Ueber das Gestein des Monte Tajumbina in Peru.

Von

Herrn **C. Höpfner** in Berlin.

Durch die Güte des Herrn Dr. Reiss wurde mir im Winter 1879/80 eine Suite von Gesteinen zur Untersuchung anvertraut, welche derselbe auf seinen Reisen in den Anden von Peru gesammelt hat. Sämmtliche untersuchten Gesteine stammen, wie Herr Dr. Reiss mittheilt, von einer einheitlichen Eruptionsmasse, dem Monte Tajumbina. Dieser Berg ist von beträchtlicher Ausdehnung und besitzt mehrere Gipfel, von denen die als West- und Ost-Gipfel bezeichneten eine Höhe von 4124 m erreichen. Der Westfuss wird von einer sumpfigen Lagunenebene umgeben, aus welcher sich inselartig isolirte Lavafelsen erheben. Ihre Meereshöhe beträgt 3505 m.

Der südwestliche Theil des Berges wurde von dem Reisenden zuerst erreicht, und von hier aus wurden die Gipfel bestiegen.

Im Wesentlichen sind die Gesteine von den verschiedenen Punkten des Berges einander sehr ähnlich; indess sind auch einige Verschiedenheiten zu beobachten, welche besonders in verschieden schneller Erstarrung der flüssigen Lava und in verschiedener Verwitterung des festen Gesteines ihren Grund haben.

Die 34 verschiedenen Handstücke, die zur Untersuchung vorlagen, waren sämmtlich porphyrisch ausgebildet, jedoch war das eine reicher an grossen Feldspatheinsprenglingen, das andere ärmer; das eine war heller, das andere dunkler.

Sämmtliche Gesteine zeigten eine mehr weniger poröse, bisweilen fast schlackige Struktur, welche das Anfertigen von Dünnschliffen erschwerte und das Herauslösen von Feldspatheinsprenglingen zu genauen chemischen und optischen Versuchen unmöglich machte. Die Poren, durch welche das Gestein bisweilen fast schlackig wird, hatten nicht die Gestalt von rundlichen Blasenräumen, sondern die von unregelmässigen Rissen, in welchen sich oft braune Zersetzungsprodukte abgelagert haben.

Die Grundmasse des Gesteines, in welche die porphyrisch eingesprengten Gemengtheile eingebettet sind, zeigt in frischem Zustande eine dunkelgraue Färbung; durch Verwitterung nimmt sie meist eine rothe Farbe an. Wo die Verwitterung schon sehr weit fortgeschritten ist, ist die Färbung zu einem hellen Grau geworden. Mit blossem Auge, besser noch mit der Loupe, sieht man Feldspath, Hornblende, Augit und Magneteisen in kleinen und kleinsten Individuen an der Zusammensetzung der Grundmasse theilnehmen; das Magneteisen findet sich an manchen Punkten gehäuft, an andern spärlicher.

Eingesprengt finden sich besonders reichlich Plagioklase von wechselnder Grösse, bisweilen über 5 Millimeter lang und oft ebenso breit. Die Grösse dieses stets rissig erscheinenden Minerals variirt auch in den verschiedenen Handstücken; so besitzen z. B. diejenigen Gesteine, welche sich inselartig aus den Lagunen erheben, so kleine Feldspathe, dass sie beim ersten Anblick fast dicht erscheinen. Im Allgemeinen beträgt die Länge der Feldspathdurchschnitte etwa 4, ihre Breite etwa 3 Millimeter. Das Mengenverhältniss von Feldspathen und dem blossen Auge dicht erscheinender Grundmasse ist meist ein solches, dass ebensoviel Raum von der letzteren als von den eingesprengten Plagioklasen eingenommen wird. Auch ohne Anwendung stärkerer Vergrösserung kann man erkennen, dass diese oft dunkle Interpositionen führen. Eine Zersetzung der Feldspathe ist nicht häufig zu verfolgen; in einigen Fällen ist zu beobachten, dass die Veränderung im centralen Theile beginnt.

An Menge dem Plagioklas weit nachstehend, aber regelmässig eingesprengt, findet sich Magnesiaglimmer in sechsseitigen dunkeln Tafeln, die durch beginnende Zersetzung rostfarben werden. Auch in diesen lassen sich mit blossem Auge dunkle

Interpositionen beobachten. Ferner ist Hornblende häufig, kenntlich an Glanz, Härte und Spaltbarkeit. Augit ist schwieriger nachzuweisen. In allen Handstücken endlich, abgesehen von den dichteren aus den Lagunen*, ist Quarz deutlich zu sehen. Derselbe besitzt nicht regelmässige Krystallform, sondern ist sehr rissig und wird dadurch dem sanidinartigen Plagioklas bisweilen so ähnlich, dass sich nur durch chemische Untersuchung seine Anwesenheit bestätigen lässt. Seine Dimensionen sind geringer als die oben für die Hauptmenge der Plagioklase angegebenen, und auch an Menge tritt er vor den letzteren sehr stark zurück.

Nach ihrer schon mit blossem Auge resp. mit der Loupe erkennbaren Zusammensetzung gehören die untersuchten Gesteine in die Gruppe der Quarzandesite; und zwar sind sie Quarzaugitandesite, weil, wie durch die weiter unten mitgetheilte mikroskopische Untersuchung sich ergiebt, Hornblende und Glimmer fast nur in grösseren Krystallen vorhanden sind, Augit dagegen zwar an Häufigkeit grösserer Krystallausscheidungen bisweilen zurücktritt, jedoch immer vorhanden ist und besonders an der Zusammensetzung der Grundmasse sich wesentlich betheiligt.

Der geologische Zusammenhang und die Ähnlichkeit der Gesteine lassen eine wesentliche Unterscheidung derselben nicht zu. Die geringen Unterschiede, welche erst unter dem Mikroskop deutlicher hervortreten und durch das variirende Mengenverhältniss von Glimmer, Hornblende, Augit bedingt werden, sowie die später zu erläuternde Verschiedenheit des Auftretens der Hornblende mögen vielleicht in etwas wechselnder chemischer Zusammensetzung der einzelnen Handstücke ihren Grund haben. Vielleicht könnte man die Gesteine mit der normal ausgebildeten Hornblende denjenigen gegenüber stellen, welche Pseudokrystalle von Hornblende führen.

Übrigens zeigen sich auch in dem Auftreten von Flüssigkeits-Einschlüssen in den einzelnen Handstücken Verschiedenheiten. Dieselben sind z. B. reichlich in den Feldspathen der Handstücke vom West- und Ostgipfel, ausserdem in dem Gestein aus den Lagunen, seltener in dem Gestein vom Fusse des Berges.

---

* Die chemische Analyse dieses dichteren Gesteines aus den Lagunen ergiebt auch hier das Vorhandensein von freier Kieselsäure.

Mikroskopische Beobachtung.

Für die mikroskopische Untersuchung wurden durch Herrn Fuess Dünnschliffe hergestellt von solchen Handstücken, welche entweder durch ihren äussern Habitus oder den Ort ihrer Herkunft charakteristisch zu sein schienen. Es zeigte sich, dass in den zahlreichen Schliffen, die durch ihre grosse Dünne sich als sehr vortheilhaft erwiesen, der Quarz meist fehlte, wo er im Handstück sehr wohl zu sehen war. Die poröse Natur des Gesteines hatte ein Herausspringen der rissigen Quarzkörner begünstigt. In einigen von mir selbst hergestellten Schliffen, die freilich viel dicker ausfielen als die von Fuess angefertigten, blieb der Quarz erhalten und konnte so auch mikroskopisch untersucht werden.

Nicht zu verhindern ist es bei der porösen Beschaffenheit des Gesteines, dass Smirgelpartikelchen von grösserer oder geringerer Ausdehnung am Schliff hängen bleiben. Die grösseren derselben führen den Beobachter, der das trügerische Spiel nicht kennt, in die Versuchung, ein pleochroitisches blaues oder grünliches Mineral mit dunkeln Interpositionen zu entdecken. Krystallographische Umrisse fehlen demselben, jedoch zeigt sich oft rhomboëdrische Spaltbarkeit. Die kleinen opaken Einschlüsse in ihm dürften wohl nicht, wie angegeben wird, immer für Magneteisen, sondern oft für Eisenglanz zu halten sein, deshalb, weil sie am Rande oft durchsichtig erscheinen. Übrigens zeigte sich auch, dass in dem käuflichen Smirgelpulver Eisenglanzblättchen neben den Smirgelkörnern vorhanden waren.

Grundmasse.

Im Dünnschliffe unter dem Mikroskop zeigen alle untersuchten Gesteine eine Grundmasse, aus der als Einsprenglinge die auch schon mit unbewaffnetem Auge erkennbaren Mineralien, insbesondere Feldspathe, hervortreten. Von den grossen Feldspathen, welche makroskopisch schon das Gestein porphyrisch erscheinen lassen, bis zu denen von winzigster Grösse sind alle Übergänge vorhanden. Daneben findet sich Glimmer, Hornblende, Augit in wechselnder Menge, letzterer stets auch in mikrolithischer Ausbildung. Ferner ist Quarz vorhanden. Apatit und reichlicher Magnetit findet sich in das Gesteinsgewebe eingestreut.

Bei 150facher Vergrösserung zeigt sich die Grundmasse faserig entglast. Bei stärkerer (400—600facher) Vergrösserung wird das Gesichtsfeld dunkel und verschwommen. Wendet man aber zur Beleuchtung statt des Tageslichtes helles Lampenlicht an, so wird die Untersuchung sehr begünstigt: das Gesichtsfeld wird verhältnissmässig sehr hell, die Grundmasse deutlicher und fast auflösbar, nur von den kleinen und kleinsten Krystallen, die in dem allenthalben zwar vorhandenen aber zurücktretenden Grundglas ausgeschieden sind, bleiben die Ränder verschwommen. Insonderheit aber ist es unangenehm, dass auch die grossen Feldspathe sich nicht deutlich von der Grundmasse abheben. Bisweilen wird nämlich der Feldspath durch vielfache Einschlüsse sehr ähnlich der Grundmasse, anderseits aber ist diese letztere an manchen Stellen ziemlich frei von Krystalliten und dann bei der Betrachtung in gewöhnlichem Licht mit Feldspath leicht zu verwechseln. Feldspathe und Grundmasse zeigen in Folge des gelben Lampenlichtes eine gleiche gelbe Färbung. Bei Anwendung des Analysators wurde das Gesichtsfeld ganz dunkel und verschwommen, so dass von den Krystalliten keine Spur zu sehen war, und nur die Grundmasse schwach wolkig polarisirend erschien. Wurde bei gekreuzten Nicols die Quarzplatte eingeschoben, so konnte man die Deutlichkeit erhöhen. Durch zweckmässige Stellung des Spiegels gelang es dann, eine ockergelbe Beleuchtung zu erhalten, welche die Krystalliten in äusserst scharfen Umrissen zeigte und die grösseren Feldspathe durch abweichende Farbe unterscheidbar machte.

Bei Anwendung der Quarzplatte zeigte sich nur ein wolkig getrübtes Grundglas und in diesem, etwa nur den fünften Theil erfüllend von dem Raume, den das Grundglas inne hatte, befanden sich viele kleine durchsichtige Prismen mit meist stumpfer, selten spitzer Endigung. Bei dem dichteren Gestein aus den Lagunen waren sie sehr klein, aber äusserst zahlreich. Einerseits gingen diese Krystalliten in haarförmige feine Gebilde über, anderseits wurden sie auch grösser und zeigten dann oft basale Spaltbarkeit. Oft waren sie zerbrochen und geknickt. Die Doppelbrechung war zwar deutlich, aber die Auslöschung nicht sicher zu bestimmen, da ohne Quarzplatte wenig zu sehen war.

Bisweilen zeigten die Krystalliten in ihrer Form Ähnlich-

keit mit Apatit, und nach ihrer nadelförmigen Gestalt ist auch eine beträchtliche Zahl der Krystalliten bestimmt als Apatit zu deuten. Die meisten entsprechen nach ihrer ganzen Gestalt und optischem Verhalten, soweit sich letzteres prüfen lässt, dem Augit; wenige sind als Hornblenden zu deuten, diese sind dann dunkler gefärbt. Dass weniger Apatit als Augit vorhanden ist, folgt auch aus der chemischen Analyse des Gesteines, welche nur wenig Phosphorsäure ergab.

Glimmer war unter den feinen Entglasungsprodukten der Grundmasse nicht zu finden. Sehr reichlich sind dagegen Feldspathe; sie sind leistenförmig wie die kleinen Augite, unterscheiden sich aber von diesen und den andern Gemengtheilen besonders dadurch, dass sie sich von der Grundmasse meist nicht wie jene es thun, durch scharfe Ränder abgrenzen. Sie können als Hauptursache der schwach wolkigen Polarisation der Grundmasse angesehen werden. Magneteisen ist in Gestalt winziger Körnchen vorhanden, ausserdem aber auch in Form von Trichiten.

Einsprenglinge.

Feldspath. Bei weitem das wichtigste der eingesprengten Mineralien ist der Plagioklas. Derselbe findet sich in allen Grössen, so dass von den mehr breitrechteckigen, 5 Millim. langen Durchschnitten bis zu den lang leistenförmigen kleinen der Grundmasse alle Übergänge vorhanden sind. Da die Art seines Auftretens und die optische Beschaffenheit der Individuen zu weitergehenden petrogenetischen Betrachtungen Anlass giebt, so ist diesem Mineral unten ein besonderer Abschnitt gewidmet, auf den hier nur kurz hingewiesen werden mag.

Augit. Ebenso wie der Feldspath tritt auch der Augit als Gemengtheil der Grundmasse und zugleich als Einsprengling auf, jedoch ist die Zahl der eingesprengten Augite im Verhältniss zu der Menge der Feldspathe eine geringe, auch ihre Grösse ist nicht so beträchtlich. Er zeigt die gewöhnlichen Formen, ist hellgrün und besitzt einen nur sehr schwachen Dichroismus. Meistens ist seine ebenflächige Krystallform arg beschädigt und durch Reibung und Bruch verloren gegangen. Eine Verwechselung des Augit mit Hornblende war nicht möglich, da im vorliegenden Gestein beide Mineralien durch Form, Spaltbarkeit,

Farbe, Dichroismus sehr wohl charakterisirt waren. Als Interpositionen waren spärlich Magnetite und Apatite vorhanden.

Quarz. Was den Quarz betrifft, so ist er makroskopisch, obgleich nicht eben zahlreich, fast überall in rissigen Körnern zu sehen, in den Dünnschliffen aber deshalb meist nicht vorhanden, weil er beim Schleifen herausgesprungen ist. Er zeigt keine Umgrenzung durch Krystallform, und daraus kann man vielleicht schliessen, dass die Ausscheidung des Quarzes eine sehr späte gewesen ist, später als die des Augit und später sicherlich als die eines grossen Theiles der Feldspathe der Grundmasse. In den Dünnschliffen bemerkt man, dass er einzelne Flüssigkeitseinschlüsse führt.

Vollkommene Sicherheit über das regelmässige Vorhandensein von freiem Quarz liess sich nur durch chemische Prüfung gewinnen, zumal die rissigen Quarzkörner, wie bereits oben erwähnt, im äussern Habitus dem Feldspath sehr ähneln. Die einfachste Methode, Quarz von Feldspath zu unterscheiden, beruht auf der verschiedenen Schmelzbarkeit beider Mineralien. Da jedoch die rissigen Quarzkörner sehr leicht aus der Pincette sprangen, so wurde ein Versuch mit einer Perle von kohlensaurem Natron gemacht. Zwar löst sich in dieser auch der Feldspath, aber merklich langsamer; die Entwickelung von Kohlensäure ist weniger energisch, denn die freie Kieselsäure wirkt kräftiger als die schon theilweise durch Basen gebundene des Feldspathes. Auch ist die SiO_2-Perle klarer als die des Feldspathes. Um die Sicherheit der Unterscheidung zu erhöhen, wurde dann die erhaltene Perle mit Kobaltauflösung befeuchtet, und falls der zu untersuchende Mineralsplitter Feldspath war, erschien die charakteristische blaue Färbung, welche ein Quarzsplitter nicht zeigte. Auch eine andere vortreffliche Unterscheidungsmethode, die mittelst der Phosphorsalzperle, wurde angewendet. Der Feldspath löst sich sehr langsam und hinterlässt das sogenannte undurchsichtige flockige Kieselskelet, während der Quarz nicht im Mindesten seine Form verändert und klar bleibt.

Beim Anfertigen von Dünnschliffen machte sich die Anwesenheit des Quarzes in dem Gestein dadurch bemerklich, dass die Splitter beim Schleifen auf der Smirgelscheibe fast fortwährend Funken sprühten.

Hornblende. Die Hornblende erreicht etwas grössere Dimensionen als der Augit; sie erscheint fast nur in Form grösserer Einsprenglinge, welche an Zahl denen des Augit im Durchschnitt gleichkommen mögen. Sie tritt einmal als normale Hornblende auf, dann in anormalem Zustande in Pseudokrystallen; im letzteren Falle ist sie nur der Form nach als Hornblende zu bezeichnen.

Die normale Hornblende erscheint meist mit deutlicher Krystallform und vollkommener Spaltbarkeit. Ihre Farbe ist gelbbraun, ihr Dichroismus stark. In einigen Gesteinen hat sie einen schwarzen Rand, in der Regel hat sie wenig Einschlüsse. Am häufigsten ist eingeschlossen Magnetit, auch Apatit, selten Glimmer; in einem Fall wurde auch ein Plagioklaszwilling mit grosser Auslöschungsschiefe rechts und links der Zwillingsgrenze beobachtet. Zuweilen sieht man, dass kleinere Hornblendeprismen in radialstrahligen Aggregaten sich an die unregelmässigen Grenzen der Quarze anlegen; wo letztere beim Schleifen herausgesprungen sind, bleibt oft als Indicium ihrer früheren Anwesenheit der Hornblendekranz ganz oder theilweise zurück.

Die Pseudokrystalle der Hornblende, welche in den Handstücken vom Westfusse des M. Tajumbina vorkommen, sind ebenfalls an der Form der basalen Durchschnitte leicht als Hornblende zu erkennen, besonders den unzweifelhaften Augiten gegenüber, aber auch nur an der Form dieser Durchschnitte. Sie erscheinen nämlich, wie gewöhnlich, sechsseitig; die Schnitte parallel der Hauptaxe besitzen meist faserige Endigung. Regelmässige Spaltbarkeit fehlt. Die die Form erfüllende Substanz ist bedeutend heller und durchsichtiger als bei der vorigen Varietät, aber meist ganz angefüllt mit Magnetitkörnchen. Beobachtet man bei gekreuzten Nicols, und sucht man die seltenen Fälle auf, wo normale Hornblende entweder innerhalb der hellen Substanz vorkommt oder sie umschliesst, oder wo zwischen ausgezackten Hornblenderesten die helle Substanz sich findet, so überzeugt man sich, dass die letztere nicht homogen und nicht Hornblende ist. Sie besteht vielmehr aus Augitkryställchen, und die Pseudokrystalle sind somit Augitaggregate, welche die Form der Hornblende besitzen. Für Augit müssen die Kryställchen ihrer Spaltbarkeit und ihrer grossen Auslöschungsschiefe wegen gehalten wer-

den, welche letztere sich dann von der der Hornblende besonders abweichend zeigt, wenn im Innern der Pseudokrystalle ein dunkelgelber Hornblendekern noch erhalten ist. In einem Schnitt nach dem Brachypinakoid war die Schiefe des Hornblendekernes 10°, die der Augite 30°—40°; die letzteren waren mit ihren Hauptaxen der der Hornblende parallel gelagert, was sonst nicht immer der Fall ist. Die Färbung der Augite ist derart, dass man sie nur mit den echten grossen und kleinen im Gestein vorhandenen Augiten vergleichen kann. Beide sind sehr hellgrün und klar und besitzen bei gekreuzten Nicols keine lebhafte Interferenzfarbe, sondern erscheinen den Feldspathen ähnlich grau. Wie man sich die Massenhaftigkeit der Magnetit- und Augiteinschlüsse — denn so wird man wohl die Erscheinung nennen können — erklären soll, ist schwer zu sagen. Im Allgemeinen muss man wohl annehmen, dass von einem sich bildenden Krystall je nach der Grösse seiner Krystallisationskraft fremde, vielleicht ihrer Form nach untaugliche, Bestandtheile zurückgewiesen werden, ebenso wie gleichgeartete angezogen werden, oder dass jene vielleicht gerade dadurch zurückgedrängt werden, dass das kräftige Zufliessen und willige Aufnehmen gleichen Materiales es fremden Körpern schwer oder unmöglich macht, Herberge zu finden. Dass der sich bildende Krystall die fremden Theile, die an ihm haften bleiben, seine lenkende Kraft oft fühlen lässt, insofern er sie wenigstens gesetzmässig zu ordnen und seinen Formverhältnissen entsprechend unterzubringen sucht, kann nicht im Mindesten befremden. Die Pseudokrystalle scheiden bisweilen bei ihrer Zersetzung chloritische Massen aus.

Der Farbenunterschied von Hornblende und Augit, wie er recht auffällig bei denjenigen Pseudo-Hornblenden resp. Augitaggregaten zu sehen ist, deren Wachsthum von einem Hornblendekern ausging, kann erklärt werden durch chemische Verschiedenheit von Augit und Hornblende. Untersuchungen, welche an aufgewachsenen zusammen vorkommenden Augiten und Hornblenden bisher angestellt wurden, und Vergleichung sonstiger Augitanalysen mit denen von Hornblenden haben in der That gezeigt, dass die Hornblende in der Regel viel reicher ist an Sesquioxyden, und dass sie Alkalien führt, der Augit dagegen bedeutend mehr Calcium besitzt als die Hornblende. Eine der-

artige Verschiedenheit wurde in den Vesuvlaven durch G. v. Rath nachgewiesen. Nach der Zusammenstellung von J. Roth enthält die Hornblende in den Gesteinen durchschnittlich 10 %, der Augit 15—24 % Kalkerde. Von Al_2O_3 und Fe_2O_3 enthält dagegen der Augit nur 4—14 %, die Hornblende 7—25 %. Auch im vorliegenden Falle kann man demnach vielleicht den Farbenunterschied von Augit und Hornblende durch die Annahme erklären, dass die dunkle Hornblende Al_2O_3 und Fe_2O_3 führt und der helle Augit reicher an Kalkerde ist.

Dass die Hornblenden im vorliegenden Gestein weniger als Mikrolithe auftreten, erklärt sich nun vielleicht in folgender Weise: Aus dem flüssigen Magma geschah die Ausscheidung der Hauptmenge von $CaSiO_3$ später als die von $MgSiO_3$ und $FeSiO_3$ und später insonderheit als die Ausscheidung des den Hornblenden beigemengten Thonerdesilikates. Als $CaSiO_3$ anfing, sich in grösserer Menge auszuscheiden, bildeten sich nicht mehr Hornblenden, sondern Augite; die Augitbildung würde somit den Bildungsprocess der einfachen zu isomorphen Mischungen sich verbindenden Silikate $CaSiO_3$, $MgSiO_3$ etc. beschlossen haben. Am Ende der Ausscheidung dieser Silikate waren aber die Erstarrungsbedingungen derart, dass Bildung von Mikrolithen in grosser Zahl eintrat. — Zweifellos bildete sich Hornblende und Augit nach Beginn und vor Schluss der Feldspathausscheidung; nach Beginn derselben, weil die Feldspathe Augite und auch Hornblenden einschliessen, vor Schluss derselben, weil die kleinsten Augite scharf begrenzt in einem Gemenge von kleineren nicht scharf begrenzten Feldspäthen und von Magma schwimmen.

Glimmer. Der dunkle Magnesiaglimmer erscheint, wie gesagt, nur in grösseren Krystalldurchschnitten einsprenglingsartig, mehr weniger zahlreich in den einzelnen Handstücken. Unter dem Mikroskop zeigt es sich, dass er in der Regel zerrissen, dadurch offenbar, dass er als ziemlich früh gebildetes Mineral von geringer Festigkeit im strömenden Magma mit festeren Krystallen in Berührung kam und Verletzungen mannigfach davontrug. Er zeigt sehr starken Dichroismus, von gelb oder rothbraun bis ganz dunkelbraun. Von der Hornblende ist er meist dadurch schon unterschieden, dass er einen ähnlichen Glanz zeigt, wie er faulendem Holz eigen ist. An Interpositionen

ist er nicht gerade reich. Bisweilen schliesst er Apatit ein, häufiger Magneteisen. Nur ganz vereinzelt wurde ein kleiner Feldspath eingeschlossen gefunden. Den Einschlüssen nach zu urtheilen, geschah seine Ausscheidung etwa gleichzeitig mit beginnender Feldspathbildung, früher sicherlich als die Ausscheidung von Augit und Hornblende, die er nicht einschliesst.

Magnetit. Der Magnetit muss im Wesentlichen als ein Gemengtheil der Grundmasse betrachtet werden, indess werden bisweilen seine Dimensionen recht ansehnlich. Er ist in allen Handstücken ziemlich reichlich vorhanden und zeigt häufig Zersetzung zu Brauneisen. Dass auch er ziemlich frühzeitig, frühzeitiger als Glimmer, Feldspath, Hornblende, Augit und etwa gleichzeitig mit Apatit sich aus flüssigem Magma ausschied, ist daran ersichtlich, dass er constant von den erstgenannten Mineralien eingeschlossen wird, während das Umgekehrte nicht stattfindet.

Apatit. Auch der Apatit, dieser aber noch weniger als der Magnetit, erreicht nur sehr selten grössere Dimensionen. Seine rechteckigen Schnitte in der Prismenzone zeigen dann eine parallel der Hauptaxe verlaufende schwarze Streifung, die wahrscheinlich von Interpositionen herrührt.

Wenngleich der Apatit in kleinen und kleinsten Krystallen an der Zusammensetzung der Grundmasse Theil nimmt, so ist er doch nichtsdestoweniger nicht gleichzeitiger Entstehung mit den kleinsten Augiten und Feldspathen. Da er vielmehr in den vergesellschafteten Mineralien als Interposition häufig erscheint, so ist er zweifellos eine der frühesten Ausscheidungen des Magmas. Dass seine Ausscheidung nicht lange Zeit in Anspruch genommen haben kann, geht daraus hervor, dass die Apatite der Grundmasse im Allgemeinen nicht grösser sind, als die in den Feldspathen eingeschlossenen, also unstreitig ziemlich früh gebildeten.

Die Feldspathe des Gesteins vom Monte Tajumbina.

Die Feldspathe, welche beobachtet wurden, waren grosse Einsprenglinge mit meist deutlicher Krystallform, die, nur selten lang leistenförmig, sondern meistens breit rechteckig, dem Gestein makroskopisch schon porphyrische Struktur verliehen; dann

kleine und kleinste langleistenförmige Krystalle, deren Endigung und seitliche Begrenzung wenig markirt sich in der Grundmasse verlor, und drittens solche von mehr quadratischer oder kurz rechteckiger Form von geringer Grösse und scharfer Abgrenzung. Übergänge waren vorhanden, aber die grossen Durchschnitte besonders hoben sich charakteristisch von der Grundmasse und den kleinen Feldspathen ab. In Folge des Grössenunterschiedes machte es durchaus den Eindruck, als ob die Bildung der grösseren Feldspathe sehr wesentlich früher begonnen, früher als die der Hornblenden und Augite, und als ob die kleineren erst später sich in grosser Anzahl gebildet hätten. Die kleinen lang leistenförmigen Individuen hatten die Form wie die Feldspathe der Basalte, Diabase etc. Oft waren sie Zwillinge von nur zwei Individuen; nur die grossen Durchschnitte zeigten in der Regel vielfache Zwillingsbildung. Zu der gewöhnlichen kam oft die nach der Basis, so dass die gewöhnlichen Streifen durchschnitten wurden von solchen, die der basalen Spaltbarkeit parallel. Die letzteren beschränkten sich oft auf einen Theil des Durchschnitts.

Einschlüsse.

Am meisten Einschlüsse zeigen die grossen Feldspathe, aber auch in den kleinen fehlen sie nicht; sie sind besonders bei starker Vergrösserung- und Lampenlicht leicht zu beobachten. Sehr häufig ist Magnetit eingeschlossen selbst im innersten Theil grosser Feldspathe; auf ihren Spalten hat sich dann oft Brauneisen als Zersetzungsprodukt abgelagert. Bisweilen findet sich, in mehreren Schliffen sogar regelmässig und zahlreich Eisenglanz in blutrothen halb durchsichtigen Blättchen. Ob dieser sein Dasein auch der Umwandlung des Magneteisens verdankt, ist nicht deutlich zu verfolgen. In Form nadelförmiger, am Ende stumpfer, scharf begrenzter Prismen findet sich auch Apatit im Centrum der Feldspath-Durchschnitte, häufiger freilich am Rande derselben, wo auch die kleinen Augite der Grundmasse sehr zahlreich noch in den Feldspath hineinragen und dadurch die Grenze zwischen Krystall und Grundmasse meist nicht scharf hervortreten lassen. Den Mangel dieser scharfen Grenze, der auch bei sonst wohl begrenzten Durchschnitten häufig zu sehen ist, könnte man vielleicht durch die Annahme erklären,

dass der Krystall bei schon fortgeschrittener Abkühlung des Magmas inmitten des Krystallgewirres eine feste Lage angenommen und dann aus dem noch vorhandenen zäheren Magma passende Bestandtheile angezogen, aber nicht vermocht hat, die Mikrolithen von sich fern zu halten. Wenn auch seltener, so findet sich doch bisweilen in den Feldspathen Glimmer eingeschlossen.

Auch Einschlüsse von Grundmasse mit ihren Entglasungsprodukten sind vorhanden. Bisweilen scheint es sogar, als ob ein Feldspath im Innern ganz voll sei von Grundmasse und Krystalliten, aber bei aufmerksamer Betrachtung zeigt sich dann in der Regel, dass die Trübung und die scheinbaren wirr durcheinander liegenden Prismenformen hervorgebracht werden durch zahlreiche Flüssigkeitseinschlüsse. Diese sind in der That nicht nur in den meisten grossen Krystallen zahlreich vorhanden, sondern sie finden sich oft so massenhaft, dass die Menge der eingeschlossenen Flüssigkeit unverhältnissmässig gross erscheint.

An den Flüssigkeits-Einschlüssen findet sich zuweilen, aber keineswegs immer, eine Gasblase, deren Grösse in keinem gesetzmässigen Verhältniss zu stehen scheint zu der Menge der Flüssigkeit. Die Form der Einschlüsse ist verschieden, meist ist sie eine schlauchförmige, wie sie durch Fliessen auf dem tragenden beweglichen Krystall sich gebildet haben mag, oder sie ist eine regelmässige krystallartige. In dem letztern Fall sind die Einschlüsse nicht gross, während die schlauchförmigen oft relativ sehr beträchtliche Dimensionen annehmen. Die Anordnung der Einschlüsse ist eine verschiedene. Die krystallförmigen sind meist einzeln, bisweilen reihenförmig geordnet, stets mit Gasblase; die schlauchförmigen liegen wirr durcheinander, sind oft ohne Gasblase und, wenn sehr gross, weniger zahlreich, wenn klein, oft überaus massenhaft. Oft ist nur der centrale Theil, oft nur der Rand, bisweilen der ganze Durchschnitt voll von Einschlüssen. Eine Beweglichkeit der Libelle wurde nicht beobachtet. Dass jedoch Einschlüsse von Flüssigkeiten vorliegen und nicht solche von Glas, glaube ich erstens daraus schliessen zu dürfen, dass manche beim Schleifen wahrscheinlich geöffnete Hohlräume trübe schmutzige Körner enthalten, die als Smirgelschlamm gedeutet werden können, zweitens daraus, dass Entglasungserscheinungen den Einschlüssen durchaus fehlen. Die

Unbeweglichkeit der vorhandenen Libellen erklärt sich schon durch die Annahme, dass die eingeschlossene Flüssigkeit Wasser ist und nicht Kohlensäure. Erwiesen wird diese Annahme durch die Thatsache, dass ein Erhitzen des Schliffes bis zum Schmelzen des Balsams nicht im Stande war, das Aussehen der Einschlüsse zu ändern. Da nun das Wasser an den Wänden der Höhlung adhärirt, so muss es bei der geringen Dimension des Einschlusses, oder vielmehr wegen des geringen Volumens zwischen engen Wandungen, dann, wenn die Libelle und somit auch das Wasser sich bewegen soll, einen grösseren Reibungswiderstand zu überwinden haben als flüssige Kohlensäure, welche die Wände der Höhlung nicht benetzt. Denn die Beweglichkeit der Wasserpartikelchen gegen einander ist auch eine nur beschränkte, ihr Effekt ist aber um so bedeutender, je mehr Partikelchen eine gelenkige Beweglichkeit ermöglichen; ist die Zahl gering, so ist auch die Summe der Beweglichkeiten gering, zumal wenn eine relativ grosse Anzahl der Theilchen durch Adhäsion an den Wänden sich überhaupt zu bewegen verhindert wird. Die Wände sind aber im Verhältniss zur Quantität der Flüssigkeit sehr ausgedehnt desshalb, weil die aufgenommenen Wassertropfen sich in Folge der Bewegung des tragenden Krystalles auf seiner Oberfläche schlauchförmig weit ausbreiteten.

Ausgeschiedene Krystalle wurden in der Flüssigkeit nicht beobachtet.

Die chemische Natur der Feldspathe.

Seit den optischen Untersuchungen Des Cloizeaux's über die Feldspathe ist die Beobachtung der Art der Auslöschung zwischen gekreuzten Nicols ein Mittel geworden, die chemische Natur der Feldspathe in den Gesteinen zu erforschen. Zwar ist es nicht möglich, wie Fouqué und Michel-Lévy geglaubt haben, durch Beobachtung der Auslöschungsschiefe genau das Mischungsverhältniss der Plagioklase festzustellen, weil die Beobachtung nur einen beschränkten Grad von Genauigkeit zulässt; jedoch ist schon damit viel gewonnen, dass man die dem Anorthit nahe stehenden Mischungsglieder unterscheiden kann von denen, welche sich in ihrer chemischen Zusammensetzung dem Oligoklas nähern. Auch Schuster leugnet in seiner Arbeit über die Feldspathe

nicht die Möglichkeit, auf Grund zahlreicher Messungen angenähert anzugeben, ob beobachtete Feldspathe dem Oligoklas oder Anorthit näher sind. Er bestreitet nur die Meinung, dass man genau das Mischungsverhältniss von Anorthit- und Albit-Substanz eruiren könne durch Beobachtung der Auslöschungsschiefe.

Feldspathe der Grundmasse. Die kleinen, in der Grundmasse massenhaft auftretenden, langleistenförmigen Feldspathe zeigen fast durchweg eine sehr geringe Auslöschungsschiefe. Dass dies der Fall, ist leicht zu überschauen, denn zwischen gekreuzten Nicols treten besonders hell diejenigen langleistenförmigen Feldspathe hervor, welche mit ihrer Längsrichtung unter etwa 45° geneigt sind gegen die Ebenen der Nicolhauptschnitte. Dreht man nun den Objecttisch so, dass die Längsrichtung der vorher hellsten Leistchen in die Ebenen der Nicolhauptschnitte fällt, so ist wirklich fast regelmässig zu beobachten, dass sie genau parallel der letzteren oder unter nur geringem Winkel auslöschen. Es erscheint durchaus gerechtfertigt, auf Grund dieser Beobachtungen zu behaupten, dass die fraglichen kleinen Feldspathleistchen dem Oligoklas nahe stehen, welcher nach Michel-Lévy die charakteristische Eigenschaft hat, sehr nahe parallel der Zonenkante P/M auszulöschen, nach welcher die Plagioklase meist leistenförmig ausgedehnt sind. Einige Durchschnitte ohne Zwillingsbildung schienen parallel auszulöschen und könnten für Sanidin gehalten werden, jedoch ist eine sichere Unterscheidung kaum möglich; nach dem Resultat der chemischen Gesteins-Analyse könnte man ein Auftreten von Sanidin erwarten.

Die grösseren Feldspatheinsprenglinge. Sehr viel schwieriger als die Untersuchung der kleinen Feldspathe ist die Beobachtung der grossen eingesprengten, meist breitrechteckige Durchschnitte darbietenden Plagioklase. Denn erstens ist es nicht möglich, gleichzeitig eine grössere Anzahl derselben zu überschauen, weil sie der Natur der Sache gemäss weniger zahlreich sein müssen; zweitens zeigen sie nicht den langleistenförmigen Habitus, der bei den kleinen Feldspathen die Beobachtung der Zone P/M erleichterte, und es ist verhältnissmässig nur selten möglich, Durchschnitte zu finden, welche einen sichern Schluss auf die chemische Natur derselben gestatten; ausserdem

aber lässt die regelmässig vorkommende zonare Struktur anfangs nur schwer eine Verallgemeinerung einzelner Beobachtungen zu.

Glücklicher Weise wird bei genauerer Beobachtung der zonaren Struktur und der Beobachtung der mittelgrossen, oft leistenförmigen Feldspathe doch endlich eine grosse Gesetzmässigkeit in der chemischen Natur und der Genesis der Feldspathe erkannt.

Ganz allgemein ist zu bemerken, dass bei den durch Spaltbarkeit und Zwillingsbildung orientirten Durchschnitten recht häufig die Auslöschungsschiefe in der Zone senkrecht zu M sehr hohe Werthe erreicht beiderseits der Zwillingsstreifung nach dem Albitgesetz.

Zonare Struktur. Wie schon erwähnt, ist zonare Struktur besonders bei den grossen und mittelgrossen Feldspathdurchschnitten so gewöhnlich, dass nicht ihr Auftreten, sondern ihr Fehlen auffällig erscheint. Die Zahl der Zonen ist verschieden, ihre Auslöschungsschiefe abweichend. Die inneren Zonen zeigen bisweilen mehr Flächen als die äusseren, so dass es scheint, als habe auch die Temperatur des Magmas, aus dem sich die Krystalle ausschieden, Einfluss auf das Auftreten resp. Fehlen gewisser Flächen. Da die zonare Bildung so regelmässig vorhanden ist, so muss man das Fehlen zonarer Struktur in manchen Durchschnitten sich folgendermassen erklären. Angenommen, dass die Zonen sich rings um den wachsenden Krystall gebildet haben, so werden Durchschnitte, die das ursprüngliche Krystallisationscentrum getroffen haben, allerdings die Zonen des Krystalles sämmtlich zeigen, Durchschnitte, welche dem Centrum ferner sind, werden weniger deutlich und vollständig die zonare Struktur wiedergeben, Durchschnitte endlich, welche den äussersten Theil des Krystalles getroffen haben, werden gar keine zonare Struktur erkennen lassen. Dergleichen Durchschnitte werden aber in Dünnschliffen auch vorkommen können, und ihr Vorhandensein kann also nicht auffallen.

Die zonare Struktur ist in zwei wesentlich verschiedenen Modificationen vorhanden. Eine unregelmässig wiederholte Zonenbildung ist zu unterscheiden von einer einfach fortschreitenden.

Die erstere ist weniger häufig, fehlt in manchen Gesteinen ganz, ist dagegen in anderen wieder häufiger zu beobachten.

Charakteristisch ist für dieselbe, dass die Auslöschungsschiefen der verschiedenen unmittelbar aufeinanderfolgenden Zonen nur um wenige Grad von einander abweichen, was auf nur geringe Schwankungen des Gehaltes an Albit- resp. Anorthit-Substanz hinweist. Diese Art der zonaren Struktur ist sehr oft schon beobachtet und sie ist in der That wohl in allen Gesteinen mit triklinen Feldspathen mehr weniger häufig vorhanden. Auch SCHUSTER fand bei seinen optischen Untersuchungen des Andesins zonare Struktur und in einem Falle constatirt er eine Abweichung der Auslöschungsschiefe um 1,4° bei den einzelnen Zonen.

Diese zonare Struktur, welche bisweilen auch recht unregelmässig werden kann, gab PFAFF Veranlassung, sich im Gegensatz zur Auffassungsweise DES CLOIZEAUX's der TSCHERMAK'schen Theorie anzuschliessen; und in der That ist es vollkommen richtig, dass die Häufigkeit zonarer Struktur ungezwungen nur erklärt werden kann durch die Isomorphie von Albit und Anorthit. Nach den Untersuchungen C. v. HAUER's ist ja zonare Struktur bei Krystallen von in Wasser löslichen isomorphen Salzen leicht zu beobachten, und es erscheint nicht nothwendig, die Entstehung isomorpher resp. homöomorpher Mischungen sich so zu denken, dass die Mischung im Molekül vor sich geht, sondern es ist nicht unmöglich, dass die Entstehung von isomorphen resp. homöomorphen Mischungen ein lediglich physikalischer Vorgang ist, der darin besteht, dass bei der Bildung eines Krystalls Moleküle von ähnlicher oder gleicher Form gesetzmässig sich zusammenschaaren.

Indessen ist es allerdings nicht nothwendig, zunächst im vorliegenden Gestein die Feldspathe für ganz unregelmässige inhomogene Gemenge zu halten. Dass eine Regel, eine Gesetzmässigkeit vorhanden, beweist die fast bei jedem grössern Feldspathdurchschnitt zu beobachtende einfach fortschreitende zonare Struktur, wenn man mit diesem Namen diejenige Struktur bezeichnen will, welche sich von der soeben beschriebenen in folgender Weise unterscheidet. Bei vielen centralen Durchschnitten sieht man nemlich sehr deutlich, dass die einzelnen Zonen weniger scharf getrennt sind, sondern eine centrale Zone durch ganz allmähliges Dunkelwerden in eine andere Zone übergeht, welche, dann vielleicht wieder nach Aussen heller werdend, sich von

einer dritten Zone umschliessen lässt. Oft fehlt die dritte Zone, vier und mehr Zonen sind bei dieser Art der Zonenstruktur nicht vorhanden. Dreht man nun bei gekreuzten Nicols den Objecttisch so, dass das Centrum des Krystalles dunkel wird, und dreht dann weiter, so bemerkt man, dass die Dunkelheit vom Centrum ganz allmählig und gleichmässig nach den Rändern zu fortschreitet, während das Centrum wieder hell wird. Bei weiterem Drehen ist Rand und Centrum vielleicht gleich hell, zwischen ihnen bleibt ein dunkler Streifen. Die fernere Drehung verdunkelt den äussersten Rand, erhellt das Centrum. Es ist also eigentlich eine zonare Struktur vorhanden, bei der die einzelnen zahlreichen Zonen von unendlich geringer Breite sind. Die zwischen gekreuzten Nicols sichtbaren Zonen sind aber keine fixe, sondern fortschreitende.

Dadurch, dass das Dunkelwerden vom Centrum nach dem Rande zu gleichmässig vor sich geht, wird man gezwungen, anzunehmen, dass die Substanz-Änderung ebenso gleichmässig vom Centrum zum Rande fortschreitet.

Die Differenz der Auslöschungsschiefe vom Rand und Centrum betrug gar nicht selten mehr als 20°, selbst eine Differenz von 40° wurde mehrfach beobachtet. Diese grosse Differenz weist auf grosse chemische Verschiedenheit, weit grösser als die ist, welche die Ursache unregelmässig wiederholter Zonenbildung wird. Dass jedoch das Fortschreiten der Zonen und somit die Substanzänderung nicht immer ganz gleichmässig vor sich geht, zeigt die zugleich vorkommende wiederholte unregelmässige Zonarstruktur. Indessen ist diese Art der zonaren Struktur in den untersuchten Gesteinen verhältnissmässig viel seltener und selbst solche Feldspathdurchschnitte, welche unregelmässig wiederholte Zonen aufweisen, zeigen gleichzeitig mehr oder weniger deutlich fortschreitende Zonarstruktur. Denn da die unregelmässig wiederholten Zonen nur geringe Differenz der Auslöschungsschiefe besitzen, so kann die mit weit grösser werdender Differenz verbundene fortschreitende Zonarstruktur recht gut neben jenen zum Ausdruck kommen. In Sonderheit ist die Verschiedenheit von Rand und Centrum auch hier oft recht auffällig. So z. B. zeigten vielfach wiederholte Zonen eine Differenz von 3°, Rand und Centrum im selben Krystall eine Differenz von 23°.

Die allgemein auftretende fortschreitende Zonarstruktur weist auf gleichmässige continuirliche Substanzänderung hin, die unregelmässige wiederholte Zonarstruktur lässt vermuthen, dass die Continuität der Substanzänderung im wachsenden Krystall kleine Störungen erleiden konnte. Diese sind durch Störungen der flüssigen Gesteinsmasse und ihrer Krystalle auch sehr leicht erklärlich. Denn die fortschreitend zonare Bildung ist nach den Untersuchungen SCHUSTER's nur erklärlich dadurch, dass man annimmt, der Rand sei reicher an Calcium als das Centrum, oder umgekehrt, das Centrum stehe in seiner chemischen Zusammensetzung dem Anorthit näher, und der Feldspath habe während seines Wachsthums immer weniger Anorthitsubstanz, dafür aber mehr und mehr Albitsubstanz zugeführt bekommen. Dies führt zu dem Schlusse, dass die Substanz des Albit und Anorthit sich nicht zu gleicher Zeit aus dem flüssigen Magma ausschieden und Krystalle bildeten, sondern dass entweder der Calciumfeldspath früher anfing, unlöslich zu werden, als es der Natriumfeldspath that, oder umgekehrt. Angenommen nun, der Calciumfeldspath habe sich in seiner Hauptmasse früher ausgeschieden, so müssen verschiedene Theile des flüssigen Magma's zugleich mit vorhandenen Temperaturunterschieden eine Verschiedenheit der Menge der noch in Lösung befindlichen Anorthitsubstanz aufweisen. War dies aber der Fall, so konnten sehr leicht schon gebildete Feldspathe durch Strömungen aus kälteren Theilen des Magma's in heissere, und aus heisseren in kältere geführt werden; mit solcher Strömung musste aber verbunden sein die Bildung einer unregelmässigen zonaren Struktur.

Nachdem die grosse Regelmässigkeit einfach fortschreitender Zonen in allen Gesteinen, also in ganz verschiedenen Theilen der grossen Eruptions-Masse des Tajumbina constatirt war, handelte es sich darum, die Frage zu beantworten:

„Schied sich Calciumfeldspath früher aus als Natriumfeldspath oder geschah das Umgekehrte?" Um diese Aufgabe zu lösen, war es nöthig, solche Feldspathdurchschnitte zu beobachten, die eine krystallographische Orientirung zuliessen. Diese fanden sich in denjenigen Durchschnitten aus der Zone senkrecht zu M, deren Lamellen links und rechts der Zwillingsgrenze gleiche

Auslöschungsschiefe zeigten. Besonders wurden auch diejenigen Durchschnitte benutzt, bei denen die beiden Spaltungsrichtungen unter etwa 86° sich schnitten. Hierbei zeigte sich nun, dass die Auslöschungsschiefe des Centrums sehr oft eine bedeutende (nicht selten ca. 30° und mehr), mithin also derart war, dasss eine Substanz auf Anorthit oder Labradorit zu deuten war, die Schiefe des Randes aber derart, dass sie der des Oligoklas nahe kam.

Die Resultate, welche zunächst durch die Beobachtung der grossen Feldspathdurchschnitte gewonnen wurden, erfuhren eine sehr werthvolle Bestätigung durch die Beobachtungen mittelgrosser, oft leistenförmig ausgebildeter Krystalle. Diese sowohl wie die mittelgrossen quadratischen Individuen liessen oft überaus schön das Fortschreiten der Zonen erkennen, während die Durchschnitte grosser Feldspathe sich mehr dadurch auszeichnen, dass die Differenz von Rand und Centrum bei ihnen oft sehr gross wird. Bei mittelgrossen quadratisch ausgebildeten Feldspathen ist das Fortschreiten der Dunkelheit nach allen Seiten vom Centrum aus oft ein überaus gleichmässiges, bei den langleistenförmigen Durchschnitten breitet sich die Dunkelheit vom Centrum nach beiden Seiten aus. Ein lang leistenförmiger Feldspath wies zwischen Rand und Centrum eine Differenz der Auslöschungsschiefe von 10° auf.

Die Beobachtung orientirter mittelgrosser Durchschnitte wies auf grösseren Kalkreichthum des Centrums hin, der Rand näherte sich in seinem Verhalten dem Oligoklas. Indessen ist zu bemerken, dass eine sehr schmale äusserste Zone, welche nur mit einiger Aufmerksamkeit zu beobachten war, bei Durchschnitten aus der Zone senkrecht zu M bisweilen eine Auslöschungsschiefe zeigte, welche grösser war als die der benachbarten Oligoklaszone. War letztere auf Dunkelheit eingestellt, und wurde der Objecttisch gedreht, so wurde mit jener zugleich das Centrum hell, der äusserste Rand aber dunkel, und umgekehrt.

Wenn die Beobachtung zonar gebildeter Krystalle die oben gestellte Frage schon dahin beantwortet hat, dass die Bildung der Feldspathe mit der Ausscheidung von Anorthitsubstanz begonnen haben müsse, so erscheint es doch nicht überflüssig, darauf hinzuweisen, dass dies Resultat der Untersuchung vollkommen in Einklang steht mit der Thatsache, dass die der

Grundmasse angehörenden, also spätgebildeten kleinen Feldspathleistchen dem Oligoklas zugerechnet werden können. Verglichen mit diesen hatten die grossen Feldspathe soviel Fremdartiges in ihrem Auftreten, dass von vornherein eine chemische Verschiedenheit möglich erschien; und aus der Oligoklasnatur der kleinen, spätgebildeten Feldspathe allein hätte man mit einiger Wahrscheinlichkeit schon schliessen können, dass die fortschreitend zonargebildeten grösseren (und älteren) Feldspathe im letzten Stadium ihres Wachsthums Oligoklassubstanz angezogen hätten, ursprünglich aber kalkreicher gewesen wären.

Endlich ist es nicht unwichtig, zu bemerken, dass makroskopisch bisweilen centrale Zersetzung der grossen Feldspäthe beobachtet wurde, welche sich durch centralen Kalkreichthum sehr gut erklären liesse.

Die durch Beobachtung gewonnenen Resultate weisen also übereinstimmend darauf hin, dass in dem Gestein des Monte Tajumbina die Bildung der Feldspathe mit der Ausscheidung des Anorthit begonnen habe. Allem Anschein nach nahm sie lange Zeit in Anspruch, so dass es scheint, als würde Anorthitsubstanz in ihrer Hauptmasse sehr viel früher unlöslich als die Hauptmasse des Albit; ja letzterer scheint gar nicht einmal vollständig zur Krystallisation gekommen zu sein, da schnelle Erstarrung hindernd in den Weg trat; wenigstens sind einigermassen deutlich erkennbare und bestimmbare Durchschnitte, die auf einen Albit gedeutet werden müssten, nicht vorhanden. Hervorzuheben ist, dass die Feldspathe in allen Handstücken, gleichviel ob compakt, ob porös, ob schlackig, gleichviel, ob vom Fusse oder vom Gipfel des Tajumbina stammend, im Wesentlichen das nemliche Verhalten zeigen, woraus hervorgeht, dass nicht verschiedener Druck, nicht Reichthum des Gesteines an Dämpfen etc. den Gang der Feldspathbildung wesentlich zu modificiren vermochte. Temperatur und Strömungen sind es, welche die Bildung der Feldspathe beherrschten, die allmählige Abnahme der Temperatur bildete regelmässig fortschreitende Zonen, Strömungen konnten die Regelmässigkeit stören.

Wenn die Beobachtung centralen Kalkreichthums nur für das vorliegende Gestein Geltung besässe, wenn nicht auch an

andern Gesteinen Beobachtungen gemacht worden wären, welche auf frühzeitige Anorthitausscheidung und centralen Kalkreichthum hindeuteten, so könnte die für das Gestein des Monte Tajumbina gemachte Beobachtung einigermassen auffällig erscheinen. Indessen liegen Beobachtungen genug vor, aus denen eine allgemeinere Verbreitung der für das Gestein des Tajumbina beobachteten gesetzmässigen Bildung der Plagioklase geschlossen werden kann.

Zunächst ist es schon öfter aufgefallen und als beachtenswerth bezeichnet worden, dass Plagioklase bisweilen im centralen Theile zu verwittern beginnen. In ROSENBUSCH's „Mikroskopischer Physiographie der Mineralien und Gesteine", welche alle bis zum Erscheinen dieses Werkes veröffentlichten mikroskopisch-petrographischen Arbeiten zusammenfasst, geschieht dieser centralen Verwitterung öfters Erwähnung.

Ein eingehendes Studium derjenigen Angaben ferner, welche sich auf die Reihenfolge krystallinischer Ausscheidung der verschiedenen Mineralien in den Gesteinen beziehen, lässt erkennen, dass in den Gesteinen mit kalkarmen Plagioklasen diese in der Regel nach dem Augit zur Krystallisation gekommen sind, während in den Gesteinen mit kalkreichen Feldspäthen diese meist vor dem Augit auskrystallisirten. Das nämliche Verhältniss fand bekanntlich statt zwischen dem Augit und Labrador des von FOUQUÉ und MICHEL-LÉVY künstlich dargestellten Gesteines.

Auch zonare Bildung der Feldspäthe findet in der Literatur oft Erwähnung, jedoch ist es besonders die schöne unregelmässig wiederholte Zonenbildung, welche bisher die Aufmerksamkeit aller Beobachter in besonderem Grade auf sich gezogen hat. Um zu constatiren, ob die regelmässig fortschreitende Zonarstruktur auch bei andern als den untersuchten Gesteinen vom Monte Tajumbina vorhanden sei, untersuchte ich einige Gesteinsschliffe plagioklasreicher Gesteine. Herr Dr. LOSSEN, dem ich auch an diesem Orte dafür danken möchte, überliess mir mit liebenswürdigster Bereitwilligkeit zur Untersuchung mehrere Schliffe.

In den „schwarzen Porphyren des Harzes" wurde in der That fortschreitende Zonarstruktur constatirt, welche auf centralen Kalkreichthum zu deuten war. In der Schönheit und auffälligen Regelmässigkeit, welche die zonare Bildung der Feldspäthe des M. Tajumbina auszeichnet, war allerdings diese

weder bei den schwarzen Porphyren des Harzes noch bei anderen untersuchten Gesteinen wiederzufinden. Aber deutlich, wenn auch mehr weniger auffällig, war dieselbe in fast allen zur Vergleichung herangezogenen Gesteinen vorhanden.

Am besten eignen sich zur Beobachtung fortschreitender Zonarstruktur solche Gesteine, welche kalkreiche Feldspathe führen, doch muss frisches Gestein zu Untersuchung benutzt werden.

Recht deutlich war fortschreitende zonare Auslöschung auch beim Porphyrit von Kreuznach, sehr deutlich auch bei den Feldspathen des Gabbro aus dem Radauthal; jedoch wurde hier wieder die Beobachtung erschwert durch die äusserst vielfältige Zwillingsbildung der Plagioklase.

Fortschreitende Zonarbildung wurde ferner beobachtet bei einem Feldspathbasalt von Lissabon, einem solchen von Quito in Peru, einem vom See Tiberias und bei Feldspathbasalten anderen Ursprungs, welche Herr Prof. Roth zur Untersuchung mir anvertraut hatte. Da die Feldspathe der Basalte gewöhnlich recht geringe Dimensionen aufweisen, so ist einige Aufmerksamkeit nothwendig, um bei ihnen die Erscheinung fortschreitender zonarer Bildung zu constatiren.

In verschiedenen Fällen, wo die Feldspathe desselben Gesteins in der Grösse variirten, war aus der Auslöschungsschiefe zu entnehmen, dass die kleineren, spät gebildeten, Feldspathe weniger Kalk führten, als die grösseren Feldspathe.

Zur Zeit als Rosenbusch sein bekanntes Werk über die massigen Gesteine herausgab, sprach er zwar die Ansicht aus, dass in ein und demselben Gesteine verschiedene Plagioklase auftreten können, indessen glaubte er damals die von einigen Forschern gemachte Beobachtung, dass in porphyrischen Gesteinen die Feldspathe der Grundmasse in ihrer chemischen Zusammensetzung abwichen von den grossen eingesprengten Individuen, bezweifeln zu müssen. Seitdem ist von Fouqué und Michel-Lévy ein Werk erschienen, in welchem besonderer Werth auf die Unterscheidung der Plagioklase in Albit, Oligoklas, Labrador, Anorthit, gelegt wird. Schon eine oberflächliche Durchsicht dieses Werkes „Minéralogie micrographique“ lässt erkennen, dass weitaus in den meisten Fällen Fouqué und Michel-Lévy zu der Ansicht gekommen sind, dass Oligoklas und Albit Plagioklase sind

de seconde consolidation, Labrador und Anorthit dagegen früher sich ausschieden*. Ein eingehendes Studium dieses Werkes lässt erkennen, dass auch der Einwand, welchen SCHUSTER erhebt gegen die Möglichkeit genauer Bestimmung der Plagioklase in Gesteinsdünnschliffen, nicht im Stande ist, die Thatsache zweifelhaft zu machen, dass die Plagioklase de première consolidation weitaus in den meisten Fällen, ja fast stets, kalkreicher sind als die Plagioklase de seconde consolidation. Ferner bietet auch die von FOUQUÉ und M. LÉVY durchgeführte künstliche Darstellung der Feldspathe eine nicht zu unterschätzende Bestätigung für frühzeitige Anorthitausscheidung. Während nämlich Albit und Oligoklas bei verhältnissmässig niedriger Temperatur zum Krystallisiren gebracht wurden, war für Labrador und noch mehr für Anorthit eine weit höhere Temperatur nothwendig, und nach langsamer Abkühlung zeigte sich Anorthit besser auskrystallisirt als Labradorit, dieser besser als Oligoklas, der Oligoklas endlich viel besser als Albit. Es wurde schon erwähnt, dass ein künstlich dargestelltes Labradorit-Augitgestein die frühe Ausscheidung des Labradorit dadurch bestätigte, dass der Labradorit vor Augit zur Ausscheidung kam. Es würde zu weit führen, wollte man weitläufiger die Frage erörtern, ob die für das Gestein des M. Tajumbina constatirte Gesetzmässigkeit der Feldspathbildung insofern für alle unter normalen Verhältnissen erstarrten Eruptiv-Gesteine Geltung habe, als die Ausscheidung kalkreicherer Plagioklase immer früher geschehen sei als die Ausscheidung solcher mit weniger Kalkgehalt, und ob fortschreitende zonare Struktur als nothwendige Folge dieser Bildungsweise allgemein verbreitet sei. Es sei nur bemerkt, dass eingehende Studien mir allerdings die Überzeugung verschafft haben, dass diese Gesetzmässigkeit, das fortschreitende Ärmerwerden wachsender Plagioklase an Kalkreichthum, recht verbreitet ist. Dass diese Gesetzmässigkeit eine allgemeine sei und die Feldspathbildung aller Gesteine beherrsche, soll aber zur Zeit noch nicht behauptet werden.

---

* Zu bemerken ist, dass FOUQUÉ und MICHEL-LÉVY wohl beim Sanidin Zonarstruktur angeben, aber bei den Plagioklasen kaum einige Worte darüber bemerken. Allerdings kann nach ihrer Auffassung von der Natur der Feldspathe zonare Struktur bei den letzteren nicht vorkommen, oder — die Plagioklase sind optisch nicht zu unterscheiden.

Was ferner die Frage anlangt, ob die Reihenfolge krystallinischer Ausscheidung aller in eruptiven Gesteinen vorkommenden Mineralien nicht eine bestimmte Gesetzmässigkeit besitzt, so sind in der That gewisse Gesetzmässigkeiten nicht zu verkennen und in der Literatur finden sich bereits zahlreiche Belege. So ist es eine bekannte Thatsache, dass in allen Gesteinen Magnetit und Apatit sehr frühzeitig begonnen haben müssen, sich auszuscheiden. Es ist oft aufgefallen, dass Olivin und Magnesiaglimmer da, wo sie auftreten, sehr frühzeitige Ausscheidung verrathen, und auch die untersuchten Andesite zeigten in Übereinstimmung mit andern Gesteinen, dass der Magnesiaglimmer durchaus vor Hornblende und Augit ausgeschieden sein müsse; diese hinwiederum sind in Gesteinen mit kalkarmen Feldspäthen vor diesen letzteren krystallinisch fest geworden. Kalkarme Feldspäthe, gleichgültig ob Orthoklase oder Plagioklase, scheinen durchweg dem späteren Stadium krystallinischer Gesteinserstarrung anzugehören, und es ist eigentlich fast nur der Quarz, der oft erst nach den Alkalifeldspäthen zur Krystallisation gelangt ist. Angenommen, dass diese Angaben wirklich richtig sind, so würde sich herausstellen, dass im Allgemeinen die kieselsäurereichsten Mineralien zuletzt krystallisiren, und dass die Krystallisation in der Regel beginnt mit der Ausscheidung von Verbindungen, welche relativ arm sind an Kieselsäure. Ob aber nicht nur der Kieselsäuregehalt, sondern auch die Natur der resp. Base in Betracht kommt, ist noch eine offene Frage, die weiter verfolgt werden muss. Zunächst will es fast scheinen, als ob besonders die Alkalisilikate sich wesentlich von den Silikaten anderer Metalle unterscheiden, insofern grösserer Alkaligehalt die krystallinische Ausscheidung verzögert; indess scheint auch hier, nach den Angaben über Leucit und Nephelin zu schliessen, das kieselsäurereichere Alkalisilikat nach dem kieselsäureärmeren zur Ausscheidung zu kommen.

Fassen wir die Resultate unserer Untersuchungen kurz zusammen, so ergiebt sich:

1) Die mikroskopische Untersuchung des Gesteines lässt es sehr wohl als möglich erscheinen, dass der Monte Tajumbina durch eine einzige grossartige Eruption entstanden ist.

2) An allen Punkten dieses grossartigen Gesteinskörpers war die Reihenfolge krystallinischer Ausscheidung die nämliche, woraus hervorgeht, dass dieselbe weniger von Druckverhältnissen etc., als von der chemischen Zusammensetzung des Gesteines und von der Temperatur abhängig war.

3) Alle untersuchten Handstücke legen die Vermuthung nahe, dass die Feldspathbildung mit der Ausscheidung von Anorthit begonnen haben muss.

4) Es ist augenscheinlich, dass im untersuchten Gestein der Magnesiaglimmer sehr frühzeitiger Entstehung ist, dass Augit und Hornblende aber erst nach Beginn und vor Schluss der Plagioklas-Bildung sich ausschieden. Wahrscheinlich ist, dass Hornblende die Bildung der einfachen Silikate $MgSiO_3$ etc. begann, Augit dieselbe schloss. Sauere Feldspäthe und Quarz erstarrten vermuthlich zuletzt.

Chemische Analyse.

Die von mir im chemischen Laboratorium des Herrn Prof. Finkener ausgeführte Analyse des mehrfach erwähnten ziemlich dichten Gesteines aus den Lagunen ergab:

	Gewichtsprocente
SiO_2	63,187
Al_2O_3	18,654
Fe_2O_3	4,007
FeO	1,885
MnO	0,133
MgO	1,201
CaO	4,860
Na_2O	3,685
K_2O	1,948
TiO_2	0,180
P_2O_5	0,245
Glühverlust	0,073
	100,058.

Berechnet man aus obiger Tabelle das Verhältniss der Moleküle ihrer relativen Anzahl nach, so ergiebt sich das folgende Resultat. Die bei Al_2O_3 hinzugefügte zweite Zahl entspricht der Annahme, dass der gefundene Überschuss von 0,058 von der Thonerde abzuziehen, die Procentzahl für Thonerde also nicht 18,654, sondern etwa 18,596 sei.

SiO_2	1,05312
Al_2O_3	0,18110 resp. 0,18054
Fe_2O_3	0,02504
FeO	0,02618
MnO	0,00187
MgO	0,03003
CaO	0,08679
Na_2O	0,05944
K_2O	0,02068
TiO_2	0,00220
P_2O_5	0,00173
	1,48818 resp. 1,48762.

Werden diese Zahlen procentisch umgerechnet, und wird angenommen, dass die Zahl der Moleküle der Thonerde nicht 0,18110 sondern 0,18054 sei, so erhalten wir folgende Tabelle, welche angiebt, wie viele von 100 Molekülen den einzelnen Oxyden zuzurechnen sind.

SiO_2	70,7928
Al_2O_3	12,1362
Fe_2O_3	1,6832
FeO	1,7605
MnO	0,1257
MgO	2,0187
CaO	5,8342
Na_2O	3,9957
K_2O	1,3901
TiO_2	0,1479
P_2O_5	0,1163
	100,0013.

Das Mengenverhältniss der auftretenden Mineralien genau aus der Analyse eines Gesteines zu berechnen, ist bekanntlich nicht möglich, indessen ist eine Discussion der Analyse doch immer im Stande angenähert wenigstens eine Vorstellung zu geben von der Vertheilung der bez. Moleküle an die einzelnen Mineralien.

Ganz unsicher ist es freilich, in welcher Weise die Titansäure und das Eisen verrechnet werden muss. Der Fehler wird jedoch nicht gross sein, wenn wegen dieser Unsicherheit die Titansäure lieber gänzlich vernachlässigt, und alles Eisenoxyd, verbunden mit der entsprechenden Menge des Oxyduls, als Magnetit berechnet wird. Jedenfalls ist der Antheil, welchen Eisenoxyd

an der Bildung von Hornblende und Magnesiaglimmer nimmt, relativ nicht bedeutend. Wird in der angedeuteten Weise verfahren, so bleibt zur Bildung der Silikate Hornblende und Augit 0,0773 FeO übrig.

Ferner bleibt auch an CaO zur Verbindung mit SiO_2 nur 5,6966 % übrig, da die vorhandene Phosphorsäure zur Bildung von Apatit 0,1376 CaO vorweg nimmt. Wird nun der Alkalifeldspath aufgefasst als Doppelsalz der beiden einfachen Silikate Al_2SiO_5 und $(KNa)_2 Si_5O_{11}$, der Kalkfeldspath als Doppelsalz $Al_2SiO_5 + CaSiO_3$, der Magnesiaglimmer ebenfalls als $Al_2SiO_5 + MgSiO_3$, und wird der Einfachheit wegen angenommen, dass die verhältnissmässig jedenfalls nur geringe Menge Thonerde, welche sich in der Hornblende finden mag, auch als Silikat Al_2SiO_5 vorhanden sei, so würde offenbar auf jedes Molekül Al_2O_3, FeO, MnO, MgO, CaO je ein Mol. SiO_2 zu rechnen sein, gleichgültig, ob diese Basen einfache Salze bilden oder Doppelsalze. Die Alkalien jedoch würden zu ihrer Sättigung auf jedes Mol. Na_2O und K_2O je 5 Mol. SiO_2 bedürfen. Auf diese Weise würden 46,9835 Mol. SiO_2 von den resp. Basen verbraucht und im Gesteine müssten 23,8093 Mol. freie SiO_2 vorhanden sein.

Vergleicht man dieses Resultat der chemischen Analyse mit den Resultaten der makroskopischen und mikroskopischen Beobachtung des Gesteines, so will es scheinen, dass nur ein Theil der freien SiO_2 sich krystallinisch ausschied, der Rest glasig erstarrte; denn das Vorhandensein von Quarz war keineswegs ein reichliches zu nennen.*

Auch die Menge des Alkalifeldspathes ist leicht zu berechnen. Denn wenn auch die Hornblende meist etwas Alkali führt, so kommt doch die Menge des in den Hornblenden des Gesteines vorhandenen Alkali's kaum in Betracht.

An der Bildung des Kalifeldspathes würden sich betheiligen:

$1{,}3901\ K_2O,\ 1{,}3901\ Al_2O_3,\ (6{,}9505 + 1{,}3901)\ SiO_2.$

An der Bildung des Natriumfeldspathes:

$3{,}9957\ Na_2O,\ 3{,}9957\ Al_2O_3,\ (19{,}9785 + 3{,}9957)\ SiO_2.$

* Ähnliche Verhältnisse finden sich bei vielen porphyrischen Gesteinen. In J. Roth's Tabellen zeigt sich, dass das Grundglas porphyrischer Gesteine recht oft saurer ist als das ganze Gestein.

Nun sind aber 12,1362 % Al_2O_3 im Gestein vorhanden; in Folge dessen bleiben 6,7504 Al_2O_3 übrig. Diese vertheilen sich im Wesentlichen auf Anorthit und Magnesiaglimmer; ein Theil der Thonerde wird auch in den Hornblenden vorhanden sein. Zu berechnen nun, wie viele von den 6,7504 Al_2O_3 Magnesiaglimmer bilden, und wie viele Anorthit, ist nicht möglich. Da jedoch der Magnesiaglimmer durchaus nicht reichlicher als Hornblende oder Augit vorhanden war, so wird man annehmen dürfen, dass die Moleküle des Anorthit mindestens etwa ebenso zahlreich sein werden, wie die des Natronfeldspathes. An der Bildung des Anorthit betheiligen sich etwa:

$$3{,}9957\ CaO,\ 3{,}9957\ Al_2O_3,\ (3{,}9957 + 3{,}9957)\ SiO_2.$$

Wie viele von den 2,0187 MgO zur Bildung von Magnesiaglimmer und wie viele zur Bildung von Hornblende und Augit verwendet sind, entzieht sich jeder Berechnung. Vertheilt man die 2,0187 MgO auf Magnesiaglimmer und auf Hornblende und Augit in gleicher Weise, so würden an der Bildung von Magnesiaglimmer etwa

$$1{,}0093\ MgO,\ 1{,}0093\ Al_2O_3,\ (1{,}0093 + 1{,}0093)\ SiO_2$$

Theil nehmen, und für Hornblende und Augit blieben dann

$$(1{,}7009\ CaO + 1{,}0094\ MgO + 0{,}1257\ MnO + 0{,}0773\ FeO) + 1{,}7454\ Al_2O_3 + (2{,}9133 + 1{,}7454)\ SiO_2.$$

Zwei wichtige Resultate hat uns die chemische Analyse geliefert. Das Gestein enthält reichlich freie Kieselsäure, und es würde bei den Plagioklasen etwa Andesinmischung vorliegen, wenn sie eine homogene Mischung der vorhandenen Albit- und Anorthit-Substanz darstellen würden. Dass letzteres aber nicht der Fall ist, hat die mikroskopische Untersuchung des Gesteines gelehrt. Ferner hat sich herausgestellt, dass nicht wenig Kali im Gestein vorhanden ist. Ob dieses den Plagioklasen beigemischt ist, oder ob es neben jenen als Sanidin auskrystallisirte, oder ob es überhaupt wegen schneller Abkühlung des Gesteines nicht zur krystallinischen Ausscheidung kam, bleibt völlig ungewiss.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie

Jahr/Year: 1881

Band/Volume: 1881_2

Autor(en)/Author(s): Höpfner C.

Artikel/Article: Ueber das Gestein des Monte Tajumbina in Peru 164-192