the lines of analogy by applying to them such laws as may be found applicable to solutions that exist at lower temperatures and pressures.“

¹ CARL BARUS and JOSEPH IDDINGS, „Note on the change of electric conductivity observed in rock magmas of different composition on passing from liquid to solid.“ Am. Journ. Science 1892.

Glas eine Lösung ist mit nur graduellen Unterschieden dem geschmolzenen Glas gegenüber¹.

Die Entstehung chemisch differenter Gesteine aus einem gemeinsamen Magma erklärt in demselben Jahre F. BECKER² ohne Anwendung einer Spaltungshypothese. Er denkt sich das Magma als Gemisch zweier oder mehrerer Flüssigkeiten von verschiedenem Schmelzpunkt. Beim Erkalten der Masse werden sich zuerst an den kälteren Randzonen Krystalle der am schwersten schmelzbaren Substanz bilden. Durch Convectionsströme wird denselben immer mehr Substanz zugeführt. Bei weiterer Abkühlung oder bei Änderung des Druckes kommt es zur Abscheidung der nächsten Substanz u. s. f. bis zum Schluss in der Mitte oder an der wärmsten Stelle ein eutektisches Gemisch zurückbleibt, d. h. ein Gemisch, das beim Erstarren Krystalle von der Zusammensetzung der Flüssigkeit liefert. Dieses letzte Krystallisationsproduct hat wie alle eutektischen Gemische den niedrigsten Schmelzpunkt aller möglichen Gemische. Hinderlich ist der fractionirten Krystallisation natürlicherweise grosse Viscosität des Magmas, sehr schnelle und sehr langsame (?) gleichmässige Abkühlung. — Zum Schluss seiner Arbeit regt BECKER ein Studium der eutektischen Silicatgemische an; dasselbe wird später zur Erklärung der Saigerungsvorgänge dienen können.

MICHEL-LÉVY³ bestreitet 1897 die Anwendbarkeit des SORET'schen Principis auf Silicatschmelzflüsse, wie sie von TEALL, BRÖGGER, IDDINGS angenommen wurde. Er unterscheidet vier Hauptmagmen, aus denen sich die Eruptivgesteine zusammensetzen, ein alkalisches, ein alkalisch-erdiges, ein erdig-alkalisches und ein Magnesia-Eisen-Magma. Diese Hauptmagmen weichen z. Th. wesentlich von den Kernen ROSENBUSCH's ab. Die verschiedene Zusammensetzung der Gesteine könne im Wesentlichen zurückgeführt werden auf Aus-

¹ Diese Auffassung stimmt auch überein mit der von SCHOTT (Pogg. Ann. 154. 422) angegebenen und von LAGORIO (op. cit.) übernommenen Definition.

² GEORGE F. BECKER, „Fractional Crystallization of Rocks.“ Am. Journ. Science. 1897.

³ A. MICHEL-LÉVY, „Sur la classification des magmas des roches éruptives.“ Bull. Soc. Géol. France. 25. 1897.

stossungen aus dem von Schlacke umgebenen Eisenkern der Erde, auf Umschmelzung älterer Gesteine durch die Eisen-Magnesia-Schlacke des Kerns und auf die Thätigkeit von Lösungsmitteln, welche Alkalimetalle, Silicium und Aluminium je nach Umständen zuführen und entziehen (Ref. von H. BEHRENS in dies. Jahrb. 1898. II).

BRÖGGER¹ findet 1898 bei der Betrachtung des Laurdalits und seines Ganggefolges, dass sich die Zusammensetzung der Gangmagmen aus der des Laurdalitmagmas durch Addition und Subtraction bestimmter stöchiometrischer Verbindungen ergibt; „gewisse stöchiometrische Verbindungen sind hinzudiffundirt, während gleichzeitig andere abgeführt wurden.“ Es sollen sich in dem durch das vorhandene Wasser leichtflüssigen Magma die SiO_2 -armen Fe-, Mg-, Ca-Silicate in der einen und die SiO_2 -reichen Alkali-Thonerde-Silicate in der anderen Richtung bewegt haben. Er sagt: „Der eine Kernpunkt der ganzen Hypothese ist die Annahme, dass die Verbindungen, welche bei der Differentiation des Magmas die Diffusionsbewegung vermittelt haben, der Hauptsache nach dieselben stöchiometrischen Verbindungen gewesen sind, welche wir in den Mineralien der Eruptivgesteine vorfinden. . . Die Zusammensetzung der Hauptkerne der Eruptivmagmen sind aller Wahrscheinlichkeit nach Verbindungen gewesen, welche auch aus den Mineralien der Eruptivgesteine bekannt sind.“ — Auch eine Differentiation durch elektrische Ströme, durch Elektrolyse, liegt nach der Ansicht BRÖGGER's nicht ausser dem Bereich der Möglichkeit.

LOEWINSON-LESSING² erkennt als Ursache der magmatischen Differentiation nur die Einschmelzung grösserer Massen des Nebengesteins an, die Differentiation selbst findet wesentlich durch Liquefaction statt. (Ref. von L. MILCH, dies. Jahrb. 1899. II.) Die Gründe, die ihn zu dieser Annahme führen, sind in seinen Studien über Eruptivgesteine³ dargestellt. In

¹ W. C. BRÖGGER, „Das Ganggefolge des Laurdalits.“ Christiania 1898.

² F. LOEWINSON-LESSING, „Études de pétrographie générale avec un mémoire sur les roches éruptives d'une partie du Caucase central.“ Trav. Soc. Nat. Pétersbourg. 26. 1898.

³ F. LOEWINSON-LESSING, „Studien über die Eruptivgesteine.“ Compt. rend. VII. sess. congr. géol. intern. Pétersbourg 1899.

dieser Arbeit bringt er ausführlich in kritischer Beleuchtung die bisher veröffentlichten Ansichten über die magmatische Differenzierung und giebt im Anschluss daran seine Meinung kund, die eine Versöhnung zwischen der reinen Diffusionstheorie und der osmotischen oder Assimilationstheorie herbeiführt, indem sie deren gleichzeitige Wirkung verlangt. Er denkt sich die Differentiation veranlasst durch die, durch das Einschmelzen grösserer Mengen des Nebengesteins herbeigeführte, Änderung in der chemischen Zusammensetzung des Magmas und durch Änderung von Druck und Temperatur. Er ist jedoch der Meinung, dass zum vollständigen Verständniss der Differentiationsvorgänge experimentelle Studien nöthig sein werden. Zum Schluss seiner hochinteressanten Ausführungen weist LOEWINSON-LESSING auf die Anwendbarkeit der Phasenregel auf die Silicatschmelzflüsse hin. Besonderes Interesse verdient die Betrachtung der Bedeutung des Wassers im Magma vom Standpunkt der Phasenlehre aus. Denkt man sich das Wasser nicht chemisch gebunden, so ist sein Einfluss auf Vorgänge im Magma gleich Null. Denn, „wenn im System irgend ein Stoff nur in einer Phase vorkommt, welche keinen anderen Stoff enthält, so stört nicht die Entfernung dieser Phase die bis hierzu vorhanden gewesenen Gleichgewichtsbedingungen“. Der Einfluss des Wassers ist also ein rein mechanischer, da der Wasserdampf die Viscosität des Magmas verringert.

Mit wenigen Worten streift LOEWINSON-LESSING die Spaltung der Magmen in dem „zur Chemie der Magmen“ betitelten Abschnitt seiner „Kritischen Beiträge zur Systematik der Eruptivgesteine¹“. Er ist der Meinung, „dass eine Übersättigung des Magmas mit einer Gruppe von Basen sich oft nicht durch ein einfaches Ausscheiden des Überschusses ausgleicht, sondern in vielen Fällen eine Spaltung auf irgend welche Weise hervorbringen muss“. Erwünscht wären experimentelle Daten über die maximale Löslichkeit von Oxyden in Silicaten. Die maximalen und minimalen Vorkommen von Oxyden in natürlichen Silicaten sind von ihm in einer kleinen Tabelle zusammengestellt. (Vergl. Referat von G. LINCK, dies. Jahrb. 1902. I.)

¹ Min. u. petr. Mitth. 19. 1900. p. 299.

JÓZEF MOROZEWICZ bringt in seiner Arbeit über die Bildung der Minerale im Magma¹ ein sehr reichhaltiges Material über die Krystallabscheidung in künstlichen Silicatschmelzflüssen. Seine Untersuchungen werden ebenso wie die VOGT'S² voraussichtlich bei der Lösung der Spaltungsfrage noch einmal zu grosser Bedeutung gelangen. Auf das Spaltungsproblem geht er im Schlusswort seiner Arbeit kurz ein; er versucht indessen nicht, eine Lösung desselben zu geben. Dass eine Spaltung eintritt, erscheint ihm nach den Untersuchungen BRÖGGER'S und VOGT'S unzweifelhaft, aber „was die unmittelbaren, die Differenzirung hervorrufenden Ursachen betrifft, so bleiben sie so gut wie völlig unbekannt“. Er will jedoch eine Differenzirung eines homogenen Glases in einem Wannofen der Targóweker Glasfabrik nachgewiesen haben, indem sich die unterste Schicht des Glases beim Ablassen stets Ca-, Mg- und Fe-reicher zeigte als die anderen.

VOGT³ hebt 1900 hervor, dass im Einklang mit seinen früheren Untersuchungen die durch magmatische Differentiation gebildeten Eisenerzvorkommnisse an „basische“ Eruptivgesteine gebunden sind. Die zugehörigen Gesteine zeigen bei Titan eisenerzabsonderungen höchstens 57—59 % SiO_2 , in der Mehrzahl nur 48—54 %. Chromeisenerzaussonderungen sind gesetzmässig an noch SiO_2 -ärmere Eruptivgesteine mit im Allgemeinen 43—45 % SiO_2 geknüpft. — Er wiederholt ferner die bereits früher gegebenen Beweise, dass die Titan eisenerzvorkommen der „basischen“ und „intermediären“ Eruptivgesteine durch magmatische Differentiationsprocesse entstanden sind. „Es ist dabei besonders auf folgende Momente Gewicht zu legen:

1. die hier besprochenen Titaneisenerzlagerstätten sind constant, also gesetzmässig an basische und intermediäre Eruptivgesteine, und zwar namentlich an Gabbrogesteine nebst Labradorfelsen, gelegentlich auch an Nephelinsyenite,

¹ JÓZEF MOROZEWICZ, „Experimentelle Untersuchungen über die Bildung der Minerale im Magma.“ Min. u. petr. Mitth. 18. 1899.

² J. H. L. VOGT, „Beiträge zur Kenntniss der Mineralbildung in Schmelzmassen in den neovulcanischen Ergussgesteinen.“ Christiania 1892.

³ J. H. L. VOGT, „Weitere Untersuchungen über die Ausscheidungen von Titaneisenerzen in basischen Eruptivgesteinen.“ Zeitschr. f. prakt. Geologie. 1900.

wohl auch hie und da an andere nahestehende Eruptivgesteine geknüpft;

2. jede Art von Eruptivgestein wird im Allgemeinen durch eine bestimmte Aussonderungsreihe gekennzeichnet;

3. zwischen den Lagerstätten und ihren Muttergesteinen (oder Nebengesteinen) lassen sich in vielen Fällen schrittweise petrographische Übergänge nachweisen;

4. es existirt eine intime chemische Blutsverwandtschaft (consanguinity) zwischen den Eruptivgesteinen und den in denselben auftretenden Erzlagerstätten;

5. die verschiedenen Differentiationsstufen mit Anreicherung von Eisen-Titan-Oxyden (nebst Cr_2O_3 , V_2O_5) und Eisenmagnesiumsilicat, welches in einigen Fällen kalk- und thonerdhaltig ist, im Schlusstadium oftmals auch von Thonerde (oder Aluminat), sind von gesetzmässiger Natur;

6. wo die Titaneisenerzlagerstätten eine hinreichende Menge von Silicat oder Aluminat führen, ergibt sich aus der Structur, dass die Gesteine durch Erstarrung aus Magmen hervorgegangen sind;

7. pneumatolytische Mineralien fehlen durchgängig.“

Am Schlusse seiner äusserst interessanten Arbeit stellt der Verfasser „theoretische Betrachtungen über die magmatische Differentiation auf Grundlage der bei den Titaneisenerzausscheidungen gemachten Erfahrungen“ an. Nach den Untersuchungen von BARUS und IDDINGS (s. o.) sind Silicatschmelzflüsse Elektrolyte. Es gelten also alle für diese anwendbaren Gesetze, z. B. VAN'T HOFF'S Gesetz, GOUY und CHAPERON'S Gesetz, BERTHELOT'S Gesetz, auch für die Magmen. Die Gültigkeit der Gesetze der chemischen Massenwirkung (oder des chemischen Gleichgewichts) für die magmatischen Differentiationsvorgänge ergibt sich nach VOGT aus folgenden drei, voneinander unabhängigen Argumenten:

1. „Die Mineralbildung im Silicatschmelzfluss wird . . . namentlich durch die chemische Massenwirkung (beeinflusst durch Druck, Temperatur, vorhandenes Wasser etc.) in dem Silicatschmelzfluss bedingt; die Differentiationsfolge geht im grossen Ganzen gerechnet mit der Krystallisationsfolge parallel; also muss auch die Differentiation von der chemischen Massenwirkung abhängig sein.

2. Die Untersuchung einer sehr weit verlaufenden Differentiation — z. B. vom Gabbromagma bis zu einer Erz-Diallagit-Hypersthenit- oder Olivinitaussonderung und ausserdem zu einer Erz-Spinellit- oder Korunditaussonderung — lehrt uns, dass die Natur des Concentrationsproductes auf den verschiedenen Zwischenstadien sich ändert, oft sogar sehr stark, und zwar derart, dass die Zusammensetzung des Theilmagmas auf jedem Stadium für den weiteren Verlauf der Concentration maassgebend ist. Mit anderen Worten, die Differentiation ist eine Function der Gesamtzusammensetzung des Theilmagmas, was sich am einfachsten durch die chemische Massenwirkung erklären lässt.

3. Ausserdem kommt der experimentell von BARUS und IDDINGS gelieferte Beweis, dass die Silicatschmelzflüsse den elektrischen Strom leiten, hinzu; d. h. die Gesetze der Elektrolyte, darunter auch das Gesetz der chemischen Massenwirkung, müssen für die Silicatschmelzlösungen gelten.“

Schliesslich betrachtet er die Differentiationserscheinungen: „Es ist dabei namentlich an folgende Factoren zu denken:

Die chemischen Verwandtschaftseigenschaften (oder die chemische Massenwirkung) bei dem herrschenden Druck, Temperatur u. s. w. und bei Gegenwart von aufgelöstem Wasser und (anderen) sogen. „agents minéralisateurs“;

Einfluss von Unterschieden der Temperatur (oder osmotischem Druck), der Schwere u. s. w.;

Viscositäts- und Schmelzbarkeitsgrade, Diffusionsgeschwindigkeit, Löslichkeitseigenschaften u. s. w.;

Magnetische(?) und elektrische Erscheinungen;

Weiter kann man ziemlich sicher davon ausgehen, dass es noch eine nicht unwesentliche Anzahl von Factoren giebt, die bisher gar nicht berücksichtigt worden sind.“

Das VAN'T HOFF'sche Gesetz (SORET's Princip der früheren Autoren) ist zweifellos gültig; jedoch ist die quantitative Wirkung desselben nicht sehr gross. Auch GOUY und CHAPERON's Gesetz wird quantitativ bei der Differentiation eines kleinen Magmas, eines Lakkoliths z. B., keine grosse Rolle gespielt haben. Ebenso wird das BERTHELOT'sche Gesetz nicht das Wesentliche in der Differentiation erklären können. Die Elektrolyse eines Magmas durch dauerhafte

elektrische Erdströme, thermoelektrischen oder anderen Ursprungs (BRÖGGER), wird wohl auch nicht von grosser Bedeutung sein; es wäre durch Elektrolyse z. B. nicht die Anreicherung von Apatit in einzelnen Theilen eines Magmas, bezw. in einzelnen aus einem Magma entstandenen Gesteinen, erklärlich. Denn bei der Elektrolyse von $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ tritt eine Aufspaltung ein, indem Ca an die Kathode und PO_4 an die Anode wandert. Vielleicht beruhe die Ausscheidung der Platinmetalle, also der Metalle mit niederen Affinitäten auf elektrischen Strömen. — Der chemische Einfluss des Wassers bei Veränderung des Druckes und der Temperatur ist bisher unaufgeklärt und nur hypothetisch¹; das Wasser hat indessen nach der Auffassung VOGT'S die Hauptrolle bei der Differentiation gespielt. Er giebt seine Ansicht über den Vorgang in folgenden Worten wieder: „Die magmatische Differentiation beruht auf einer Concentration der zuerst krystallisirenden Bestandtheile, sowie der löslichen „Salze“; die Beziehung zwischen diesen „Salzen“ und dem „Lösungsmittel“, in welchem letzteres das Wasser hineingeht, wird von dem magmatischen Wasser in hohem Grade beeinflusst; das Wasser fungirt als eine in Bezug zur Kieselsäure ziemlich kräftige Säure, so. in der Massenwirkung wird das Wasser sozusagen einen Theil der Kieselsäure — und zwar nicht wenig — ersetzen; je mehr Wasser, je mehr werden die löslichen „Salze“ von dem kieselsäurehaltigen „Lösungsmittel“ abgetrennt, und zum Schluss macht das Wasser die Basen, wie beispielsweise Eisenoxyd, völlig frei; mit dem Wasser zusammen können folglich die „Salze“, darunter auch freie Basen (wie Eisenoxyd u. s. w.) transportirt werden.“ — Bei den sulfidischen Erzabscheidungen sei an eine gemeinsame Einwirkung von Schwefel und Wasser zu denken, während ausser Wasser im Allgemeinen sicher auch CO_2 , F, Cl, B einen, wenn auch quantitativ viel geringeren Einfluss ausgeübt haben werden.

Eine werthvolle Reihe von Versuchen veröffentlichte C. DOELTER² im Jahre 1901. Er stellte die Schmelzpunkte

¹ Vergl. SVANTE ARRHENIUS, „Zur Physik des Vulcanismus.“ Geol. Fören. Forhandl. 22. 395. 1900; dies. Jahrb. 1901. II. - 370-.

² C. DOELTER, „Über die Bestimmung des Schmelzpunktes bei Mineralien und Gesteinen.“ Min. u. petr. Mitth. 1901.

einer grossen Reihe von Mineralien und Gesteinen fest. Dabei unterscheidet er für jedes Mineral 3 Temperaturen: 1. den Schmelzpunkt (= Erweichungstemperatur = Temperatur der Zerstörung des Moleculargerüsts), 2. den Eintritt der Dünflüssigkeit und 3. den Erstarrungspunkt. Für Gesteine giebt es natürlicherweise keinen scharfen Schmelzpunkt, „sie verhalten sich wie Gemenge, der zuerst schmelzbare Bestandtheil löst bei steigender Temperatur immer grössere Mengen der anderen auf.“ In einer zweiten Abhandlung¹ giebt er nach einer genaueren Methode erzielte Resultate wieder. Es tritt Erweichen bzw. Flüssigwerden bei den schwerst schmelzbaren von ihm untersuchten Gesteinen bei ca. 1250° ein.

Eine ähnliche Versuchsreihe veröffentlichte BRUN² im Jahre 1902. Beide Arbeiten werden voraussichtlich in späteren Zeiten bei einer Erklärung der Spaltungsvorgänge von Werth sein.

Im Anschluss an diese Arbeiten stellte DOELTER Untersuchungen über den Einfluss des Schmelzpunktes auf die Löslichkeit der Minerale im Magma an³. Seiner Meinung nach hängt die Löslichkeit ab

1. vom Drucke,
2. von der chemischen Zusammensetzung des Magmas,
3. von der Temperatur des Magmas,
4. von der Eigenschmelzbarkeit der Mineralien und
- 5⁴. von der Härte des zu lösenden Minerals⁵.

¹ Min. u. petr. Mitth. 1902.

² ALBERT BRUN, „Étude sur le point de fusion des minéraux . . .“ Genf 1902.

³ C. DOELTER, „Die Schmelzbarkeit der Mineralien und ihre Löslichkeit im Magma.“ Min. u. petr. Mitth. 1901.

⁴ C. DOELTER, „Über einige petrogenetische Fragen.“ Centralbl. f. Min. etc. 1902.

⁵ Leider sind die angestellten Versuche nicht quantitativ ausgeführt, lassen also genaue Schlussfolgerungen nicht zu. — Was Punkt 4 anbetrifft, so dürfte Verfasser wohl im Irrthum sein. Denn m. E. entsteht bei der Lösung eines Minerals in einem Silicatschmelzfluss, wie viele experimentelle Untersuchungen beweisen, im Allgemeinen ein neues Silicat, dessen Schmelzfluss unter dem des zugesetzten Minerals liegen kann. Natürlicherweise wird die Lösung — vorausgesetzt, dass überhaupt eine solche eintritt — schneller erfolgen, wenn das zugesetzte Mineral flüssig wird, als wenn es fest bleibt; dies dürfte aber auch der

In einer für die Betrachtung der Spaltungsvorgänge wichtigen Arbeit versucht DOELTER die Dichte flüssiger und fester Mineralien festzustellen¹. Die Versuche sind insofern äusserst interessant, als sie gestatten würden, den Einfluss des Druckes auf den Schmelzpunkt von Silicaten zu ermitteln. — Das spezifische Gewicht der Schmelzflüsse wird festgestellt, indem Indicatoren von bekanntem spezifischen Gewicht und hohem Schmelzpunkt in die Flüssigkeit eingetaucht werden; das spezifische Gewicht des Glasflusses liegt dann zwischen dem des letzten schwimmenden und dem des ersten zu Boden sinkenden Indicators. Der Verf. kommt zu dem Schluss, dass ein flüssiges Silicat spezifisch leichter ist als ein festes Gestein von derselben Zusammensetzung, dass also Gesteine bei der Verfestigung eine Contraction erleiden².

DOELTER behandelt ferner im Jahre 1902 kurz die Differentiation der Magmen³. Er beschränkt sich indes darauf, die Ansichten BRÖGGER's, VOGT's, IDINGS', MICHEL-LÉVY's u. a. wiederzugeben, ohne Neues zu bringen. Seiner Meinung nach müsse man der Differentiation durch Elektrolyse (BRÖGGER) in Zukunft grössere Aufmerksamkeit schenken und man dürfe den Einfluss der Circulation des Wassers und der Einwirkung der Dämpfe unter Druck nicht vernachlässigen.

In seinen petrogenetischen Fragen (l. c.) thut DOELTER der Differentiation mit einigen Worten Erwähnung. Er glaubt,

einzig Einfluss des Schmelzpunktes auf die Löslichkeit sein. (Vergl. auch BRAUNS, Chem. Mineralogie. p. 303.)

Zu 5. möchte ich nur bemerken, dass der Einfluss der Härte auf die Löslichkeit theoretisch kaum erklärlich sein dürfte, und dass DOELTER's Resultate wohl rein zufällige sind, da die angewandten Magmen für die betreffenden Mineralien unter den Versuchsbedingungen jedenfalls fast gesättigt waren.

¹ C. DOELTER, „Die Dichte des flüssigen und festen Magmas.“ Dies. Jahrb. 1901. II.

² Leider haftet den Versuchen ein principieller Fehler an, indem DOELTER das spezifische Gewicht der Indicatoren bei gewöhnlicher Temperatur in Rechnung zieht und nicht dasjenige, das sie bei der Versuchstemperatur angenommen haben. Ferner vergleicht er das spezifische Gewicht der Gesteine bei gewöhnlicher Temperatur mit dem der Schmelze bei hoher Temperatur, was wohl kaum angängig ist.

³ C. DOELTER, „Die chemische Zusammensetzung und die Genesis der Monzoni-Gesteine“. Min. und petr. Mitth. 1902.

„dass dieselbe eigentlich nur der vollständig durchgeführte, chemisch-physikalische Process der Mineralausscheidung ist, d. h. eine Sonderung der Mineralien, welche im undifferenzierten Gestein nur zur Ausscheidung derselben, im differenzierten zur vollständigen Trennung führt, was im ersteren nur begonnen ist und im Kleinen durchgeführt, ist im letzteren im Grossen vollendet.“ Dabei glaubt er, „dass die sogenannten Kerne nichts anderes sind als die Mineralien selbst, wie dies BRÖGGER wahrscheinlich gemacht hat. Daher das Auftreten von Labradoriten, Pyroxeniten, Feldspathiten, Hornblenditen.“ — „Was uns noch unverständlich erscheint, ist die Natur der Kraft, welche die Mineralien auseinandertreibt und in einigen Fällen zur vollständigen Sonderung führt. . .“

II.

Der vorangehende Literaturauszug bezweckt darzuthun, wie sich im Laufe des 19. Jahrhunderts der Begriff der Differentiation aus der Beobachtung des geologischen Auftretens und dem Vergleich der chemischen Zusammensetzung der Eruptivgesteine entwickelt hat. Er zeigt ferner, wie die Anschauungen über diesen Vorgang in den letzten Jahren immer präzisere Form angenommen haben, so dass sich jetzt hauptsächlich 5 Hypothesen über die Entstehung der Eruptivgesteine gegenüber stehen; es sind dies:

1. Die Liquations-(Saigerungs-)theorie DUROCHER's bezw. die fractionirte Krystallisation BECKER's.
2. Die Theorien, die eine Spaltung eines flüssigen Magmas annehmen (ROSENBUSCH, BRÖGGER, VOGT, IDDIGS etc.).
3. Die Einschmelzungstheorie.
4. Die Mischungstheorie.
5. Die Umschmelzungstheorie.

Den modernen Vertretern aller dieser Theorien ist jedoch der Gedanke gemeinsam, dass reine Speculation und das Studium der fertigen Gesteine wohl unsere Kenntnisse über die Differentiation fördern können, dass aber die endgültige Lösung der Frage nur von dem Experiment zu erwarten ist.

Ehe man sich definitiv für die eine oder die andere dieser oder neuer Theorien entscheiden kann, wird man

zuförderst die Löslichkeitsverhältnisse der gesteinsbildenden Oxyde in Silicaten feststellen müssen, damit das Hauptgesetz der Lösungen, die GIBBS'sche Phasenregel, auf die Silicate anwendbar wird¹. Einen Beitrag dazu zu liefern, sind die nachstehend beschriebenen Versuche bestimmt.

A. Ausgangsmaterial.

Die angestellten Versuche sollen die Grenze der Aufnahmefähigkeit eines Silicates für an seiner Zusammensetzung theilnehmende Elemente bei constanter Temperatur und bei constantem Druck feststellen. — Das Ausgangsmaterial sollte ein Glas von der Zusammensetzung eines Eruptivgesteines liefern. Da eine grössere Menge desselben hergestellt werden musste, wurde die Anfertigung einer Glasfabrik² übertragen. Die Wahl des Gesteines erfolgte seitens der Glasfabrik nur von dem Gesichtspunkt der Schmelzbarkeit aus. Dieselbe fiel auf einen Eläolithporphyr von Beemerville N. J., U. S. A., dessen Zusammensetzung in ROSENBUSCH, Elemente der Gesteinslehre, 2. Aufl., p. 205, wie folgt angegeben ist:

SiO ₂	45,18
Al ₂ O ₃	23,31
Fe ₂ O ₃)	6,11
FeO)	
MgO	1,45
CaO	4,62
Na ₂ O	11,16
K ₂ O	5,94
Glühverlust	1,14
	98,91

Die mineralogische Zusammensetzung dieses Gesteines ist nicht besonders angeführt; es ist mir auch nicht gelungen, in der deutschen Literatur eine genauere Angabe derselben zu finden.

¹ Ähnliche Untersuchungen verlangen LAGORIO (l. c.) und LOEWINSON-LESSING. Krit. Beitr. z. Syst. d. Erupt.-Gest.

² Die Herstellung des Glases übernahm in freundlicher Weise die Firma SCHOTT & Gen. in Jena; es sei mir gestattet, derselben hier meinen verbindlichsten Dank auszusprechen. Zu besonderem Dank bin ich Herrn Dr. E. ZSCHIMMER verpflichtet, der mir bei der Ausführung der Versuche mit Rath und That zur Seite stand.

Die Rohmaterialien: Hohenbockaer Sand, Thonerdehydrat, Eisenoxyd, Magnesiumoxyd, Kalkspath, Soda und Pottasche, wurden in der bei der Glasfabrikation üblichen Weise gemengt und während 60 Stunden in einem verdeckten Hafen im Siemens-Regenerativofen geschmolzen. Es resultirte ein völlig homogenes dunkelbraungrün gefärbtes Glas mit der Zusammensetzung

		Mol.-Prop. × 1000	reducirt auf 100
Si O ₂	46,2	765	54,2
Al ₂ O ₃	23,8	233	16,5
Fe ₂ O ₃	5,5	34	2,4
Fe O	0,7	10	0,7
Mg O	1,5	37	2,6
Ca O	4,7	84	5,9
Na ₂ O	11,5	115	13,1
K ₂ O	6,0	64	4,5
	99,9		

Das spezifische Gewicht, bestimmt nach der Schwebemethode in THOULET'scher Lösung, betrug 2,582, die Härte 5½.

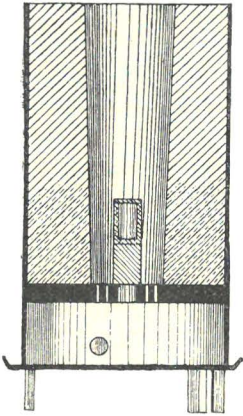
B. Apparate.

Einige Schwierigkeiten machte die Wahl des Schmelzofens, da beabsichtigt war, stets bei möglichst gleichen Temperaturen zu arbeiten. Vorversuche mit einem Fletcher-Ofen zeigten, dass es unmöglich ist, in demselben an verschiedenen Tagen gleiche Temperaturen zu erzielen, obgleich die Bedingungen möglichst gleich gemacht, d. h. Gas- und Luftdruck in kürzeren Intervallen controlirt und regulirt wurden. Am besten geeignet erwies sich schliesslich ein DEVILLE'scher Ofen, wie er vom chemischen Laboratorium für Thonindustrie von Prof. Dr. H. SEGER und E. CRAMER in Berlin für Feuerfestigkeitsbestimmungen von Thonen geliefert wird, trotzdem bei demselben der Tiegel während des Erhitzens nicht zugänglich ist.

Der Ofen¹ besteht aus einem hohlen Cylinder von feuerfestem Material, der unten durch eine starke eiserne Platte

¹ Diese Beschreibung ist der Thonindustriezeitung No. 50, 1893, entnommen.

begrenzt wird. Diese Platte hat in der Mitte eine Öffnung von 3 cm Durchmesser, um die herum zwei Reihen feinere Löcher von 6 mm Bohrung in gleichem Abstand vertheilt sind. Der 35 cm hohe feuerfeste Cylinder ist mit einem



eisernen Mantel umgeben, welcher über die gelochte Platte um 8 cm hinausragt und auf einem Eisenteller mit drei Füßen ruht, die in der Zeichnung als abgebrochen wiedergegeben sind. Der Raum zwischen Teller und Bodenplatte hat seitlich eine runde Öffnung von 25 mm Weite, durch welche Luft mittelst eines cylindrischen Blasebalges von 50 cm Durchmesser unter Druck eingeführt wird. Den überstehenden aufgebogenen Rand des eisernen Tellers verschmiert man mit einem stark sandigen nicht schwindenden Thon, damit

hier die eingeblasene Luft nicht entweichen kann. Der Brennraum ist schwach conisch und hat unten 9 cm, oben 11 cm Durchmesser. Die ca. 6 cm starke feuerfeste Ausfütterung des Ofens besteht bis zu ca. 12 cm Höhe aus sintergebranntem Magnesit der CARL SPAETER'schen Magnesitwerke in Veitsch in Steiermark. Der übrige Theil des Futters ist mit einem Gemisch von 90 Theilen sintergebranntem Magnesit und 10 Theilen Zettlitzer Kaolin ausgestampft. Ein solches Futter ist ungemein widerstandsfähig und ausdauernd. Zur Herstellung der Versuchstiegel wird ein stark gebrannter Chamotte aus gleichen Theilen Aluminiumoxyd und Zettlitzer Kaolin benutzt, der mit einem zum Formen erforderlichen Zusatz von Zettlitzer Kaolin verarbeitet wird. Ihre Feuerfestigkeit ist so hoch, dass der SEGER'sche Brennkegel 36 (Rakonitzer Thonschiefer) völlig niedergeschmolzen werden kann, ohne dass die Tiegel Schmelzerscheinungen zeigen. In diese Versuchstiegel, deren innerer Durchmesser 3,5 cm und deren Höhe 5 cm beträgt, wurden die Porcellantiegel eingesetzt, in denen das Schmelzen vorgenommen wurde (s. w. u.). Die Tiegel stehen nicht direct auf der Eisenplatte, sondern auf einem Untersatz von 50 mm Höhe auf. Da ein maschinelles

Gebläse nicht zur Verfügung stand, wurde dem Ofen die Luft durch einen Blasebalg, wie er von der oben erwähnten Firma zu dem Ofen mitgeliefert wird, zugeführt. Als Heizmaterial diente Retortengraphit, zum Entzünden desselben Holzkohle und Papier.

Das Entzünden und Heizen wurde nach folgendem Schema betrieben:

Zeit in Minuten	Feuerungsmaterial	Luft in Blasebalg- füllungen pro Minute
1	ca. 25 g Papier, 200 g Holzkohle, 450 g Retortengraphit	24
10	450 g "	12
20	300 g "	12
40	300 g "	12
60	250 g "	12 bis
75		

Die dabei erreichte Temperatur wurde mit SEGER-Kegeln bestimmt. Es zeigte sich bei über die ganze Versuchsreihe vertheilten Temperaturmessungen, dass gewöhnlich Kegel 15, manchmal auch 16 erschmolzen wurde. Die erreichte Höchsttemperatur betrug also mit einem maximalen Fehler von $\pm 20^{\circ}$ 1450° .

Besonders unangenehm bemerkbar machte sich der Schwefelgehalt des Graphits, bezw. die beim Verbrennen entstehende schweflige Säure; es musste, damit die Versuche im geschlossenen Raume vorgenommen werden konnten, der Ofen mit einem mit dem Schornstein in Verbindung stehenden Abzuge versehen werden.

C. Versuchsanordnung.

Das Ausgangsmaterial wurde in einem eisernen Mörser gepulvert und durch ein Sieb von 225 Maschen pro Quadratcentimeter gesiebt. Vom Mörser abgelöste Eisentheile wurden mit dem magnetischen Messer entfernt. Das Glaspulver und die zugesetzte Substanz wurden nach dem Abwiegen auf einem Glanzpapier gemischt und in einem Achat-

mörser verrieben. Die Schmelzung erfolgte dann in einem ROSE'schen Porzellantiegel von ca. 16 ccm Fassungsraum. — Es ist unbedenklich Porzellantiegel zu verwenden, da die Substanzaufnahme aus einem solchen, sobald die Basicität des Glases nicht zu gross ist, so gering ist, dass sie vernachlässigt werden kann. Am deutlichsten zeigt sich dies in Dünnschliffen, an denen noch die Tiegelwand erkennbar ist; diese zeigt nie Resorptionerscheinungen¹.

Nach dem Schmelzen wurde der Tiegel aus dem Ofen genommen, der Deckel entfernt, mittelst der Zange schnell einige Fäden aus der flüssigen Masse gezogen und der Porzellantiegel möglichst schnell in kaltem Wasser gekühlt, um eine Krystallisation der Schmelze zu verhindern. — Das Ausziehen des flüssigen Glases in Fäden ist ein altbekanntes Hilfsmittel der Glasschmelzer, um zu erkennen, ob ein Glas völlig durchgeschmolzen ist. Hat sich ein Bestandtheil nicht ganz gelöst, so ist dies sofort an Knötchen im Faden bemerkbar. Diese Probe ist eben so scharf wie die Untersuchung eines Splitters oder eines Dünnschliffes der Schmelze u. d. M. und ist deshalb bei den folgenden Versuchen stets angewendet worden. Zur Controle wurden von einzelnen Schmelzen Dünnschliffe angefertigt und u. d. M. untersucht; das Ergebniss war stets das Gleiche wie beim Faden. — Der Gang bei den Versuchen war folgender: Es wurde eine Schmelze hergestellt, die den Zusatz völlig aufnahm, darauf eine solche, die nicht mehr durchschmolz. Dann wurde als Menge des Zusatzes das Mittel der beiden vorigen Quantitäten genommen u. s. f. bis die Differenz nur noch 0,1—0,2% betrug. Die letzten ausschlaggebenden Versuche wurden oft mehrfach (2—3 Mal) ausgeführt. Das letzte durchgeschmolzene Glas wurde als gesättigt betrachtet.

¹ JÓZEF MOROZEWICZ (Experimentelle Untersuchungen über die Bildung der Minerale im Magma. Min. u. petr. Mitth. 18. 1889. p. 19) kommt zu dem Resultat, dass Kalk-Alkalimischungen, die reich an Thonerde sind, den Thontiegel selbst nach andauerndem Glühen nicht angreifen, gleichgiltig, ob sie an Kieselsäure sehr reich oder verhältnissmässig arm sind. Man könne überhaupt Mischungen von der Zusammensetzung $(K_2, Na_2, Ca) O \cdot Al_2O_3 \cdot nSiO_2$, wo $n = 2-10$ bedeutet, ohne jede Gefahr in Thontiegeln und bei allen Temperaturen schmelzen.

D. Ausgeführte Versuche.

1. Umschmelzung des Gesteins.

Das Glas war ruhig geflossen. Durch die Feuergase hatte beim Schmelzen eine theilweise Reduction des Eisenoxyds zu Oxydul stattgefunden. Die Zusammensetzung nach dem Umschmelzen war

		Mol.-Prop. × 1000	reducirt auf 100
Si O ₂	46,2	765	53,8
Al ₂ O ₃	23,8	233	16,4
Fe ₂ O ₃	4,4	28	2,0
FeO	1,7	24	1,7
MgO	1,5	37	2,6
CaO	4,7	84	5,9
Na ₂ O	11,5	185	13,0
K ₂ O	6,0	64	4,5
	99,8		

Das spezifische Gewicht betrug 2,581, hatte sich also nicht geändert¹.

2. Sättigung mit Si O₂.

Die Kieselsäure wurde dem Glas in feinst gepulvertem Quarzmehl zugesetzt. Die Durchmischung erforderte besondere Sorgfalt, da das Quarzpulver sich äusserst leicht zu kleinen Klümpchen zusammenballte. Durch den Zusatz von Kieselsäure schien der Siedepunkt des Glases herabgedrückt zu werden, denn es war immer starkes Schäumen eingetreten, so dass der Deckel des Schutztiegels meist fest mit diesem verkittet wurde. Es ist aber auch möglich, dass infolge der grösseren Viscosität des Si O₂-reichen Glases die Luftblasen nur schwer entweichen konnten und so das Glas an den Deckel emporgetrieben wurde. Es musste dann stets der Deckel durch Abschlagen mit einem Hammer entfernt und der Schutztiegel mitgekühlt werden, da die Glasmasse den Porcellantiegel fest mit dem Aussentiegel verkittete. Dieser war also stets nur einmal zu gebrauchen. — Die geringen Unterschiede in der Temperatur des Ofens bei verschiedenen Schmelzen

¹ Das spezifische Gewicht der Fäden war stets um 2—3 Einheiten der 2. Decimale geringer als dasjenige von Splintern derselben Substanz. Es ist hier stets das letztere angegeben.

waren nicht von merklichem Einfluss auf die Aufnahmefähigkeit des Glases, denn zwei- oder dreimal wiederholte Versuche gaben stets dasselbe Resultat. Es ergab sich, dass eine Mischung von 69,9 Theilen Gestein und 30,1 Theilen Quarzpulver noch gerade durchgeschmolzen werden konnte. Die Zusammensetzung der erhaltenen Schmelze war

		Mol.-Prop. × 1000	reducirt auf 100
SiO ₂	62,4	1033	69,3
Al ₂ O ₃	16,6	162	10,9
Fe ₂ O ₃	2,9	18	1,2
FeO	1,4	19	1,3
MgO	1,0	25	1,7
CaO	3,3	59	4,0
Na ₂ O	8,0	129	8,7
K ₂ O	4,2	45	3,0
	99,8		

Das spezifische Gewicht betrug 2,367.

3. Sättigung mit Al₂O₃.

Der Zusatz war ein Thonerdehydrat mit einem Gehalt von 61,9 % Al₂O₃ (bezogen auf lufttrockene Substanz, wie sie zu den Schmelzen verwendet wurde). Das Glas floss ruhig, ein Anschmelzen des Deckels fand nicht statt. Es nahmen auf 91,8 Theile Gestein 8,2 Theile Al₂O₃. Das gesättigte Glas hatte ein spec. Gew. von 2,590 und folgende Zusammensetzung:

		Mol.-Prop. × 1000	reducirt auf 100
SiO ₂	42,4	702	50,6
Al ₂ O ₃	30,1	295	21,3
Fe ₂ O ₃	4,0	25	1,8
FeO	1,7	24	1,7
MgO	1,4	35	2,5
CaO	4,3	77	5,6
Na ₂ O	10,6	171	12,3
K ₂ O	5,5	58	4,2
	100,0		

4. Sättigung mit Fe₂O₃.

Der Zusatz war ein Eisenhydroxyd mit einem Gehalt von 78,35 % Fe₂O₃. Bei Schmelzen mit überschüssigem Fe₂O₃

erfolgte die Abscheidung stets in schön ausgebildeten Krystallskeletten von Magneteisen¹. Es nahmen auf 91,0 Theile Gestein 9,0 Theile Fe₂O₃. Die Zusammensetzung des gesättigten Glases war also:

		Mol.-Prop. × 1000	reducirt auf 100
Si O ₂	42,0	695	51,1
Al ₂ O ₃	21,7	212	15,6
Fe ₂ O ₃	11,8	74	5,4
FeO	2,9	40	2,9
MgO	1,4	35	2,6
CaO	4,3	77	5,7
Na ₂ O	10,5	169	12,4
K ₂ O	5,5	58	4,3
	100,1		

Das specifische Gewicht betrug 2,676.

5. Sättigung mit FeO.

Es wurde ein allerdings schon z. Th. in Oxyd übergegangenenes Oxydul zugesetzt. Die Zusammensetzung desselben war:

Fe ₂ O ₃	50,09
FeO	44,96
H ₂ O	4,95
	100,0

Besonderen Werth auf die Oxydfreiheit des Oxyduls zu legen, schien unnöthig, da der Einfluss der Feuerungsgase auf die Schmelze bei den einzelnen Versuchen verschieden war. Es nahmen 91,76 Theile Gestein 8,24 Theile des Zuschlages, also 4,34 Theile Fe₂O₃ und 3,90 Theile FeO auf. Die Zusammensetzung nach dem Schmelzen war:

¹ Vergl. J. H. L. Vogt, „Beiträge zur Kenntniss der Gesetze der Mineralbildung in Schmelzmassen und in den neovulcanischen Ergussgesteinen.“ I. Heft. Christiania 1892, und den Auszug daraus bei R. BRAUNS, „Chemische Mineralogie“. Leipzig 1896. „Das Eisenoxyd scheidet sich nicht frei aus, wenn die Schmelzmassen Eisenoxydul in so reichlicher Menge führen, dass der ganze Oxydgehalt zur Bildung von Magnetit verbraucht werden kann . . . , nur in den basischen Schmelzmassen, die ziemlich wenig FeO enthalten, . . . ist die Ausscheidung des Oxyds in freiem Zustand als Eisenglanz zu erwarten.“

		Mol.-Prop. × 1000	reducirt auf 100
SiO ₂	42,4	702	49,5
Al ₂ O ₃	21,8	213	15,0
Fe ₂ O ₃	4,4	28	2,0
FeO	9,6	133	9,4
MgO	1,4	35	2,5
CaO	4,3	77	5,4
Na ₂ O	10,6	171	12,1
K ₂ O	5,5	58	4,1
	100,0		

Specificsches Gewicht = 2,686.

6. Sättigung mit MgO.

Das zugesetzte Magnesiumoxyd hatte einen Gehalt von 95,4 % MgO. Die Aufnahmefähigkeit war sehr gering; es schmolz gerade noch durch eine Mischung von 97,6 Theilen Gestein und 2,4 Theilen MgO. Die Zusammensetzung der resultirenden Schmelze war:

		Mol.-Prop. × 1000	reducirt auf 100
SiO ₂	45,1	747	51,5
Al ₂ O ₃	23,2	227	15,6
Fe ₂ O ₃	3,6	23	1,6
FeO	2,5	35	2,4
MgO	3,8	94	6,5
CaO	4,6	82	5,7
Na ₂ O	11,2	180	12,4
K ₂ O	5,9	63	4,3
	99,9		

Specificsches Gewicht = 2,583.

7. Sättigung mit CaO.

Als Zusatz wurde gepulverter isländischer Doppelspath verwendet¹. — Bei der Ausführung der Versuche zeigte sich bald eine grosse Schwierigkeit. Eine Schmelze mit 10 % CaCO₃ war völlig durchgeschmolzen und ruhig geflossen; ebenso eine solche mit 25 % CaCO₃. Bei weiterem Zusatz

¹ Die Verwendung des Carbonats war unbedenklich, da das Entweichen der Kohlensäure ohne Schäumen vor sich geht. „La décomposition du carbonate de chaux n'entraîne aucun boursoufflement.“ (F. Fouqué et MICHEL-LÉVY, „Synthèse des minéraux et des roches.“ Paris 1882. p. 49.)

von Kalk wurde stets der Porcellantiegel aufgelöst, bezw. durchfressen, so dass sich einwandfreie Resultate nicht ergeben konnten. Es wurde nun versucht, den Schutziegel innen mit gebranntem Kalk auszukleiden und ohne Porcellantiegel ein Gemisch von 60 Theilen des Gesteins und 40 Theilen CaCO_3 zu schmelzen. Der Versuch misslang, indem das Futter den Schutziegel angriff und auflöste. Ebenso schlugen Versuche, das Gemisch in einem Kreidetiigel oder in einem Tiegel aus Marmor zu schmelzen, fehl. Es wurde deshalb in einem Platintiegel eine Mischung des Gesteins mit Kalkspath, entsprechend 71,2 Theilen Gestein und 28,8 Theilen CaO geschmolzen. Probefäden zeigten an, dass die Schmelze einige ungelöste Theile enthielt. Da das Glas sich schlecht aus dem Tiegel entfernen liess, wurde dieser aufgeschnitten. Das erhaltene Material wurde gepulvert und zunächst qualitativ untersucht. Dasselbe reagierte nach dem Anfeuchten mit Wasser alkalisch. Bei längerem Behandeln mit kaltem Wasser liess sich zeigen, dass dieses Kalk aufgenommen hatte. Bei Verwendung von stark verdünnter Salzsäure (1 : 200) war in der Flüssigkeit Thonerde und Eisen nachweisbar, es war also auch das durchgeschmolzene Glas angegriffen worden. Um nun die Menge des ungelösten Kalkes festzustellen, wurde eine abgewogene Menge der Substanz 48—72 Stunden mit kaltem Wasser behandelt. Dabei gingen durchschnittlich 3,0 % CaO in Lösung. Demnach wäre die Zusammensetzung des durchgeschmolzenen Glases:

		Mol.-Prop. $\times 1000$	reducirt auf 100
SiO_2	32,9	545	35,6
Al_2O_3	16,9	165	10,8
Fe_2O_3	2,5	16	1,0
FeO	1,9	26	1,7
MgO	1,1	27	1,8
CaO	32,1	573	37,5
Na_2O	8,2	132	8,6
K_2O	4,3	46	3,0
	99,9		

Das specifische Gewicht wurde nicht bestimmt. Ob dieser Versuch auf dieselbe Genauigkeit Anspruch machen kann, wie die vorhergehenden, sei dahingestellt.

Die Aufnahmefähigkeit für die Alkalien ist natürlich unbegrenzt.

In den folgenden Figuren sind die Resultate der Schmelzen nach dem MICHEL-LÉVY-BRÖGGER-HOBBS-Diagramm graphisch dargestellt. Es bedeutet:

- | | | | | |
|------|----------------------|---|----------------------------------|----------------------------------|
| 1. | Das Ausgangsmaterial | | | |
| 1 a. | " | " | nach dem Umschmelzen | |
| 2. | " | " | gesättigt mit SiO ₂ . | |
| 3. | " | " | " | Al ₂ O ₃ . |
| 4. | " | " | " | Fe ₂ O ₃ . |
| 5. | " | " | " | FeO. |
| 6. | " | " | " | MgO. |
| 7. | " | " | " | CaO. |

Ferner schien es interessant, die Lösungsfähigkeit des Glases für SiO₂ unter denselben Bedingungen festzustellen, nachdem die Menge der vorhandenen Basen verändert worden war. Es wurden deshalb dem Glase Mengen der einzelnen Basen zugesetzt, die unterhalb der Grenze der Aufnahmefähigkeit für diese lagen, und dann wiederum mit SiO₂ gesättigt.

Es wurden mit SiO₂ gesättigt:

- 95,6 Theile Gestein mit 4,4 Theilen Al₂O₃.

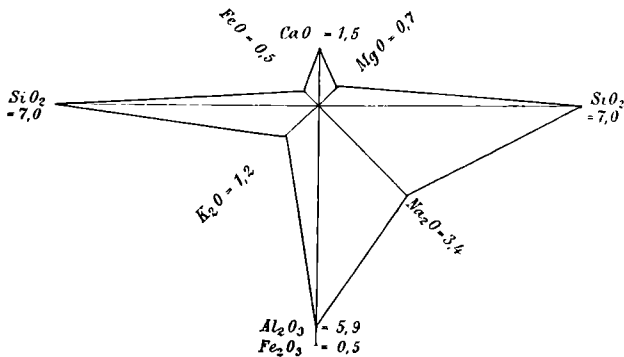
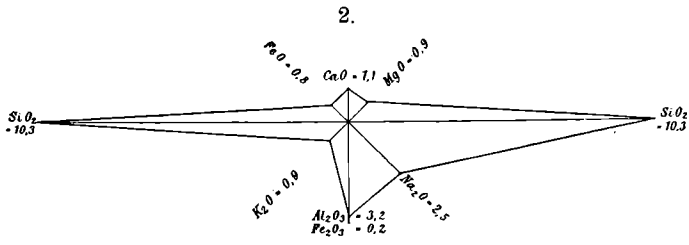
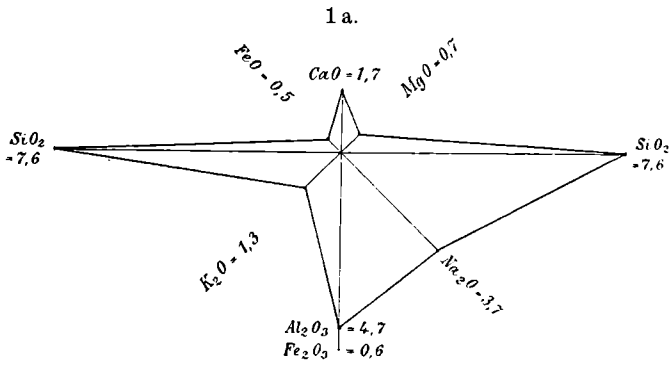
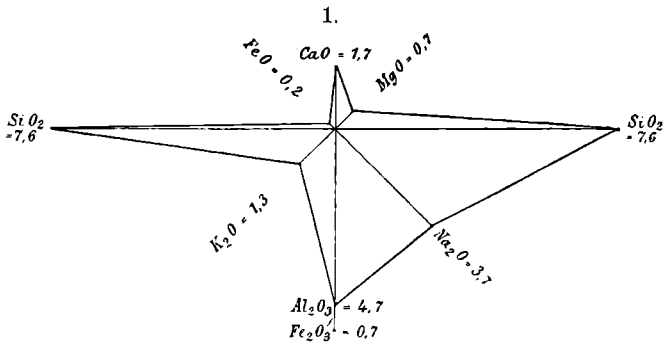
Die gesättigte Schmelze bestand aus:

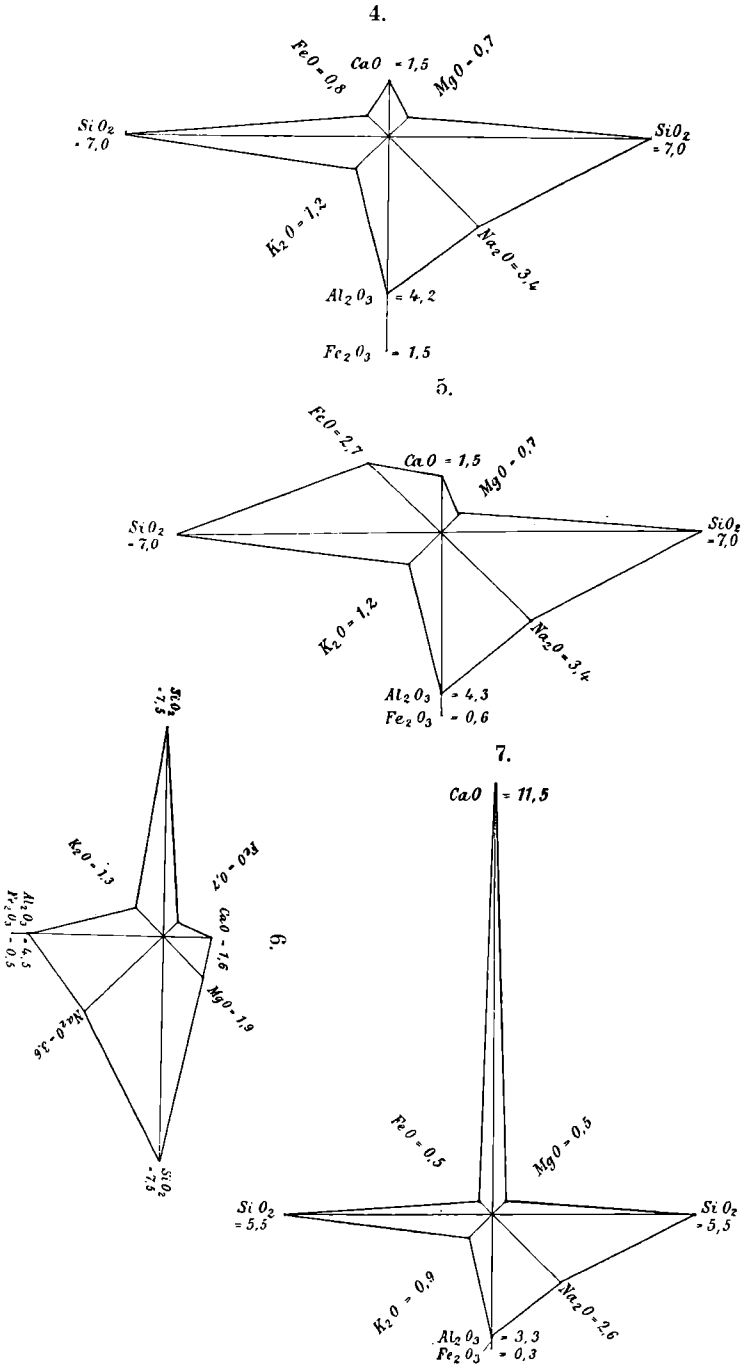
63,7	Gestein
2,9	Al ₂ O ₃
33,4	SiO ₂
<hr/>	
100,0	

Zusammensetzung des erhaltenen Glases:

		Mol.-Prop. × 1000	reducirt auf 100
SiO ₂	62,8	1040	69,9
Al ₂ O ₃	18,1	177	11,9
Fe ₂ O ₃	2,5	16	1,1
FeO	1,4	19	1,3
MgO	0,9	25	1,7
CaO	3,0	53	3,6
Na ₂ O	7,3	118	7,9
K ₂ O	3,8	40	2,7
	<hr/>		
	99,8		

Specificsches Gewicht = 2,469.





2. 93,5 Theile Gestein mit 6,5 Theilen Fe_2O_3 .

Die gesättigte Schmelze bestand aus:

62,4 Gestein
4,3 Fe_2O_3
33,3 SiO_2
100,0

Zusammensetzung des erhaltenen Glases:

	Mol.-Prop. $\times 1000$	reducirt auf 100
SiO_2 62,1	1028	69,7
Al_2O_3 14,9	146	9,9
Fe_2O_3 5,7	36	2,4
FeO 2,5	35	2,4
MgO 0,9	22	1,5
CaO 2,9	52	3,5
Na_2O 7,2	116	7,9
K_2O 3,7	39	2,6
	99,9	

Specifisches Gewicht = 2,492.

3. 98,9 Theile Gestein mit 1,1 Theil MgO .

Die gesättigte Schmelze bestand aus:

68,7 Gestein
0,8 MgO
30,5 SiO_2
100,0

Zusammensetzung des erhaltenen Glases:

	Mol.-Prop. $\times 1000$	reducirt auf 100
SiO_2 62,2	1030	68,1
Al_2O_3 16,4	161	10,7
Fe_2O_3 1,4	9	0,6
FeO 2,9	40	2,6
MgO 1,8	45	3,0
CaO 3,2	57	3,8
Na_2O 7,9	127	8,4
K_2O 4,1	43	2,8
	99,9	

Specifisches Gewicht = 2,416.

4. 84,3 Theile Gestein mit 15,7 Theilen Ca O.

Die gesättigte Schmelze bestand aus:

41,4 Gestein
7,7 Ca O
50,9 Si O ₂
100,0

Zusammensetzung des erhaltenen Glases:

	Mol.-Prop. × 1000	reducirt auf 100
Si O ₂	70,0	1159
Al ₂ O ₃	9,9	97
Fe ₂ O ₃	1,0	6
Fe O	1,6	22
Mg O	0,6	15
Ca O	9,6	171
Na ₂ O	4,8	77
K ₂ O	2,5	27
	100,0	

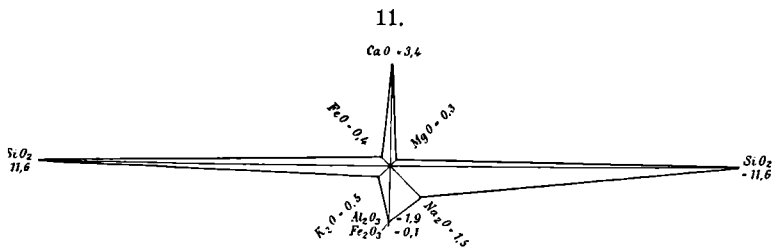
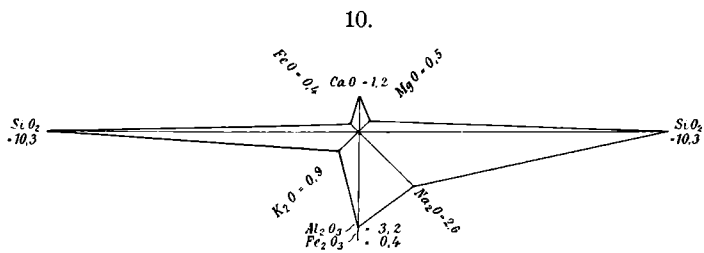
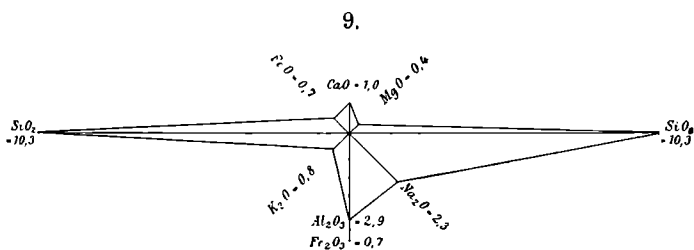
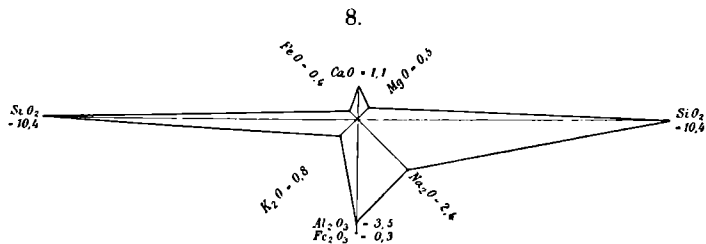
Specificisches Gewicht = 2,361.

Die Resultate dieser Versuche sind in den folgenden Figuren in derselben Anordnung wie bei der vorigen dargestellt.

Es bedeutet:

8.	Ausgangsmaterial	mit	Zusatz	von	Al ₂ O ₃	}	gesättigt mit Si O ₂
9.	"	"	"	"	Fe ₂ O ₃		
10.	"	"	"	"	Mg O		
11.	"	"	"	"	Ca O		

Naheliegend scheint es, die Zusammensetzung der gesättigten Gläser mit der in der Natur vorkommender Gesteine zu vergleichen. Nähere Überlegung zeigt aber, dass dies nur von Interesse ist bei der mit Si O₂ versetzten Schmelze (Figur No. 2) und auch hier nur bedingt, da das Verhältniss der basischen Oxyde untereinander schon durch das Ausgangsmaterial gegeben ist. Bei den anderen Schmelzen ist das Verhältniss der Alkalien zur Kieselsäure und das von dieser zu den anderen Basen (ausgenommen die im Überschuss zugesetzte) bereits von vornherein fixirt, so dass man interessante Resultate nicht erwarten darf. — Die Zusammensetzung der mit Si O₂ gesättigten Schmelze entspricht ungefähr der eines Alkalisyenits.



Der mineralogische Bestand könnte sich aus der Analyse wie folgt ergeben:

Alkalifeldspath:

K_2O	45	} 144	Rest: 0
Na_2O	99		„ 30
Al_2O_3	144		„ 18
SiO_2	864		„ 169

Kalkfeldspath:

CaO	18	Rest: 41
Al_2O_3	18	„ 0
SiO_2	36	„ 133

Metasilicate:

Na_2O	30	} 133	Rest: 0
CaO	41		„ 0
MgO	25		„ 0
FeO	19		„ 0
Fe_2O_3	18		„ 0
SiO_2	133		„ 0

III.

Zum Schluss sei es mir gestattet, meine eigene Ansicht über die Differentiationsvorgänge auszusprechen. Im Gegensatz zu ROSENBUSCH, der die Lösung der Spaltungsfrage nur auf geologischem Gebiete finden möchte, halte ich es für richtig, die Erfahrungen der Technik — vor Allem der Glas-technik — soweit sie hier in Frage kommen, zu berücksichtigen. Kennt nur der Glastechniker eine Spaltung? Ja und nein. Eine Trennung von Metallen und Oxyden einerseits und Silicaten andererseits im flüssigen Zustand ist oft beobachtet worden. Dies ist besonders der Fall bei der Herstellung stark gefärbter Gläser, wo man bisweilen am Boden des Schmelzgefässes Körner von Metall (Gold z. B.) und Oxyden findet. Eine ähnliche Erfahrung machte auch MOROZEWICZ bei seinen Schmelzversuchen (op. c. p. 20), der bei eisenreichen Schmelzen metallisches Eisen am Tiegelboden fand, wenn er etwas mehr Kohle zugesetzt hatte, als nöthig war, den der Schmelze beigemengten Hämatit zu Eisenoxydul zu reduciren. Auch beim Schmelzen eines magnetitreichen Granits fand er am Boden des Hafens eine Anreicherung des Magnetits (op. c. p. 233). Ferner denke man an die Er-schmelzung des Eisens in den Hochöfen, wo eine Trennung

des flüssigen Eisens von flüssiger Schlacke, also einem Silicat, täglich in grossem Maassstabe vor sich geht. — Eine Trennung eines Silicates in zwei gesonderte Silicatschichten ist jedoch meines Wissens nur von MOROZEWICZ (op. c. p. 233) beobachtet worden. Dieser will in einem Wannenofen der Targóweker Glasfabrik eine Trennung des geschmolzenen Kalk-Natronglases in eine untere Ca-reichere und in eine obere SiO_2 -reichere Schicht wahrgenommen haben. Er führt diese Erscheinung auf das GOUY und CHAPERON'sche Gesetz (Trennung der Molecüle nach dem specifischen Gewicht) zurück. Meines Erachtens wird hier wohl mehr das VAN'T HOFF'sche (SORET'sche) Gesetz in Betracht kommen, da in einem Glasofen doch stets Temperaturschwankungen vorkommen; besonders an Tagen, an denen kleinere Reparaturen vorgenommen werden, wird der Ofen stets kälter gehen, und dann mag eine Trennung nach dem VAN'T HOFF'schen Gesetz eintreten. Ferner ist die Wirkung des GOUY und CHAPERON'schen Gesetzes so ausserordentlich gering, dass eine Trennung nach demselben bisher bei wässrigen Lösungen nicht beobachtet werden konnte, während eine Konzentrationsänderung an Stellen verschiedener Temperatur in einer Lösung leicht nachweisbar ist¹. Aber mag der Grund für die beobachtete Trennung sein, welcher er wolle, dass eine Spaltung zweier Silicate stattfindet wie bei zwei nicht mischbaren Flüssigkeiten, kann wohl nicht angenommen werden. Der „spontane Zerfall eines Magmas“ nach der Ansicht ROSENBUSCH's ist also nach den Erfahrungen der Technik wenig wahrscheinlich.

Nun sind die Silicatschmelzflüsse, wie nach den schönen Untersuchungen von BARUS und IDDINGS (l. c.) feststeht, zweifellos Elektrolyte, es gelten also alle für diese gefundenen Gesetze auch für die Gesteinsmagmen. Aber wäre der Einfluss der Gesetze VAN'T HOFF's und GOUY und CHAPERON's so gross wie einige Forscher annehmen, dann hätte sich eine Spaltung nach denselben längst bei der Herstellung der Gläser bemerkbar gemacht. Andererseits zeigt die Glastechnik wie schwierig sich zwei nebeneinander im flüssigen Zustand

¹ Vergl. OSTWALD, „Lehrbuch der allgemeinen Chemie.“ 1. (Stöchiometrie.) p. 700—702.

befindliche Silicate mischen. Man kann tagelang zwei Gläser von ähnlicher Zusammensetzung in demselben Hafen bis zur Dünflüssigkeit erhitzen, eine völlige Durchmischung ist schliesslich doch nicht eingetreten, bei optischer Untersuchung wird man stets noch Schlieren in dem Glase finden. Die Diffusionsgeschwindigkeit in Gläsern ist also ausserordentlich gering; die Viscosität hindert die Trennung nach den oben erwähnten Gesetzen.

Nun sollte man sich meines Erachtens bei Erklärungen der Differentiationsvorgänge an die Resultate der Technik halten, soweit sie überhaupt in Betracht zu ziehen sind. Es tritt also eine Trennung von Silicaten einerseits und Oxyden und Metallen andererseits im flüssigen Zustand leicht ein. Eine solche Trennung finden wir in der Natur in den von Vogt beschriebenen, zweifellos durch magmatische Differentiation entstandenen, oxydischen und sulfidischen Erzlagertstätten. Es ist auch ohne weiteres ersichtlich, warum diese Erzvorkommen stets an SiO_2 -arme Eruptivgesteine gebunden sind. Im flüssigen Magma kommt es erst zur Abscheidung der Oxyde und Sulfide, wenn das Magma an denselben gesättigt ist; und ist dies der Fall, dann ist im Allgemeinen das Magma SiO_2 -arm. — Wenn nun eine Trennung zweier Silicate infolge der grossen Viscosität des Schmelzflusses nur so langsam und in so geringem Maasse vor sich geht, dass man in der Technik auf diese Erscheinungen kaum aufmerksam geworden ist, so darf man wohl annehmen, dass in der Natur in grossen Magmen dieser Trennungsprocess auch nur eine untergeordnete Rolle spielt. Die Schlierenbildung im Magma ist jedoch vielleicht zum Theil auf derartige Trennungsprocesses zurückzuführen¹. — Was den Einfluss des Wassers anbetrifft, so wird man mit seinem Urtheil wohl am besten zurückhalten, bis theoretisches Studium und Experimente genauen Anhalt geben über die Rolle des überhitzten Wassers. So einfach wie LOEWINSON-LESSING sich die Wirkung des Wassers denkt (s. o.), ist sie zweifellos nicht, denn das Wasser liegt im Schmelzfluss wahrscheinlich

¹ Die Schlierenbildung kann ausserdem wohl durch Mischung zweier Magmen sowie durch Einschmelzung von Theilen des Nachbargesteins hervorgerufen werden.

nicht als solches vor, sondern ist mit den Silicaten oder mit Kieselsäureanhydrid chemisch vereinigt. Und für diesen Fall gilt der von ihm angeführte Satz der Phasenregel nicht mehr. Andererseits sind aber ARRHENIUS und mit ihm VOGT wohl zu weit gegangen, wenn sie dem Wasser die Hauptrolle bei der Spaltung und Krystallisation der Magmen zuschreiben; es wäre doch zum Mindesten auffallend, dass dann FOUQUÉ und MICHEL-LÉVY u. a. aus trockenen Schmelzen Mineralaggregate erhielten, die sich von natürlichen Gesteinen in nichts unterschieden. Auf einen Einfluss des Wassers (oder des Druckes?) scheint allerdings zu weisen, dass die künstlich hergestellten Gesteine nur verhältnissmässig SiO_2 -arm sind, und dass die Darstellung SiO_2 -reicher Gesteine ohne Zusatz von „agents minéralisateurs“ bisher nicht gelungen ist. — Ähnlich wie mit dem Wasser verhält es sich mit den anderen Mineralisatoren; ihre Wirksamkeit ist unbestritten, aber sie ist bisher noch nicht aufgeklärt und bedarf noch genauer experimenteller Erforschung. Wahrscheinlich ist ihre Wirkung eine rein katalytische, d. h. sie veranlassen eine Änderung der Geschwindigkeit chemischer Vorgänge, ohne selber dabei verändert zu werden.

Auch die Elektrolyse durch Erdströme (BRÖGGER) wird bei der Differentiation keine grosse Rolle spielen; erstens wäre, wie VOGT schon sehr richtig bemerkt, die Wanderung ganzer Salzmoecüle (Apatit) nicht erklärlich¹, und zweitens ist wahrscheinlich die Leitfähigkeit der Silicate unter Druck sehr gering. TAMMAN² hat für wässrige Salzlösungen nachgewiesen, dass mit dem Druck der elektrische Leitwiderstand wächst. Da wir nun für die Silicatschmelzflüsse alle auf Lösungen von Elektrolyten anwendbaren Gesetze gelten lassen, so wird in unterirdischen unter Druck stehenden Magmen-

¹ Die Anhäufung von Apatit in einzelnen Theilen eines Gesteins (z. B. die gangförmigen Apatitvorkommen im Gabbro in Telemarken) wird vielleicht durch die Beobachtung erklärt, dass Silicate und Phosphate nicht in allen Verhältnissen mischbar sind. (Nach neueren Untersuchungen kommt die Trübung in den Opal- und Milchgläsern wahrscheinlich durch eine Trennung der Silicate von den Phosphaten oder Boraten bezw. Fluoriden dieser Gläser zu Stande.)

² G. TAMMAN, „Über die Abhängigkeit des elektrischen Leitvermögens vom Druck.“ Ann. d. Phys. 69. 1899.

reservoirs die Leitfähigkeit sehr gering sein, die Elektrolyse also keine grosse Rolle spielen können. — Über magnetische Einwirkungen auf Schmelzflüsse ist bisher nichts bekannt, ein Urtheil dürfte also kaum erlaubt sein.

Ferner ist mir eine Ursache zur Trennung zweier in allen Verhältnissen mischbarer Flüssigkeiten nicht bekannt, ausgenommen das Aussalzen. Nun sind aber Silicate — und ich möchte dies immer wieder betonen bis das Gegentheil experimentell erwiesen wird — solche in allen Verhältnissen mischbare Flüssigkeiten. Kann nun ein Aussalzen bei Magmen eintreten, vielleicht durch Substanz eines Nebengesteins? Nein, denn das Nachbargestein ist entweder selber ein Silicat, also mischbar mit dem Magma, oder, wenn es kein solches ist, geht es mit dem Magma eine chemische Verbindung ein, wird selber Silicat und ist dann mischbar.

Die Substanz des Nachbargesteins kann aber — und damit kommen wir zur zweiten Gruppe von Hypothesen, zu denjenigen, die eine Trennung von festem und flüssigem Material bei der Differentiation annehmen — eine Krystallisation, eine Abscheidung fester Substanz, verursachen. Es kann nämlich 1. dem Magma durch Schmelzung oder Lösung des festen Materials so viel Wärme entzogen werden, dass es für eine Substanz übersättigt wird und infolgedessen Abscheidung derselben in Krystallen stattfindet oder 2. wenn das Magma und das Nachbargestein ein Ion gemeinsam haben, die Concentration für dieses in der Lösung so gross werden, dass eine Abscheidung eines dieses Ion enthaltenden Salzes erfolgt; ähnlich wie man in einer nahezu gesättigten Calciumsulfatlösung durch Zusatz einer Lösung von Chlorcalcium CaSO_4 zur Abscheidung bringen kann. Allerdings wird Aufnahme der festen Substanz des Nachbargesteins im Allgemeinen nicht zu einer eigentlichen Differentiation führen; es wird nur ein Wechsel der ungelösten Substanz stattfinden, bis schliesslich wieder ein Gleichgewichtszustand hergestellt ist. — Eine Abscheidung fester Substanz aus dem oben erwähnten Grunde kann auch stattfinden, wenn zwei verschiedene Magmen zur Berührung oder zur Mischung kommen; eine eigentliche Differentiation wird aber auch dann nicht eintreten.

Die Hauptfactoren bei der Differentiation sind nach meiner Ansicht Temperatur und Druck. Der Einfluss des letzteren auf den Aggregatzustand ist einwandsfrei von BARUS¹ ermittelt. Dieser zeigte, dass unabhängig von der chemischen Zusammensetzung der Silicate bei der Krystallisation eine Contraction eintritt (die Versuche von DOELTER sind aus den oben angeführten Gründen nicht maassgebend). Druck wirkt also auf Silicate wie Temperaturerniedrigung, d. h. der Schmelzpunkt wird mit dem Druck erhöht. — Mit steigender Temperatur wächst die Aufnahmefähigkeit eines Silicats für andere Silicate und Oxyde. Es ist dies ein alter Erfahrungssatz, der wohl nicht bestritten werden kann; allerdings ist der Einfluss der Temperatur auf die Lösungsfähigkeit von Silicaten für Oxyde quantitativ noch nicht bestimmt und deshalb müssen die von mir begonnenen Untersuchungen noch weiter fortgeführt werden.

Im Anklang an DUROCHER und BECKER denke ich mir nun die Differentiation einfach als eine Krystallisation, hervorgerufen durch Temperaturerniedrigung oder Druckvermehrung. Wenn das Magma nicht zu viscos ist, oder die Krystallisation zu schnell erfolgt, wird immer eine Trennung der Krystalle von der Mutterlauge nach dem specifischen Gewicht eintreten, so dass dadurch eine Differentiation vor sich geht. Findet die Krystallisation unter hohem Druck statt, so sind die entstandenen Krystalle nur labil fest, d. h. **sie werden bei Druckentlastung flüssig und liefern chemisch differente Magmen.** Die Verflüssigung kann natürlicherweise auch durch spätere Erhöhung der Temperatur erfolgen. — Diese Auffassung erhält ihre Hauptstütze durch die Untersuchungen BRÖGGER's, der nachwies, dass sich die Zusammensetzungen der zu einem Eruptivgebiet gehörigen Magmen durch Addition und Subtraction bestimmter stöchiometrischer Verbindungen aus einem gemeinsamen Hauptmagma ableiten lassen. Diese „stöchiometrischen Verbindungen“ sind aber, wie BRÖGGER ausgeführt

¹ C. BARUS, High temperature work in igneous rocks and ebullition, chiefly in relation to pressure.“ Bull. U. S. Geol. Surv. No. 103. 1893.

hat, nichts anderes als die bekannten gesteinsbildenden Mineralien. Ebenso weist VOGT in seinen Arbeiten immer darauf hin, dass die Differentiationsfolge parallel der Krystallisationsfolge geht.

Der Vorgang wird sich jedoch nicht ganz so einfach abspielen, wie er oben skizzirt worden ist, es werden Übersättigungen eintreten, durch Druckverschiedenheiten wird die Ausscheidungsfolge geändert werden u. s. f., immer jedoch wird derselbe durch das GIBBS'sche Phasengesetz geregelt werden, und eine Hauptaufgabe der experimentellen Petrographie wird es in Zukunft sein, die Anwendbarkeit dieses Gesetzes auf Silicatschmelzflüsse darzuthun. — Hierzu bieten sich zwei Wege: erstens Fortführung der Arbeiten VOGT's über Krystallbildung und LAGORIO's über Vergleiche der Zusammensetzung der Krystalle und der Glasbasis und zweitens Studium eutektischer Gemische. Bei letzterem wird man zuerst von einem Gemisch von Kieselsäure und einer Base ausgehen und später immer mehr Oxyde einführen müssen, bis man zu Silicaten von der Zusammensetzung der natürlichen Gesteine kommt. Die Schwierigkeiten, die sich bei diesen Versuchen bieten werden, werden allerdings ganz enorme sein, man denke nur an die complicirten Arbeiten VAN'T HOFF's über die Bildung der Salzlager und ROOZEBOOM's über die heterogenen Gleichgewichte, aber dafür wird auch der Erfolg ein ungeheuer grosser sein. Es werden diese Untersuchungen mit einem Schlage Licht bringen über die Vorgänge bei der Differentiation der Magmen und zugleich über die Gesetze der Krystallabscheidung in einem Silicatschmelzfluss.

Jena, mineral. u. geol. Institut, im Mai 1903.

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, MARTIN OSKAR SCHWEIG, am 24. September 1880 zu Kreuznach. Ostern 1886 trat ich in die Gemeindeschule zu Weisswasser (Oberlausitz) ein, besuchte von Ostern 1889 bis Ostern 1892 die Privatschule des Herrn NEUMANN zu Muskau und von jenem Zeitpunkt ab das Realgymnasium zu Görlitz, wo ich Ostern 1899 das Zeugniß der Reife erhielt. Darauf bezog ich auf ein Semester die Kgl. Technische Hochschule zu Berlin, auf zwei Semester die Universität Würzburg und schliesslich auf fünf Semester die Universität Jena. Dort widmete ich mich dem Studium der Naturwissenschaften, besonders dem der Mineralogie und Geologie. Ich hörte Vorlesungen, bezw. nahm an Übungen Theil bei folgenden Herren Professoren und Docenten: BINSWANGER, DINGER, EUCKEN, GROPP, HÄCKEL, HANTZCH, HÖRMANN, JOLLES, KNORR, LINCK, MEDIKUS, G. MEYER, C. MÜLLER, NOACK, PAALZOW, PIERSTORFF, RABE, RÜDORFF, SCHELER, VONGERICHTEN, WALTHER, WINKELMANN, L. WOLFF.

Es sei mir gestattet, nochmals Herrn Geh. Hofrath Prof. Dr. LINCK meinen verbindlichsten Dank abzustatten für die freundliche Hilfe, die er mir bei Anfertigung dieser Arbeit gewährte.
