

Über magmatische Vorgänge

von

W. Salomon

Heidelberg

Sonderabdruck aus: »Geologische Rundschau« Band I, Heft 1



Leipzig

Wilhelm Engelmann

1910

Über magmatische Vorgänge.

Von W. Salomon (Heidelberg).

Suess, E. (Wien): Das Antlitz der Erde, Bd. III, zweite Hälfte. 24. Abschnitt: „Die Tiefen“. (Gliederung der Tiefen. — Entgasung, Batholithen, Erze. — Bild einer Durchschmelzung. — Passive seitliche Injektion. — Grüne Gesteine.) Wien und Leipzig. 1909. S. 625—654.

Suess, E. (Wien): Über Einzelheiten in der Beschaffenheit einiger Himmelskörper (Sitz.-Ber. K. Akad. d. Wiss. Mathem. naturw. Klasse. Bd. 116. Abt. I. S. 1555—1561).

Eine Reihe von Gedanken, die in der an zweiter Stelle genannten Abhandlung teils nur angedeutet, teils sogar ausführlicher behandelt sind, kehrt auch in dem umfangreichen Kapitel „die Tiefen“ des „Antlitzes der Erde“ wieder. So empfiehlt es sich an dieser Stelle beide zusammen und losgelöst von den übrigen Abschnitten des Buches eingehend zu behandeln, um so mehr, als einige der von SUSS vertretene Anschauungen besonders in petrographischen Kreisen lebhaftem Widerspruch begegnen werden. Aber auch wer ihm nicht in allem zustimmen kann, wird der grosszügigen und gedankenreichen Darstellung seine Bewunderung nicht versagen können und eine Fülle von Anregungen aus ihr erhalten.

Zusammen mit den SUSS'schen Ausführungen werden im folgenden auch Arbeiten anderer Forscher berücksichtigt werden, um ein umfassenderes Bild der von SUSS behandelten Fragen zu geben. Sie sind in Fussnoten zitiert.

Die Gliederung der Tiefen

bildet bei SUSS den Ausgangspunkt. DAUBRÉE¹⁾ hat schon vor langer Zeit die Beschaffenheit der Meteoriten benützt, um einen Analogieschluss auf die substantielle Zusammensetzung des Erdinneren zu ziehen. Die auch von SUSS gemachte Voraussetzung für diese Parallele ist natürlich die Annahme, dass die Meteoriten ursprünglich einen einheitlichen Weltkörper des Sonnensystemes gebildet hätten. Diese Annahme wird, wie der Referent hervorheben möchte, keineswegs von allen Forschern geteilt. Es stehen ihr hauptsächlich zwei andere Hypothesen gegenüber, erstens die von der kosmischen Herkunft der Meteoriten²⁾, zweitens die (von V. GOLDSCHMIDT aufgestellte) von ihrer selbständigen Entstehung durch isolierte Zusammenballung innerhalb des Sonnensystemes³⁾. Wir können die von DAUBRÉE und SUSS vertretene Hypothese, bei der die Meteoriten zersprengte Teile eines ursprünglich einheitlichen Weltkörpers des Sonnensystemes darstellen, vielleicht als die monogenetische Planetarhypothese, die GOLDSCHMIDT'sche als die polygenetische Planetarhypothese, im Gegensatz zu der kosmischen Hypothese bezeichnen, weil es sich in beiden Fällen um primäre Glieder unseres Sonnensystemes handeln würde.

Gegen die kosmische Herkunft der Meteoriten lassen sich einige Gründe anführen, so der Umstand, dass sie nur einer relativ kleinen Anzahl von petrographischen Typen angehören und dass diese Typen mit ihren Übergängen sehr genau der mutmasslichen Gliederung der Massen des Erdinneren entsprechen. Auch die Fallzeiten gleichartiger Meteoriten dürften auf Grund der neueren Untersuchungen TSCHERMAK's⁴⁾ als ein Beweisgrund für die Zugehörigkeit zum Sonnensystem angesehen werden können.

1) Synthetische Studien zur Experimental-Geologie. Deutsche Ausgabe. Braunschweig. 1880. S. 427.

2) Vgl. z. B. ARRHENIUS.

3) Über Harmonie im Weltraum. Annalen der Naturphilosophie. Bd. V. S. 89.

4) Über das Eintreffen gleichartiger Meteoriten. Sitz. Ber. Wien. Akad. Mathem. Naturwiss. Klasse. Bd. 116. Abt. IIa. 1907. S. 1407 u. f.

Gegen die polygenetische Planetarhypothese im Sinne GOLDSCHMIDT's scheint die Breccienstruktur der meisten Meteoriten zu sprechen. Doch kommt auch TSCHERMAK (a. a. S. 1414) in gewissem Sinne zu einer polygenetischen Hypothese. Er sieht „eine Anzahl kleiner Himmelskörper, die zwar einen erheblichen Umfang hatten, aber doch so klein waren, dass sie Trümmer, welche durch (sc. vulkanische) Explosionen emporgeschleudert wurden, nicht mehr zurückzuführen vermochten, als die Werkstätten der Meteoriten“ an. SEELIGER und WOLF haben aber gezeigt, dass der plötzliche Wechsel der Lichtstärke bestimmter Planetoiden andeutet, dass diese eckige Formen haben. Da ihre Bahnen nun zum Teil über den Jupiter hinausgehen, zum Teil zwischen Mars und Erde führen, und ihre Grösse offenbar auch nach unten ganz allmählich abnimmt, so „schwindet jede Grenze zwischen Meteoriten und Planetoiden“ (Suess); und „DAUBRÉE's hypothetisches Gebilde wird zur Wirklichkeit“. D. h. Suess nimmt an, dass „zwischen Mars und Jupiter einst eine heute noch anonyme, aber einheitliche planetarische Masse bestanden hat“. So kommt er in gewissem Sinne zu der älteren von SCHIAPARELLI bekämpften Explosionshypothese für die Entstehung der Meteoriten zurück und sieht in diesen wie in den Planetoiden die gemeinsamen Abkömmlinge eines ursprünglich einheitlichen Planeten ¹⁾.

Den Zerstörungsvorgang oder vielleicht besser die Zerstörungsvorgänge muss man sich offenbar als vulkanische Explosionen denken, wie sie ja auch TSCHERMAK, wenn auch in kleinerem Umfange, voraussetzt. In der Tat scheint mir die Oberfläche des Mondes anzudeuten, dass die Intensität des vulkanischen Phänomens auf anderen Weltkörpern viel grösser gewesen sein kann, als sie nachweislich auf der Erde zu irgend einer Zeit, wenigstens bisher gewesen ist. Ein besonders früher von manchen Seiten angenommener Zusammenstoss zweier fester Weltkörper würde offenbar nicht einzelne Bruchstücke, sondern eine neue Vergasung des Materiales beider erzeugen. Man denke an das Auftauchen der *Nova Persei*.

Macht man die wahrscheinliche Annahme, dass in dem unbenannten Mutterplaneten der Meteoriten und Planetoiden eine Anordnung des Materiales nach der Schwere bestanden hat, so kommt man zu einem Aufbau ganz ähnlich dem, wie wir ihn auch für die Erde annehmen müssen. Ein mächtiger Kern von Nickel-eisen (Agram, Elbogen) trägt eine Hülle von pallasitischer Zusammensetzung (Rittersgrün). Es folgt eine Zone von eisenärmerem, magnesiareichem Silikatmaterial (Chassigny), dann feldspatführendes Gestein (Eukrite) und endlich ein Mantel, dem die Glasmeteoriten („Tektite“ F. E. Suess' jun.) entsprechen. Im Innersten des Nickeleisenernes ist eine Anreicherung von Schwermetallen zu erwarten. Tatsächlich haben DAVISON Platin und Iridium, LIVERSIDGE (1902) Gold in Meteoriten nachgewiesen ²⁾. Suess nennt den metallischen Kern, die Barysphäre, in Anlehnung an die Wortbildungen amerikanischer Gesteinsklassifikationen das Nife (Ni-Fe), verwendet den amerikanischen Namen „Sal“ (Si-Al) für

1) Auch der Referent hat diese Anschauung schon seit einer längeren Reihe von Jahren in seinen Vorlesungen vertreten und zwar ziemlich genau mit denselben Argumenten wie Suess.

2) Auf die Wahrscheinlichkeit der Existenz von Goldmeteoriten hatte Suess schon 1877 (Die Zukunft des Goldes, S. 354) und ohne Kenntnis von dieser Äusserung der Ref. 1900 hingewiesen. (Zeitschr. f. Kristallographie. Bd. 33. p. 650.)

die äussere saure und „Sima“ (Si-Mg) für die innere basische Silikathülle. Für die abyssischen Massen des Sima wird der Ausdruck „Crofesima“, (ev. „Nifesima“ und „Microfesima“) gebraucht, wenn sie chrom- (bezw. nickel- oder chrom- und nickel-)reich sind.

Wo Platin, Iridium und Gold auf der Erde „einen autochthonen Ursprung am meisten vermuten lassen, da treten sie im Sima, und zwar wie in den Meteor-eisen in der Begleitung von Ni, Cr und Fe auf“. Auch der Awaruit findet sich in simischen Gesteinen.

Derartige, wegen ihrer Zusammensetzung für abyssisch gehaltene Massen finden sich nun nicht eben selten an der Oberfläche der Erde. Schon dieser Umstand deutet auf eine nicht sehr grosse Mächtigkeit der äusseren salischen Hülle und der fast ganz aus ihr entstandenen Sedimente. Dafür spricht aber auch ihr geringes spezifisches Gewicht (etwa 2,7) im Verhältnis zum spezifischen Gewicht der Gesamterde. Auch die spektroskopische Untersuchung des α -Cygni und der Sonne werden von SUESS als Beweismittel dafür benützt, da „das nifesimische Gefolge von denselben Stoffen gebildet wird, welche im Spektrum“ der beiden Weltkörper erscheinen (mit Ausnahme von Platin). Das salische Gefolge ist dagegen in ihnen umgekehrt nicht oder doch nur schwach vertreten. „Wenn also die Erde der Sonne und dem Stern α -Cygni in Beschaffenheit ähnlich wäre, und wenn sie in einen grossen Feuerball aufgelöst wäre, so würden auch auf diesem die salischen Metalle weniger hervortreten als jene des simischen Gefolges.“

Einen anderen Anhaltspunkt für die Feststellung der Beschaffenheit des Erdinnern haben bekanntlich in neuerer Zeit die seismischen Beobachtungen ergeben. SUESS stützt sich hauptsächlich auf WIECHERT und OLDHAM und nimmt eine ziemlich scharfe Grenze im Erdinnern in etwa 1500 km Tiefe an. Diese Grenze kann nun nach den vorangehenden Erörterungen über die geringe Mächtigkeit der salischen Hülle offenbar nicht die Grenze zwischen Sal und Sima, sondern nur die von Sima und Nife sein.

Ein Bild im kleinen von der Vertikalgliederung des Silikatmantels der Erde, wie sie deren primäre Differentiation hervorbrachte, liefert die Nickellagerstätte von Sudbury in Canada mit ihrer deutlich auf den Einfluss der Schwere zurückführbaren Differentiation. Die von COLEMAN als Lakkolith angesehene Tiefengesteinsmasse besteht oben aus granitischem Gestein mit im Durchschnitt 66,87% SiO_2 . Gegen unten nehmen Si, Na und K allmählich ab, Ca und Mg entsprechend zu. Der Granit geht in Gesteine über, die von den Beobachtern als Granodiorit, Quarzdiorit und mikropegmatitischer Syenit bezeichnet wurden. Schliesslich, 2000 m unter den obersten Teilen, folgt grauer Norit mit 54,61% SiO_2 . Erst an dessen Basis stellen sich, wenn auch ohne scharfe Grenze gegen oben, die Anreicherungen der Nickelerze ein. Die Hauptmetalle sind Fe, Ni und Cu, daneben Co und in kleineren Mengen Ag, Pt, sehr wenig Au, Ir, Os und Spuren von Rh und Pd.

Die Entgasung des Erdmagmas

liefert die Gase der vulkanischen Eruptionen, das Wasser der juvenilen warmen und kalten Quellen und eine Fülle von mineralischen Stoffen, die in vadosen Wässern unerklärlich wären. „Die heissen Quellen sind, soweit sie juvenil sind, lediglich eine abgeschwächte Form der Vulkane.“ Die Million Kilogramm Kochsalz, welche die Karlsbader Thermen jährlich fördern, werden nicht aus

dem Granit, sondern durch ihn hindurch emporgetragen. „Die Wässer der Ozeane sind ein Erzeugnis der Entgasung des Planeten¹⁾.“

Rhythmische Pulsationen in Kratern (Izalco 1902, Vesuv 1871)²⁾ entsprechen genau denen der heissen Quellen. Es besteht, auch nach Meinung des Referenten, offenbar die schon oft angenommene Analogie zwischen rhythmischen Eruptionen der Vulkane und der Geysire.

Bei den letzteren sind die Wärmebringer zweifellos heisse Gase (Wasserdampf); aber gewisse Beobachtungen an vulkanischen Gesteinen und tätigen Vulkanen zeigen, dass auch in diesen nicht immer frisch aufsteigende Laven, sondern heisse Gase die Wärmesteigerung verursachen. Die Lava eines Nebenkraters des Vesuves zeigte 1871 rasche Pulsationen. Sie enthielt „überschmolzene“, aber nicht geschmolzene Leuzit-Kristalle. Sobald das Bindemittel geschmolzen war, quollen, wahrscheinlich als Trauben von Bläschen, die Gase durch den Schmelzfluss herauf, vereinigten sich, hoben im Schlot den Spiegel der siedenden Masse um etwa 1 m; und dann folgte nach je 6—8, zuweilen erst nach 15 Sekunden die Explosion.“ Diese und andere Beobachtungen veranlassen SUESS zu der Annahme, dass die geschmolzene Masse ein „Rekott“ gewesen, d. h. schon erstarrt und durch neu aufsteigende heisse Gase wieder eingeschmolzen worden sei. Diese letzteren sind also „die Wärmebringer in der vulkanischen Esse, genau so wie sie es in den heissen Quellen sind.“ Es ist klar, dass bei den im vorstehenden entwickelten Anschauungen die Herkunft juveniler Thermen nicht nach der geothermischen Tiefenstufe berechnet werden kann. „An die aus der Tiefe kommenden Laven schliessen sich die Rekocte.“

Als

Batholithen

bezeichnete SUESS³⁾ ursprünglich „grosse granitische Brote, die dem geschichteten Gebirge eingeschaltet zu sein scheinen.“ Er verband damit die Vorstellung, dass der Intrusion eine Hohlrumbildung vorausgehe. Erneuter Besuch des Erzgebirges und der Vergleich mit der Mondoberfläche zeigten ihm aber, dass diese Vorstellung nicht richtig sei, und so definierte er 1895 den Batholithen als „eine stock- oder schildförmige Durchschmelzungsmasse, welche mit fortschreitender Abtragung entweder den Querschnitt behauptet oder breiter wird, bis in die »ewige Teufe.«“ Im Gegensatz dazu stand der Lakkolith, „ein seitlich eingedrungener Kuchen, welcher mit der Abtragung zwar anfangs breiter werden mag, aber dann verschwindet⁴⁾.“ Diese Definition behält SUESS auch jetzt noch bei und vertritt die Anschauung, dass „die Batholithen ihre Ortsstellung (mise en place) durch Aufschmelzen und Aufzehren des Nebengesteines vollziehen.“ Dabei wird allerdings DALY's mittlerweile aufgestellte „Stoping Hypothesis⁵⁾“ be-

¹⁾ Soweit sie nicht aus der nie vom Magma absorbierten Uratmosphäre stammen. D. Ref.

²⁾ Vor allen Dingen aber Stromboli seit Jahrtausenden. D. Ref.

³⁾ Antlitz der Erde. I, 218.

⁴⁾ Einige Bemerkungen über den Mond. Sitz. Ber. Akad. Wien. Math.-Naturw. Klasse. Bd. 104. Abt. 1. S. 53.

⁵⁾ Zuerst 1903. Ausführlich und mit Angabe der älteren und fremder Arbeiten in „The Mechanics of Igneous Intrusion.“ Amer. Journ. of Science. 4. Serie. Bd. 26. Nr. 151. S. 17—50.

sprochen, aber doch mehr nebenher, gewissermassen als eine Bestätigung der Aufschmelzungshypothese. Das von DALY vorausgesetzte Herunterbrechen der Blöcke des hangenden Nebengesteines wird als Neben- oder Folgeerscheinung des Aufschmelzens behandelt. SUESS übersetzt das „over head stoping“ mit dem deutschen Bergmannsausdruck „Übersichbrechen“. Das Wesentliche der DALY'schen Hypothese ist aber nach Ansicht des Referenten die Annahme, dass das Magma dadurch seinen Erstarrungsplatz in der Erdkruste erhält, dass das Dach zerstückelt wird und dass dessen Stücke in dem Magma versinken. Eine Einschmelzung dieser Stücke, ein Aufschmelzen also, wie SUESS es doch will, ist mit DALY's Vorstellung nicht notwendigerweise zu verbinden, obwohl DALY selbst annimmt, dass die „sunken blocks must be dissolved in the depths of the original fluid, magmatic body.“ Tatsächlich hat der Referent unabhängig von DALY in der Adamellogruppe das Losbrechen und Versinken von Dachschollen im Tonalit beobachtet¹⁾. Es liess sich aber dort in vielen Fällen ganz einwandfrei der Nachweis führen, dass eine Resorption der versunkenen Schollen nicht stattgefunden hat²⁾. Unter diesen Umständen halte ich es für notwendig, die DALY'sche Hypothese, die ich für einen wesentlichen Fortschritt in der Erkenntnis des Intrusionsmechanismus der Tiefgesteine halte, scharf von der Aufschmelzungshypothese zu trennen. Man kann die erstere im Deutschen vielleicht als die Platztausch-Hypothese bezeichnen, da nach ihr das Magma dadurch seinen Platz am Erstarrungsort erhält, dass es mit den niederbrechenden Dachschollen den Platz vertauscht. Dabei soll nun aber keineswegs bestritten werden, dass eine Assimilation der tief genug versunkenen Schollen oder der stehengebliebenen Kontakte unter bestimmten Verhältnissen eintreten kann. Es dürfte das wesentlich von der Temperatur des Magmas abhängen. Die zitierten Beispiele aus dem Adamellogebiet sind in dieser Hinsicht schon deswegen kein Gegenbeweis, weil der Adamellotonalit gar keinen Batholithen im SUESS'schen Sinne bildet.

Immerhin scheint mir aber im Gegensatz zu SUESS ein Beweis für eine so weitgehende Resorption, wie sie das Aufschmelzen der Batholithen voraussetzt, denn doch noch nicht erbracht zu sein. Die Formen und Kontaktverhältnisse der auch mir, wengleich vor langen Jahren, bekannt gewordenen erzgebirgischen Granite, kann man auch ohne Aufschmelzung rein mit der DALY'schen Hypothese erklären. Und der Nachweis einer von SUESS doch wohl vorauszusetzenden chemischen Beziehung zwischen den betreffenden Graniten und ihren Nebengesteinen dürfte bisher fehlen. Für die Anwendung der DALY'schen Hypothese spricht eine von SUESS veröffentlichte Zeichnung eines kleinen Stückes vom Dache des Granites von Markersdorf. Ein grosses Stück Hornfels ist bereits durch eine Pegmatitader halb aus dem Zusammenhang mit dem noch festen Teile des Daches gelöst. Von Zinnsäumen begleitete, feine, steilstehende Klüfte setzen durch den Granit, den Hornfels und den Pegmatit hindurch. Sie sind die allerjüngsten Bildungen.

¹⁾ Vgl. z. B. die Fig. II auf S. 310 in den Sitz. Ber. d. Berliner Akademie d. Wissensch. 1903. (Physik. Mathem. Klasse.)

²⁾ Man vgl. z. B. Abhandl. d. Wiener Reichsanstalt. Bd. 21. S. 85, 88 bis 89 und 273. Auch hier ist DALY, obwohl ihm zweifellos die Priorität zusteht, noch nicht zitiert, weil ich erst nach Abfassung des Manuskriptes seine betreffenden Arbeiten studieren konnte.

Zum Beweise der batholithischen Querschnitt-Verbreiterung nach unten erinnert SUSS an den schon DE LA BÈCHE bekannten unterirdischen Zusammenhang der Granite von Dartmoor bis zu den Scilly-Inseln. DALMER fasste die Granitmassen des östlichen Erzgebirges als „in das Schiefergebirge eingedrungene Kuppen und Teile der rückenartigen Erhebung einer noch grösseren Masse auf, die sich unter einem beträchtlichen Teile dieses Gebirges ausbreitet.“ BARBOIS und LACROIX haben ähnliche Anschauungen über die Bretagne bezw. die Pyrenäen entwickelt¹⁾.

Die Betrachtung der die Batholithen begleitenden, vielfach Erz führenden Gänge zeigt, dass in ihnen „die Erze der Reihenfolge der Fumarolen mit Abkühlung in der Richtung gegen unten folgen.“ Es ist längst bekannt, dass die gasförmigen Emanationen der Vulkane in einer bestimmten Reihenfolge enden. Cl und Fl hören zuerst auf, nach ihnen S und As, während C noch sehr lange Zeit dem vulkanischen Boden entströmen kann. Es gibt nun viele Gänge, in denen nur die Absätze der ersten oder der beiden ersten dieser drei Phasen vertreten sind. Sind beide da, so findet sich I in höheren, II in tieferen Teilen des Ganges, „III ist selten sichtbar und ist das tiefste.“ So erklärt SUSS, dass in der Joachimsthaler Gegend der Bergbau topographisch oben mit den zinnreichen Absätzen der ersten Phase begann, dann zur Gewinnung der tiefer liegenden Silbererze übergegangen und schliesslich, zeitlich am spätesten und in vertikaler Richtung am tiefsten, zu den Karbonaten gelangt sei. „Die Geschichte dieser Bergstadt, der Übergang von den Zinnwäschen zu der Glanzzeit des Silbers, dann der Erzeugung von Kobaltblau, dann von Uranfarben versinnlicht die primären Teufenunterschiede der Erze.“

Bei der Besprechung der

Verbindung der Batholithen mit Vulkanen

bezieht sich SUSS auf BARRELL's wichtige Monographie „Geology of the Marysville Mining District, Montana“²⁾. BARRELL schliesst sich übrigens in ihr, wie der Ref. hervorheben möchte, DALY's Platztausch-Hypothese vollständig an und bringt eine ganze Reihe von selbständig aufgefundenen Belegen für sie. SUSS hebt aus der Arbeit besonders hervor, dass nach BARRELL³⁾ die den Batholithen begleitenden Gänge plötzlicher Entstehung sind⁴⁾. Erreichte nun ein solcher Gang die Erdoberfläche, so würde ein Vulkan entstehen. „Die heissen juvenilen Gase würden unter Erweiterung der Esse dieser zuströmen“ und „das weitere Aufdringen des Batholithen würde unter dieser Entlastung stocken.“ „In einem anderen Falle kann es geschehen, dass über dem Scheitel des Batholithen das Dach zusammenbricht, ein Netz von Spalten entsteht, viele Ausbrüche und Ergüsse stattfinden und er dann ebenso in der Tiefe stockt.“

Ausser diesen beiden Annahmen, die wohl ohne weiteres anzuerkennen sind, macht SUSS noch eine dritte.

1) Das Odenwälder Granitmassiv dürfte ebenfalls ein Batholith sein. D. Ref.

2) U. S. Geological Survey. Professional Paper 57. Washington 1907.

3) A. a. O. S. 157—158.

4) Ähnliche Beweise, wie sie BARRELL beibringt, sind auch in dem im Drucke befindlichen zweiten Bande der Adamello-Monographie des Referenten enthalten.

Er verweist darauf, dass viele Tiefengesteinsmassive als Decke gar kein Sediment, sondern nur vulkanisches Material tragen. (Theralith bei Duppau unter Basalt, Augitsyenit unter Aschen und Laven der Euganeen, Kenyt am Gipfel des Kenya, Quarzmonzonit des Batholithen von Boulder unter Andesit usw.) Er ist nun der Ansicht, dass hier das Tiefengestein nicht jünger als das Deckgestein zu sein brauche, sondern gleichaltrig und syngenetisch mit ihm sein könne. Vom Kenyt sagt er geradezu: „Hier kann man sich der Meinung nicht entziehen, dass entweder ein Magma hoch über die Umgebung emporgetragen wurde, das unter Austossung einer verhältnismässig geringen Decke von losem und schlackigem Gestein holokristallinisch zu erstarren vermochte, oder dass bei andauerndem Zuströmen von Wärme die eigene Asche und die eigenen Laven in Kenyt verwandelt wurden“ (also Rekokt).

Von dem Batholithen von Boulder dringen feine Ausläufer in den bedeckenden Andesit ein. Dennoch fragt SUSS, ob man hier nicht trotzdem den Andesit als die vulkanische Fazies des Quarzdiorites ansehen könne. Und jedenfalls kommt er mit HAGUE, dem Referenten und anderen zu dem Ergebnis, dass „die zur Bildung holokristalliner Gesteine erforderliche Überdeckung gar weit überschätzt worden ist.“ Der Referent hatte schon 1897¹⁾ unter Hinweis auf die nach BRÖGGER nur 600 m betragende Mächtigkeit der Drammengranit-Decke hervorgehoben, dass „das Korn und die Struktur der Lakkolithgesteine nicht bloss von der Tiefe ihres Erstarrungsortes abhängen, sondern wahrscheinlich auch von ihrer Masse und ihrer Temperatur im Momente der Injektion. Ich vermute auch, dass die Wärmeleitungsfähigkeit und die spezifische Wärme der umgebenden festen Gesteine eine grosse Rolle dabei spielen, und dass der Dampfgehalt der Magmen und die Dauer ihrer Injektion in Betracht kommen.“ 1902 kam ich bei der Besprechung des jetzt von FREUDENBERG als Shonkinit bezeichneten Tiefengesteines des Katzenbuckels (im Odenwald) auf diese Frage zurück²⁾. Die Tiefe unter der Oberfläche, in der dies Gestein körnig erstarrte, beträgt rund 600 m. In grösserer und geringerer Tiefe aber erstarrte in demselben Schlot auch Nephelinbasalt. Diese Beobachtung veranlasste mich damals zu der folgenden Bemerkung: „Man sollte, wenn die Herausbildung der Tiefengesteinsstruktur im wesentlichen eine Funktion der Tiefenlage des Gesteins, nämlich der Grösse des Druckes und des Temperaturunterschiedes gegenüber den umgebenden Gesteinen wäre, erwarten die ganze Kuppe des Katzenbuckels aus körnigem Gestein zusammengesetzt zu finden. Die entgegengesetzte Beobachtung möchte ich dahin deuten, dass ein wesentlicher Faktor für die Herausbildung der körnigen Struktur das langsame Entweichen der Magmadämpfe ist. Wo diese, wie am Katzenbuckel, im Eruptionskanal eines Vulkans schnell entweichen können, da entsteht trotz sonst ausreichender Tiefe porphyrische Struktur. Vielleicht ist auch die sonderbare Struktur der in der Tiefe erstarrten nordamerikanischen Lakkolithen auf ähnliche Weise zu erklären. Der Ijolith (jetzt Shonkinit) „des Katzenbuckels aber dürfte von einer späteren Intrusion herühren, die nach vollständiger Verstopfung der oberen Teile des Eruptionskanales von statten ging und nun allerdings die Bedingungen zur Herausbildung körniger Struktur vorfand“. FREUDENBERG lieferte in seiner schönen Monographie des Katzenbuckels³⁾ den sicheren Beweis für meine

1) TSCHERMAK's Mitteilungen. 17. S. 175.

2) Zentralblatt des Neuen Jahrb. f. Mineralogie. 1902. S. 654.

3) Mitteil. Bad. geol. Landesanst. V. 1906. S. 240.

Vermutung von dem jüngeren Alter des Shonkinites im Verhältnis zu dem Basalt. Er fügt sehr richtig auch, auf Grund einer Anregung von SAUER, hinzu, dass für die Herausbildung der Tiefengesteinsstruktur am Katzenbuckel wohl noch der Umstand von Bedeutung ist, „dass der Nachschub des shonkinitischen Magmas in ein erst eben erkaltendes Gestein erfolgte, welches den Schmelzfluss des Shonkinits vor rascher Erstarrung schützte.“

Auf Grund aller dieser Ausführungen, die sich leicht noch durch andere Beispiele¹⁾ und Betrachtungen ergänzen liessen, ist wohl anzuerkennen, dass in der Tat, wie SUESS will, holokristallinische Tiefengesteinsstrukturen in sehr geringem Abstand von der Erdoberfläche entstehen können, und dass es also wohl möglich ist, dass die Deckkruste eines Tiefengesteinsmassives nur aus seiner eigenen und noch dazu gering mächtigen vulkanischen Oberflächenfazies bestehe. Immerhin möchte ich in Boulder denn doch den Quarzmonzonit nach Analogie des Katzenbuckel-Shonkinites für einen im Verhältnis zu dem Deck-Andesit jüngeren Nachschub halten, da mir sonst das Auftreten der Apophysen des Tiefengesteines im Andesit unverständlich erscheint.

Aus dem häufigen Auftreten von Crofesima und Nifesima an der Erdoberfläche folgert SUESS, dass „die juvenilen Gase unter der salischen Hülle ihren Ursprung nehmen. Aufschmelzend und durch die Temperatur über sich brechend, dringen sie nach aufwärts.“ Dabei sollen grosse Mengen von salischen Gesteinsmassen und Sedimenten resorbiert werden, so dass, wie LÖWINSON-LESSING und DALY sagen würden, ein syntektisches Magma entstände. Dies erreicht die Oberfläche und bildet hier Laven und Tuffe. „Das Zuströmen von Gasen dauert noch immer an; sie erhitzen und schmelzen Teile ihrer Umgebung, aber sie veranlassen keine Eruption mehr. Ihre eigenen an der Basis des Kegels und ringsum ausgebreiteten Ejekta werden aufgeschmolzen und verwandeln sich in holokristalline Felsarten, wobei an ihrer Basis der Gehalt an Nifesima sich abscheidet, während die leichteren salischen Gesteine höher bleiben. . . . So folgen sich Assimilation und Differentiation.“

Passiven Injektionen,

im Gegensatz zu den aktiv aufsteigenden Batholithen, will SUESS offenbar keine grössere Bedeutung zugestehen, obwohl er zugibt, dass bei „unterirdischen Vorgängen der hydrostatische Druck nicht übersehen werden darf.“ Er führt als Beispiele von unten injizierte Sandstein- und „bituminöse Gänge“ an, hebt aber hervor, dass bei diesen letzteren ein gewisser Gasdruck eine Rolle spielen mag. Bei den Lakkolithen geht er auf GILBERT's ursprüngliche Definition zurück und fasst sie gewissermassen nur als eine örtliche Verdickung eines Lagerganges auf. Eine grössere Rolle der Lakkolithen für die Gebirgsbildung wird bestritten. Sie mögen wohl „eine örtliche Aufblähung, aber niemals eine Gebirgskette hervorbringen“. Der häufig zu beobachtende Mangel an Kontaktmineralien an ihren Rändern wird als ein Zeichen von geringerer Wärme des Magmas erklärt. Die in der Literatur aufgeführten und als passive Injektionen gedeuteten Beispiele von Tiefengesteinsmassen mit Kontaktmineralien (Drammengranit-Brögger, Rézbanya-Gänge-POSEPNY, Adamello-Tonalit-Referent) werden offenbar nur mit Zweifel zu den passiven Injektionen gerechnet.

1) Z. B. von den schottischen Inseln.

Unter den

grünen Gesteinen,

den „pietre verdi“ der italienischen Geologen¹⁾, versteht SUESS „ni- und profesimische Lagergänge, die in ausserordentlich grosser Verbreitung vielen gefalteten Gebirgen eingeschaltet sind. Sie bilden nie die Achse eines Gebirges; und kaum je könnte man einen simischen Batholithen mit einiger Berechtigung als ihren mutmasslichen Ausgangspunkt nennen.“ Sie haben manchmal, aber keineswegs oft, die Nebengesteine erheblich metamorphosiert.

Bekanntlich ist durch STEINMANN vor einigen Jahren das Auftreten solcher grünen Gesteine zum Gegenstande einer wichtigen Veröffentlichung gemacht worden²⁾. STEINMANN ging von der Untersuchung der grünen Gesteine in den Bündener Schiefen aus und kam zu dem Ergebnis, dass sie sich überall in der Welt mit Radiolariten verknüpft fänden und offenbar an ehemalige Tiefseezonen gebunden seien. „Aus der Tiefseezone der alpinen Geosynklinale sind nun aber später die beiden ausgedehntesten und obersten Überschiebungsdecken, die rhätische und die ostalpine hervorgegangen.“ Darum seien die Ophiolithe in den Alpen auf diese beiden beschränkt, „und gewinnen einzig in der rhätischen Decke eine erhebliche Bedeutung“. „Sie sind mithin nicht bezeichnend für die alpinen Überschiebungsschollen im allgemeinen, sondern nur für eine bestimmte Decke, die aus der Tiefseezone der alpinen Synklinale stammt.“ Effusive Massen von Ophiolithen waren ihm in der rhätischen Decke nicht bekannt. Soweit ihre Lagerungsform in dieser feststellbar war, schien es sich ausschliesslich um Injektionen zu handeln.

Zur Erklärung für die Beschränkung der grünen Gesteine auf ehemalige Tiefseebildungen stellte er sich vor, dass „unter den grossen Meerestiefen sich magmatische Massen von extremer Basizität ansammeln und dass bei der Aufaltung der abyssischen Regionen diese Massen mit aufsteigen und zur Injektion gelangen, während in den Festlandssockeln und unter flachen Meeresregionen saurere Magmen emporsteigen“.

SUESS wendet sich unter voller Anerkennung der wichtigen Ergebnisse STEINMANN's dennoch dagegen, dass die Ophiolithe nur in Tiefseebildungen aufsetzen. Er sagt: „Wo aber die gefalteten Gebirge nicht in tiefer See gebildet sind, treten dennoch die grünen Gesteine auf.“ Als besonders auffälliges Beispiel zitiert er die Ophite der Pyrenäen (die aber nicht Ophiolithe, sondern Diabase sind. D. Ref). „Die grünen Gesteine sind Lagergänge in disloziertem Gebirge, die bald den Schichtfugen und bald den Bewegungsflächen folgen.“ Sehr typisch und beweiskräftig seien in dieser Hinsicht die tibetanischen Deckschollen am Himalaya (besonders bei Balchdura). Nach den Untersuchungen von GRIESBACH und v. KRAFFT muss die „Verfrachtung der tibetanischen Schollen und

¹⁾ Der Name wird freilich in sehr verschiedenem Sinne gebraucht. Die „pietra verde“ der Reitzi-Schichten in Südtirol und Venetien ist ein triadischer Tuff, an den niemand denken wird, wenn von „den pietre verdi“ die Rede ist.

Der Ref.

²⁾ Geologische Beobachtungen in den Alpen. II. Die SCHARDT'sche Überfaltungstheorie und die geologische Bedeutung der Tiefseeabsätze und der ophiolithischen Massengesteine. Berichte d. Naturf. Ges. zu Freiburg i. Br. Bd. 16. S. 18—67. 1905.

das Hervortreten der simischen Gesteine zur gleichen Zeit eingetreten sein.“ Von Kargil am Indus ist in dem Gebirge auf etwa 600 km eine Einschaltung von Tertiär nachweisbar, die auf weite Strecken von profesimischen, aber auch von basaltischen und andesitischen Gesteinen, ja örtlich auch von Aschen begleitet wird.

Ebenso wie bei Balchdura im Himálaya eine „Bewegungsfläche erster Ordnung“ den grünen Gesteinen als Injektionslinie gedient hat, hat im Alpengebiet die „Soble der Dinariden“ funktioniert, deren Austrittslinie westlich von Dimaro die vom Referenten beschriebene Tonalelinie ist. Sie bildet die Grenze zwischen den Dinariden und den Alpen und wird von SUESS als eine „Verfrachtungslinie erster Ordnung“ bezeichnet. An ihr aber zieht sich der kolossale Zug der grünen Gesteine von Ivrea entlang.