

W. Hommels systematische Petrographie auf genetischer Grundlage

Autor(en): **Niggli, P.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische mineralogische und petrographische Mitteilungen
= Bulletin suisse de minéralogie et pétrographie**

Band (Jahr): **7 (1927)**

Heft 1

PDF erstellt am: **11.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-9030>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

W. Hommels systematische Petrographie auf genetischer Grundlage.

Nach den hinterlassenen Manuskripten dargestellt

von

P. Niggli.

I.

1. Vorbemerkungen.

Einer der beachtenswertesten Versuche, die Mannigfaltigkeit der Eruptivgesteinswelt von einheitlichen Prinzipien her zu erfassen, stammt von dem leider so früh der Forschung entrissenen *Woldemar Hommel*. Der junge Chemiker, der seine ersten mineralogischen und petrographischen Kenntnisse bei dem von ihm sehr verehrten Prof. U. Grubenmann erwarb, hinterließ umfangreiche, allerdings zu keinem Abschluß gelangte Manuskripte. Der Initiative seiner Gattin ist es zu verdanken, daß diese Manuskripte der Wissenschaft nicht verloren gingen. Sie sind dem mineralogisch-petrographischen Institut der Eidgenössischen Technischen Hochschule zur Aufbewahrung übergeben worden. Es ist dem Berichterstatter eine freudige Pflicht, die Fachgenossen über den wesentlichen Inhalt dieser nachgelassenen Schriften zu orientieren. Dies soll in einer hiemit beginnenden Artikelserie geschehen. Frau Prof. Hommel hatte die Freundlichkeit, den nachfolgenden Lebenslauf des Verstorbenen niederzuschreiben.

„Der im Alter von 45 Jahren verstorbene *Prof. Dr. Woldemar Hommel*, ältester Sohn des bekannten Dr. med. Adolf Hommel in Zürich, wurde am 5. März 1878 in St. Petersburg geboren. Nach abgelegtem Abitur und halbjähriger praktischer Tätigkeit in einer Maschinenfabrik studierte er zunächst Chemie an der Universität Zürich (Prof. Werner) und besuchte darnach die Züricher Technische Hochschule, wo er die chemisch-technische Abteilung absolvierte (Mineralogie bei Prof. Grubenmann, Chemie besonders bei Prof. Lunge und Prof. Treadwell). Bei letzterem führte er eine

analytische Arbeit aus, mit der er später bei Prof. Naumann in Gießen promovierte. Um sich für das Hüttenfach zu spezialisieren, setzte er seine Studien im Sommer 1901 an der Bergakademie Clausthal fort, hörte Hüttenkunde bei Prof. Doeltz und führte bei Prof. Küster eine elektrochemische Arbeit aus, die er zusammen mit der analytischen in Gießen einreichte. 1902 bei Prof. Kahlbaum in Basel als Privatassistent tätig, beschäftigte er sich besonders auf dem Gebiet der Metalldestillation im Vakuum. Ende 1902 und Anfang 1903 finden wir ihn als Privatassistent von Prof. Küster abermals in Clausthal, mit der Absicht, sich der akademischen Laufbahn zu widmen. Er erhielt jedoch ein für seine berufliche Weiterbildung günstiges Angebot nach England, und ergriff diese Gelegenheit, die ursprünglich nur sechs Monate dauern sollte, speziell auch, um die englische Sprache zu erlernen. Nach Ablauf dieser Zeit wurde er jedoch von der Firma Huntington, Heberlein and Co. zum Bleiben veranlaßt und auf längere Zeit verpflichtet. Ihm lag damals die selbständige Leitung des analytischen Laboratoriums der Firma in London ob, sowie die Ausarbeitung und Einführung neuer hüttenmännischer Verfahren, zum Teil eigener Erfindung. Die Tätigkeit im dortigen Laboratorium war eine äußerst vielseitige und erstreckte sich u. a. auf Blei-, Zink-, Kupfer-, Zinn-, Eisen-Erze, neben den regulären Betriebsanalysen, die für die dortige Bleihütte von Schlacken, Stein, Silberblei etc. etc. ausgeführt werden mußten. Im Verlauf seiner Tätigkeit in England kam Hommel, zwecks Einführung der von der Firma Huntington & Heberlein vertriebenen neuen Verfahren, in die verschiedensten Gegenden und Hüttendistrikte Österreichs, Ober-Schlesiens, des Rheinlands, Belgiens, Spaniens etc., was ihm ein genaues Studium der daselbst herrschenden Verhältnisse ermöglichte. Im Oktober 1907 wurde Dr. Hommel General Manager der „Metals Extraction Corporation“ in London. Er hatte die Oberleitung über die der Gesellschaft gehörende Zinkhütte und chemische Fabrik in Llan-samlet bei Swansea, und arbeitete eine Reihe eigener Patente aus. Während seiner dreijährigen Tätigkeit bei dieser Firma erweiterten sich seine Kenntnisse insbesondere in bezug auf die Schwefelsäurefabrikation etc., Erzröstung und Behandlung komplexer Erze, vermittelst Flotations- und chemischer Verfahren. Im Herbst 1910 schied Dr. Hommel aus der Londoner Firma aus, um sich als beratender Metallurge selbständig zu machen. Erst von diesem Zeitpunkt an hatte er Gelegenheit, sich literarisch zu betätigen. In kurzen Zwischenräumen erschienen alsdann, nach etwa einjährigem

intensivem Quellenstudium in der Bibliothek des „British Museum“, die folgenden Aufsätze:

- „The Hommel Furnace for Volatilizing Zinc“ (Engineering und Mining Journal, Dec. 1911).
- „Berghauptmann Löhneysen, ein Plagiator des 17. Jahrhunderts“ (Chemiker-Zeitung 1912, Nr. 15).
- „Über indisches und chinesisches Zink“ (Zeitschr. für angewandte Chemie 1912).
- „Die Prinzipien der Blenderöstung“ (Metallurgie 1912).
- „Über den Ursprung des Namens „Zink“ und die Erkenntnis des Metalles“ (Chemiker-Zeitung).
- „Berghauptmann Löhneysen; ein Nachtrag“ (Chemiker-Zeitung).
- „The origin of Zinc Smelting“ (Eine, auf die Aufforderung des Herausgebers, W. R. Ingalls, hin angefertigte englische Darstellung des Aufsatzes „Über indisches und chinesisches Zink“).

Seine vorhergehende und seine Tätigkeit als konsultierender Metallurge haben ihm Gelegenheit zur Bereisung der Mehrzahl der europäischen Länder gegeben und veranlaßt, daß er durch die berufliche Beschäftigung mit den Minerallagerstätten und deren Genesis sich zum Spezialisten für mikroskopische Untersuchung und Deutung von Erzen und Gesteinen heranbildete. Auf diesem Gebiete wurde er, seiner schöpferisch geistigen Veranlagung entsprechend, zum reinen forschenden Wissenschaftler, nachdem er durch eine Berufung als Dozent und Leiter des metallographischen Institutes an die Bergakademie Clausthal (Frühjahr 1914) Gelegenheit erhalten hatte, sich auch der Mineral- und Gesteinskunde besonders zu widmen. Dabei fand er in dem Mineralogen Prof. Dr. Bruhns einen selbstlosen Berater und Förderer. Im Frühjahr 1920 erschien bei Gebrüder Borntraeger in Berlin der I. Teil seines Werkes „Systematische Petrographie“. Der II. Teil, der bald darauf folgen sollte, konnte nicht mehr zum völligen Abschluß gebracht werden.

Im Sommer 1922 erkrankte Prof. Hommel tödlich; darauf folgten Aufenthalte in verschiedenen Kliniken (Hamburg, Freiburg und Göttingen). Zwischendurch war er immer wieder kurze Zeit in Clausthal, jedoch nicht mehr im Stande, seinen Beruf auszuüben. Der unbändig lebensfrohe, genußfähige, geniale und schöpferisch so stark begabte Mann hat eine unendlich traurige Kranken-

zeit durchmachen müssen. Eine schwere Sprachstörung und rechtsseitige Lähmung behinderten ihn in jeder Weise, und die Sehschärfe seiner Augen ließ zusehends nach. Dies war sein allerschwerstes Leid. Hochmusikalisch, war er nach seiner Erkrankung nicht mehr im Stande, jemals wieder Klavier zu spielen. In Freiburg (Sommer 1923), wo es ihm vorübergehend etwas besser ging, machte er sich wieder an seine Arbeit, den II. Teil zu seiner „Systematischen Petrographie“. Die Freude, daß er sich wieder damit befassen konnte, war eine außergewöhnliche. Im Herbst 1923 konnte er auch in Clausthal für kurze Zeit bei seinen Büchern weilen, dann kam Göttingen an die Reihe. Dort wurde auch wieder eine ganz kurze Zeit der Besserung zu wissenschaftlicher Arbeit, insbesondere in der Universitätsbibliothek, benutzt. Es war erschütternd, wie er sich mit zwei Brillen mit den schweren Folianten abquälte, immer und überall trostlos behindert durch sein schweres Leiden. Und doch sagte er da einmal mitten im Studium: „Ich bin so glücklich.“

Im März 1924 versuchte er zum letzten Mal unter Mithilfe seines von ihm hochgeschätzten Kollegen, Prof. Dr. Bruhns in Clausthal, sich in sein Werk zu vertiefen. Es ist nicht mehr ganz fertig geworden. Woldemar Hommel starb am 14. April 1924.“

2. Kurze Darstellung der wesentlichen allgemeinen Gesichtspunkte des bereits gedruckt vorliegenden Teiles der Gesamtarbeit.

Im Jahre 1919 veröffentlichte Dr. W. Hommel, Privatdozent an der Bergakademie Clausthal, im Verlag Gebrüder Borntraeger „Grundzüge der systematischen Petrographie auf genetischer Grundlage“. I. Band: „Das System“. Der Hauptinhalt dieses Werkes besteht in der Aufstellung einer Molekularformel und einer Konstitutionsformel für die Gesteine. Weder die eine noch die andere Formulierung haben Eingang in die Wissenschaft gefunden und es mag sein, daß manche der wichtigen oder zweifellos diskutierbaren, allgemeinen Ansichten über die Gesteinsentstehung, die sich gleichfalls in diesem ersten Teil des sehr umfangreich gedachten Werkes vorfinden, übersehen wurden, weil die Gesteinsbezeichnung zu kompliziert war. Für das Verständnis des zweiten Teiles des Werkes ist es notwendig, kurz die allgemeinen Erörterungen und Begriffe darzulegen. Von den Hommel'schen Gesteinsberechnungen soll ganz abgesehen werden, damit gerade diejenigen Forscher, die sich mit ihr nicht befreunden können, auf den davon unabhängigen allgemeinen Teil aufmerksam gemacht werden.

Bereits in dem Abschnitt „Die Konstitutionsformel“ befinden sich eine Reihe von Bemerkungen, von denen wir einige wesentliche herausgreifen wollen. Seite 46 werden die *Diorite* als Gesteine unvollständig differenzierter Magmen angesehen, wobei weitergehende Differentiation durch die Erkaltung verhindert worden sei.

Seite 49 wird, im Gegensatz zu den Dioriten, auf starkes Überwiegen des Eisens gegenüber dem Magnesium bei den *Mangeriten* aufmerksam gemacht. Langsame Erstarrung, fast vollständiges Absinken der Mg-Mineralien werden im Sinne der Kristallisationsdifferentiation dafür verantwortlich gemacht.

Seite 50 ff. werden *Malchite* und *Trachyandesite* miteinander verglichen. Hier steht folgender Satz:

„Die Alkaligesteine bilden zwar in ihren Endgliedern eine Gruppe für sich, aber sie entstammen demselben Magma wie die Alkalikalkgesteine. Ihre Bildungsweise setzt bestimmte physikalische Bedingungen voraus und da diese Bedingungen zu verschiedenen Zeiten an ein und demselben Ort variieren können, so werden auch Gesteine beider Klassen, wenngleich von verschiedenem Alter, in der gleichen Lokalität aufzutreten imstande sein.“

Seite 62—63 gibt eine Diskussion der Zusammensetzung verschiedener Teile des Basaltstromes von Londorf (Hessen) Anlaß, die Olivinabsaigerung zu besprechen.

Seite 64 finden sich anlässlich der Besprechung von Gabbro und Peridotit bereits die für *Hommel* leitenden Gesichtspunkte ausgesprochen.

„Die Genesis der Gesteine aus dem schmelzflüssigen Magma beruht auf fraktionierter Kristallisation der verschiedenen Mineralien in der Reihenfolge: Olivin, basischer Plagioklas, Metasilikate, saurer Feldspat. Dazu kommt die Umwandlung des Olivins, der bei 1557° anfängt, sich mit der sauren Schmelze zu Klinoenstatit umzusetzen. Die Zusammensetzung des Gesteins ist abhängig von der Temperatur, bei welcher die ruhige Kristallisation durch Abkühlung unterbrochen wurde, der Zeitdauer, während welcher bis dahin konstante Temperatur geherrscht hatte, und dem Druck, unter welchem das Magma stand. Je langsamer ein Magma unter abyssischen Bedingungen kristallisieren kann, um so einheitlicher wird die Zusammensetzung des resultierenden Gesteins“ (Dunit, Anorthosit im Gegensatz zu Diorit).

Diorit kann bei Graniten als basische Randfacies auftreten, gewissermaßen als Primärkristallisation, er tritt als saure Randfacies bei Gabbros auf, wenn Gase entweichen. (Letzteres im Gegensatz

zur „Assimilationstheorie“ von *Klemm*). Hornblende in solchen Dioriten spricht für Gehalt an H_2O .“

Seite 78 wird über die genetischen Beziehungen der *Gabbro-* und *Dioritfamilie* folgendes Allgemeine ausgesagt: „Das erste Ausscheidungsprodukt des Magmas, abgesehen von Erzen, Apatit u. s. w., ist der Olivin. Bei fortschreitender langsamer Abkühlung setzt er sich zu Enstatit um und gleich darauf beginnt die Ausscheidung des Diopsids. Aus diesen Mineralien setzen sich die verschiedenen feldspatfreien Gesteine zusammen, wie *Harzburgit*, *Wehrlit*, *Lherzolith*, *Websterit*. Der Amphibolperidotit käme an Stelle des Wehrlits zu stehen. Seine Hornblende ist unter übernormalen Bedingungen, nämlich oberhalb ihrer normalen Stabilitätsgrenze, bei übermäßigem Druck und übermäßiger Temperatur entstanden. Ich nenne diese Entstehungsweise „pernativ“ und die Hornblende dieser Gesteine „pernative Hornblende“. Auch die basaltische Hornblende wäre demnach eine pernative Hornblende.“ Bei tieferen Temperaturen soll die Feldspatausscheidung stattfinden. Anorthosit ergibt sich, wenn bei langsamer Abkühlung Olivin- und Labradoritausscheidung getrennt wird. *Olivinnorit* und *Norit* entstehen, wenn die Ausscheidungen sich etwas überlagern. Ist die Abkühlung noch rascher, derart, daß die Enstatitbildung übersprungen wird, so werden Labradorit und Diopsid zusammen ausfallen (*Gabbro*, *Olivingabbro*). *Hommel* nennt Norite genetisch älter als Gabbros, sie können sich nach ihm nur bilden, wo langsame Abkühlung vorhanden ist. Das Restmagma der Gabbrobildung liefert Diorit bzw. noch weitergehend Granit. Wird bei etwas rascherer Abkühlung das Magma in bezug auf Labradorit unterkühlt, die Gabbrobildung übersprungen, so entsteht nach *Hommel* *Ornöit* oder *Gabbrodiorit* (Fortsetzung der Differentiation in Richtung der Syenite, Minetten, Vogesite). Die Noritreihe setzt sich normalerweise in *Mangerit*, *Quarzmangerit*, *Charnockit* fort.

Seite 87—88 steht folgendes: „Die Monzonite stellen sich also dar als Erstarrungsprodukte, die unter wesentlich andern Bedingungen entstanden als die Kalkalkaligesteine. Die Abkühlung war bei den Monzoniten eine raschere, vollzog sich jedoch immerhin noch intratellurisch, d. h. unter Druck. Dafür, daß das Magma einer periodischen Vermengung ausgesetzt war, spricht insbesondere auch das häufige Auftreten von zonalen Feldspäten, eine Erscheinung, die ja bekanntlich besonders ausgesprochen bei *Trachyten* auftritt.“ Es sollen hier die Femoxyde nicht frühzeitig ausgeschieden

worden sein (wie bei der Differentiation gewöhnlicher Kalkalkaligesteine), deshalb tritt dann (weil keine Orthosilikate gebildet wurden) auch Quarz in späteren Differentiationsprodukten zurück. Die Verknüpfung monzonitischer Gesteine mit Leucitgesteinen wird als Anzeichen dafür angesehen, daß keine rein abyssischen Bedingungen während der Differentiation herrschten.

Hinsichtlich der Bildung von Nephelingesteinen finden wir unter anderm Seite 89 folgendes: Die Ausscheidungsfolge Anorthit \rightarrow Nephelin ist nur von den Konzentrationsverhältnissen abhängig, deshalb sehr wechselnd. Das Gleichgewicht wird zu Gunsten von Nephelin verschoben, wenn der Kalkgehalt zur Diopsidbildung verbraucht wird. Das sind nach *Hommel* grundlegende Bedingungen für die Bildung der Gesteine der Alkalireihe. „Ihre Entstehung setzt also stets eine erhebliche Unterkühlung des tellurischen Gesamtmagmas voraus“ (damit nicht Olivin vorher sich ausscheidet und das Mg zur Diopsidbildung entzieht: der Ref.). „Der grundsätzliche Gegensatz gegenüber den Kalkalkaligesteinen besteht also darin, daß hier die Ausscheidung der Minerale mehr oder weniger nebeneinander, jedenfalls nur kurz hintereinander erfolgte, während die langsame und ruhige Bildung der Kalkalkaligesteine in jedem Stadium eine Trennung der ausgeschiedenen Bestandteile von der Schmelze ermöglichte.“ *Hommel* nennt derartige Gesteine *paragen*, die Kalkalkaligesteine im Gegensatz dazu *orthogen*. Ein Magma kann, je nach den physikalischen Bedingungen, beides liefern. Glimmerperidotite sind *paragene* Gesteine mit *pernativem* Glimmer.

Seite 100 werden drei allmählich ineinander übergehende Gesteinsreihen aufgestellt:

1. Die *orthogene* Reihe mit frühzeitiger vollständiger Olivinausscheidung und entstanden bei langsamer Differentiation.
2. Die *paragene* Reihe. Die Olivinausscheidung wird übersprungen, es scheidet sich später Diopsid aus und entkalkt die Restmagmen, die alkalischen Charakter annehmen. Raschere Abkühlung, weniger quarzreiche Gesteine.
3. Die gewöhnlich *syenitische* Reihe, die in jeder Beziehung eine Mittelstellung einnimmt.

Seite 100 ff. werden die Bildungsbedingungen der für *paragene* Gesteine typischen Mineralien wie Sodalith, Hauyn, Nosean, insbesondere aber Leucit und Melilith besprochen. Hier tritt etwas unvermittelt ein neuer Begriff auf. Nachdem darauf hingewiesen wurde, daß Leucit und Melilith vorzugsweise in Ergußgesteinen zu

finden sind, werden Gesteine, die erdoberflächennah erstarrten, als hypogene den orthogenen und paragenen gegenübergestellt. „So stellen sich also die leucit- und melilithführenden Gesteine als typische Ergußgesteine dar, sie zeigen in mancher Hinsicht große Annäherung an paragene Gesteine und gehen ganz allmählich in solche über. Leucit und Melilith können jedoch nur unter Bedingungen entstehen, die für Ergußgesteine charakteristisch sind. Es ist daher grundsätzlich falsch, wegen rein äußerlicher Momente, wie etwa der Größe des Kornes oder der Suche nach zu gewissen Ergußgesteinen gehörigen Tiefengesteinen, Erstarrungsprodukte, welche diese Mineralien führen, zu den Tiefengesteinen zu stellen. Das übermäßige und einseitige Betonen solcher Analogien führt lediglich zur Schädigung der wahren Erkennung geologischer Vorgänge. Die Leucit- und Melilithgesteine stehen ebenso an der Grenze zwischen hypogenen und paragenen Gesteinen, wie die weiter oben beschriebene syenitische Reihe zwischen paragenen und orthogenen.“

Schließlich werden Seite 105—112 die sogenannten „lampo-phyrischen Ergußgesteine“ (Rosenbusch) besprochen. *Hommel* glaubt, daß diese „anormalen“ Gesteine ihren besondern Charakter Wiedereinschmelzungen verdanken.

Diese Hinweise lassen bereits die theoretischen Ansichten erkennen, zu denen *Hommel* gelangt ist. Sie sind im 3. Kapitel („Die natürliche Klassifikation der Gesteine auf genetischer Grundlage“) im Zusammenhang dargestellt. In aller Kürze soll versucht werden, die Hauptgedanken wiederzugeben. Den Ausführungen über die Eruptivgesteine liegt der einheitliche Gedanke zu Grunde, daß alle Gesteinsformen lediglich unter verschiedenen physikalischen Bedingungen entstandene Produkte ein und desselben Magmas sind (tellurisches Magma von relativ basischer Zusammensetzung). Die ganze sogenannte magmatische Differentiation wird als Kristallisationsdifferentiation angesehen, nur bei besondern, anormalen Gesteinstypen soll Assimilation in Frage kommen. Jede magmatische Aktivitätsperiode kann irgend ein Gestein liefern, sofern die physikalischen Bedingungen der Abkühlung die dieser Gesteinsbildung entsprechenden sind. Bleiben diese Verhältnisse im ganzen Verlaufe der Kristallisation sich ähnlich, so entwickeln sich Gesteinsreihen von besonders einfachem Zusammenhang ihrer Glieder untereinander. Darnach werden die Eruptivgesteine in drei Gesteinsklassen eingeteilt.

I. Gesteine der orthogenen Klasse bilden sich bei langsamer ruhiger Abkühlung des Magmas im Innern der Erde, verbunden mit hohem Druck und langsamem Entweichen der gelösten Gase. Es wird sich in Abhängigkeit von der Kristallisationsfolge eine normale Folge der Restschmelzzusammensetzungen (Differentiationsfolge) ausbilden. *Hommel* nennt diese Folge die Zonenfolge und benennt die einzelnen Zonen nach den sich ausscheidenden Mineralien. Normalerweise würden zuerst Chromit und Sulfide sich ausscheiden (Zone des Chromits). Dann folgt unter orthogenen Bedingungen die Ausscheidung des Olivins, das heißt die Bildung der Peridotite (Zone des Olivins). Von nun an wird nach drei Reihen unterschieden, die lediglich durch verschiedene Abkühlungsgeschwindigkeiten (innerhalb der durch „orthogen“ gegebenen Grenzen) bedingt sein sollen.

In der katorthogenen Reihe scheidet sich nach der Olivinumwandlung zunächst ziemlich für sich Enstatit, Bronzit oder Hypersthen aus (Zone des Enstatits). Es bilden sich einerseits Bronzinit, Hypersthenit, andererseits bleibt nun ein sehr magnesiumarmes Magma zurück, das in der Zone der Labradoritausscheidung Anorthosit und Forellenstein liefert. Scheidet sich später Labradorit-Andesin aus (Zone des Labradorit-Andesins), so hat das Magma Mangeritzusammensetzung (Mangerit 1, Typus Tveit). Später würde sich aus den Restschmelzen Mangerit 2 (Farsund) (Zone des Andesins), Mangerit 3 (Farsund) (Zone des Andesin-Oligoklas), Mangerit 4 (Hoisenö) (Zone des Oligoklas) bilden. Hypersthengranitisches bzw. charnockitisches Restmagma (Zone des Orthoklas) würde den (liquidmagmatischen) Abschluß bilden.

In der mesorthogenen Reihe verläuft die Abkühlung derart, daß der Olivin der Schmelze vor der Umwandlung zu Enstatit nicht ganz entzogen war. Harzburgite werden gebildet (Zone des Enstatits). Weiterhin wird zwischen noritischer (n) und gabbroider (g) Subreihe unterschieden. Vermischt sich die Diopsidausscheidung damit, so entstehen (in der Zone des Diopsids) Websterite (n), folgt Diopsid unmittelbar nach Erstausscheidungen von Olivin, so entsteht Wehrlit (g). Norite (n) und Gabbro (g) würden sich bei gleichzeitiger Labradoritausscheidung bilden. Die weitere Folge wäre:

n:	Augitnorit	Hypersthendiorit	Quarzhypersthendiorit	Granitit	} Granit
g:	Gabbrodiorit	Augitdiorit	Granodiorit	Augitgranit	
Zone:	Labr.-Andesin	Andesin	Andesin-Oligoklas	Orthoklas	

Die eporthogene Reihe entsteht bei massigen Gesteinen durch etwas erhöhte Abkühlungsgeschwindigkeit, bei Randfacies durch Druckentlastung und Entweichen der leichtflüchtigen Bestandteile, bei Gängen infolge beider Ursachen und infolge mangelnder Ruhe des in Spalten dringenden Magmas (Annäherung an paragen einerseits und hypogen andererseits). Nach Hommel sind pernative Hornblende und Glimmer charakteristisch für frühzeitiges Freiwerden der gelösten Gase, insbesondere H₂O. m und r sollen im Folgenden „massiges Auftreten“ einerseits und Gang- bis Randfaciesbildung andererseits bezeichnen. Lherzolithe (m) und Amphibolperidotite bzw. Glimmerperiodotite (r) charakterisieren die Zone des Enstatites (Amphibol und Glimmer statt Enstatit). Reine Diallagausscheidung ergibt (Zone des Diopsides) Diallagit (m). Bildet sich statt Diallag Hornblende, so entstehen Hornblendite (r).

Starke Diopsidausscheidung verhindert Labradoritbildung, in Rand- und Gangfacies hingegen entstehen Hornblendegabbro, Beerbachit, Orbit, Odinit in dieser Zone. Ornöit (m) wird der Labrador-Andesinzone zugeordnet, nachdem durch etwas rasche Abkühlung die Labradoritzone übersprungen wurde. Glimmer- und Gabbrodiorite, sowie Lucit wären entsprechende Randfacies- bis Gangbildungen.

Weiterhin soll nun im Falle m durch die starke Diopsidausscheidung das Magma syenitisch geworden sein, wobei unterschieden werden:

m:	Augitsyenit	Syenit	Natrongranit
Zone:	Andesin	Oligoklas	Orthoklas

Entsteht unter den anderen eporthogenen Bedingungen weiterhin Hornblende oder Biotit, so bilden sich:

r:	Hornblendediorit, Vogesit	Tonalit	Hornblendegranit
c:	Minette, Kersantit	Malchit	Syenitporphyr	Granitporphyr, Aplit
Zone:	Andesit	Andesin-Oligoklas	Oligoklas	Orthoklas

II. Die Gesteine der paragenen Klasse bilden sich bei größerer Abkühlungsgeschwindigkeit, die eine Trennung des Olivins von der Schmelze verunmöglicht, bei mittlerem Druck (teilweiser Gasabgabe) und unvollständiger Ruhe, das heißt öfterer Vermengung von Magmentteilen. Es wird frühzeitig Diopsid abgeschieden; da dieses Mineral an SiO₂ reicher ist als Olivin, sind

die Restschmelzen kieselsäureärmer und daher zur Bildung von Feldspatvertretern befähigt. Sie sollen auch in den spätern Stadien kalkärmer sein als die orthogenen, wegen des frühzeitigen Entzuges des CaO durch Diopsid. Wiederum werden drei Reihen als kataparagen (K), mesoparagen (M), epiparagen (E) unterschieden.

Der Erzausscheidungszone gehören Erze und in der epiparagenen Reihe der Jacupirangit an. Eine eigentliche Olivinzone fehlt und zur Enstatitzone werden nur Pikrite und Kimberlite gerechnet, denn es soll ja gerade das Überspringen dieser Ausscheidungsperiode die Klasse kennzeichnen.

Die Diopsidausscheidungen führen zu Alkali-Pyroxeniten (K), Hornblenditen (M), Pyroxeniten (Em) und Camptoniten (Er).*) Eine eigentliche Zone der Labradoritausscheidung soll wieder fehlen, da der Mg-Gehalt das Calcium zur Diopsidbildung verbraucht, so daß anschließend eine Phase der Nephelinausscheidung statt der Labradoritbildung auftritt. Allerdings soll diese Nephelinbildung nur unter mittleren (M) oder extremen (E) Verhältnissen der paragenen Gesteinsbildung jetzt schon einsetzen. Shonkinite und Jjolithe bilden sich bei gleichzeitiger Diopsidausscheidung (M), Urtite, wenn der Diopsid schon vorzugsweise entfernt ist (E). In (K) kann Nephelin mit Labradorit bis Andesin sich ausscheiden (Essexite-Theralithe). Zur Zone des Andesins werden die verschiedenen Abarten der Monzonite gerechnet (Quarzmonzonite als K, Monzonite als M, Nephelinmonzonite als Em, Natronminette als Er).

Kann schließlich der sich ausscheidende Plagioklas nurmehr Oligoklas sein, so bilden sich Akerit und Laurvikit (K), Pulaskit und Laurdalit (M), Elaeolithsyenite (Em), Tinguait, Sölvbergite (Er). Schließlich folgen Alkaligranite (K), Nordmarkite (M) oder Granulite und Paisanite (Er).

Die ganze Art der paragenen Gesteinsbildung bringt es mit sich, daß alle Übergänge vorhanden sind und scharfe Grenzen überhaupt nicht gezogen werden können.

III. Klasse. Hypogene Gesteine. Die Klasse umfaßt alle Ergußgesteinsformen. (Rascheste Abkühlungsgeschwindigkeit, rapides Entweichen der Gase, fließende Bewegung.) Diese Bildung kann in jedem Stadium der magmatischen Erstarrung eintreten, so daß sich eine große Mannigfaltigkeit ergibt. Die Natur

*) Em und Er sind in dieser Berichterstattung wieder für Gesteine von Massiven einerseits und von Rand- und Gangfacies anderseits gebraucht.

der intratellurisch gebildeten Einsprenglinge gibt über die Bedingungen vor der Extrusion Auskunft. Die dritte Klasse ist insofern nicht gleich behandelt wie die ersten zwei Klassen, als sie ja chemisch Repräsentanten beider enthält. Auch sie wird in eine Kata-, Meso- und Epireihe eingeteilt, wobei kata = Kata- und Meso-Orthogen, meso = Epiorthogen und Kataparagen, epi = Meso- und Epiparagen entsprechen sollen. Da die hypogene Gesteinsbildung meist paragene oder orthogene Phasen als Vorläufer hat (Einsprenglinge nach *Hommel*), treten Mineralumwandlungen (Resorptionen) bei der Bedingungsänderung häufig auf. (Pernative Hornblende und Biotit.) Andererseits können sich unter hypogenen Bedingungen besonders im Frühstadium Mineralien bilden, die unter anderen Verhältnissen nicht erhalten bleiben (Leucit, Melilith, Sodalithminerale z. T.).

Im Einzelnen ergibt sich folgendes:

Zone des Chromits: Erzbildungen.

Zone des Olivins und Enstatits: Gesteine, deren Magmen schon im Stadium der Olivinbildung abgeschreckt wurden und extrudierten. Es sollen wie in der Enstatitzone katahypogene Pikritporphyrite entstehen, in der Epireihe Eukolith- und Melilithbasalt, da sich hier auch Melilith bei sehr energischer Abkühlung ausscheidet. Daran schließen sich Alnoit, Farrisit, Bergalith an.

Zone des Diopsides: In der Mesoreihe, der die Enstatitbildung fehlt, entsteht nach Olivin der Titanaugit (Limburgit, Augitit, Monchiquit). Missouriit und Jumillit weisen auf Epibedingungen hin. Findet die Effusion erst nach Eintritt in die Zone des Labradorites oder Nephelins statt, so ergeben sich stärkere Unterschiede, je nachdem ob vorher ortho- oder paragene Verhältnisse vorhanden waren:

Kata	Meso	Epi
Diabase	Tephrite, Basanite	Nephelinite, Leucitite
Melaphyre		Verit, Fortunit usw.

Die Reihe der Kata- bis Hypobedingungen wird wie folgt fortgesetzt: Diabasporphyrte, Basalte; Andesite, Porphyrite; Quarzandesite, Quarzporphyrite; Liparite, Quarzporphyre, Felsitporphyre.

Ihnen sollen in der Mesoreihe entsprechen: Trachytoide Trachydolerite, Trachyandesite, Trachyte, Keratophyre, Rhombenporphyre, Quarzkeratophyre, Comendite, Pantellerite. Noch extremeren Bedingungen verdanken Leucitophyre, phonolithoide Trachydolerite, Phonolithe und Leucitphonolithe ihre Entstehung.

Über die weiteren Abschnitte dieses ja leicht zugänglichen Buches soll nicht berichtet werden, da in den hinterlassenen Manuskripten über die darin behandelten Fragen der Systematik der metamorphen und sedimentären Gesteine keine weiteren Erörterungen zu finden sind.

3. Bemerkungen des Berichterstatters zu Band I: Das System.

Wie aus dem Vorstehenden ersichtlich ist, baut sich *Hommels* genetische Klassifikation der Eruptivgesteine weitgehend auf den Ergebnissen der Arbeit von *N. L. Bowen*²⁾ „The later stages of the evolution of the igneous rocks“ auf. Sie ist jedoch in ihrer Ausdehnung auf das ganze Gesteinsreich ein erster umfassender Versuch, die Mannigfaltigkeit auf ein Grundprinzip zurückzuführen. Bei der Beurteilung des 1919 erschienenen Buches muß man bedenken, daß es sich um den I. Teil eines größeren Werkes handelt und die Anordnung keine lehrbuchmäßige ist. Es ist daher durchaus möglich, daß manche Widersprüche und Unklarheiten in den späteren Publikationen ihre Beseitigung erfahren hätten. Da zudem gleichzeitig oder später manche der Gedankengänge *Hommels* unabhängig davon von andern Forschern ausgesprochen wurden, erscheint es dem Berichterstatter wünschenswert, auf Grund der nachgelassenen Manuskripte die weitere Entwicklung der Ideen des zweifellos beachtenswerten Versuches öffentlich darzulegen. Auch dann, wenn der Versuch als Ganzes von der Fachwelt abgelehnt werden sollte, hätte eine Diskussion Wert, da man nur über den Irrtum der Wahrheit näher kommt. Es ist kein Zufall, daß der Berichterstatter besonders das Bedürfnis hat, sich der Arbeit seines Landsmannes anzunehmen. Fast gleichzeitig mit dem *Hommel'schen* Buch erschienen Versuche von ihm über das gleiche Problem der natürlichen Systematik der Eruptivgesteine.³⁾ Und es ist für jeden, der sich mit dieser schwierigen Frage befaßt, notwendig, durch Studium fremder Gedankengänge die eigene Einseitigkeit zu überwinden.

Bevor jedoch objektiv auf Grund der Manuskripte dargestellt werden soll, wie sich *Hommel* den II. Teil seines Werkes gedacht

²⁾ Journal of Geology vol XXIII 1915.

³⁾ Centralblatt für Mineralogie, 1920, 161—174. Verhandlungen der Schweiz. Naturf. Gesellschaft. Neuenburg, 1920. Lehrbuch der Mineralogie. Verlag Gebr. Bornträger, 1920.

hat, möge versucht werden, den I., jedem Fachmanne zugänglichen Teil, etwas näher zu beleuchten. Wir werden auf eine Reihe von Fragen aufmerksam zu machen haben, und man wird dann leichter selbst entscheiden können, ob der II. Teil, soweit er vor dem Tode des Forschers fertiggestellt war, eine Beantwortung bringt.

Der Grundgedanke, daß die Mannigfaltigkeit der Eruptivgesteinswelt im wesentlichen ein Produkt der verschiedenen physikalischen Bedingungen im Verlaufe der zentrifugalen Magmenwanderung und Abkühlung sei und eine ursprüngliche Verschiedenheit (wie sie beispielsweise die Geologen gerne annehmen) keine absolute nötige Voraussetzung darstelle, ist gleichzeitig und später von verschiedener Seite ausgesprochen worden und beherrscht weitgehend die Arbeitshypothesen der modernen Petrographie. Sowohl *V. M. Goldschmidt*⁴⁾ als der Berichterstatter⁵⁾ haben u. a. Gründe dafür angeführt. Gleichzeitig mit *Hommel* hat der letztere sogenannte normale Differentiationsreihen aufgestellt und systematisch verwertet, und *V. M. Goldschmidt* hat in der Arbeit von 1922 Stammesentwicklungen skizziert, die als Normalstamm, Mangeritstamm und Glimmerdioritstamm sehr nahe mit Teilen der katorthogenen, mesorthogenen und epiorthogenen Reihen *Hommels* übereinstimmen. Es ist recht und billig, wenn man in Zukunft daran denkt, daß *Hommels* Schrift 1919 erschienen ist, wenn sie auch, wegen der Formelsprache, zunächst von geringem direktem Einflusse war. Dem Berichterstatter liegt naturgemäß ein Vergleich seiner Reihen und Subreihen mit den Klassen und Reihen der *Hommel'schen* Klassifikation nahe.

Da muß zunächst auf eine Eigenart des *Hommel'schen* Klassifikationsversuches das Augenmerk gerichtet werden. *Hommel* hat versucht, sich von allen überlieferten Vorstellungen frei zu machen. Er sagte sich offenbar, daß, wenn die Differentiation durch die physikalisch-geologischen Umstände bedingt sei, diese Verhältnisse aber auch die wesentlichsten Faktoren für die Ausbildungsweise eines Eruptivgesteines als Tiefen-, Gang- oder Ergußgesteines darstellen, ein Prinzip die Gesamtsystematik ergeben muß. Er teilt somit nicht in Tiefen-, Gang- und Ergußgesteine einerseits ein, und bildet nach irgend einem andern, davon unabhängigen Grundsatz

⁴⁾ *V. M. Goldschmidt*: Stammestypen der Eruptivgesteine. Vid. Skr. I. Mat.-Nat.-Kl. 1922, Nr. 10.

⁵⁾ Siehe loc-cit ferner: Mineral- und Gesteinsprovinzen. Verlag Gebrüder Bornträger, 1923. Diese Mitteilungen Bd. II, 169—275 [1922]. Trans. of the Faraday Soc. Nr. 60, vol. XX, Part. 3.

genetische Reihen, sondern die Ganggesteine finden sich unter den Epireihen der orthogenen und paragenen Klasse, die Ergußgesteine bilden eine mit ortho- und paragen scheinbar gleichartige Klasse für sich. Struktur, Mineralbestand und Chemismus werden nicht einzeln, sondern in einer eigenartigen Kombination klassifikatorisch verwertet.

Auf Grund des ersten, einzig publizierten Teils des Werkes würde man etwa folgende Einwendungen gegen dieses Vorgehen machen können. Prinzipiell sind Differentiations- und Erstarrungsort auseinander zu halten, wenn sie auch in Einzelfällen identisch sein können. Am erstern Ort bilden sich die differenten chemischen Zusammensetzungen, am letztern Ort kann ein so entstandenes Teilmagma ohne weitere chemische Verschiebungen als Ganzes erstarren. Es ist an sich möglich, daß jedes Teilmagma oder jede Restschmelze irgend eines Differentiationsstadiums nach außen dringt und als Ergußgestein erstarrt. Wohl werden sich dabei Gleichgewichtsverschiebungen und Mineralumwandlungen abspielen können, die denen z. T. analog sind, die bei der Tiefendifferentiation die verschiedenen Verläufe bedingen, aber es fehlt im allgemeinen die Zeit für die Auswirkung zur Bildung einer neuen Differentiationsserie. Etwas durchaus anderes wäre der vielleicht fruchtbare Gedanke, daß gewisse Teilmagmen unter gar keinen anderen Bedingungen entstehen können als solchen, die einem erdoberflächennahen Herd zukommen. Dann würde es gewisse Magmenzusammensetzungen geben, die normalerweise in abyssischen Gesteinsformen nicht auftreten, für die also vulkanischer Charakter kennzeichnend ist. In der Tat scheint derartige vorhanden zu sein und *Hommel* hat recht, wenn er schreibt, daß man einem Schema zuliebe nicht zu jeder Oberflächenfacies eine Tiefenfacies kreieren müsse. Aber ebensowenig darf man aus diesem Grund alle Ergußgesteine gleich behandeln. Nun hat natürlich auch *Hommel* die Ungleichwertigkeit der ersten zwei Klassen der dritten gegenüber erkannt und er hat ausdrücklich die dritte Klasse der Gesamtheit von orthogen und paragen zugeordnet (siehe Seite 64). Es handelt sich also mehr um eine Bezeichnungs- und Definitionsfrage und es wird zweckmäßig sein, zunächst von dieser Besonderheit abzusehen. Wir können das, indem wir die zwei plutonischen Klassen einzig zum Vergleich mit andern Systemen heranziehen. Da fällt zunächst auf, daß *Hommel* selbst Seite 100 seines Buches (siehe Seite 60 dieser Arbeit) von drei Reihen spricht, an deren Stelle er erst später, ohne nähere Begründung,

zwei Klassen mit je drei Reihen setzt. Der Grund ist ein offensichtlicher. Die Zweiklasseneinteilung schließt sich ziemlich genau an die ältere Einteilung pazifisch (bezw. Kalkalkalireihe), atlantisch (bezw. Alkalireihe) an, und die Subteilung der Dreierheit zeigt Analogie mit der Systematik metamorpher Gesteine. Daß die syenitischen, oft mit leucitführenden Gesteinen vergesellschafteten Eruptivgesteinsformen eine Mittelstellung einnehmen zwischen Gesteinen der ausgesprochenen Kalkalkali- und der Natronreihe, ist somit *Hommel* nicht entgangen, aber er verläßt diese Erkenntnis zu Gunsten eines allgemeinen Schemas. Die gleichzeitigen Versuche der Systematik durch den Berichterstatter führten zu durchaus ähnlichen Ergebnissen, wie sie *Hommel* Seite 100 (seines Buches) formuliert und wie sie durch die experimentellen Untersuchungen seither (Orthoklasumwandlung) ihre nähere Begründung erfahren haben. Der Berichterstatter hat indessen an der Dreierteilung festgehalten und eine Kalkalkalireihe, Kalireihe und Natronreihe unterschieden. Kata- und meso-orthogen entspricht ziemlich genau der Kalkalkalireihe; ein großer Teil der epi-orthogenen Reihe zusammen mit einzelnen paragenen Gesteinen würde zur Kalireihe gehören, der große Rest der paragenen Klasse wäre zur Natronreihe zu rechnen. Auf die vom Berichterstatter bei Fortführung seiner Arbeiten sorgfältig zu prüfenden einzelnen Differenzen in der Anordnung kann hier nicht näher eingegangen werden; manche Reihen des einen entsprechen Subreihen des anderen, wie sie durch die Diagramme gekennzeichnet wurden. Die Übergänge und gegenseitigen Abhängigkeitsbeziehungen sind durch Bezeichnungen wie: „schwach“ oder „extrem“ einer Hauptreihe zugehörig, bei dem Berichterstatter zum Ausdruck gekommen. Übereinstimmung herrscht im Gedanken der Reihenentwicklung, des kontinuierlichen Zusammenhanges der Reihen untereinander, der jedoch trotzdem zweckmäßigen Obereinteilung in zwei oder drei Hauptgruppen. Ein grundsätzlicher Unterschied besteht in der Art, wie diese Reihen gebildet wurden. Der Berichterstatter ging ganz empirisch vor. Er versuchte den Chemismus der Eruptivmagmen in einzelne Typen aufzulösen und durch ein eingehendes Studium der Verbandsverhältnisse häufige Zusammenhänge klassifikatorisch herauszugreifen. Wie *Hommel* hat er nie verhehlt, daß in der Natur die Beziehungen viel komplexerer Art sein können, so daß praktisch jedes Teilmagma mit jedem anderen in einer geologischen Einheit möglich ist. Es sind jedoch einzig die häufigsten und die einfachsten Verbände für systematische Zwecke ver-

wendbar; nur mit Hilfe des Einfachen läßt sich das Komplizierte und Anormale verstehen. So entsprechen Provinzen mit Gesteinen, die vorzugsweise der Kalkalkalireihe angehören, einer an sich wohl definierten Gruppe, die den alten Namen pazifisch weiterführen kann. Atlantisch und mediterran sind Bezeichnungen für Provinzen mit Gesteinen, die vorwiegend zur Natron- bzw. Kalireihe gehören. Misch- und Übergangsprovinzen komplexerer Natur sind erst auf Grund der Aussonderung dieser Hauptfälle verständlich.

Ist somit verschieden er Chemismus der einander zugeordneten Teilmagmen als Folge verschieden verlaufender Sonderungsprozesse die Grundlage für den Klassifikationsversuch des Berichterstatters, so ist ganz selbstverständlich, daß Ergußgesteine, die chemisch Tiefengesteinen entsprechen, genetisch auch gleich behandelt werden. Es zeigte sich dann, daß die empirisch gegebenen Hauptzusammenhänge mit verschiedenen molekularen Gleichgewichtsverhältnissen in Beziehung gebracht werden können,⁶⁾ woraus folgt, daß geologisch-physikalisch verschiedene äußere Bedingungen und durch andersartige Kristallisation hervorgerufene Stoffverschiebungen den einen oder andern Differentiationsverlauf zu bestimmen imstande sind.

Aus dem ersten Teil des *Hommel'schen* Werkes ist nicht genau ersichtlich, auf welchem Wege die Resultate primär erhalten wurden. Dargestellt ist das System so, als ob es eine einfache Konsequenz der Kristallisationsdifferentiation wäre. Über den speziellen Mechanismus dieser Differentiation wird jedoch in diesem Teil noch gar nichts ausgesagt, so daß manches etwas widerspruchsvoll erscheint. Auch über die Ursprungszusammensetzung des tellurischen Magmas finden wir keine näheren Angaben. Man glaubt aus allem schließen zu müssen, daß *Hommel* an eine Art gabbroides Magma denkt und ist dann erstaunt über die Bemerkung auf Seite 130: „Die Monzonite stellen, wie *Rosenbusch* wiederholt hervorhebt, die ungespaltenen erstarrten Formen des tellurischen Magmas dar.“

Der Grundgedanke der Kristallisationsdifferentiation ist nach der Wiederbelebung durch die Arbeiten *Bowen's* mehrfach zur Deutung herangezogen worden. Er hat auch manchen Widerspruch⁷⁾ in dem Sinne erfahren, daß zum mindesten bemerkt wurde,

⁶⁾ Siehe insbesondere *P. Niggli*. Trans. of the Faraday Soc. Nr. 60, vol. XX.

⁷⁾ *J. H. L. Vogt*: Journal of Geology XXIX [1921] 318—648; XXX [1922] 611—672; XXXI 1923—719. *P. Niggli*: Verhandlungen der Schweiz. Naturf. Gesellschaft, Neuenburg, 1920.

die einfachen Vorstellungen einer Kristallaussaigerung seien unhaltbar und ungenügend.

Prinzipiell ist folgendes zu sagen: Wer auf dem Standpunkt steht, daß lediglich fraktionierte Kristallisation im Laufe der Zeiten die Restzusammensetzung des Magmas ändere und alle magmatischen Gesteine entweder Saigerungsprodukte oder erstarrte (zum Teil abgewanderte, bezw. abgequetschte) Restschmelzen seien, hat im Einzelprovinzialbeispiel darzutun, daß tatsächlich die Magmen durch einfache Addition beziehungsweise Subtraktion gleichzeitig kristallisierender Mineralien auseinander ableitbar sind. Die derart verwendeten Mineralkombinationen müssen, natürlich unter Mitberücksichtigung des sogenannten Reaktionsprinzips,⁸⁾ eine richtige und in der Natur wiedererkennbare Ausscheidungsfolge bilden. Aus den Differentiationsdiagrammen, wie sie sich beispielsweise mit Hilfe der neuen Molekularwerte konstruieren lassen, ist eine Nachprüfung außerordentlich einfach und es ist erstaunlich, daß bis jetzt kaum allgemein versucht worden ist, quantitativ die Verhältnisse nachzuprüfen.

Es ließen sich rechnerisch verschiedene aus der Erfahrung gewonnene Ausscheidungsverhältnisse verfolgen und diagrammatisch die Änderungen in der Zusammensetzung der Rückstandslösungen darstellen. Diese theoretischen Beispiele müßten dann genau mit Differentiationskurven verglichen werden.⁹⁾ Der ursprüngliche Vergleich von *Bowen* mit dem Erstarrungsdiagramm sogenannter Haplogabbros hat ja wohl dargetan, daß eine Analogie vorhanden ist, jedoch genügt er nicht.

Die Vorstellung der einfachen fraktionierten Kristallisation nötigt zu einer scharfen Unterscheidung zwischen Rückstand und Differentiat. Wenn, wie wohl allgemein angenommen wird, der flüssige Rückstand für sich weiter wandern kann und unter gewissen Bedingungen nun rasch und einheitlich erstarrt, während das Differentiat ein festes Saigerprodukt ist, müßten eigentlich die Eruptivgesteine eines Stammes in eben diese zwei auch strukturell verschiedene Gruppen zerfallen. Es ist ein in den Diskussionen mehrfach hervorgehobener, schwacher Punkt dieser einfachsten Vorstellung der „Kristallisationsdifferentiation“, daß objektiv betrachtet uns die Natur (ab-

⁸⁾ Siehe z. B. *N. L. Bowen*: The reaction principle in petrogenesis. *Journal of Geology* vol. XXX, 1922.

⁹⁾ Solche Untersuchungen sind im Institut des Berichterstatters im Gange.

gesehen von einigen untergeordneten Fällen) nichts derartiges zeigt. Es sei nur an die Diskussion über das Anorthositproblem erinnert, an die Tatsache, daß so ausgesprochene Differentiate, wie Peridotite und Lamprophyre, deutlich Entstehung aus flüssigen, intrusionsfähigen Magmen erkennen lassen. Es ist daher durchaus verständlich, wenn von anderer Seite im Gegensatz zur Hypothese der Kristallisationsdifferentiation immer und immer wieder betont wird, daß die magmatische Differentiation zu einem großen Teil eine Angelegenheit der Magmaschmelze sei.

Bei einfacher fraktionierter Kristallisation müßten die Rückstandslösungen im Laufe ihrer Entwicklung an gewissen Stoffen verarmen, an anderen sich anreichern, die Zwischenprodukte müßten stets aus sich die ältern und die jüngern ableiten lassen. Anders die Saigerungsprodukte; sie könnten mono- oder polymineralisch sein, bei den einen könnten gewisse noch nicht oder nicht mehr zur Ausscheidung gelangende Stoffe völlig fehlen, die für andere kennzeichnend sind. (Unter Stoffe sind natürlich nicht nur Mineralien, sondern chemische Komponenten gemeint, da Änderung der Rückstandszusammensetzung ohne weiteres Änderung der Mineralausfällungen zur Folge haben kann.) Daraus ergibt sich, daß eine Darstellung auf Grund dieses Prinzipes vom Ursprungsmagma auszugehen hat unter scharfer Kennzeichnung der Magmenänderung und der Mineralien, die absinken oder aufsteigen. *V. M. Goldschmidt* hat dies für Reihen, wie sie in ähnlicher Weise schon *Hommel* konstruierte, in der oben zitierten Arbeit getan, *Hommel* selbst legt der ganzen Betrachtung nur die Zoneneinteilung zu Grunde und läßt uns, wenigstens im bereits publizierten Teil seiner Arbeit, im Unklaren, was Rückstand und was Differentiat sein soll. Die Zoneneinteilung scheint an manchen Stellen lediglich eine Klassifikation nach dem kennzeichnenden oder hauptsächlichsten Mineral eines Gesteins zu sein, also eine Art mineralogisch-typomorphe Gesteinseinteilung. Andererseits aber wird stets die genetische Beziehung betont. So ergeben sich Widersprüche, die nur scheinbar sein können, weil *Hommel* im ersten Teil über den Prozeß selbst nichts näheres aussagt. Deshalb ist es wichtig, seine weiteren, Manuskript gebliebenen Darlegungen kennen zu lernen. Es sei etwa an folgendes erinnert: Die Zonen des Chromits, Olivins, Enstatits und Diopsids enthalten fast ausschließlich mono- bis trimineralische Gesteine, wir würden sie als Saigerprodukte ansprechen, ohne daß sich gegenüber den anderen im Auftreten und der Ausbildungsweise ein fundamentaler Gegensatz ergibt.

Wenn nun gleichbedeutend die Zonen der verschiedenen Feldspäte behandelt werden, so handelt es sich in einzelnen Entwicklungsreihen unzweifelhaft um Änderungen der Zusammensetzung der Restschmelze. Der Nephelinit indessen ist normalerweise ein bi-mineralisches Kristallisationsprodukt, aus dessen Magma durch die Kristallisation von Nephelin und Augit kaum phonolithische Restschmelze ohne weiteres entstehen kann. Die Interpretationen des Zonenbegriffes und der im engern Sinn genetischen Beziehungen der Glieder einer Reihe fehlen somit im I. Teil. Wiederum wollen wir dies nur konstatieren und uns noch kurz einem vom Standpunkte der Kristallisationsdifferentiation offenbar sehr fruchtbaren Gedanken zuwenden, der nach Hinweisen von *Bowen* erst in der *Hommel'schen* Arbeit seinen prägnanten Ausdruck findet. Es ist der weitgehend durchgeführte Gedanke, daß durch Variation in der Ausscheidungsfolge oder in der Art der ausgeschiedenen Mineralien verschiedene Reihen erzeugt werden, wie sie natürlichen Vergesellschaftungen entsprechen. Diesen Gedanken hat *V. M. Goldschmidt* aufgegriffen und in Einzelbeispielen Resultate erhalten, welche die *Hommel'schen* bestätigen. Schon letzterer hat Kristallisationsgeschwindigkeit, Gehalt an leichtflüchtigen Bestandteilen, tektonische Verhältnisse als maßgebende Faktoren erwähnt. Besonders bestechend und einer näheren Prüfung wert erscheint auf den ersten Blick die Annahme, daß primäre Ausfällung von Olivin oder von Diopsid (unter Überspringen der Olivinphase) für orthogen (Kalkalkalireihe) bzw. paragen (Alkalireihe) kennzeichnend sei. Dadurch würden die Rückstandsschmelzen der Magmen der orthogenen Klasse relativ kieselsäure- und kalkreicher, die paragenen abgeleiteten Magmen relativ kieselsäure- und kalkärmer (da ja Diopsid höher silifiziert ist, somit von Anfang an dem Magma mehr Kieselsäure entzogen wird). Eine Folge davon wäre nach *Hommel*, daß weniger Anorthitmolekül unter paragenen Verhältnissen übrig bleibt und die Alkalialumosilikate in niedriger silifizierten Formen auftreten. Es wäre wiederum ein Leichtes, diese Annahme quantitativ nachzuprüfen, das heißt festzustellen, ob es ein plausibles Urmagma gibt, das je nach dem einen oder andern Verlauf der fraktionierten Kristallisation zu Magmentypen der einen oder anderen Reihe führt. Nur beiläufig, und ohne dieser Untersuchung vorzugreifen, sei bemerkt, daß unter allen Umständen besondere Kristallisationsverhältnisse angenommen werden müßten. Denn zunächst würde man glauben, daß die paragenen Magmen dann auch relativ Mg-reicher sein müßten, da ihnen ja Mg-Silikat

für sich allein nicht entzogen wurde. Das gilt unter keinen Umständen für die typischen Magmen der Natronreihe, im Gegenteil, bei gleichem SiO_2 -Gehalt sind sie ausgesprochen Mg-ärmer als die der Kalkalkalireihe. Es sollte also im Falle der eigentlich paragenen Gesteinsbildung in Form des Diopsides gleichviel, oder mehr Kalk und Magnesium abwandern als bei der orthogenen Kristallisation durch Nacheinanderausscheidung von Olivin, Enstatit und Diopsid und teilweise von basischem Plagioklas. Das ist an und für sich (infolge von Gleichgewichtsverschiebungen) durchaus nicht undenkbar, bedarf jedoch von verschiedener Seite der Nachprüfung.

Als Ganzes ist der sehr alte, neuerdings wiederbelebte Gedanke, die magmatische Differentiation sei eine Folge der mit der Abkühlung verbundenen Kristallisation, als Arbeitshypothese außerordentlich fruchtbar. Erst neuerdings ist er bewußt und konsequent auf das Problem der magmatischen Erzlagerstättenbildung¹⁰⁾ übertragen worden. Es ist überraschend, wie durch seine Anwendung die Hauptzüge des natürlichen Zusammenhanges magmatischer Produkte richtig wiedergegeben werden können. Aber auch das an sich vielleicht noch schlagendere Beispiel der Erzlagerstätten zeigt, daß der Parallelismus nur die großen Linien der Verbandsverhältnisse wiedergibt, daß im Einzelnen durch die äußeren Umstände (z. B. Absieden, Destillation, Reaktion mit Nebengesteinen, Gleichgewichtsverschiebungen u. s. w.) bedingte, theoretisch leicht diskutierbare Abweichungen auftreten. Und, wie schon betont, führt die unmittelbare Übertragung auf die liquidmagmatischen Bildungen zu Konsequenzen, die ihre Bestätigung in der Natur ohne Zwang nicht finden. Der total andere Aufbau der chemischen, schichtigen Sedimente, bei deren Entstehung ähnliche Prinzipien wirksam waren, mahnt zum Aufsehen. In solchen Fällen ist es immer ratsam, zu überlegen, ob nicht eine allgemeinere Formulierung die richtige sei, wobei das engere Prinzip nur teilweise oder regulierend auftritt. In diesem Sinne bewegen sich die Gedankengänge des Berichterstatters. Auch er ist der Überzeugung, daß die Differentiation aktivierten Magmas eine Folge der Änderung der äußeren Bedingungen ist und somit mit der unter den jeweiligen besonderen geologischen Verhältnissen erfolgenden Abkühlung im

¹⁰⁾ *P. Niggli*: Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma. Preisschrift der Fürstl. Jablonowskischen Gesellschaft, Leipzig 1920. Versuch einer natürlichen Klassifikation der im weitern Sinne magmatischen Erzlagerstätten. Abhandlung zur praktischen Geologie und Bergwirtschaftslehre. Bd. 1 [1925], 1–69.

organischen Zusammenhang steht. Die primäre Einwirkung einer Änderung der Systemsbedingungen macht sich in den innermolekularen Gleichgewichten geltend. Diese Gleichgewichte bedingen die Art der Kristallisationsprodukte. Die Frage ist nun zunächst die, ob die Variation der Systemsbedingungen innerhalb eines tiefgelegenen Magmaherdes genügt, um bereits in der flüssigen Phase, vor jeglicher Kristallisation, durch Gleichgewichtsverschiebungen bedingte, größere differentielle Wanderungen auszulösen. Dabei ist vor allem darauf hinzuweisen, daß die „Empfindlichkeit“ der sogenannten leichtflüchtigen Bestandteile auf Druckunterschied, sowie die lokale Assimilationsfähigkeit (tiefgelegener Magmenherde!) Faktoren sind, die im Laboratorium beim Studium an trockenen Schmelzflüssen in unangreifbaren, homogenen Gefäßen nicht zur Geltung kommen. Die Schwerkraft allerdings wird bei nicht zu gewaltigen Magmenmassen in größerem Maße erst wirksam sein können, wenn die Aussonderung fester Phasen erfolgt. Wenn wir jedoch schon auf dem Meeresgrunde wahrnehmen, wie die ausgeschiedenen oder niedersinkenden Teilchen in neue Reaktionen, Resorptionsstadien u. s. w. eintreten (Halmyrolyse!), dürfen wir in den Magmenherden mit ihrem ausgesprochenen Temperaturgefälle nach außen hin analoge Erscheinungen nicht vernachlässigen. Jeder Entzug oder jede Addition von Molekülarten in einem Teil des Magmas ändert die chemische Zusammensetzung und die inneren Gleichgewichte und muß so notwendig zu diffusionsartigen, neuen Wanderungen gelöster Stoffe führen, wobei letzten Endes ein stationärer Zustand sich einstellen wird. Werden jedoch niedersinkende Bestandteile wieder aufgelöst, so können sie wegen der Wiederausfällung nicht nach oben rückwandern, der Ausgleich muß also in anderer Richtung erfolgen und die bauschalchemischen Unterschiede eher vergrößern. So kann, wenn auch Erstkristallisationen zu einem Teil die Vehikel des Transportes sind, der Schlußeffekt in einer Art Übereinanderschichtung chemisch verschiedener, in der Hauptsache völlig flüssiger Magmenteile bestehen. Rückstand und Differentiat sind als Teile eines stationären Systemes einander mehr oder weniger gleichberechtigt. Immer sind es die durch die genannten Umstände bedingten chemischen Gleichgewichte, die regulieren und die Verteilung bedingen, ob nun Assimilation, Änderung im Gehalt an leichtflüchtigen Bestandteilen, Kristallwanderung oder alle drei auslösend wirken. Deshalb darf es uns nicht verwundern, daß unter gleichen Bedingungen, auch bei verschiedener Intensität der einzelnen Faktoren, analoge

Produkte entstehen, die wir eventuell theoretisch nur unter Zuhilfenahme des einen Prinzipes verstehen könnten. Naturgemäß können solche langsam sich abspielende, riesenhafte Prozesse nur bei sehr gemächlich verlaufenden Bedingungsänderungen auftreten. Bei einer letzten Intrusion und bei relativ (geologisch gesprochen) rascher Abkühlung dürfen sie kaum im ganzen Ausmaß in den äußeren Teilen der Erstarrungsmasse sichtbar sein. Daß sie sich aber beispielsweise in der Tiefe der granitischen Magmaherde abspielen, zeigt das Gangfolge und die Nachfolge der Pegmatite und Erzlösungen. Gerade das Empordringen flüssiger Lamprophyrmagmen von einem Chemismus, der dem der aplitisch-pegmatitischen Restlösungen polar ist, gilt als Beweis dafür, daß ohne Zuhilfenahme solcher erweiterter Vorstellungen nicht auszukommen ist.

Wenn es auch in diesem Falle didaktisch zweckmäßiger ist, beim Studium der Differentiationserscheinungen von den innermagmatischen Gleichgewichten auszugehen, ist wegen der unzweifelhaft möglichen Mitwirkung der fraktionierten Kristallisation (im oben genannten Sinn) alles, was davon handelt, außerordentlich wichtig. Und so sollten diese Erörterungen nur das Interesse wecken für die weiteren Darlegungen, die den *Hommel*-schen Manuskripten zum II. Teil seines Werkes entnommen werden können. Der erste Teil läßt uns, was kein Vorwurf sein soll, über manche seiner Ansichten im Unklaren; es interessiert uns, nachzuschauen, inwiefern die fertiggestellten Kapitel des zweiten Teiles Antwort zu geben vermögen.

4. Die nachgelassenen Schriften W. Hommels.

Aus den hinterlassenen Manuskripten ist ersichtlich, daß für den II. Teil des Werkes folgende Disposition geplant war:

- I. Theorie der Schmelzvorgänge und der Erstarrung des Magmas.
- II. Die Differentiationsvorgänge im Magma und die Entstehung der Gesteine.
- III. Nomenklatur und Klassifikation der Gesteine.
 - I. Klasse Orthogene Gesteine.
 - II. Klasse Paragene Gesteine.
 - III. Klasse Hypogene Gesteine.

Sehr viele Analysenberechnungen, Schliff- und Gesteinsuntersuchungen legen von der gründlichen Vorbereitung Zeugnis ab. Das Manuskript selbst ist unvollständig, insbesondere finden sich

über paragene und hypogene Gesteine nur spärliche Angaben. Eine Publikation des Ganzen kommt daher nicht in Frage, abgesehen davon, daß *Hommel* wohl selbst viele neuere Ergebnisse in die bereits mehr oder weniger fertiggestellten Manuskriptteile eingearbeitet hätte.

I. Theorie der Schmelzvorgänge und der Erstarrung des Magmas.

Dieser in sich noch nicht abgeschlossene Teil umfaßt etwas mehr als 80 maschinengeschriebene Seiten, einzelne Figuren sind gezeichnet oder skizziert, andere fehlen. Es handelt sich um eine sehr hübsche Darstellung der Vorgänge der Silikatschmelzerstarrung, wie sie in der Zwischenzeit in ähnlicher Art in der zweiten Auflage von *H. E. Boekes* „Physikalisch-chemischer Mineralogie“¹¹⁾ erschienen ist.

Es wird daher gerade dieser Teil hier nur zu skizzieren sein. Besonderes Interesse erweckt es, daß *Hommel* jeweilen von Beispielen der Metallurgie ausgeht und erst daran die Untersuchungen über Silikatschmelzen anschließt. Manches dieser Beispiele eignet sich recht gut für Unterrichtszwecke, so daß es gerechtfertigt erscheint, das eine oder andere hier ausführlicher darzustellen.

Die Einleitung zu diesem Kapitel lautet unter dem Titel: „Einige Grundzüge aus der Theorie der Erstarrungsvorgänge“ folgendermaßen:

„Über die Vorgänge, die sich bei der Erstarrung einer schmelzflüssigen Masse abspielen, herrschten in früherer Zeit sehr verworrene Anschauungen. Erst die physikalische Chemie führte zu einer Klärung der zum Teil recht komplizierten und eigenartigen Verhältnisse. Insbesondere haben die Forschungen auf dem Gebiete der Metallographie bahnbrechend gewirkt. Das Studium der Erstarrungsvorgänge bei geschmolzenen Metallen hat sich deshalb als besonders fruchtbar erwiesen, weil die in Frage kommenden Reaktionen sich rasch abspielen und durch geeignete Maßnahmen sich bis in alle Einzelheiten verfolgen lassen. Später wurden dann diese Forschungen auch auf das Gebiet der Silikatschmelzen ausgedehnt und durch eine Reihe höchst sinnreicher Vorrichtungen gelang der Nachweis, daß auch für diese die gleichen physikalisch-chemischen Gesetze Gültigkeit besitzen. Es ist nun nicht meine Absicht, an dieser Stelle eine umfassende Darstellung aller in

¹¹⁾ *H. E. Bøke-W. Eitel*. Verlag Gebr. Bornträger, 1923.

Frage kommenden Verhältnisse zu geben, sondern ich möchte nur andeutungsweise diejenigen hervorheben, die zum Verständnis des Nachfolgenden unbedingt erforderlich sind und auf die besonders häufig zurückgegriffen werden muß. Für ein eingehenderes Studium verweise ich auf das bahnbrechende Werk von H. E. Boeke: „Grundlagen der physikalisch-chemischen Petrographie“ (Berlin 1915, Gebr. Borntraeger), das nicht warm genug empfohlen werden kann. Eine wertvolle Ergänzung dieses Buches für die magmatischen Zustände, die sich unter Mitwirkung der gelösten Gase einstellen, bildet Paul Niggli's von der Fürstl. Jablonowskischen Gesellschaft preisgekrönte Schrift „Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma“ (Leipzig 1920, B. G. Teubner).

Die Vorgänge bei der Erstarrung einer schmelzflüssigen Masse werden umso komplizierter, je zahlreicher die Komponenten sind, die die Schmelze zusammensetzen. Mehrere solcher Komponenten werden als ein System bezeichnet. Wir sprechen so von Zweistoff-, Dreistoff-, Vierstoff- und Mehrstoffsystemen, je nachdem die Schmelze aus ebensovielen Bestandteilen zusammengesetzt ist. Auch hierin zeigt sich ein Vorteil, die grundlegenden Tatsachen anhand von Metallen zu studieren, weil wir es dabei mit einfachsten Stoffen, nämlich den Elementen selber, zu tun haben. Nun hat sich aber gezeigt, daß viele chemische Verbindungen sich im Schmelzfluß genau so verhalten, als ob sie einfache Stoffe wären.¹²⁾ So z. B. kann das System Diopsid-Kieselsäure als Zweistoffsystem behandelt werden, obwohl es eigentlich das Vierstoffsystem Ca-Mg-Si-O darstellt. Ebenso verhält sich das System Diopsid-Anorthit wie ein Zweistoffsystem, obwohl es in Wirklichkeit einem Fünfstoffsystem, nämlich Ca-Mg-Al-Si-O, entspricht. Es liegt dies darin begründet, daß eben diese Verbindungen nicht dem gesamten System ihrer Elemente, sondern nur einem Teil, einem Ausschnitt aus demselben entsprechen, der innerhalb seiner Grenzen die Charaktere eines Zweistoffsystemes zeigt. Diese Erkenntnis ist für das Studium der Silikatschmelzen von außerordentlich weittragender und fruchtbarer Bedeutung geworden. Eine weitere Erkenntnis von fundamentaler Bedeutung ist dann noch die, daß unter verschiedenen äußeren Bedingungen, namentlich der Temperatur, sich ganz verschiedene Gleichgewichte in einer Vielstoffschmelze einstellen. Die bei der

¹²⁾ Daß dies nicht bei allen Silikaten der Fall ist, zeigen z. B. die Systeme Anorthit-Olivin und Diopsid-Nephelin, von denen das erstere in gewissen Mischungsverhältnissen Spinell ausscheidet, während beim zweiten intermediär Olivin und Melilith auftritt.

Erstarrung entstehenden Produkte sind abhängig von der Art und Zusammensetzung der reaktionsfähigen Moleküle. Bei höheren Temperaturen vereinigen sich die die Schmelze zusammensetzenden Elemente zu ganz anderen Molekülen, als bei tieferen. Kennen wir einmal die Molekeltypen, die innerhalb einer bestimmten Temperaturzone reaktionsfähig sind, so können wir infolgedessen für diese Zone das tatsächlich vorhandene Vielstoffsystem auf ein einfacheres von zwei oder drei Molekeltypen beschränken. Dies ist auch der tiefere Sinn der Zonen unseres genetischen Systems, die ja nichts anderes als solche Temperaturzonen darstellen. *Niggli* hat diese grundlegende Tatsache folgendermaßen formuliert¹³⁾: „Unter bestimmten äußeren Bedingungen stellt sich zwischen allen Molekeltypen ein ganz bestimmter Gleichgewichtszustand in der magmatischen Lösung ein, so daß bei gegebener Bruttozusammensetzung die Konzentration an jeder Molekelart eindeutig fixiert ist. Diese Konzentration ist ihrerseits von Temperatur, Druck und Bruttozusammensetzung abhängig.“

Außer den Vorgängen, die sich während der Erstarrung, d. h. beim Übergang aus dem flüssigen in den festen Zustand abspielen, sind für uns nun auch die Umwandlungen von größtem Interesse, denen feste, ausgeschiedene Produkte während der weiteren Abkühlung unterworfen sind. Mit der Erreichung des festen Zustandes ist ja die Möglichkeit einer weiteren molekularen Umlagerung absolut nicht ausgeschlossen. Bei einfachen Stoffen, wie z. B. beim Schwefel, gibt sie sich durch die Veränderung der Kristallform zu erkennen. Auch andere Beispiele, wie etwa das durch verschiedene Temperaturen bedingte Auftreten der Kieselsäure als Cristobalit, Tridymit und Quarz, sind ja zur Genüge bekannt. Es können aber auch aus mehreren Molekelarten zusammengesetzte Kristalle, die bei höherer Temperatur vollkommen homogen erscheinen, während des Abkühlens sich in ein heterogenes Gemisch verschiedenartiger Mikrolithen zersetzen, unter Beibehaltung der ursprünglich äußeren Kristallform. Wir werden daher unsere Betrachtungen auf zwei Gebiete ausdehnen müssen, nämlich einmal auf den Übergang vom flüssigen in den festen Zustand und zweitens auf die Umwandlungen im letzteren bei abnehmender Temperatur.“

Unter „A. Erstarrungsvorgänge“ werden zuerst die „Zweistoffsysteme“ behandelt. Es werden die Möglichkeiten der einfachen

¹³⁾ Neuere Mineralsynthesen II. Fortschr. d. Min. u. c, Bd. 6, 1920, 61.

Kristallisation, der Mischkristallbildung und der Bildung von Verbindungen skizziert und hierauf an Einzelfällen die besonderen Gesetzmäßigkeiten erläutert. Damit man im Stande ist, sich über die Behandlungsweise ein Bild zu machen, seien zwei einfache Beispiele in extenso angeführt. Der Berichterstatter glaubt, daß die Art der Darstellung sehr lehrhaft ist und in dieser Form für Unterrichtszwecke geeignet erscheint. *Hommel* schreibt über die Systeme Blei-Antimon und Anorthit-Albit folgendes:

a) Das System Blei-Antimon.

„Dieses System bildet ein Schulbeispiel für die vollkommene Löslichkeit im flüssigen und die ebenso vollkommene Unlöslichkeit im festen Zustand. Die homogene Schmelze der beiden Metalle scheidet also beim Erstarren reine Kristalle einerseits von Blei, andererseits von Antimon ab. In welcher Reihenfolge diese Abscheidung erfolgt, das ist eine Frage der Konzentration, d. h. der prozentualen Menge, in welcher jeder Bestandteil in der Schmelze enthalten ist. Die sich abspielenden Vorgänge bringen wir in Form eines Diagrammes, aus dem sich für jede Konzentration der Punkt beginnender und vollendeter Erstarrung ersehen läßt, zum Ausdruck.

Wir verwenden ein rechtwinkliges Koordinatensystem und tragen auf der Abszisse 100 Teilstriche, entsprechend 100 % Pb, ab (Fig. 1). In entgegengesetztem Sinne, also von 100 bis 0, denken wir uns die Konzentration des Gemisches an Antimon abgetragen, sodaß reines Antimon in den Nullpunkt zu liegen käme. Auf der Ordinate tragen wir nunmehr die Schmelzpunkte der beiden reinen Metalle ab. Der Schmelzpunkt von reinem Antimon entspricht dem Punkte A (631°), derjenige von reinem Blei dem Punkte B (327°). Fügen wir zu reinem Antimon etwas Blei hinzu, so wird der Schmelzpunkt der Legierung gemäß dem Gesetze der Gefrierpunktniedrigung etwas erniedrigt. Und zwar wird der Schmelzpunkt umso niedriger, je mehr Blei wir hinzufügen. Andererseits wird auch der Schmelzpunkt des reinen Bleies durch einen Zusatz von Antimon herabgesetzt. Bestimmen wir für die verschiedenen Mischungen der beiden Metalle die jeweiligen Punkte beginnender Erstarrung, so lassen sich dieselben zu zwei Kurvenästen verbinden, die sich im Punkte E treffen. Hier haben wir das Maximum der Gefrierpunktniedrigung erreicht. Der Punkt E entspricht für jedes System einer bestimmten Konzentration und einer bestimmten Temperatur. Er wird als eutektischer Punkt

bezeichnet. Im System Blei-Antimon entspricht er einer Konzentration von 87 % Pb und 13 % Antimon, sowie einer Temperatur von 248° C.

Das Diagramm ermöglicht uns nun, die Vorgänge während der Erstarrung für jede Konzentration genau zu verfolgen. Nehmen wir beispielsweise eine Schmelze an, die aus 50 % Blei und 50 % Antimon besteht, so wird sich bei deren Abkühlung die Temperatur auf einer Senkrechten verändern, die wir im Punkte 50 des

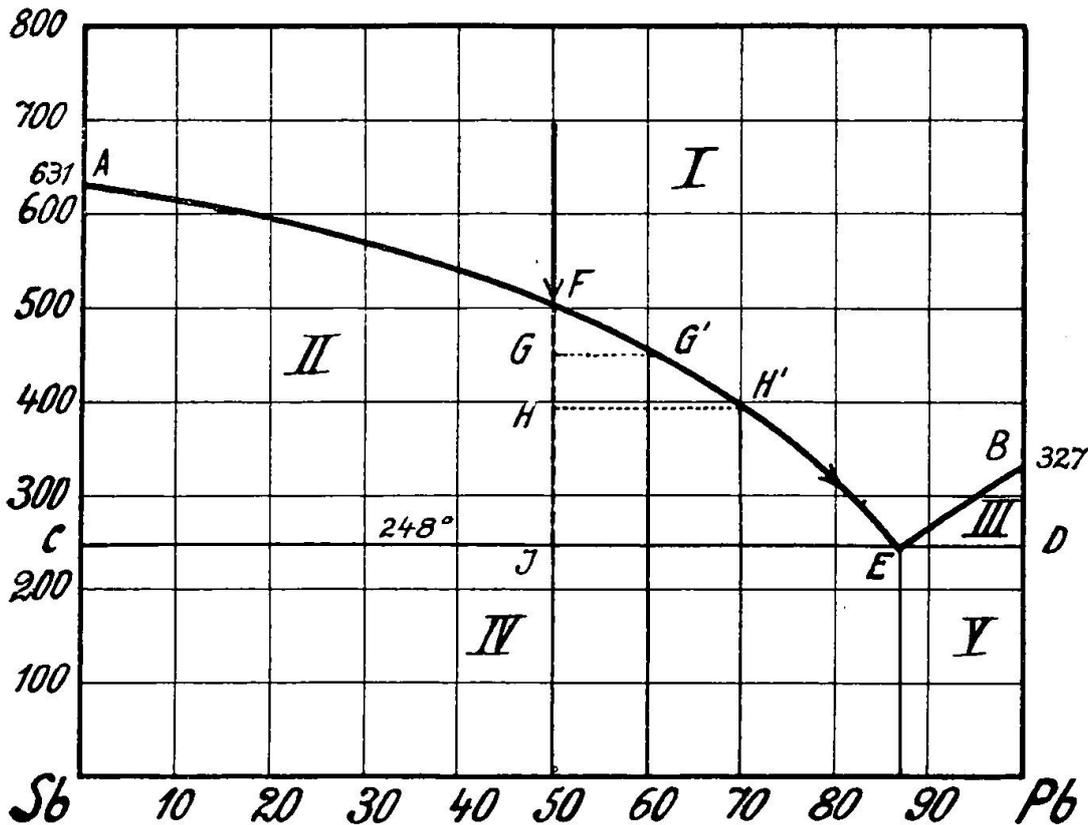


Fig. 1.

Diagramms errichten. Ist bei der Abkühlung die Temperatur des Punktes F erreicht, so wird die Schmelze anfangen, Kristalle von Antimon auszuscheiden. Dadurch wird nun die Schmelze ständig ärmer an Antimon und entsprechend natürlich reicher an Blei. Die Konzentration der Schmelze verändert sich also im Verlauf der Abkühlung in der Richtung nach rechts zum reinen Blei hinüber. Ist die Temperatur bis zum Punkt G gesunken, so steht mit den ausgeschiedenen Antimonkristallen eine Schmelze von der Zusammensetzung G', entsprechend 60% Blei und 40% Antimon, im Gleichgewicht. Bei der Temperatur H ist der Antimongehalt der Schmelze auf 30 % gesunken und der Bleigehalt auf 70 % gestiegen. Infolge

der Ausscheidung der Antimonkristalle verändert sich also die Schmelze in der Richtung des Pfeiles, der entlang der Kurve AE verläuft. Hat schließlich die Temperatur 248° erreicht, so bleibt noch eine Schmelze von der Konzentration des Punktes E übrig. Sie hat eine Zusammensetzung von 87 % Blei und 13 % Antimon, in welcher beide Metalle nunmehr gleichzeitig zur Ausscheidung gelangen und damit ist das Ende der Erstarrung unserer Legierung erreicht. Die Erstarrung vollzieht sich also innerhalb des Temperaturintervalls F — J. Das Ende der Erstarrung wird für alle Konzentrationen bei der gleichen Temperatur erreicht und kann somit durch die Horizontale CD dargestellt werden. Das Gefügebild einer derartigen Legierung wird etwa der Abbildung 1 auf Tafel 1 entsprechen.¹⁴⁾ Die hellen Antimonkristalle, die primär ausgeschieden wurden, sind eingelagert in einer feinkörnigen eutektischen Grundmasse von Blei und Antimon, die die sekundär erfolgte Ausscheidung darstellt. Ganz besonders ist darauf hinzuweisen, daß eine porphyrische Struktur keineswegs immer auf zwei unter verschiedenen physikalischen Bedingungen erfolgte Stadien der Kristallisation zurückzuführen ist.

Wählen wir nun eine Konzentration, die rechts vom eutektischen Punkte liegt, so verläuft die Kristallisation in vollkommen analoger Weise, nur wird hier primär Blei ausgeschieden und sekundär wiederum ein Eutektikum Blei-Antimon.

Durch die Kurven AE und BE, sowie die Horizontale CD wird unser Diagramm in mehrere Felder eingeteilt, die folgenden Gleichgewichtszuständen entsprechen:

- I. Homogene Schmelze.
- II. Antimonkristalle + Schmelze.
- III. Bleikristalle + Schmelze.
- IV. Antimonkristalle in eutektischer Grundmasse.
- V. Bleikristalle in eutektischer Grundmasse.

Bei Systemen dieser Art übt die Abkühlungsgeschwindigkeit keinen erheblichen Einfluß auf das Wesen des erstarrten Produktes aus. Ob wir langsamer oder rascher abkühlen, stets werden wir doch einerseits reine Antimonkristalle, andererseits ein Eutektikum erhalten. Nur die Größe der Kristalle wird bei rascherer Abkühlung vermindert, weil alsdann die Kristallisation von vielen Zentren aus gleichzeitig beginnt, während bei langsamer Abkühlung ein Anwachsen der zuerst ausgeschiedenen Kristalle ermöglicht wird.

¹⁴⁾ Die Figur fehlt dem Manuskript.

Die langsame Abkühlung befördert auch die Trennung der Kristalle von der Restschmelze durch Saigerung, wie dies Abb. 1 auf Tafel 1 zeigt. (Figur nicht vorhanden: der Berichterstatter.)

Ganz analoge Diagramme lassen sich für eine Reihe von Silikatschmelzen aufstellen. Ich erwähne nur die Systeme Diopsid-Kieselsäure, Nephelin-Anorthit und Alkalifeldspat-Kieselsäure. Das Eutektikum des letzten Systems ist als Graniteutektikum bekannt und liefert die granophyrische Verwachsung (Tafel 1, Abb. 2).

b) Das System Anorthit-Albit.

Dieses System wurde von A. L. Day und E. T. Allen,¹⁵⁾ sowie von N. L. Bowen¹⁶⁾ untersucht. Es gibt uns ein Beispiel für das zweite Extrem im Erstarrungsverlauf, nämlich die vollkommene Löslichkeit der Komponenten sowohl im flüssigen, wie auch im festen Zustand. Die beiden Komponenten haben die Zusammensetzung $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ und $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, verhalten sich jedoch genau so, als ob sie einfache Stoffe wären. Die vollkommene Löslichkeit im festen Zustand hat zur Folge, daß die beiden Schmelzpunkte im Diagramm (Fig. 2) durch eine kontinuierlich verlaufende Kurve verbunden werden. Es besteht also kein eutektischer Punkt zwischen den beiden Komponenten. Je mehr Albit wir zu Anorthit hinzufügen, bei umso niedrigerer Temperatur setzt die Erstarrung der Schmelze ein, bis schließlich der Schmelzpunkt des reinen Albits bei 1100° erreicht ist. Wir erhalten somit für die beginnende Erstarrung der verschiedenen Schmelzen die Kurve ACB. Wie aber auch die Schmelze zusammengesetzt sei, so wird doch aus keiner derselben sich sofort ein Feldspat von der Zusammensetzung der Schmelze ausscheiden. Stets wird zu allererst ein basischer Feldspat ausgeschieden, der nach außen saurere Moleküle anlagert und erst die Durchschnittszusammensetzung des völlig erstarrten Produktes entspricht wieder derjenigen der Schmelze. Auch hier entspricht also der Erstarrungsverlauf nicht einem einzelnen Temperaturgrad, sondern einem größeren Temperaturintervall. Wir müssen daher für jede Konzentration nicht nur den Beginn, sondern auch das Ende der Erstarrung kennen. Letzteres ist identisch mit dem Punkt beginnender Schmelzung von festen Kristallen der gleichen Konzentration. So erhalten wir beispielsweise für die Konzentration 50 Ab und 50 An, oder Ab_1An_1 , entsprechend dem Punkte C 1450° als

¹⁵⁾ Zeitschrift für phys. Chemie 1905, 54, 1.

¹⁶⁾ Zeitschrift für anorg. Chemie 1913, 82, 283.

Temperatur beginnender Erstarrung, dagegen 1287° als Temperatur beginnender Schmelzung, bzw. beendigter Erstarrung. Durch Festlegung der Erstarrungsintervalle für die einzelnen Konzentrationen erhalten wir so eine zweite Kurve ADB für das Ende der Erstarrung aller möglichen Mischungen. Anhand dieser beiden Kurven können wir uns nun ein Bild von den Erstarrungsvorgängen machen. Nehmen wir eine Schmelze von der Zusammensetzung Ab_1An_1 , so beginnt dieselbe bei 1450° zu erstarren und wird bei 1287° vollkommen verfestigt sein. Während der Erstarrungsperiode haben sich Feldspäte verschiedener Zusammensetzung ausgeschieden und es ist nun für uns von Interesse, die Zusammensetzung dieser Feldspäte von Anfang bis zu Ende kennen zu lernen. Der Feldspat, der zuerst, also bei 1450° ausgeschieden wurde, kann nur ein solcher sein, der bei ebenderselben Temperatur anfangen würde zu schmelzen. Ziehen wir bei der Temperatur 1450° eine Horizontale, so schneidet dieselbe die Schmelzpunktskurve im Punkte C'. Dieser Punkt entspricht einer Konzentration von 18% Ab und 82% An und stellt somit den gesuchten Feldspat dar, da er bei der gleichen Temperatur anfängt zu schmelzen, wie die Schmelze Ab_1An_1 anfängt zu erstarren. Das erste Ausscheidungsprodukt ist somit ein Bytownit $Ab_1An_{1,5}$.

Sinkt die Temperatur bis zum Punkte E (1400°), so hat sich weiter anorthitreicher Feldspat ausgeschieden und die zurückbleibende Schmelze ist entsprechend reicher an Albit geworden. Ihre Zusammensetzung entspricht dem Punkte E', also einem Andesin Ab_2An_1 . Der jetzt ausgeschiedene Feldspat hat dagegen die Zusammensetzung des Punktes E'', entsprechend einem basischen Labrador $Ab_1An_{2,7}$. Bei der Temperatur F steht dann eine Schmelze von der Zusammensetzung Ab_4An_1 im Gleichgewicht mit dem Labradorit $Ab_1An_{1,7}$. Endlich erfolgt bei der Temperatur D die endgültige Erstarrung, wobei die zuletzt übrig gebliebene Schmelze noch die Zusammensetzung $Ab_{7,3}An_1$ hatte.

Bei Systemen dieser Art wird nun der Charakter des Erstarrungsproduktes durch die Abkühlungsgeschwindigkeit und durch die größere oder geringere Ruhe, bei welcher die Schmelze erstarrt, sehr erheblich beeinflusst. Der soeben geschilderte Vorgang vollzieht sich nur dann in dieser Weise, wenn den ausgeschiedenen Kristallen Zeit und Gelegenheit gegeben wird, durch Diffusion der Albitmoleküle nach dem Kern hin eine einheitliche Zusammensetzung anzunehmen. Diese Diffusionsmöglichkeit kann jedoch auf zweierlei Arten unterbunden werden.

Erstens dadurch, daß die zuerst ausgeschiedenen basischen Kristalle aus der Schmelze entfernt werden und zweitens dadurch, daß die Abkühlungsgeschwindigkeit die Diffusionsgeschwindigkeit des Albitmoleküls übersteigt.

Der erste Fall tritt ein, wenn wir die Schmelze bei vollkommener Ruhe erstarren lassen und dabei sehr langsam abkühlen.

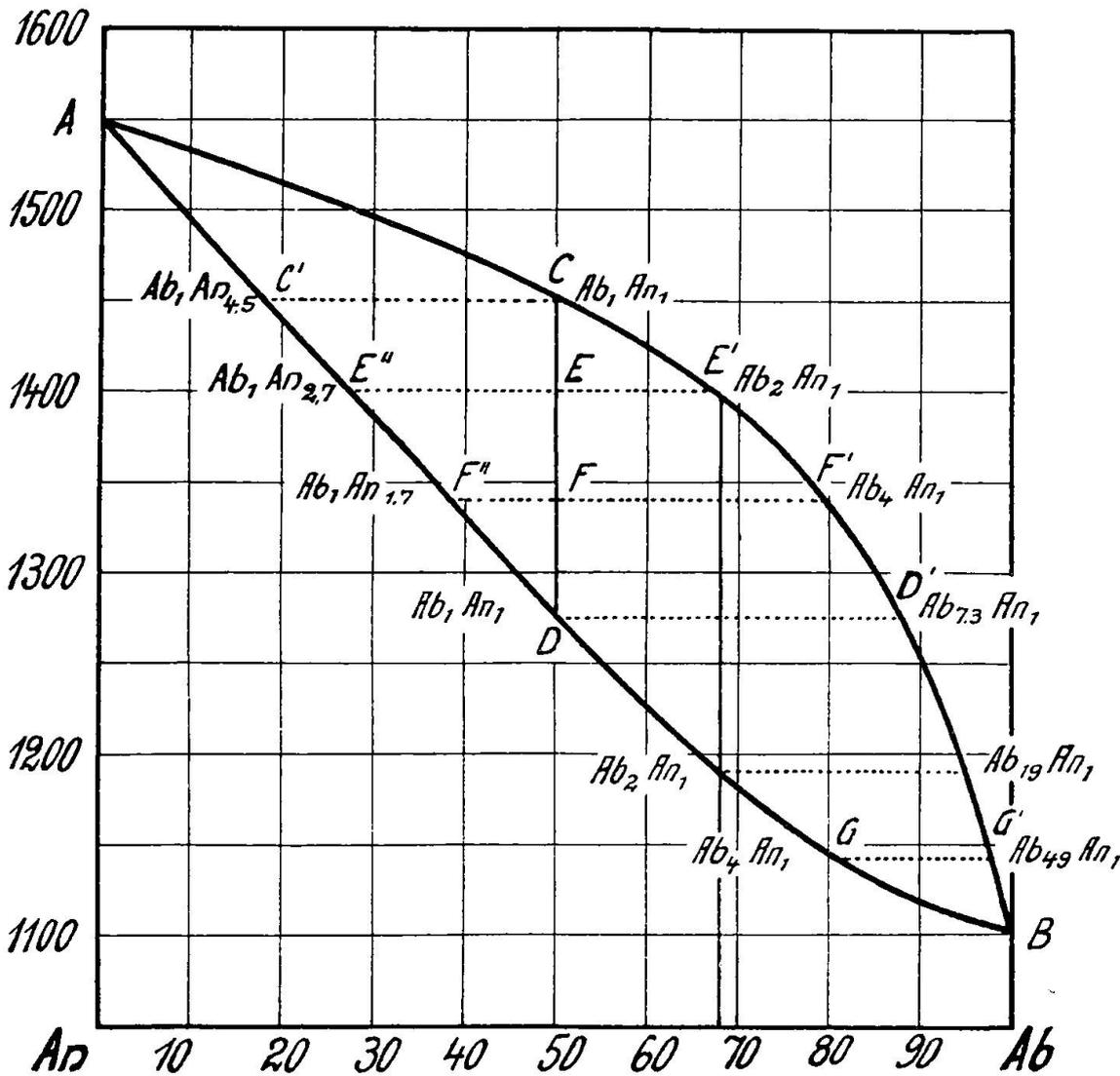


Fig. 2.

Die abgeschiedenen Kristalle werden sich dann durch Saigerung vollkommen von der Schmelze trennen und werden so der Diffusion saurerer Moleküle entzogen. Kehren wir zu unserer Schmelze $Ab_1 An_1$ zurück und lassen sie bis zum Punkte F (1340°) abkühlen, so sehen wir, daß der bis dahin abgeschiedene Feldspat die Zusammensetzung F'' aufweist, also einem Labradorit $Ab_1 An_{17}$ entspricht. Die in diesem Augenblick noch vorhandene Schmelze hat

jedoch die Zusammensetzung $F' = Ab_4An_1$. Entfernen wir nun die Kristalle aus der Schmelze, was durch Aussaigerung leicht in der Weise geschehen kann, daß man die Schmelze längere Zeit ruhig bei dieser Temperatur beläßt, so wird der Weiterverlauf der Erstarrung unserer Restschmelze genau so erfolgen, als ob wir eine Schmelze Ab_4An_1 von Anfang an erstarren lassen. Der Endpunkt der Erstarrung für eine solche Schmelze liegt jedoch bei der Temperatur G (1145°) und der ausgeschiedene Feldspat entspricht einem Oligoklas Ab_4An_1 . Während wir also unter Belassung sämtlicher Kristalle in der Schmelze als schließliches Ausscheidungsprodukt einen Labradorandesin Ab_1An_1 erhalten, bildet sich nach Entfernung des zuerst ausgeschiedenen Labradorits ein Oligoklas Ab_4An_1 .

Ein ganz analoges Resultat erhalten wir nun, wenn wir die soeben angenommenen Bedingungen im konträren Sinne ändern. Verhindern wir die Abtrennung der Kristalle von der Schmelze, indem wir letztere in Bewegung erhalten, und steigern wir gleichzeitig die Abkühlungsgeschwindigkeit derart, daß das Albitmolekül keine Zeit mehr findet, nach dem Kern zu diffundieren, so wird sich Schale um Schale eines immer saurer werdenden Feldspates um die ersten Kristalle legen. Die der nächsten Temperaturstufe entsprechende Schmelze wird sich so verhalten, als ob mit ihr die Erstarrung beginnen würde, und so kann denn als äußerste Schale ein reiner Albit zur Abscheidung gelangen.

Wir können somit für die Plagioklase drei verschiedene Entstehungsarten festlegen. Im ersten Falle erfolgt die Abkühlung sehr langsam und die basischen Feldspäte werden durch Saigerung aus der vollkommen ruhig verbleibenden Schmelze ausgeschieden. Wir erhalten daher einerseits basische, andererseits saure Feldspäte. Im zweiten Fall ist die Abkühlung zwar noch langsam genug, um die Diffusion des Albitmoleküls zu ermöglichen, infolge geringerer Ruhe in der Schmelze wird jedoch die Abtrennung der Kristalle verhindert. Als Erstarrungsprodukt resultieren somit Feldspäte von mittlerer Zusammensetzung. Im dritten Falle übersteigt die Abkühlungsgeschwindigkeit die Diffusionsgeschwindigkeit des Albitmoleküls. Wir erhalten Feldspäte von zonarem Aufbau, bei denen die äußerste Schale aus reinem Albit bestehen kann. Außer diesen extremen Fällen können natürlich auch alle möglichen Übergänge auftreten. So kann z. B. im dritten Falle doch noch eine Diffusions-

möglichkeit bestehen, sodaß der zonare Aufbau wegfällt. Es werden dann anfangs etwas saurere Feldspäte entstehen und lassen wir in diesem Augenblick die gebildeten Kristalle aussaigern, so erhalten wir als zweites Produkt wiederum saure Feldspäte.

Es ist unschwer, aus diesen Verhältnissen die Grundbedingungen für die orthogene Klasse unseres genetischen Systems herauszulesen. Der erste Fall entspricht der katorthogenen Reihe (Anorthosit-Mangerit), der zweite der mesorthogenen Reihe (Gabbro-Diorit) und der dritte der eporthogenen Reihe (Orthoklasgabbro-Syenit).

Ganz analoge Erstarrungsdiagramme kommen nun auch verschiedenen anderen Silikaten zu, so vor allem den Augiten, den Pyroxenen und dem Olivin. Der letztere stellt einen Mischkristall von Forsterit und Fayalit dar. Auf ihn finden also unsere Betrachtungen in gleicher Weise Anwendung. Olivine mit hohem Forsteritgehalt verweisen auf langsame Abkühlung und Aussaigerung der Kristalle, sind also Tiefengesteinsbildungen. Eisenreiche und zonar gebaute Olivine kommen dagegen den Ergußgesteinen zu.“

In ähnlicher Art wird das kompliziertere System Antimon-Zinn behandelt. Ein hier sich vorfindender Umwandlungspunkt gibt Anlaß, physikalisch-chemische und strukturelle Bedeutung der Resorption zu besprechen: „Wir erkennen daraus, daß die sogenannte „magmatische Resorption“ keineswegs auf erhöhte Temperatur oder heiße Nachschübe zurückgeführt werden muß, sondern daß sie eine im Verlauf der regelmäßigen Erstarrung auftretende Erscheinung ist.“ „Auch bei Systemen dieser Art ist das Wesen des erstarrten Produktes sehr stark von äußeren physikalischen Faktoren abhängig. Zunächst üben die Abkühlungsgeschwindigkeit und die verhältnismäßige Ruhe während der Erstarrung genau die gleichen Wirkungen aus, wie sie beim System Albit-Anorthit geschildert wurden.“ Außerdem aber kann die Umwandlungsreaktion ganz unterbleiben oder es können Schalen des Reaktionsproduktes die Kerne der zu resorbierenden Mineralien vor weiterem Angriff durch die Schmelze schützen. „Diese häufig auftretende Erscheinung wird in der Metallographie als Peritektikum, in der Petrographie als keliphitische Zone („reaction rims“: der Berichterstatter) bezeichnet.“ Das System Forsterit-Kieselsäure wird nun gerade im Hinblick auf den inkongruenten Schmelzpunkt von Klinoenstatit sehr eingehend erläutert. „Bei der bekannten Neigung des Olivins, sich zu knolligen Massen zusammenzuballen, ist es

leicht verständlich, daß eine Aussaigerung des Olivins in der Natur sehr häufig eintreten muß. Er wird dadurch der Reaktion entzogen und es verbleibt eine saure Schmelze, die zu Gesteinen der orthogenen Klasse führt. Weitgehende Umwandlung des Olivins zu Klinoenstatit kann andererseits nur dann eintreten, wenn die ausgeschiedenen Olivinkristalle klein sind und in der Schmelze verteilt bleiben. Kleinheit der Kristalle bedingt aber eine verhältnismäßig rasche Abkühlung. Diese darf jedoch nicht so groß sein, daß die Reaktion ¹⁷⁾ bei 1557° unterdrückt wird. Andererseits können die Kristalle nur in der Schmelze verteilt bleiben, wenn letztere in ständiger Bewegung erhalten bleibt. Das sind Bedingungen, die zwischen den Entstehungsbedingungen für Tiefengesteine und für Ergußgesteine stehen. Sie entsprechen denjenigen unserer paragenen Gesteinsklasse. Da somit die Entstehung der paragenen Gesteine an diese ganz bestimmten und ziemlich eng umgrenzten Voraussetzungen geknüpft ist, so erklärt sich daraus auch ihr weit weniger häufiges Auftreten gegenüber orthogenen und hypogenen Gesteinsformen.“

Hierauf erläutert *Hommel* Darstellungsmethoden ternärer Systeme, wobei er dem rechtwinkligen Dreieck gegenüber dem gleichseitigen den Vorzug gibt. Das System Cd — Sn — Pb dient zur Darstellung einfacher eutektischer Verhältnisse. Die Bedeutung der Kristallisationsbahn wird gebührend hervorgehoben. Ein weiterer Abschnitt ist den „Änderungen im festen Zustand“ gewidmet, wobei das System Eisen-Kohlenstoff zur Erläuterung herbeigezogen wird. Die Perthitbildung der Feldspäte wird mit dem Zerfall fester Phasen in Beziehung gebracht. „Sehr bedeutsam ist dabei die Tatsache, daß geringe Beimengungen mancher Metalle, z. B. Mangan, Nickel, Chrom, dem eutektoiden Zerfall (im System Fe — C) entgegenwirken, während andere, wie Silizium, ihn begünstigen. Vermutlich finden sich analoge Verhältnisse auch bei den Feldspäten vor und müßten bei Untersuchungen in dieser Richtung Berücksichtigung finden.“ Gewisse Strukturbilder von entmischem Messing werden mit dem so charakteristischen Auftreten der Aegirinnädelchen vermutungsweise in Beziehung gebracht. Es ist möglich, daß spätere Bildungen wie Einschlüsse älterer Entstehung aussehen.

Die Bildung des Pseudoleucites aus dem Leucit stellt *Hommel* gleichfalls in Analogie. Die Arbeit *Bowen's*, die dartut, daß bereits in Gegenwart von Schmelzen Leucit (infolge des inkon-

¹⁷⁾ Diese Temperatur gilt natürlich nur für das einfache System.

gruenten Schmelzpunktes von Kalifeldspat) zerfallen kann, war bei der Abfassung des Manuskriptes noch nicht erschienen.

Nach diesen Vorbereitungen werden „die magmatischen Mehrstoffsysteme“ besprochen. *Hommel* reduziert für den Überblick die Hauptkomponenten auf folgende vier Sammelkomponenten: $S = \text{SiO}_2$, $A = (\text{Na}, \text{K})_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $C = \text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, $F = \text{FeO} \cdot \text{MgO} \cdot \text{CaO}$ (*Osann'sche* Werte). Die Darstellung erfolgt im Tetraeder. Im weitem verwendet jedoch *Hommel* folgenden, der Kritik allerdings leicht zugänglichen Kunstgriff. Entsprechend seiner Zoneneinteilung gehören nach ihm die Ausscheidungen verschiedener Mineralien verschiedenen Temperaturgebieten an.

„Bei den höchsten Temperaturen treten nur MgO und SiO_2 unter Bildung von Olivin und Enstatit in Reaktion. Der Beginn der magmatischen Erstarrung kann somit durch das binäre System $\text{MgO} - \text{SiO}_2$ dargestellt werden.

Unmittelbar an die Bildung von Enstatit schließt sich jedoch die Ausscheidung von Anorthit und Diopsid. Da nun der Verlauf der Kristallisation gerade in diesem Stadium ausschlaggebend ist für den Charakter der nachfolgenden Gesteinsbildungen, so sind wir daher gezwungen, das Vierstoffsystem Olivin-Anorthit-Diopsid- SiO_2 , in welchem Enstatit als intermediäre Bildung auftritt, einer näheren Betrachtung zu unterziehen.

Bei weiter sinkender Temperatur kann nun die Kristallisation entweder unter Nephelinbildung oder Anorthitausscheidung verlaufen und wir treffen Gleichgewichtsverhältnisse an, die sich im Vierstoffsystem Anorthit-Nephelin-Pyroxen- SiO_2 zur Darstellung bringen lassen. In diesem System tritt Albit als fünfte, intermediär gebildete Komponente auf. Dieses Vierstoffsystem entspricht der Hauptmasse aller bekannten Gesteine und stellt, wie wir oben gesehen haben, einen Teil des Tetraeders SACF dar.

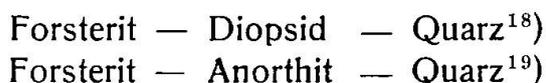
Ist endlich die Temperatur so weit gesunken, daß die Gesteinsbildung in die Orthoklaszone eintritt, d. h. also, daß auch das Orthoklasmolekül in Reaktion tritt, so können wir die Gleichgewichtsverhältnisse durch das Vierstoffsystem Anorthit-Nephelin-Orthoklas- SiO_2 darstellen, in welchem Albit abermals als intermediäre Bildung auftritt. Da wir uns in diesem Stadium schon sehr stark dem Ende der magmatischen Erstarrung genähert haben, so sind die pyroxenitischen Ausscheidungen auf ein Minimum zurückgegangen und können daher vernachlässigt werden.

Wir können also den gesamten Erstarrungsverlauf durch drei Vierstoffsysteme zur Darstellung bringen, nämlich:

1. Das System Olivin-Anorthit-Diopsid-SiO₂.
2. Das System Anorthit-Nephelin-Diopsid-SiO₂.
3. Das System Anorthit-Nephelin-Orthoklas-SiO₂.“

Diese einzelnen Vierstoffsysteme werden nun auf Grund der (bis zur Abfassung des Manuskriptes bekannten) experimentellen Daten besprochen und konstruktiv zu ergänzen gesucht.

Vom Vierstoffsystem: Forsterit-Anorthit-Diopsid-Quarz waren bekannt die Dreistoffsysteme:



Da vom System Anorthit-Diopsid-Quarz die drei binären Teilsysteme als einfach eutektische bekannt waren, glaubt *Hommel*, das System als einfach eutektisches,* ternäres System ergänzen zu können. In ähnlicher Weise ergänzte er aus den binären Systemen das „ternäre“ System Forsterit-Anorthit-Diopsid unter Berücksichtigung eines Spinelfeldes, das von der Seite Anorthit-Forsterit ausgeht. Die vier Einzeldiagramme werden dann zu einer Darstellung des quaternären Systems verwendet, wobei ein rechtwinkliges Tetraeder zweckmäßig projiziert wird. Die an sich sehr interessante Darstellung mit den vielen skizzenartig ausgeführten Hilfsfiguren kann hier nicht mitgeteilt werden, da ja experimentelle Bestätigungen auch bis heute noch nicht erfolgt sind und die wichtigsten Schlußfolgerungen *Hommels* auch ohne die graphische Behandlung verständlich sind. Es werden nur folgende fünf verschiedene Primärausscheidungen in diesem System angenommen:

1. Olivin, mit nachfolgender Umwandlung in Enstatit.
2. Enstatit und Diopsid bzw. Mischkristalle von ihnen.
3. Anorthit.
4. SiO₂.
5. Spinell.

Neue Verbindungen sollen somit nicht auftreten.

Nach dem Vorgang von *Parravano* und *Sirovich* werden parallel einer Tetraederfläche verschiedene Schnitte gelegt, die dann gestatten, räumliche Temperaturdiagramme für konstanten Gehalt an einem Bestandteil zu konstruieren. Derartige Schnitte werden für 50 % freies SiO₂ und 25 und 30 % freies SiO₂ erläutert. Dar-

¹⁸⁾ *N. L. Bowen*, Zeitschrift für anorg. Chemie, 1914, 90, 1.

¹⁹⁾ *O. Andersen*, N. Jahrbuch für Min., 1916, 40, 701.

aus glaubt *Hommel* folgende Schlüsse ziehen zu dürfen: Die drei Schnitte sollen zeigen, was für einen ungeheuren Einfluß auf den weiteren Verlauf der Erstarrung bei gewissen Konzentrationsverhältnissen eine nur ganz minimale Änderung des Kieselsäuregehaltes hervorruft. Bei niedrigem Gehalt an freiem SiO_2 kann es sein, daß über ein sehr großes Temperaturintervall sich nur Olivin und Enstatit ausscheiden, während bei etwas höherem (nach *Hommel* über 30 % SiO_2) SiO_2 -Gehalt unmittelbar an die Enstatitausscheidung die SiO_2 -Ausscheidung sich anschließt und Nephelinbildung ausgeschlossen erscheint. „Vorausgesetzt nun, daß wir es stets mit der gleichen chemischen Zusammensetzung der tellurischen Magmas zu tun haben, wird das Vorhandensein oder Fehlen reaktionsfähiger Kieselsäure bei den tiefern Temperaturen davon abhängen, ob die Umwandlung Olivin-Klinoenstatit ganz oder teilweise zustande kommt oder völlig unterbleibt.“ Von neuem wird das mit orthogener, paragener und hypogener Gesteinsbildung in Beziehung gebracht, wobei wir diesmal die Bemerkungen etwa wie folgt zusammenfassen können:

1. Langsame Aussaigerung des Olivins bis zur völligen Entfernung; deshalb SiO_2 zur Enstatitbildung nicht verbraucht. Die zurückbleibende Schmelze verhält sich, wie wenn sie von Anfang SiO_2 -reicher gewesen wäre. Orthogen, kein Nephelin.
2. Der Olivin reagiert mit der Schmelze und entzieht ihr SiO_2 , so daß als Ganzes das Magma sich wie ein SiO_2 -ärmeres verhält. Enstatit (bezw. Augit) kann sich lange ausscheiden und von Nephelinkristallisation gefolgt sein. Paragene Verhältnisse.
3. Der Olivin bleibt in der Schmelze, die Abkühlung verläuft jedoch so rasch, daß die Enstatitbildung nicht oder nur teilweise erfolgt. Hypogene Bedingungen.

Natürlich erwähnt *Hommel*, daß ein solches tellurisches Magma komplexer ist. Er betont aber immer wieder, daß seiner Meinung nach für die ersten Stadien der Kristallisation die Betrachtung des quaternären Systemes: Forsterit - Anorthit - Diopsid - Quarz genügt.

Zur Erläuterung der darauffolgenden Vorgänge wird das quaternäre System Anorthit - Nephelin - Diopsid - Quarz betrachtet. Die Aufstellung des Systems kann wegen des Fehlens vieler experimenteller Grundlagen nur ganz schematisch erfolgen. Gerade noch ist es *Hommel* möglich gewesen, die Melilithbildung im System Diopsid - Nephelin²⁰⁾ mitzuberücksichtigen. Er schreibt darüber: „Es ist mit Bestimmtheit anzunehmen, daß der Kristalli-

²⁰⁾ N. L. Bowen. Am. Journal of Sc. vol. III, 1922.

sationsverlauf dieses Systems ein gänzlich anderer wird, wenn er sich in Gegenwart von fluidem Wasserdampf vollzieht. Dafür spricht schon das Auftreten der Ijolithen, die offenbar ein Gemenge von diopsidischen Pyroxen und Nephelin darstellen, ohne daß Olivin oder Melilith im Gewebe auftritt. Es wäre daher von größtem Interesse, wenn dieses System in Gegenwart von überhitztem Wasserdampf untersucht würde, um Aufschluß über die Bildung paragenetischer Gesteine zu erhalten. Die vorliegende Untersuchung der trockenen Schmelze läßt dagegen wichtige Rückschlüsse auf die Entstehung der Nephelin- und Melilithbasalte zu.“

Nach versuchsweiser schematischer Konstruktion des Gesamtdiagrammes schreibt *Hommel* folgendes²¹⁾:

„Das so gewonnene Diagramm gestattet uns nun in vollkommen genügender Annäherung den Weiterverlauf der magmatischen Erstarrung nach vorausgegangener Olivinausscheidung zu verfolgen. Zunächst sehen wir auch hier wieder von welcher ausschlaggebenden Bedeutung der relative Kieselsäuregehalt der schmelzflüssigen Masse für den Erstarrungsverlauf ist. Je nachdem sich die Konzentrationspunkte des Magmas rechts oder links von der unser Tetraeder halbierenden Fläche Anorthit-Diopsid-Albit befinden, wird sich im Verlauf der Erstarrung Kieselsäure oder Nephelin ausscheiden. Verfolgen wir beispielsweise die Kristallisationsbahn eines Punktes P_1 . Seine Lage im Raum befindet sich unterhalb der eutektischen Fläche b und seine Projektion auf die Basis des Tetraeders wird durch den Punkt P'_1 dargestellt. Er liegt also auf der Kieselsäureseite. Ein diesem Punkte entsprechendes Gemisch wird primär Diopsid ausscheiden und die anfängliche Kristallisationsbahn ist infolgedessen durch den Pfeil gegeben, dessen rückwärtige Verlängerung die Diopsidecke trifft. An der Stelle, wo diese Gerade die Fläche b durchstößt (P''_1), scheidet sich ein eutektisches Gemenge von Diopsid und einem hochbasischen Plagioklas aus. Das ist also nichts anderes als ein *Gabbro*. Von hier verläuft die Kristallisation im Sinne des Pfeiles weiter, wobei sich neben Diopsid ein immer saurerer Plagioklas ausscheidet. Da wir dabei zufolge der immer weiter sinkenden Temperatur in das Ausscheidungsgebiet der Augite kommen, so müssen wir annehmen, daß solche an Stelle von Diopsid neben dem Plagioklas auskristallisieren. Dieser Teil der Kristallisationsbahn entspricht also der Bildung von Dioriten. Der Pfeil trifft,

²¹⁾ Die Beigabe der in Folgendem erwähnten komplizierten Figuren erscheint für das allgemeine Verständnis nicht nötig.

wie wir sehen, die ternäre Raumkurve $T_1 T_2$, auf der ein ternäres Gemenge von saurem Plagioklas, Augit und SiO_2 zur Ausscheidung gelangt, eine Mineralzusammensetzung, die den *Quarzdioriten* entspricht.

In anderem, aber gewissermaßen spiegelbildlichem Sinne verläuft dagegen die Kristallisation einer Schmelze von der Zusammensetzung P_2 . Auch dieser Punkt ist unterhalb der Fläche b liegend gedacht und seine Projektion auf die Basis ist durch den Punkt P'_2 wiedergegeben. Auch hier trifft der von der Diopsidecke durch den Punkt gelegte Strahl auf die Fläche b und zwar im Punkte P''_2 , wo ebenfalls die eutektische Ausscheidung von Diopsid und basischem Plagioklas beginnt. Da jedoch, wie wir wissen, zwischen Diopsid und Nephelin Mischkristallbildung besteht, so wird auf dieser Seite nephelinhaltiger Pyroxen oder Hornblende auskristallisieren. Wir erhalten Ausscheidungsprodukte, die den *Essexiten* entsprechen. Im weiteren Verlauf trifft dann die Kristallisationsbahn die ternäre Kurve $T_3 T_4$, wo sich neben Plagioklas und Pyroxen auch noch Nephelin ausscheidet. Das ist eine Mineralkombination, die den *Theraliten* entspricht.

Denken wir uns schließlich einen Punkt, der auf der Halbierungsfläche Anorthit-Diopsid-Albit gelegen wäre, so würde hier weder SiO_2 noch Nephelin zur Ausscheidung gelangen, der Kristallisationsverlauf würde sich vielmehr ganz im ternären System, das dieser Fläche entspricht, abspielen und einerseits Gesteine von gabbroidem und dioritischem, andererseits solche von syenitischem und alkalisyenitischem Charakter liefern.

Geringe Konzentrationsänderungen des schmelzflüssigen Magmas können jedoch sehr wesentliche Änderungen im Kristallisationsverlauf hervorrufen. Denken wir uns z. B. den Punkt P_1 etwas höher gerückt, sodaß er oberhalb der Fläche b zu liegen kommt, so wird sich als erstes Ausscheidungsprodukt ein hochbasischer Plagioklas (Bytownit bis Labradorit) bilden, d. h. wir erhalten Gesteine von anorthositischem Charakter. Die Kristallisationsbahn wird dann zunächst auf einer Geraden, die von der Anorthitecke durch diesen Punkt zu legen ist, erfolgen und wird hierauf die Fläche b treffen. Es werden also auch hier in der Folge gabbroide, dioritische und quarzdioritische Gesteine auftreten. Diese Kristallisationsbahn würde der Gesteinsfolge der katorthogenen Reihe unseres Systems entsprechen.

Denken wir uns andererseits den Punkt P_2 etwas herabgerückt und mehr gegen die Nepheliecke hin verschoben, so muß ein von

der Diopsidecke gelegter Strahl auf die Fläche a auftreffen. D. h. also, daß nach vorausgegangener Pyroxenausscheidung sofort ein Gemenge von Pyroxen-Nephelin zur Kristallisation gelangt und wir erhalten somit Gesteine von der Zusammensetzung der *Jjolith*.

Konzentrationsänderungen, wie die vorhin erwähnten, sind aber lediglich davon abhängig, ob in einem bestimmten Temperaturbereich das Magma mehr oder weniger reaktionsfähige²²⁾ Kieselsäure enthält. Wir haben gesehen, daß die Konzentration an reaktionsfähigen Molekelarten in Beziehungen steht zu der jeweiligen Temperatur. Verläuft also die Erstarrung in der Olivin- und Enstatitzone nach dem einen oder anderen Typus, so wird während der Abkühlung bei einer bestimmten Temperatur der Fall eintreten, daß auch die Alkali-Moleküle an den Reaktionen teilnehmen. In diesem Augenblick werden daher die Konzentrationsverhältnisse im Magma auf einmal vollkommen andere. Es ist genau so, als ob wir der in der Erstarrung befindlichen Masse plötzlich andere Bestandteile beimischen würden. Nun tritt aber durch das vorhergehende Eintreten oder Ausbleiben der Olivin-Klinoenstatitbildung eine Konzentrationsänderung des Magmas in mehrfachem Sinne ein. Kommt die Reaktion zustande, so wird das Magma ärmer an reaktionsfähiger Kieselsäure, gleichzeitig jedoch reicher an Magnesia. Gleichzeitig wird infolge des Überschusses von MgO, bzw. von reaktionsfähigem MgSiO₃ das Gleichgewicht in der Schmelze zugunsten der Diopsidbildung verschoben, sodaß die Entstehung von Anorthit in den Hintergrund gedrängt wird. In dem Dreistoffsystem MgSiO₃-CaOSiO₂-Al₂O₃SiO₂, in welchem sowohl Diopsid als auch Anorthit als Verbindungen auftreten, würde demnach der zugehörige Konzentrationspunkt einer solchen Schmelze stark nach dem Diopsidpunkt hin verschoben erscheinen. Wird die Reaktion jedoch durch Aussaigerung des Olivins unterdrückt, so wird das Magma ärmer an Magnesia und gleichzeitig reicher an Kieselsäure. Erreicht nun die Schmelze die Temperatur, bei welcher auch die Alkalien in Wirksamkeit treten, so wird sich der Konzentrationspunkt in dem nunmehr zugrunde liegenden Vierstoffsystem Anorthit-Diopsid-Nephelin-SiO₂, je nachdem mehr in der Nähe der Diopsidecke oder der SiO₂-Ecke befinden. Je weniger reaktionsfähige Kieselsäure zur Verfügung steht, um so näher wird der Konzentrationspunkt der Diopsidecke sich nähern. Er wird aber auch

²²⁾ Man hat hier und im Folgenden oft den Eindruck, als ob Bauschalchemismus und Molekularzusammensetzung nicht genügend auseinandergehalten werden. Der Berichtstatter.

gleichzeitig mehr nach der Nephelinecke hin und von der Anorthitecke weg verschoben erscheinen, da ja die Diopsidbildung auf Kosten der Anorthitbildung bevorzugt wurde. Ist jedoch überschüssige Kieselsäure vorhanden, so tritt genau das Umgekehrte ein. Das an reaktionsfähigem Magnesiumsilikat relativ arme Magma wird entsprechend weniger Diopsid und dafür umso mehr Anorthit zur Ausscheidung bringen. Im extremsten Falle, d. h. wenn aller Olivin durch Aussaigerung der Umwandlung entzogen wurde, wird die Konzentration des Magmas im Vierstoffsystem Anorthit-Diopsid-Nephelin-SiO₂ einem Punkte entsprechen, der vom Diopsidpunkte weggerückt und sowohl der Anorthit- wie der SiO₂-Ecke genähert erscheint. Er wird sich also oberhalb der Raumfläche b unseres Konzentrationstetraeders befinden und aus der Schmelze wird sich infolgedessen primär ein hochbasischer Plagioklas ausscheiden. Im ersten Falle wird also die Bildung paragenetischer Gesteine durch primäre Ausscheidung von Alkalipyroxenen einsetzen, während im anderen Falle die Gesteinsbildung in katonogenem Sinne verläuft. Zwischen beiden Extremen müssen natürlich alle Zwischenstufen vorhanden sein. Sie sind lediglich abhängig davon, ob die Umwandlung Olivin-Klinoenstatit mehr oder weniger vollständig zustande kam, und diese Zwischenstufen werden durch die einzelnen Reihen unseres Systems dargestellt.“

Das letztbehandelte System dieses Kapitels ist das System Anorthit-Nephelin-Orthoklas-Quarz. Es soll für die letzten Vorgänge der magmatischen Erstarrung charakteristisch sein, wobei allerdings die Verhältnisse durch die angereicherten leichtflüchtigen Bestandteile kompliziert werden. Auch fehlen die Unterlagen für die Aufstellung des Diagrammes, so daß der weitere Kristallisationsverlauf nur ganz schematisch skizziert werden kann.

Hommel schreibt darüber folgendes: „Wenn unser Magma das Stadium der Quarzdioritbildung erreicht hat, scheidet es, wie wir gesehen haben, gleichzeitig Pyroxen, Plagioklas und SiO₂ aus. Man darf sich nun diesen Vorgang nicht so vorstellen, als ob dabei unbedingt die gewöhnliche, als Eutektikum bezeichnete, äußerst feine und innige Verwachsung der drei Gemengteile entstehen würde. Diese Art des Eutektikums tritt nur dann auf, wenn es sich um den allerletzten Rest einer erstarrenden Schmelze handelt. Hier jedoch sind wir von der restlichen Erstarrung noch recht weit entfernt und die Kristallisation vollzieht sich in einem sozusagen verdünnten, inerten Medium, da die anderen noch vorhandenen Bestandteile erst bei niedrigerer Temperatur in Reaktion treten. Die

ternäre Ausscheidung wird sich daher in der Weise vollziehen, daß an bereits vorhandenen Kristallen der einen oder anderen Art weitere Moleküle sich allmählich anlagern. Der Unterschied gegenüber den früheren Stadien ist lediglich der, daß dieses Wachsen der Kristalle nicht mehr auf eine einzige Kristallart beschränkt ist, sondern bei dreien gleichzeitig stattfindet. Es ist deshalb ohne weiteres klar, daß auch hier wiederum ein sehr großer Unterschied darin zu finden sein wird, ob die jeweils gebildeten Kristalle restlos durch Saigerung aus der Schmelze entfernt werden, oder ob sie in der Schmelze verbleiben und durch weitere Anlagerung vergrößert werden. Bei äußerst langsamer Abkühlung und günstigsten Saigerungsbedingungen, wie wir sie für die orthogenen Gesteine annehmen, werden alle Ausscheidungsprodukte aus der Schmelze entfernt. In dem Augenblick nun, wo die Orthoklasbildung beginnt, wird sich ein Gleichgewicht herstellen, einerseits zwischen Orthoklas-Albit-Mischkristallen und Anorthit-Albit-Mischkristallen. Da also der Orthoklas einen Teil des Albits für sich beansprucht, müssen die gleichzeitig sich ausscheidenden Plagioklase entsprechend basischer werden, und nachdem der von uns angenommene eutektoide Zerfall der Orthoklas-Albit-Mischkristalle eingetreten ist, verbleibt die Mineralkombination basischer Plagioklas + Mikroperthit, die für die Mangerite der katorthogenen Reihe charakteristisch ist. Wird dagegen bei etwas rascherer Abkühlung die Zone für Mischkristallbildung übersprungen, so wird eine solche überhaupt nicht mehr stattfinden, sondern der Orthoklas scheidet sich aus und die Plagioklasbildung geht ungestört weiter. Die entstehenden Gesteine würden der meso- und epi-Reihe der orthogenen Klasse entsprechen, also Granite und Syenite liefern. Daß wir im Entstehungsmoment der Quarzdiorite der Orthoklaszone sehr nahegerückt sind, beweist vor allem der gegenüber den Dioriten verhältnismäßig hohe Kali- und Orthoklasgehalt vieler hierhergehöriger Typen.

In ganz analoger Weise spielt sich der Vorgang auf der Nephelinseite ab. Hier endigte unsere Kristallisationsbahn im System Anorthit-Diopsid-Nephelin-SiO₂ nach vorausgegangenen essexitischen Gesteinen mit Typen von theralitischem Charakter. Die ternäre eutektische Raumkurve, auf der die Theralitbildung beginnt, entspricht der gleichzeitigen Ausscheidung von Alkalipyroxen, basischem Plagioklas und Nephelin. Diese Kombination bildet also ein Analogon zu den Quarzdioriten, wenn wir als Alternative Nephelin anstelle von SiO₂ setzen. Tritt nun unser Magma bei

weiterer Abkühlung in die Orthoklaszone hinein, so wird unter rascheren Abkühlungsbedingungen Orthoklas zu den drei anderen Komponenten hinzutreten und wir werden *Shonkinite* erhalten. Bei langsamerer Abkühlung und besseren Saigerungsbedingungen wird basischer Plagioklas und Pyroxen aus der Schmelze entfernt und es tritt die Mischkristallbildung Orthoklas-Albit in ihre Rechte. So werden wir in der Hauptsache die Mineralkombination Orthoklas-Albit-Nephelin vorfinden, die den *Eläolithsyeniten* entspricht. Dabei kann die Zone des eutektoiden Zerfalles der Orthoklas-Albit-Mischkristalle langsamer oder rascher durchschritten werden. Im ersten Falle werden wir im Gestein Perthit oder Mikroperthit vorfinden, im zweiten dagegen Kryptoperthit oder Anorthoklas. Die Mineralkombination Orthoklas-Albit-Nephelin stellt also bei den extrem paragenen Gesteinen ein Analogon zu den Graniten der orthogenen Klasse dar. Das Ende der Erstarrung muß in der Nähe eines ganz bestimmten Punktes liegen. Vergleichen wir diese Lage mit unserer Projektionsfläche, so sehen wir, daß in der Tat die mittlere Zusammensetzung der Eläolithsyenite dieser Lage entspricht. Das gleiche gilt für die Gesteinssorte der Granite, die sich um einen andern Punkt scharen müssen. Daß zwischen beiden Extremen alle Übergänge vorhanden sein müssen, ist selbstverständlich, sie werden durch die Alkalisyenite, Nordmarkite und Alkali-granite dargestellt. Maßgebend für ihre Entstehung ist durchwegs der Umwandlungsgrad des ursprünglich ausgeschiedenen Olivins, da hiervon der weitere Kristallisationsverlauf in den Systemen Anorthit-Diopsid-Nephelin-SiO₂ und Anorthit-Orthoklas-Nephelin-SiO₂ abhängt.“

Damit erreicht das erste Kapitel sein Ende, über den wesentlichen Inhalt der weiteren Abschnitte soll später berichtet werden.

Eine Zusammenfassung erfolgt am Schluß der Artikelserie.

(Fortsetzung folgt.)

Manuskript eingegangen: 28. April 1927.