Werk

Titel: Über die Bildungsweise der Erstarrungsgesteine

Autor: Erdmannsdörfer, O. H.

Ort: Engelmann

Jahr: 1917

PURL: https://resolver.sub.uni-goettingen.de/purl?345572157_0007|log73

Kontakt/Contact

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

info@digizeitschriften.de

I. Aufsätze und Mitteilungen.

Über die Bildungsweise der Erstarrungsgesteine.

Von **O. H. Erdmannsdörffer.**

(Mit 1 Textfigur.)

Literatur.

ANDERSON, Das System Anorthit-Forsterit-SiO_2. Neues Jahrb. Beil.-Bd., **40**, Heft 3, S. 407.

BOWEN, Das ternäre System Diopsid-Forsterit-SiO_2. Zeitschr. f. anorgan. Chemie, **90**, 1914, S. 20.

BOWEN, Das ternäre System Diopsid-Anorthit-Albit. Zeitschr. f. anorgan. Chemie, **94**, 1916, S. 23.

BOWEN, Cristallisation-Differentiation in silicate liquids. Amer. Journ. Sci., **39**, 1915, S. 175.

BOWEN, The later stages of the Evolution of the igneous Rocks. Journ. Geol., **23**, Suppl. 8, 1915.

DALY, Igneous Rocks and their Origin. New York 1914.

ERDMANNSDOERFFER, Über die Entstehungsweise gemischter Gänge und basischer Randzonen. Chemie der Erde, **1**, 1915, S. 335.

NIGGLI, Probleme der magmatischen Differentiation. Chemie der Erde, **1**, 1915, S. 101.

SCHWEIG, Untersuchungen über die Differentiation der Magmen. N. Jahrb. f. Mineral. Beil.-Bd. **13**, 1903, S. 516.

Die Erstarrungsgesteine bilden sich infolge von Wärmeverlust und unter Abgabe bestimmter flüchtiger Substanzen durch die Verfestigung von Schmelzlösungen (Magma), deren schwerflüchtige Komponenten als Oxyde, Titanate, Phosphate u. a., und vor allem Silikate auskristallisieren, während die im Magma enthaltenen leichtflüchtigen Substanzen z. T. in die kristallisierten Verbindungen eintreten, z. T. im Restschmelzfluß angereichert und schließlich ausgestoßen werden. Die Gesamtzusammensetzung eines solchen gashaltigen Schmelzflusses kann daher aus der des festen Kristallisationsproduktes nicht direkt rekonstruiert werden. Es ist nun mehrfach die Annahme ausgesprochen, daß die Magmen als gemischte Lösungen wie andere derartige Systeme auch, sich nach einem bestimmten Kristallisationsgang verfestigen, wobei die Gesamtzusammensetzung der in einem bestimmten Stadium vorhandenen Bodenkörper von der Ausgangslösung und den Endprodukten sehr verschieden sein kann.

Lassen sich nun derartige Betrachtungen auf die Kristallisation der Magmen übertragen, so würde ein ursprünglich homogenes Magma

im Verlauf seiner Verfestigung eine Reihe verschieden zusammengesetzter Teilprodukte abscheiden können. Aus dieser Frage ergibt sich zugleich von einem allgemeineren Standpunkte aus die nach den Ursachen der chemischen Verschiedenheit der gesamten Erstarrungsgesteine und nach den hierzu führenden Prozessen, die man i. A. unter dem Begriff der magmatischen Differentiation zusammenfaßt.

Die geologischen Erscheinungen, die auf die Wirkung einer solchen Differenzierung hinweisen, sind — abgesehen von der stofflichen Verschiedenheit der Eruptivgesteine überhaupt — die Kombinationen sehr verschieden zusammengesetzter Gesteine in geologischen Einheiten, z. B. gleichalterigen, lokal begrenzten und dabei sehr mannigfachen vulkanischen Distrikten, oder in engem räumlichem Zusammenhang stehende stofflich variable subkrustale Intrusivmassen, oder schließlich die örtliche und allem Anschein nach kausale Verknüpfung bestimmter, oft gangförmiger Gesteinstypen mit bestimmten weitverbreiteten Tiefengesteinen (Ganggefolgschaft).

Während in den Effusivgesteinen uns jeweils nur die Ergebnisse etwaiger Differenzierungsvorgänge als fertige Produkte vorliegen, führen die subkrustal erstarrten Magmakörper tiefer in die Natur dieser Vorgänge ein: die Differentiation ist — mit ganz verschwindenden Ausnahmen — ein subkrustaler Vorgang.

Damit ist indes nicht gesagt, daß der Vorgang, der zur Zerlegung eines ursprünglich homogenen Schmelzflusses zu differenten Teilen führt, sich immer da vollzogen habe, wo man jetzt die End- bzw. Teilprodukte miteinander in räumlicher Beziehung vorfindet. In vielen Fällen liegt uns vielmehr nur ein Querschnitt durch eine Entwicklungsreihe vor, der dann besonders interessant und wichtig ist, wenn die Erstarrung des Magmakörpers einen Vorgang innerhalb einer solchen Reihe selbst gewissermaßen in statu nascendi fixiert hat. In anderen Fällen haben geologische Ereignisse dazu geführt, daß in mehreren aufeinander folgenden Perioden eine Anzahl zeitlich sich folgender Stadien eines tiefer gelegenen Differentiationsvorganges in beobachtbare Höhe gebracht wurden und, in ihrer zeitlichen Reihenfolge genau erkennbar, den Vorgang der Tiefe räumlich widerspiegeln.

Die große Variabilität in der Zusammensetzung der Erstarrungsgesteine hat man im wesentlichen auf zwei Vorgänge zurückführen zu können geglaubt:

1. auf Assimilierung fremder Gesteinsmassen,
2. auf Differenzierung innerhalb der Schmelzmasse.

Die Assimilierung soll durch Auflösung fremden Gesteins eine stoffliche Änderung der Gesamtzusammensetzung des Schmelzflusses bewirken. Wenngleich dieser Fall in der Tat vorkommen kann und vorkommt, so erscheint doch sicher, daß eine Assimilation allein die Summe der bestehenden chemischen Unterschiede und der vorhandenen Gesetzmäßigkeiten innerhalb der Eruptivgesteine nicht zu erklären

vermag. Die Mischung führt zu hybriden Produkten, deren zwiespältige Natur oft sehr deutlich zu erkennen ist, selbst dann, wenn die Auflösung des Fremdlings bis zu völlig homogener Vermischung in der flüssigen Phase geführt hat.

Die eine, vorwiegend auf geologisch-analytischer Basis gewonnene Anschauung über den Prozeß der Differentiation beruht auf der Annahme, daß dieser Vorgang in der flüssigen Phase verlaufen sei, indem entweder durch stationäre Momente, z. B. Temperaturgefälle oder Schwerewirkung, eine Diffusionswanderung von Flüssigkeitsmolekeln zu einer örtlichen Konzentrierung bestimmter meist basischer Magmenteile geführt hätte, deren Erstarrung zu chemisch und mineralogisch verschiedenen Gesteinen führen mußte; oder aber, indem bei bestimmten Temperaturen das ursprünglich homogene Magma in stofflich verschiedene Teilmagmen zerfiel, die ineinander unmischbar waren (Liquation), und ebenfalls beim Erstarren verschiedene Gesteine lieferten.

Dabei ergab sich für manche Fälle die eigentümliche Regel, daß die in verschiedenen sich folgenden Phasen des geologischen Gestaltungsprozesses einer Erstarrungsmasse »abgespaltenen« Teilmagmen eine chemisch definierbare Reihenfolge erkennen ließen, die im großen und ganzen einen unverkennbaren Parallelismus mit der empirisch festgestellten Reihenfolge der aus dem Magma sich abscheidenden Kristalle aufwies. Dieses Verhalten findet seinen Ausdruck in dem Broeggerschen Satze vom »Parallelismus der Differentiations- und Kristallisationsfolge«.

Kritische Untersuchungen der Kräfte, die zu diesen Vorgängen führen sollten, haben aber z. T. zu durchaus negativen Resultaten geführt. So sind z. B. die Wirkungen, die das vielgenannte Prinzip von Soret ausüben sollte, quantitativ so gering, daß sie praktisch ohne jede Bedeutung sind. Der experimentelle Nachweis, daß Silikatschmelzen durch Schwerwirkung oder durch Löslichkeitsverschiebungen in unmischbare Teile zerfallen, ist noch nicht geführt. Allerdings könnte gerade bei diesem Falle das Fehlen der magmatischen Gasphase im Experiment einen wichtigen, für den vorliegenden Fall vielleicht sogar entscheidenden Faktor darstellen; so sieht z. B. Niggli in dem Wechsel des Dampfdruckes im Magma eine wesentliche Ursache für die Zerlegung von Schmelzflüssen in der flüssigen Phase.

Die zweite Gruppe von Anschauungen über Differenzierung bringt diesen Vorgang in direkten Zusammenhang mit der normalen Kristallisation des Magmas. So nimmt z. B. die Beckersche Theorie von der Entstehung basischer Randzonen eine Kombination von Konvektionsströmungen und fraktionierter Ausfällung der Erstausscheidungen in den kühleren Randteilen des Erstarrungsraumes an, ein Vorgang, der günstigen Falles zur Anhäufung der ältesten Ausscheidungen in den tieferen Teilen, nicht aber zur Entstehung einer homogenen basischen

Magmaschicht führen kann, durch deren Erstarrung aber solche Zonen zweifellos entstanden sind, ganz abgesehen davon, daß die besonders in kleinen Räumen durch die rasche randliche Abkühlung gesteigerte Viskosität die Existenz derartiger Konvektionsströmungen überhaupt in Frage stellt.

Dieser Schwierigkeit geht die Annahme von SCHWEIG dadurch aus dem Wege, daß nach ihr die Zerlegung des homogenen Magmas durch Absinken der ausgeschiedenen schweren Kristalle unter dem Einfluß der Schwere erfolgt. In den tieferen, wärmeren Teilen des Magmabehälters lösen sie sich wieder auf, und so entstehen zwei oder mehr übereinander lagernde verschieden zusammengesetzte Magmaschichten, die unter geeigneten geologischen Verhältnissen zu sehr verschiedenen Gesteinen führen können.

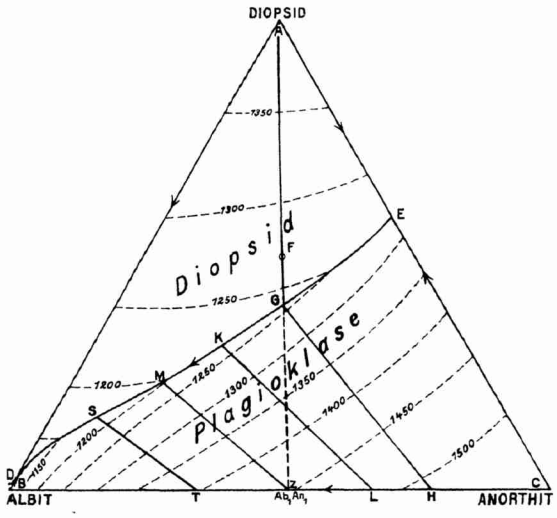
Dies Prinzip des Absinkens der ausgeschiedenen Kristalle unter Schwerewirkung wird neuerdings in ganz besonderem Maße von BOWEN zur Erklärung der Differentiation herangezogen. Er sieht darin das einzig wirkende Moment, und der BROEGGERsche Satz vom Parallelismus der Kristallisations- und Differentiationsfolge vereinfacht sich nach ihm in den Satz, daß Differentiation das Ergebnis der Kristallisation ist. Die BOWENschen Studien zeigen zugleich, wie moderne physikalisch-chemische und physikalische Experimentalforschung der Deutung geologisch-petrographischer Beobachtung nutzbar gemacht werden kann.

Eine Voraussetzung der BOWENschen Ableitungen ist die DALYsche Annahme, daß alle Erstarrungsgesteine sich letzten Endes von einem »basaltischen« Stammagma ableiten lassen, das seit mindestens algonkischer Zeit persistent, seine Existenz durch wiederholte, stets gleichartige Extrusionen während der verschiedenen geologischen Perioden immer wieder dartut. Aus diesem Stammagma sind durch »Differenzierung« alle anderen, wenn auch noch so abweichend zusammengesetzten Gesteine entstanden. Der Vorgang dieser Differentiation wird aus der Diskussion einer Reihe schöner Experimentaluntersuchungen hergeleitet, die sich auf die Kristallisation der Systeme Diopsid-Forsterit-Kieselsäureanhydrid, Anorthit-Forsterit-Kieselsäureanhydrid und Diopsid-Albit-Anorthit beziehen. Das letztere sei hier als Beispiel näher besprochen (vgl. die Figur).

Die Flüssigkeit F mit der Zusammensetzung 50% Ab_1An_1 und 50% Diopsid beginnt bei 1275° Diopsid auszuscheiden und verändert daher ihre Zusammensetzung fortlaufend von F nach G. An diesem Punkte, der bei 1235° erreicht wird, beginnt die Ausscheidung von Plagioklas der Zusammensetzung H, ungefähr Ab_1An_4. Die Lagen der Dreiphasenlinien G—H, K—L usw. sind experimentell festgestellt. Bei weiterer Abkühlung und Plagioklasabscheidung verändert sich die Zusammensetzung der Flüssigkeit in der Richtung GK, die der ausgeschiedenen Plagioklase würde sich, falls die Möglichkeit einer beständigen

Gleichgewichtseinstellung zwischen Kristall und Flüssigkeit bestünde, unter Verschwinden der älteren An-reicheren Kristalle ebenfalls und zwar nach L hin ändern. Bei 1200° wird alles fest, die letzte Flüssigkeit hat die Zusammensetzung M und das Ganze besteht aus 50% Diopsid und 50% homogener Kristalle von Ab_1An_1.

Diese Endtemperatur gilt für alle Mischungen von Diopsid und Ab_1An_1; jede andere Plagioklasmischung würde zu einer anderen Endtemperatur führen, d. h. es gibt kein ternäres Eutektikum zwischen Diopsid und Plagioklas.



Das Konzentrationsdreieck ABC umfaßt sämtliche möglichen Mischungsverhältnisse zwischen Diopsid, Albit und Anorthit. Es wird durch die Linie DKE in zwei Felder geteilt; das Diopsidfeld ADE enthält diejenigen Mischungen, die bei einer bestimmten, durch die Isothermen (gestrichelte Linien) angegebenen Temperatur Diopsid auszuscheiden beginnen. Im Plagioklasfeld $BDEC$ gilt dasselbe für Plagioklas; die Zusammensetzung des jeweils ausgeschiedenen Plagioklaskristalles ist jedoch je nach der Zusammensetzung der abscheidenden Mischung verschieden u. z. An-reicher als diese. Eine Lösung, die durch den Punkt K dargestellt ist, scheidet z. B. Plagioklas der Zusammensetzung L aus. D ist das binäre Eutektikum Diopsid-Albit, E dasselbe für Diopsid-Anorthit. Längs der Linie DKE scheidet sich Diopsid und Plagioklas gleichzeitig aus.

In der Natur wird sich der Fall eines vollständigen Gleichgewichts zwischen Kristall und Flüssigkeit nur sehr selten einstellen. Oft geht die Kristallisation rascher von statten als die Erreichung des Gleichgewichtes. Dies äußert sich darin, daß die zuerst ausgeschiedenen Plagioklaskristalle von den nachfolgenden Lagen isomorph überschichtet werden, also Zonarbau entsteht, wodurch die zuerst ausgeschiedenen kalkreicheren Plagioklaskristalle der Reaktion mit der Flüssigkeit ent-

zogen werden. Dieser Vorgang bedeutet also für das ganze noch reaktionsfähige System eine Verarmung an An-molekeln und eine relative Anreicherung an *Ab*. Ist die Zonenbildung ein kontinuierlicher Vorgang, so bewegt sich die Zusammensetzung der Restflüssigkeit ebenso kontinuierlich in der Richtung *MS* weiter, d. h. sie erreicht schließlich eine Zusammensetzung, die, kristallisiert, einem Gemenge von Diopsid und Oligoklas, also einem Diorit entsprechen würde. Theoretisch müßte dieser Gang sich bis zum binären Eutektikum Albit-Diopsid fortsetzen (Punkt *D* der Figur).

Die Entziehung der älteren, An-reicheren Kristalle und die Bildung einer dioritischen Restlösung kann außer durch isomorphe Überschichtung noch durch Absinken der bereits ausgeschiedenen Kristalle erfolgen. Auch dieser Vorgang muß ganz analog zu einer Anreicherung des *Ab* in der Restlösung führen, da die *An*-reichen Kristalle der Reaktion mit dieser entzogen werden.

In ganz entsprechender Weise liefert das System Diopsid-Forsterit-Kieselsäureanhydrid, wenn Sinken und Zonenbildung (Mischkristalle von Klinoenstatit und Diopsid) möglich ist, eine abgesunkene Lage von magnesiareichen Pyroxenkristallen und Forsterit und eine darüber stehende zum großen Teil flüssige Lage, die als SiO_2 und CaO-reicher Pyroxen kristallisiert.

Im System Anorthit-Forsterit-SiO_2 können auf entsprechende Weise entstehen: eine kristallisierte Lage von Forsterit, Klinoenstatit, Anorthit und eine flüssige von Klinoenstatit, Anorthit, SiO_2. Unter bestimmten Verhältnissen kann auch eine Lage Forsterit-Spinell ausfallen.

Auch hier ist zu beobachten, daß diese zur Bildung von Mischkristallen führenden Schmelzen keinem einfachen eutektischen Schema entsprechen. Der Erstarrungsgang führt nicht zu einer für alle Mischungen gleichen Endzusammensetzung mit gleicher Enderstarrungstemperatur, sondern verschiedene Mischungen haben verschiedene Endprodukte mit entsprechend verschiedenen Endtemperaturen.

Die Kombination dieser ternären Systeme läßt sich nun auf die Kristallisation des »basaltischen« Magmas anwenden. Für die Natur der so entstehenden Produkte spielt die Abkühlungsgeschwindigkeit des Ganzen eine wesentliche Rolle. Rasche Kristallisation verhindert Zonenbildung und Absinken, langsame Kristallisation befördert beides. Die Differentiation ist also eine Funktion der Zeit, da große Erstarrungsmassen erheblich langsamer kristallisieren als kleine.

Eine Mischung, deren Zusammensetzung einem Pyroxenmischkristall und Plagioklas entspricht, wird bei langsamer Abkühlung dieser Art zuerst Olivin abscheiden; die Folge ist Anreicherung des Restes an SiO_2. Die Ausscheidung von *An*-reichem Plagioklas reichert im Rest *Ab* an, die Abscheidung von Mg-Pyroxen führt zu einer entsprechenden Anreicherung von Diopsid. Es ergibt sich also ein fest abgeschiedener, gesunkener Teil von gabbroider Zusammensetzung und

ein flüssiger Rest von im extremsten Falle granitischer Natur. Falls die Differentiation weniger weit gegangen ist, hat der Rest Diorit- oder Quarzdioritzusammensetzung.

Sehr instruktiv sind in dieser Beziehung einige von Daly beschriebene Intrusivlager basaltischer Zusammensetzung. Schmale also rasch abgekühlte Lager erstarren zu Diabas, mächtigere mit längerer Abkühlungsdauer differenzieren sich durch Absinken von Olivin in die tieferen Lagen und Anreicherung der salischen Komponenten in den hangenden Teilen, die hier bis zur Bildung granitischer Gesteine führen kann. Daly glaubte noch diese letzteren auf Resorption des anstoßenden Quarzites zurückführen zu sollen; im Lichte der Bowenschen Anschauungen scheint diese Annahme jedoch überflüssig.

Wo die Verhältnisse zur Bildung eines selbständigen salischen Teiles nicht führen, kann dieses Differentiat als Zwischenfüllungsmasse zwischen den älteren Ausscheidungen liegen (Quarzdiabase mit Mikropegmatitzwickeln).

Die sich im Laufe der Kristallisation ständig ändernde Zusammensetzung des Schmelzflusses, insbesondere seine Anreicherung an flüchtigen Komponenten, wie F, H_2O u. a. führt nun weiterhin dazu, daß auch die Natur der ausgeschiedenen Bodenkörper eine andere wird: an Stelle der ursprünglichen Pyroxene treten immer mehr Hornblende und Biotit, die normalen femischen Gemengteile der dioritischen und granitischen Gesteine.

Es hängt von dem Aufhören der Differentiationsmöglichkeit ab, an welchem Punkte der Differentiationsreihe dieser Vorgang unterbrochen wird, welche Produkte also die zuletzt gebildeten sind. Subkrustale Erstarrungsmassen granito-dioritischer Zusammensetzung haben oft basischere Randzonen von Diorit- oder Gabbrocharakter. Während früher die Anschauung die herrschende war, daß die letzteren durch ein zentrifugales Wandern basischen Materials innerhalb des Schmelzflusses in situ entstanden seien, weisen die neueren Untersuchungen auf einen entgegengesetzt gerichteten Vorgang hin: der Erstarrungsraum war z. B. im Anfang mit Dioritmagma erfüllt; in den randlichen Teilen erstarrte er rascher und behielt so seine Zusammensetzung. In den inneren, längere Zeit flüssigen Teilen ging der Vorgang der Kristallisationsdifferenzierung weiter und der Rest nahm Granitzusammensetzung an. Der randliche feste Diorit stand also längere Zeit mit dem noch flüssigen Granit in direkter Berührung; Verschiebungen durch intrusive, tektonische o. a. Vorgänge und Bewegungen konnten nun dazu führen, daß der Granit in Klüfte des Diorits eindrang und daß so ein verschiedenes Alter der tatsächlich gleichalterigen Gesteine vorgetäuscht wird, eine Erscheinung, die sehr häufig ist, und die man nicht selten als Beweis für das Vorhandensein zweier verschiedenalteriger Intrusionsvorgänge angesehen hat. Und doch handelt es sich hier nicht um einen Intrusionshiatus, sondern lediglich um ein Verfestigungsintervall.

Vorzügliche Beispiele für dieses Verhalten liefern manche Vorkommen der Granit-Diorit-Gabbro-Peridotitreihe, die gleichzeitig intrudiert, aber zu verschiedenen Zeitpunkten fest wurden.

Dem Falle, in dem die Zerlegungsprodukte eines ursprünglich homogenen Magmas durch Differenzierung an Ort und Stelle dieses Vorgangs selbst zu beobachten sind, stehen andere gegenüber, bei denen die Differentiation in einem anderen als dem Erstarrungsniveau stattgefunden hat. Diese Fälle können verschiedener Art sein: ein geologischer Vorgang preßt fertig differenzierte Magmen aus der Tiefe empor in den Erstarrungsort, in dem es zu einem Komplex verschiedener Gesteine erstarrt; oder es findet eine Trennung des Differentiates von der Restflüssigkeit dadurch statt, daß diese allein weggeführt, also weggepreßt oder -filtriert wird. Durch weitere Differenzierung am Erstarrungsort können weitere Komplikationen erfolgen.

Daher ist die Frage von großer Bedeutung für die Beurteilung der Vorgänge und ihrer definitiven Produkte, ob der Erstarrungsort identisch ist mit dem Differentiationsort, wobei im Verlaufe der Entwicklungsgeschichte eines Magmas verschiedene Differentiationsorte in Frage kommen können.

Man hat oft die sogenannten gemischten Gänge als typische Fälle für Differenzierung an Ort und Stelle angesehen. Eine kritische Prüfung aller hierfür in Betracht kommenden Momente hat indes gezeigt, daß diese Annahme für viele derselben sicherlich nicht zutrifft. In Thüringen z. B. sind Granit- und Syenitporphyrgänge randlich von Kersantit flankiert. Der Mechanismus dieser Verknüpfung ist derart, daß durch eine Spalte zunächst Kersantit gefördert wurde, der am Rande rasch erstarrte, während in der Zusammensetzung des weiter geförderten Materials sich rasch oder allmählich ein Wechsel vollzog zum Granit, der in der Mitte der Spalte später erstarrte.

Der Wechsel von Differenzierung in der Tiefe oder am Erstarrungsort mit Vorgängen der Intrusion in verschiedene Niveaus bringen die überaus mannigfachen Vergesellschaftungen und Formen subkrustaler Erstarrungsmassen zustande, wie sie in den uns erreichbaren Teilen der Lithosphäre vorliegen. Es wäre also eine unrichtige Verallgemeinerung, wollte man annehmen, daß jede Intrusivmasse ihre Konstitution erst durch einen Differenzierungsvorgang in situ erhalten habe. Es gibt vielmehr rein gabbroide, granitische o. a. Erstarrungsmassen, bei denen man im Bereich ihrer engeren Entstehungsgeschichte, d. h. innerhalb ihrer Intrusions- und Erstarrungsphase, ohne Bedenken von Gabbro- oder Granitmagma sprechen kann[1]).

Das Prinzip des Absinkens der als Gleichgewichtsprodukte ausfallenden Bodenkörper unter Gravitationswirkung oder durch Abpressung der Mutterlauge zieht Bowen auch zur Erklärung der theoretisch so interessanten Gruppe der Alkaligesteine heran.

[1]) Vgl. Boeke, Grundlage der phys.-chem. Petrographie, S. 146.

In dem granitischen, u. U. auch dem granodioritischen Stadium der Differentiation sollen die Polysilikate unter dem Einflusse der flüchtigen Komponenten, besonders des Wassers, zu einfacheren zerfallen, z. B. nach der Reaktion

$$NaAlSi_3O_8 \rightleftarrows NaAlSiO_4 + 2SiO_2.$$

Wenn nun in einem solchen Stadium Quarz und Biotit absinken, bleibt ein sehr alkali- und gasreiches Restmagma zurück, das bei der Kristallisation durch Nephelin charakterisiert ist. Ähnlich sollen durch Eintritt solcher Gleichgewichtsverhältnisse bei basischeren Gesteinen basanitische Magmen entstehen können.

Der durch Rosenbusch gegründeten Anschauung von der selbständigen und genetisch verschiedenen Stellung der Alkali- und Alkalikalkgesteine steht diese Auffassung insofern gegenüber, als sie einen genetischen und kontinuierlichen Zusammenhang der Alkaligesteine mit der Hauptmasse der Erstarrungsgesteine, den Kalkalkaligesteinen zur Voraussetzung hat, ein Zusammenhang, der in der Tat mehrfach durch geologische Beobachtung nachgewiesen erscheint, und auch von anderen Forschern schon mehrfach betont wurde.

Wie Granit als Differentiat zeitlich nach Diorit auftreten müßte, wenn die vorher geschilderten Auffassungen zutreffen, so müßte analog Eläolithsyenit nach Granit auftreten. Das Vorkommen von Almunge in Schweden — Randzone von Nordmarkit, Kern Canadit — scheint dieser Voraussetzung zu entsprechen. Allerdings kommen auch andere, selbst entgegengesetzte Fälle vor (Ontario).

Daly stellte eine andere Theorie für die Entstehung der Alkaligesteine auf: granitische Magmen resorbieren Kalk, die gebildeten Kalksilikate sinken ab, das mit CO_2 angereicherte[1]) Magma ist entsprechend reicher an Alkalien geworden und liefert bei der Erstarrung Alkaligesteine.

Diese Anschauung verhält sich zu der von Bowen ebenso, wie die entsprechenden Auffassungen der beiden Autoren über die Bildung von Granit aus Gabbro zueinander. In beiden liegt noch sehr viel Hypothetisches und die Frage der Alkaligesteine kann in keiner Hinsicht als gelöst betrachtet werden.

In den Vorstellungen von der Differentiation durch fraktionierte Kristallisation liegt zweifellos manches Bestechende, doch ist es fraglich, ob sich wirklich alle Erscheinungen auf sie zurückführen lassen. Die monomineralischen Gesteine, wie Peridotite, Pyroxenite, Anorthosite, sollen sich nach dieser Theorie ebenfalls durch gravitative Anhäufung der ausgeschiedenen Kristalle gebildet haben, sie müßten also, da einer Wiederauflösung nach dem Schweigschen Prinzip von Bowen keinerlei Bedeutung zugemessen wird, etwaige Intrusionsvorgänge als Kristallbrei durchgemacht haben. Wenn dies nun auch bei den

[1]) Den Reichtum der Alkaligesteine an anderen Gasen (Cl, SO_3F u. a.) erklärt diese Hypothese nicht.