

Zeitschrift: Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft = Actes de la Société Helvétique des Sciences Naturelles = Atti della Società Elvetica di Scienze Naturali

Herausgeber: Schweizerische Naturforschende Gesellschaft

Band: 103 (1922)

Artikel: Das Aarmassiv, ein Beispiel alpiner Granitintrusion

Autor: Hugli, E.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-90327>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 30.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Das Aarmassiv, ein Beispiel alpiner Granitintrusion

Prof. E. HUGER

Meine Damen und Herren!

Drei Hauptfragen sind in unsern Tagen bei der Erforschung der alpinen Granitmassive mehr und mehr in den Vordergrund getreten:

1. Die Frage nach der chemisch-physikalischen Beschaffenheit des Magmas und nach dem Vorgange der Granitbildung selbst.
2. Die Beeinflussung des Nebengesteins durch die Granitintrusionen und deren postmagmatische Wirkungen.
3. Die Zusammenhänge zwischen Alpenfaltung und eruptiver Tätigkeit, die primären und sekundären Einwirkungen der gebirgsbildenden Kräfte auf die granitischen Gesteinskörper und ihre Schieferhüllen.

Keines dieser drei Probleme kann für sich allein erörtert werden, sie stehen vielmehr alle in engster Wechselbeziehung zu einander und nur durch ihre gemeinsame Betrachtungsweise lassen sich weiter ausholende Fragen der Entstehungsgeschichte unserer kristallinen Alpen ihrer Lösung entgegenführen.

Schon liegen einige Jahrzehnte hinter uns zurück, seitdem man die unterirdischen Schmelzflüsse, aus denen die Eruptivgesteine sich bilden, noch für gewöhnliche Schmelzen hielt, vergleichbar denjenigen, die man im Laboratorium herstellen kann, oder die bei manchen technischen Prozessen entstehen.

Nach heutigen Begriffen verstehen wir unter dem *Magma* nicht mehr eine Schmelze im landläufigen Sinne des Wortes, sondern eine molekulare Lösung von schwer und leicht löslichen Stoffen, die für jedes Druck- und Temperaturpaar in einem ganz bestimmten Lösungsverhältnis zu einander stehen.

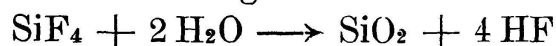
Bei höherer Temperatur und höherem Druck ist das gegenseitige Lösungsvermögen dieser Mehrstoffsysteme grösser, bei sinkendem Drucke und sinkender Temperatur fallen die schwer löslichen Bestandteile nacheinander entsprechend ihrem Löslichkeitsgrad

aus der Schmelzlösung aus und in gleichem Masse reichern sich die leicht löslichen und zugleich leicht flüchtigen Komponenten in ihr an. Eine fortwährende Steigerung des Innendruckes ist die direkte Folge dieses Vorganges. Magmaabkühlung und Verminderung des äussern Druckes bewirken daher eine fraktionierte Kristallisation und eine fraktionierte Destillation (Abkühlungsdestillation) des Magmas; als deren letzte Fraktion werden die leichtflüchtigen Stoffe mit hoher Dampfspannung ins Nebengestein hinausgepresst.

Diese Vorstellungsweise über die physikalisch-chemische Natur des Magmas hat sich in der modernen Petrographie seit Jahren mehr und mehr Geltung verschafft, sie ist jetzt wohl allgemein zur Anerkennung gelangt, und doch können wir uns des Eindrucks nicht erwehren, dass auch heute noch solche Auffassungen in bezug auf die Petrogenese der alpinen Granitmassive nicht genügend zur Auswertung gekommen sind.

Schon der *Vorgang* der *Granitbildung* selbst wird ganz beherrscht von der Löslichkeit der magmatischen Stoffe in ihrer Abhängigkeit von Temperatur und Druck. Als Granit bezeichnen wir eine Mineralkombination, bestehend aus Quarz, Orthoklas, natronreichem Plagioklas und Biotit. Unter diesen Hauptgemengteilen hat sich der Glimmer als erstes Mineral, der Quarz als letzte Komponente ausgeschieden.

Wäre der Granit durch Abkühlung aus einer trockenen Schmelze entstanden, so hätte sich der Bestandteil mit dem höchsten Schmelzpunkt, der Quarz, zuerst verfestigen müssen. Der Glimmer aber, der den niedrigsten Schmelzpunkt besitzt, würde zuletzt auskristallisiert sein. Die Ausscheidungsfolge ist aber in Wirklichkeit die umgekehrte, weil das granitische Magma nicht eine Schmelze, sondern eine Lösung darstellt, aus welcher der Glimmer als schwer lösliche Komponente, der Quarz dagegen in leicht flüchtiger Phase sich ausscheidet. Dieser letztere ist aus dem Magma nicht direkt als SiO_2 auskristallisiert, sondern hat sich aus ihm in Form der beiden leichtflüchtigen Destillate SiF_4 und H_2O abgespalten, die erst in ihrer Wechselersetzung



den Quarz sich bilden liessen.

Es muss uns heute als Tatsache gelten, dass manche der Mineralgemengteile einem erstarrenden Granit noch nach seiner Hauptverfestigung in Form fluider Phasen zugeführt werden können.

Diese leichtflüchtigen Stoffe des Magmas beeinflussen aber auch noch in anderem Sinne die Granitbildung. Sie setzen die Viskosität der an und für sich zähflüssigen, kieselsäurereichen Schmelzlösungen herab, erhöhen dadurch die molekulare Beweglichkeit und befördern so die Individualisierung der Stoffe, d. h. ihre Kristallisation; sie machen aber auch die Systeme äussern Einflüssen gegenüber empfindlicher.

Im Entwicklungszyklus der Magmen, im besondern der granitischen Schmelzflüsse spielt die stoffliche Sonderung nicht nur im Kristallisationsvorgang eine wichtige Rolle, sondern sie bedingt auch noch in viel umfassenderer Weise die *Differentiation* derselben.

Unter Einfluss der Schwerkraft, der Temperatur, des Druckes und wohl noch anderer untergeordneter Ursachen hat ein ursprünglich vorliegendes Stamm-Magma die Tendenz sich in einzelne Teilmagmen zu spalten. Der Verlauf dieses Differentiationsvorganges strebt auf der einen Seite der Ausbildung eines kieselsäurereichen Gesteines, andererseits einem basischen Pole zu. Die Erreichung dieses Endzieles und die Einstellung des besondern Chemismus des Spaltungsproduktes wird wesentlich begünstigt und bedingt durch den Gehalt eines Magmas an fluiden Bestandteilen.

Mit den chemisch-physikalischen Eigenschaften der unterirdischen Schmelzflüsse hängt aufs engste auch zusammen ihre *Eruptivität*, d. h. ihr Vermögen entgegengesetzt dem Gesetze der Schwere aus dem Erdinnern in höhere Teile der Erdkruste emporzusteigen, oder in besonderem Falle an die Erdoberfläche auszubrechen.

Die ältern Vulkanologen, Geologen und Petrographen neigten vorherrschend zu der Ansicht, dass das Magma bei seinen Intrusionen und Eruptionen rein passiv durch orogenetische und epirogenetische tektonische Bewegungen in die Höhe gepresst werde. Sie vertraten die sogenannte *Abstautheorie*.

Auf anderer extremer Seite glaubte man, dass umgekehrt die dem Magma innewohnende Kraft als Ursache der Gebirgsbildung aufzufassen sei, und BERNHARD STUDER, der hervorragende Berner Geologe, war einer der ersten, der die Alpen, im besondern das Aarmassiv, durch die aktive Kraft des granitischen Schmelzflusses emporheben liess.

Die Zeit erlaubt es uns nicht, der historischen Entwicklung dieser Ideen nachzugehen, sonst würden wir finden, dass auch hier der goldene Mittelweg am nächsten zur Wahrheit führt: Infolge der hohen Dampfspannung der mit fortschreitender Abkühlung im

Magma sich anreichernden, leichtflüchtigen Bestandteile erhalten die intratellurischen Schmelzlösungen eine eigene juvenile innere Kraft, die sie befähigt, in die feste Erdkruste einzubrechen, Teile derselben emporzuheben oder sie sogar vollständig zu durchschlagen. Wo aber gebirgsbildende Vorgänge Spalten in die Kruste rissen oder wo sie das Magma selbst schon in die Höhe stauen, da werden selbstverständlich die Bedingungen zu seiner Intrusion und Extrusion noch weit günstiger sein. In der Tat lässt sich nicht nur in den Alpen, sondern auch in andern Kettengebirgen mit eruptiven Zentren häufig der sichere Nachweis erbringen, dass die Intrusionstätigkeit mit den letzten Phasen der Gebirgsbildung zusammenfällt. Es ist ein gegenseitiges und wechselweises Sichunterstützen von passivem Emporgepresstwerden und aktiver Intrusionskraft, denen die Alpengranite ihre „mise en place“ verdanken. Dass dabei auch der Innendruck des Magmas eine wesentliche Rolle gespielt hat, das kommt uns entschieden zum Bewusstsein, wenn wir die magmatischen Restlösungen auf Gängen und feinsten Äderchen sich kilometerweit ins Nebengestein injizieren sehen und wenn sie, unabhängig von jeder tektonischen Faltung, die Schieferhülle in intensivste und verworrenste Injektionsfältelungen zu legen vermögen (Ptygmatischer Faltungsvorgang).

Doch es besteht noch eine weitere Möglichkeit, die das Magma befähigt, dem sich bildenden Eruptivgestein in der festen Erdkruste den notwendigen Platz zu verschaffen. Infolge seiner hohen Temperatur und seiner grossen chemischen Aktivität schmilzt sich das Magma in das Nebengestein hinein, so etwa wie wenn man einen glühenden LötKolben durch die Fasern eines Brettes durchstösst. Nach dieser *Einschmelzungshypothese* werden auch ganze Schollen vom Dache des Nebengesteins losgebrochen, sie sinken in das Magmabad hinein und werden in diesem mehr oder weniger vollständig aufgeschmolzen. Es findet also direkt auch ein Platz-austausch zwischen Magma und Nebengestein statt, bei dem sich die chemisch-physikalischen Gegensätze, die an den Kontaktflächen bestehen, nach Möglichkeit auszugleichen suchen.

Diese Wechselwirkung zwischen dem eruptiven Magma und seiner Schieferhülle ist nicht nur in örtlichem Sinne zu verstehen, sondern die hohe Temperatur der Schmelzlösung, ihre leichte molekulare Beweglichkeit, die meist sehr bedeutenden chemischen Unterschiede zwischen Magma und Nebengestein bedingen auch einen stofflichen Austausch zwischen beiden, der sowohl nach aussen wie

nach innen sich auswirkt. Solche gegenseitige Beeinflussungen lassen sich schon rein theoretisch voraussagen, aber sie finden in der Natur auch ihre tausendfache Bestätigung in all den mannigfaltigen Erscheinungen, die man mit der Gesamtbezeichnung der *Kontaktmetamorphose* zusammenzufassen pflegt. Zwei Hauptmöglichkeiten stehen für diese Kontaktwirkungen offen:

Vollzieht sich der stoffliche Ausgleich nach innen, indem Teile des Nebengesteins im Magma aufgeschmolzen werden, dieses chemisch verändernd und dem sich bildenden Eruptivgestein eine schlierige Beschaffenheit verleihend, so sprechen wir von endogener Kontaktmetamorphose. Äussern die magmatischen Agentien dagegen ihre Wirkungen nach aussen hin, so bringen sie die exogenen Kontakterscheinungen hervor, die nach der Art und Weise der Übertragung der magmatischen Stoffe sich verschieden abstufen können:

Wird die Stoffabfuhr ins Nebengestein und dessen chemische und mineralogische Umwandlung durch das Magma selbst vermittelt, so handelt es sich um die Kontaktmetamorphose im engeren Sinne des Wortes, oder Injektionskontaktmetamorphose genannt, wenn die Magmaintrusionen auf Gängen und Adern die Schieferhülle vollständig aufblättern und durchflechten.

Findet die magmatische Stoffabwanderung statt in Form der abdestillierenden leichtflüchtigen, gasförmigen Phasen, so bringen diese die pneumatolytischen Kontaktwirkungen hervor, und werden endlich, wie das in den äussersten Kontaktbereichen gewöhnlich der Fall ist, nur noch die heissen wässerigen Lösungen, die dem Magmaherd als letzte Destillationsprodukte entsteigen, zum Werkzeuge des stofflichen Ausgleiches gemacht, so vollzieht sich die hydrothermale Kontaktmetamorphose.

Zwischen diesen drei letzten Arten der Einwirkung des Magmas auf das Nebengestein sind selbstverständlich keine scharfen Grenzen gegeben, es bestehen nur graduelle Unterschiede zwischen ihnen.

In den Alpen tragen die weitausholenden Kontaktumwandlungen noch ein besonderes Gepräge an sich, indem sie sich unter gleichzeitigem Einflusse tangential wirkender tektonischer Kräfte vollzogen haben. Mit WEINSCHENK bezeichnen wir diese besondere Art der kontaktmetamorphen Gesteinsumwandlungen als Piëzokontaktmetamorphose.

Wenn die Einwirkungen des tektonischen Druckes nicht vor oder während der Erstarrung des Eruptivgesteins und seiner

Kontaktmetamorphose, sondern nach der vollständigen Verfestigung der Gesteine erfolgt sind, so vermochten sie die vorher ausgebildeten Mineralbestände und Strukturen in anderer Weise umzuwandeln. Das früher Gewordene wird in neue Formen übergeführt, über das ursprüngliche Bild legt sich ein neues Gepräge. Altes und Neues verdeckt und verschleiert sich. Durch diese dynamometamorphe Beeinflussung wird daher die petrographische Forschung sehr erschwert und leicht irregeleitet. Auf der andern Seite jedoch wird sie dadurch in enge Beziehung gebracht zu der tektonischen Geologie, und das Studium der Alpenpetrographie, ausgehend von der mikroskopischen Detailuntersuchung, wird übergeleitet zu grosszügigen, petrographisch-tektonischen Fragen.

Nach diesen Ausführungen, die den Vorgang einer alpinen Granitintrusion mit allen ihren Folgeerscheinungen im allgemeinen zu veranschaulichen suchten, soll nun im zweiten Teil meines Vortrages all diesen Tatsachen an dem einen Beispiele des Aarmassives näher nachgegangen werden und von den so gewonnenen Gesichtspunkten aus wird im fernern ein Ausblick zu gewinnen sein auf die Entstehungsgeschichte unserer kristallinen Alpen überhaupt.

Meine Damen und Herren! Wenn ich es heute versuche, Ihnen eine Übersichtsdarstellung über die Petrographie und Geologie des Aarmassives zu geben, so bin ich mir der Schwierigkeiten wohl bewusst, die sich gerade jetzt einer solchen entgegenstellen. Noch ist die Forschung im vollen Flusse begriffen, ihre bis dahin erreichten Resultate sind noch lückenhaft, und manche der im folgenden vertretenen Anschauungen müssen uns einstweilen noch als zur Diskussion gestellte, offene Fragen gelten. Ich möchte Sie deshalb bitten, die Darstellung, die ich Ihnen heute geben kann, nicht als etwas definitiv Feststehendes aufzufassen, sondern vielmehr nur als ein Momentbild vom Stande unserer wissenschaftlichen Arbeit betrachten zu wollen. Dennoch freue ich mich, verehrte Anwesende, Ihnen bei Anlass unserer Jahresversammlung gerade hier in Bern über das Aarmassiv sprechen zu dürfen. Von Bern aus haben ein BERNHARD STUDER, ein ARMIN BALTZER, ein EDMUND VON FELLEBERG im Aarmassiv gearbeitet und ihre klassischen Untersuchungen sind für unsere Arbeit grundlegend geworden. Hier in Bern stehen mir zudem eine Anzahl junger Leute zur Seite, die mit jugendlicher Kraft und Begeisterung ihr Bestes tun, um die petrographisch-geologische Erkenntnis der Gebirgsgruppe zu fördern.

Unter dem *Aarmassiv* verstehen wir den Komplex kristalliner Gesteine, der sich in langelliptischer Form mit zirka 115 km Länge vom untern Lötschental im W bis zum Tödi im E erstreckt. Die grösste Breite erreicht diese Gebirgsmasse zwischen Stechelberg im Lauterbrunnental und Brig im Rhonetal mit zirka 25 km, und beinahe eine ebenso grosse Querausdehnung besitzt das Massiv im Grimseldurchschnitt. Mit dieser grössten Breite fällt auch die grösste Vertikalerhebung des Gebirges zusammen, das im Finsteraarhorn mit 4275 m kulminiert.

Eine erste petrographisch-geologische Einteilung ist für den mittlern Teil des Aarmassives zuerst von A. BALTZER im Jahre 1888 durchgeführt worden; sie umfasst folgende fünf in der Längsrichtung des Massives verlaufende, von N nach S aufeinanderfolgende Zonen:

1. Zone der nördlichen Gneise.
2. „ „ sericitischen Phyllite und Gneise.
3. „ „ Hornblendeschiefer.
4. Granit-Gneis-Zone.
5. Zone der südlichen Gneise.

Im Jahre 1893 hat EDMUND VON FELLENBERG diese Gliederung unserer Gebirgsgruppe auch für den westlichen Teil übernommen, und später legte sie A. HEIM seinen Aufnahmen im östlichen Aarmassiv zugrunde.

Die Einteilung stützt sich in erster Linie auf die äussere Erscheinungsweise des Gebirges und auf tektonische Momente. Die innern petrographischen Zusammenhänge und hauptsächlich die genetischen Beziehungen der einzelnen Massivteile bringt sie weniger zum Ausdruck. Nach diesen Gesichtspunkten, die für die neuere petrographische Forschung vor allem massgebend sein müssen, können wir heute ein wesentlich einfacheres und übersichtlicheres System der petrographisch-geologischen Gliederung des Massives benutzen. Unter Weglassung von Einzelheiten lässt sich im Prinzip die oben erwähnte fünffache Zonengliederung in eine Zweiteilung zusammenfassen. Vom genetischen Standpunkte aus haben wir nur voneinander zu unterscheiden:

1. Die granitischen Intrusivkerne, und
2. die Schieferhüllen derselben mit den mechanisch eingeklemmten und hineingeschleppten Sedimentschuppen.

Diese Gliederung bringt aber nicht nur die genetischen Verhältnisse des Gebirges zum Ausdruck, sondern sie hat auch ihre tektonische Berechtigung:

Die granitischen Intrusivmassen entsprechen den Antiklinalteilen des Massives, die Schieferhüllen und Sedimenteintrusionen dagegen stellen seine synklinalen Zonen dar.

Soweit heute die Untersuchungen im Aarmassiv fortgeschritten sind, lassen sich hier folgende Teilintrusionen auseinanderhalten. Diese sind als Spaltenergüsse eines einheitlichen Herdes aufzufassen, die sich in ihrem Längsverlaufe zum Teil gegenseitig ablösen (vikarierende Spaltenergüsse).

Wir können von N nach S fortschreitend unterscheiden:

1. Das Gasteren-Innertkirchner-Teilmassiv;
2. das Erstfelder-Teilmassiv;
3. die Hauptintrusion des Aaregranites mit ihren Teilergüssen des Wiwanni-Granites und des Rusein-Diorites. (Vgl. Fig. S. 95)

Wollen wir nun aber das alpine Granitinjektionssystem in seiner ganzen Grosszügigkeit verstehen, so dürfen wir diese Einzelintrusionen des Aarmassives nicht für sich allein ins Auge fassen, sondern wir müssen sie in Beziehung und in Vergleich zu bringen suchen mit den benachbarten Granitmassiven, mit denen sie primär-genetische Verwandtschaftsverhältnisse aufweisen, oder mit denen sie in sekundär-tektonischen Beziehungen stehen.

Die nördlichste Intrusionsspalte des Aarmassivs entspricht dem:

Innertkirchner-Gasteren-Teilmassiv. Dasselbe beginnt im E mit geringer Breitenausdehnung in der Gegend des Wendenjochs. Unter wachsender Mächtigkeit steigt es gegen W auf bis zum Petersgrat, um von hier mit stark geneigtem Axialgefälle unter die helvetischen Sedimente und die darüber sich lagernden Decken unterzutauchen. Nach rund 50 km unterirdischem Verlauf hebt sich im Rhonetal der Granitrücken ebenso rasch wieder empor, wie er sich vorher abgesenkt hat und setzt sich im

Aiguilles-Rouges-Massiv als zirka 30 km langer Spaltenerguss gegen SW fort. In petrographisch-geologischer Beziehung stellt dieses letztere Massiv das vollständige Äquivalent des Innertkirchner-Gasteren-Teilmassives dar.

Nach einer weitem kurzen Überdeckung durch sedimentäre Gesteine tritt auf französischem Gebiet dieser lange vom Gadmemental bis an die Romanche mit zirka 300 km Länge offen oder ver-

deckt sich fortsetzende schmale Spaltenerguss im Belledonne-Massiv nochmals zutage, um erst südlich von Grenoble unter der Erdoberfläche zu verschwinden.

Auf aarmassivischem Gebiet hat der Innertkirchner-Gasteren-Teilerguss sein Eruptivzentrum im Gasterengranit. Dieses rein granitisch ausgebildete Gestein geht unter dem Kander- und Tschingelfirn in die resorptionsreiche Randfacies jenes Normalgranites über. Durch endogene Kontaktmetamorphose (Aufschmelzen von Tonschiefern und Mergeln) hat sich das granitische Magma in den Randzonen der Intrusivmasse stellenweise mit Tonerde übersättigt und dadurch eine fleckig-schlierige Beschaffenheit und einen besonders charakteristischen Mineralbestand erhalten. Vereinzelt im Granit eingeschlossene silikatreiche Marmorschollen stellen die hochmetamorphen Resorptionsreste paläozoischer, sedimentärer Kalke dar. Am Rande solcher Marmorschollen liessen sich interessante Differentiationserscheinungen des granitischen Magmas verfolgen, die einerseits zu extrem sauren pegmatitischen Spaltungsprodukten, andererseits zu äusserst basischen Differentiaten (Peridotit) geführt haben.

Diese randliche Beeinflussung reicht tief in den Granitkörper hinein und lässt eine scharfe Abgrenzung zwischen diesem und seiner Schieferhülle nicht feststellen, beide gehen durch allmähliche Übergänge ineinander über. Aus dieser Tatsache ergibt sich die Schlussfolgerung, dass das Magma mit seinem Nebengestein lange Zeit im thermischen Gleichgewicht gestanden hat, es muss also die Erstarrung dieses Granites in relativ grosser Tiefe erfolgt sein. Mit dieser Annahme steht auch in vollkommener Übereinstimmung die strukturelle Beschaffenheit des Gasterengranites, der im Gegensatz zu allen übrigen Granitabarten des Aarmassives, da wo er nicht eine nachträgliche mechanische Veränderung erfahren hat, ein durchaus richtungslos-körniges Gestein darstellt.

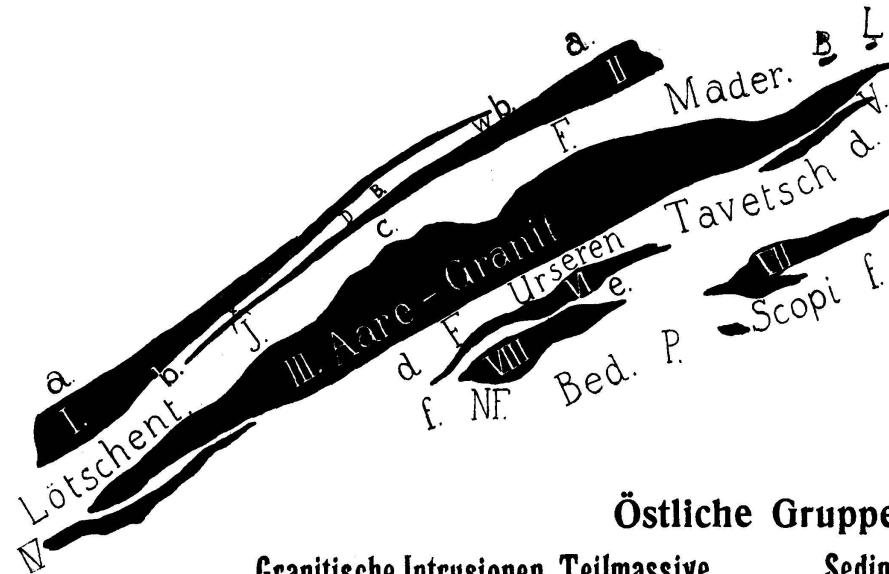
Wie von dem zentralen Eruptionspunkte des Gasterentales aus die spaltenförmige Intrusivmasse sich gegen ihren Ostflügel fortwährend verjüngt, so verhält es sich gerade umgekehrt mit dem Erstfelder-Teilmassiv. Diese nächst südlich folgende Intrusionszone hat ihre grösste Breite im Reusstal, in der Umgebung von Erstfeld. Die Granitmasse taucht hier unter den autochthonen und parautochthonen helvetischen Sedimenten auf und setzt sich nach W, südlich der Innertkirchner-Gasteren-Intrusion verlaufend und mit dieser vikarierend, in abnehmender Breite fort, um wahrscheinlich im Grate Jungfrau-Breithorn-Tschingelhorn zu endigen.

Anordnung
der
„autochthonen“, granitischen
Intrusionen

Maßstab 1 : 1,125,000



- Westliche Gruppe**
- a. Mt. Buet Dts d. Midi - Z.
 - I. Aiguilles Rouges T.-M.
 - b. Salvan - Z.
 - II. Arpille T.-M.
 - c. Chamonix-Col de Balme - Z.
 - III. Mont Blanc T.-M.
 - IV. Quarzporphyr V. Ferrex.
 - d. Val Ferrex - Z.
 - V. Mont Chetif T.-M.



Vä.
Ta.

Östliche Gruppe

Granitische Intrusionen, Teilmassive Sediment-Zonen und Schieferhüllen

Aarmassiv

- I. Gasteren-Innertkirchner-T.-M. a. autochthone u. parautochthone helvetische Z.
- II. Erstfelder-T.-M. b. Jungfrau-keil-Dossenhorn-Benzlauisee-Wendenjoch-Z.
- III. Aaregranit-T.-M., mit Fenster am Bifertengrätli (B), im Limmernboden (L) und bei Vättis (Vä).
- IV. Wiwannigranit-T.-M.
- V. Ruseindiorit, mit Fenster von Tamins (Ta). c. Lötschental-Fernigen-Maderanertal - Z.

Gotthardmassiv

- VI. Gamsbodengranit. d. Furka-Urseren-Tavetsch - Z.
- VII. Medelser - Cristallina - Granit. e. Guspis - Z.
- VIII. Fibbiagranit. f. Nufenen-Bedretto-Piora-Scopi - Z.

Ob die kleine Arpille-Granitmasse im Rhonetal südwestlich von Martigny als Fortsetzung des Erstfelder-Teilmassives aufzufassen ist, werden weitere Untersuchungen erst noch nachzuweisen haben.

Östlich des Reusstales tritt der Erstfeldergranit nirgends mehr zutage. Bei Erstfeld sowohl, wie besonders weiter westlich, entspricht dieses Gestein ebenfalls einer resorptionsreichen Randfacies. Auch dieser Granit ist sehr glimmerreich und besitzt bisweilen eine prachtvoll fluidale bis schieferige und schlierige Beschaffenheit. Infolge der mechanischen Beeinflussung durch die tertiäre Alpenfaltung ist die Schieferstruktur oft noch deutlicher zur Ausprägung gelangt.¹

Diesen äussern Intrusionsspalten des Aarmassivs läuft parallel eine in ihren Ausmassen noch viel mächtigere innere Eruptionszone. Ihr gehört der zentrale Aaregranit mit seinen Flügel- und Randergüssen (Ruseindiorit, saurer Randerguss der südlichen Gneiszone, Wiwannigranit, Mittagsfluhgranit) zu. Dieser Hauptintrusivkern des Massives, der in seinem zentralen Teile durch Schiefereinlagerungen selbst wieder aufgeteilt erscheint, hat nach E und W hin eine symmetrischere Ausbildung, er besitzt wie dieses selbst die Form einer langgezogenen Ellipse. In der Tödigruppe erhebt sich der Granitrücken mit seiner Schieferhülle aus seiner sedimentären Bedeckung. Er steigt gegen W an, kulminiert im Finsteraarhorngebiet und taucht gegen den untern Teil des Lötschentales wieder rasch ab, um sich nach unterirdischem Verlaufe von Gampel bis Martigny südwestlich des Rhonetales zum Massiv des Mont Blanc-Granites zu erheben (vgl. Figur S. 95); in den französischen Westalpen schwillt dieser Intrusivkern im Pelvoux-Massiv nochmals zu einem mächtigen Ergusse an und tritt in dem kleinen Massiv des Mercantour auf dem Kontinent zum letzten Mal zu Tage. Es begleitet also diese Intrusionsspalte in ihrem westlichen Verlaufe den grossen Faltenbogen der Westalpen.

Wie die Granite der äussern Teilmassive in petrographischer Beziehung nahe Verwandtschaftsverhältnisse aufweisen, so ist das in noch viel ausgesprochenerem Masse der Fall bei den Graniten des innern Eruptionsbereiches. Diese tragen einen besondern Charakter an sich. Man hat sie deshalb mit dem gemeinsamen Namen der Zentral-Granite oder Alpen-Granite im engern Sinne des Wortes (ältere Bezeichnung Protogine) belegt.

¹ Bezüglich der petrographischen Verschiedenheiten zwischen Erstfelder- und Innertkirchnergranit vgl. die Arbeiten von SAUER, LOTZE und HUBER.

Denselben Gesteinshabitus weisen auch die Granite auf, welche dem Gotthard-Massiv angehören, das sich als weiterer grosser Graniterguss südlich an das Aarmassiv anlehnt. Es ist ebenso wie der Aaregranit durch Schiefereinlagerungen mehrfach aufgespalten und deshalb selbst wieder in einzelne Teilmassive aufgelöst.

Unter den besondern petrographischen Eigentümlichkeiten des Aaregranites (und das gilt auch für die Zentral-Granite überhaupt) müssen als wichtigste folgende hervorgehoben werden: Der Granit besitzt immer eine mehr oder weniger deutlich ausgesprochene schieferige Beschaffenheit, in einzelnen Zonen ist ihm eine gut ausgebildete porphyrische Struktur eigen (Augengneise). Die dunklen Glimmerschüppchen sind kristallographisch schlecht ausgebildet, tintenklecksartig zerteilt, meist stark ausgebleicht. Der Quarz kommt nur untergeordnet in grössern einheitlichen Individuen vor, meistens ist er aufgelöst in ein zuckerkörniges Aggregat, den sogenannten Sandquarz oder Körnelquarz. Die Feldspäte erscheinen erfüllt von Entmischungsprodukten der Feldspatsubstanz, vornehmlich von Sericitschüppchen und Zoisitnadelchen.

Man hat alle diese Besonderheiten des Mineralbestandes und der strukturellen Ausbildung als reine Effekte der Dynamometamorphose, als Wirkungen des Gebirgsdruckes auf das schon verfestigte Gestein ansprechen wollen. Neuere mikroskopische Untersuchungen haben, wie später näher auszuführen sein wird, den Beweis erbracht, dass das nur zum geringern Teile der Fall ist. Vielmehr hat der Granit diese Eigenschaften in der Hauptsache schon bei seiner ursprünglichen Erstarrung erhalten, indem das Magma sich unter besondern Bedingungen verfestigte. In erster Linie war dabei massgebend einseitig wirkender Druck, wie er nur in höhern Teilen der Erdkruste zur Geltung kommt. WEINSCHENK hat als erster auf diese Möglichkeit der Magmaverfestigung hingewiesen und sie als Piëzokristallisation bezeichnet.

Im Gegensatz zum richtungslosen Gasterengranit, dem die charakteristischen Eigenschaften des Zentral-Granites vollständig fehlen und der in grösserer Tiefe unter dem Einfluss allseitigen hydrostatischen Druckes erstarrt ist, muss der Aaregranit in einem höhern Niveau zur Kristallisation gelangt sein.

Deshalb auch beobachten wir an diesem Intrusivkörper relativ scharfe Kontaktgrenzen zwischen dem Granit und seiner Schieferhülle. Die endogenen Kontaktwirkungen, sofern solche überhaupt

konstatiert werden können, reichen im allgemeinen nicht tief in den Granit hinein, im Gegensatz zu den Beobachtungen am Innertkirchner- und Erstfelder-Granit. Aber auch die ausgesprochene Schieferstruktur des Aaregranites müssen wir in erster Linie auffassen als eine primäre Wirkung des in höheren Teilen der Erdkruste zur Geltung gelangenden, orientierten Dislokationsdruckes, der ein einseitiges Ausweichen der Stoffteilchen zuließ. Unter seinem Einflusse haben sich in dem langsam sich verfestigenden und immer viskoser werdenden Schmelzflusse die blätterigen und tafeligen Gesteinsgemengteile mit ihren grossen Flächen parallel, in ihre stabilste Gleichgewichtslage, d. h. senkrecht zur Druckrichtung eingestellt. Erst in zweiter Linie und in untergeordneter Weise ist die Schieferigkeit des Granites auf eine dynamometamorphe Beeinflussung zurückzuführen. Die sekundären Pressungswirkungen haben wohl kaum mehr erreicht, als dass sie die bereits primär angelegten Struktureigentümlichkeiten schärfer zum Ausdruck brachten, und wenn der Druck vielleicht auch die Rolle eines Katalysators zu übernehmen vermag, so hat er doch in chemischer Beziehung nicht viel Neues geschaffen. Und selbst der Mineralbestand und die Struktur können in diesem Falle, abgesehen von einzelnen Pressungsknotenpunkten (Ruschelzonen), keine wesentliche Umstellung erfahren haben; wie wollte man sonst über den Widerspruch hinwegkommen, dass der Gasterengranit, trotzdem er ebensowohl dem einseitig wirkenden Drucke der tertiären Alpenfaltung ausgesetzt war wie der Aaregranit, dennoch nicht die so ausserordentlich charakteristischen mineralogischen und strukturellen Merkmale dieses letzteren an sich trägt.

Es scheint, dass wir überhaupt unsere Vorstellungen über die Bildung der Alpengranite, gestützt auf die Ergebnisse neuerer mikroskopischer Untersuchungen in verschiedener Hinsicht modifizieren müssen. Wenn auch zu einem bestimmten Zeitpunkt der Verfestigung die Hauptgemengteile des Granites bereits in die feste Phase übergetreten sind, so dürfen wir in diesem Augenblick doch noch nicht mit einem vollständigen Abschluss des Kristallisationsvorganges rechnen. Wir haben uns vielmehr vorzustellen, dass der allmählich entstehende Kristallbrei noch vollkommen von den fluiden Stoffen des Magmas durchsetzt wird. Unter ihrem Einflusse besitzt er noch eine beträchtliche Beweglichkeit und Plastizität infolge weitgehender Umkristallisationsmöglichkeit, die sich mit jeder Veränderung des Druckes und der Temperatur wieder neu

einstellt. Der labile Gleichgewichtszustand des Kristallhaufwerkes geht erst dann zu grösserer physikalisch-chemischer Stabilität über, wenn die vom Magma abdestillierenden pneumatolytischen und hydrothermalen, postvulkanischen Agentien aufhören, den in Bildung und steter Umbildung begriffenen Granit zu durchgasen und zu durchtränken.

So muss auch der Aaregranit unter oft wiederholten Phasenwechseln aus einem gasreichen Magma auskristallisiert sein. Mikroskopisch lässt sich mit Sicherheit verfolgen, dass ein Teil der Feldspatsubstanz und insbesondere der grösste Teil des Quarzes zu einem Zeitpunkt ausgeschieden wurden, zu welchem das Kristallaggregat sich schon zu bestimmten Strukturformen konsolidiert hatte. Jene Letztausscheidungen aber haben sich unter Bedingungen vollzogen, unter denen die früher entstandenen Granitgemengteile nicht mehr bestandfähig waren; sie wurden zum Teil wieder aufgelöst (magmatische Korrosion), oder haben eine weitgehende Umwandlung erfahren:

Durch die chemisch ausserordentlich aktiven Restschmelzen des Magmas wurden die zuerst ausgeschiedenen dunkeln Gemengteile des Granites zerfressen, ausgefasert und ausgebleicht. Dem Biotit wird zum Teil sein Eisen- und Titangehalt entzogen, er geht über in Chlorit und Sericit. Kieselsäurereiche, kali- und natronhaltige Feldspäte scheiden sich spät noch aus dem gasreich gewordenen Magma aus; sie sind, gleich wie der Quarz, erfüllt von feinen Flüssigkeitseinschlüssen und Gasporen (vibrierende Libellen), die bei einem bestimmten Dispersitätsgrad dem Feldspat eine charakteristische dunkelblaugraue Färbung verleihen. Solch dunkelgetönte Orthoklase und Mikrokline können direkt als Leitminerale für die magmatischen Letztausscheidungen, für die Aplite und Pegmatite gelten.

Zu diesen letzten Ausscheidungen gehört, wenigstens zum Teil, auch die Bildung des sogenannten Körnel- oder Sandquarzes. Das oft zu beobachtende vollständige Fehlen optischer Störungen, auch an grössern Quarzkörnern, die typische granulitische Struktur der Aggregate, das glatte Abstossen an mechanisch vollkommen ungestörten Feldspäten, das korrosive Eindringen des feinen Mosaiks in andere Granitgemengteile, und endlich das häufige Hindurchsetzen ungestörter Glimmerblättchen durch das feinkörnige Quarzaggregat, all diese Erscheinungen machen es wahrscheinlich, dass dieser Sandquarz in der eben beschriebenen Form als primäre, wenn auch späte magmatische Ausscheidung und nicht als sekundäres dynamo-

metamorphes Zertrümmerungsprodukt ursprünglicher, grösserer Quarzindividuen aufzufassen ist.

Als letzte Phasenabspaltungen entstiegen dem magmatischen Herde noch heisse, wässerige, mineralreiche Lösungen. Auch sie wirkten stark verändernd auf den scheinbar schon verfestigten Granit und waren ebenfalls wieder imstande, die Stabilitätsfelder der einzelnen Mineralgemengteile ganz neu zu orientieren. Bereits Bestehendes wird nochmals aufgelöst und neue Mineralkombinationen werden geschaffen. So hat es sich gezeigt, dass durch diese letzten hydrothermalen Umwandlungen, z. B. im Bietschhorngebiet, ganze Pegmatitgänge unter Erhaltung ihrer ursprünglichen charakteristischen Struktur vollständig in Talk übergeführt worden sind. Die Erscheinung ist so frappant, dass man versucht wäre, von einer Pseudomorphose des Talkes nach Pegmatit zu sprechen. Dieser selben Einwirkung hydrothermalen Agentien ist auch die weitverbreitete Epidotisierung, Chloritisierung, Sericitisierung und Serpentinisierung mancher aarmassivischer, metamorpher Gesteine auf Rechnung zu setzen.

Viel ausgesprochener noch als in den Neubildungen und fortwährenden Umbildungen des Granites selbst kommt die Tätigkeit der leichtflüchtigen Bestandteile des Magmas zur Geltung bei ihrer *kontaktmetamorphen Einwirkung* auf das Nebengestein. Am Aaregranit erweisen sich diese Kontaktwirkungen als besonders charakteristisch und ausgedehnt. Wenn auch die eigentliche Kontaktgrenze zwischen beiden Gesteinen eine auffallend scharfe ist, so sieht man doch allenthalben die aplitischen und pegmatitischen Injektionen, d. h. diese gangförmig auftretenden, sauren Differentiationsprodukte des granitischen Magmas weit in die Schieferhülle hinausgreifen und sie in intensivster Weise durchadern. Von ihnen und auch direkt vom granitischen Herde aus sind im besondern die pneumatolytischen Agentien und hydrothermalen Lösungen weit in die Schieferhülle hinaus vorgedrungen und haben ihr vorherrschend sedimentäres Substratum hochmetamorph verändert. Die paläozoischen mergeligen Tonschiefer sind infolge der Injektion, silikatischen Imprägnierung und fluiden Stoffzufuhr übergegangen in Glimmerhornfelse, Hornblende-Biotit-Gneise, Biotitgneise, Epidot- und Chloritführende Gesteine und Kalkglimmerschiefer. Es fand eine weit ausholende Feldspatisierung (Neubildung von Orthoklas, Mikroklin und hauptsächlich von Albit) des Nebengesteines statt, die sich mit oft wiederholten Rekurrenzen vom Intrusivgestein aus nach

aussen in allen Stadien des Abklingens verfolgen lässt und die in den äussersten Kontaktbereichen gewöhnlich durch eine Verquarzung, Turmalinisierung und Vererzung des Nebengesteins abgelöst wird.

Die leichtflüchtigen Destillationsprodukte des Magmas vermitteln die Zufuhr von allen möglichen Stoffen ins Nebengestein. Unter diesen sind neben Kieselsäure als wichtigste zu nennen: K, Na, F, Cl, Ti, Ce, Mn, B, Fe, W, Mo, Ca, P, S. Dass unter dem Einflusse dieser chemisch zum Teil sehr wirksamen Substanzen sich ganz neue und meist ausserordentlich charakteristische Mineralbestände der Schieferhülle herausbilden mussten, lässt sich leicht verstehen. Besonders auffallend ist die durchgreifende Vererzung mancher dieser Kontaktgesteine. Leider ist aber die Erzimprägung zu allgemein verteilt, sie hat sich zu wenig auf einzelne Punkte konzentriert, als dass ihr, so bemerkenswert sie auch in wissenschaftlicher Beziehung sein mag, eine technische Bedeutung zukommen könnte. Es handelt sich hauptsächlich um sulfidische und oxydische Eisenerze (Magnetkies, Magnetit, Eisenglanz), Molybdänglanz, und in einem seltenen Fall (Reusstal) um Manganerz (Manganblende).

Die kontaktmetamorphen kristallinen Schiefermassen bilden im Aarmassiv, abgesehen von einigen, zwischen ihnen ganz untergeordnet auftretenden Sedimentschuppen mit dem Granit zusammen das ganze Gebirge, und ihre Metamorphose ist höchst eigener Art. Es muss uns daher wundern, dass man bis in die jüngste Zeit hinein den sie betreffenden Gesteinsumwandlungen eine so geringe Aufmerksamkeit geschenkt hat, oder vielleicht besser gesagt, dass man mit diesen Schiefeln petrographisch-genetisch wenig anzufangen wusste, trotzdem aus anderen nicht alpinen Gebieten durch viele klassische Arbeiten das Wesen der Kontaktmetamorphose schon längst aufs beste bekannt war. Diese auffallende Tatsache erklärt sich jedoch leicht, wenn wir wissen, dass in den Alpen die Kontaktwirkungen eine von den normalen Kontaktgesteinen verschiedene Facies annehmen. Es bedurfte langjähriger Studien, bis diese besondere Kontaktmetamorphose als solche erkannt wurde. Ihre Eigenart hat man, wie im allgemeinen Teil dieses Vortrages bereits erwähnt wurde, in der Bezeichnung der Piëzokontaktmetamorphose zum Ausdruck gebracht. Ihre Merkmale sind darin gegeben, dass an Stelle der richtungslosen Produkte der normalen Kontaktmetamorphose sich vorwiegend ausgesprochen schieferige Gesteine herausbilden, und dass die neuentstehenden Mineralien

sich entweder durch ihre kleinen Molekularvolumina, oder aber durch ihren Hydroxylgehalt auszeichnen. Dieselben einseitig wirkenden gebirgsbildenden Kräfte, die im sich verfestigenden Magma die Piëzokristallisation bedingten, verursachten gleichzeitig auch die besondere Ausgestaltung der jener parallel verlaufenden Piëzokontaktmetamorphose des Nebengesteins, die uns auch durch ihre gewaltige Ausdehnung in Erstaunen setzen muss. Aber gerade weil Granitintrusion und Gebirgsbildung nebeneinander hergingen, beziehungsweise sich gegenseitig unterstützten, wurden die aus dem Magma abdestillierenden fluiden Stoffe nicht nur durch ihre eigene Gastension, sondern gleichzeitig auch durch den tektonischen Druck so aussergewöhnlich weit in die Schieferhülle hinausgedrängt. Diese intensive Durchtränkung war um so leichter möglich, als durch die tangentialwirkenden Kräfte der Gebirgsbildung das Nebengestein gelockert und zerruschelt worden war. Auf tausendfältigen neugeöffneten Bahnen konnten nun die leichtflüchtigen Mineralisatoren kilometerweit in die Schieferhülle hinaus vordringen. Solche enorme Ausdehnungen der Kontakthöfe war man bis jetzt nicht gewohnt. Aber noch ein zweiter Grund mag es sein, der bis in die jüngste Zeit hinein die kontaktmetamorphen Vorgänge alpiner Gebiete so schwer hat erkennen lassen, das ist der Einfluss der mechanisch wirkenden Dynamometamorphose, durch welche die Hauptfaltung der Alpen zur Tertiärzeit die früher gebildeten Mineralkombinationen und Strukturbilder der Kontaktgesteine viel mehr, als wie das beim Granit der Fall war, noch in besonderer Weise verändert hat.

Diese Zusammenhänge zwischen Granitintrusionen und Gebirgsbildung, zwischen Kontaktmetamorphose und nachfolgender Dynamometamorphose leiten uns zu der wichtigen Frage der *Altersfolge der alpinen Granitintrusionen* über. Nach den Arbeiten von A. SAUER, J. KÖNIGSBERGER, A. LOTZE und nach eigenen Untersuchungen lässt sich die nachstehend angeführte Sukzession der Granitintrusionen in ihrem Wechsel mit den verschiedenen Alpenfaltungen feststellen:

1. Intrusion des Erstfelder-Granites (Unter-Karbon).
2. Erste herzynische Faltung.
3. Intrusion des Innertkirchner → Gasteren → Aiguilles-Rouges-Granites. Zwischen Unter- und Oberkarbon.
4. Zweite herzynische Faltung.

5. Intrusion des Aaregranites. (Ober-Karbon.)

Zeit des Erdenfriedens. In unserem Alpengebiete Ruhe der Gebirgsfaltungen, Intrusionen und Eruptionen.

6. Hauptfaltung der Alpen. (Tertiär.)

7. Intrusion südlich der Alpen gelegener postalpiner Granite. (Bergeller-Granit, periadriatische Eruptiva, Tonalite.)

8. Postvulkanische Tätigkeit dieser jungen Intrusionen.

Aber nicht nur zwischen den einzelnen Teilintrusionen des Aarmassives lassen sich Unterschiede der Ausbruchzeiten konstatieren, sondern selbst auf ein und derselben Eruptionsspalte ist das Empordringen des Magmas nicht vollkommen gleichzeitig erfolgt:

Der Innertkirchner-Granit, die Randfacies des Gasteren-Granites geht natürlich in seiner Erstarrung dem letztern etwas voran, und die Bildung des Gasteren-Granites wiederum ist, nach petrographischen Tatsachen zu schliessen, etwas älter wie diejenige des Aiguilles-Rouges-Granites. Die ganze Intrusionsspalte muss sich im Verlauf geologischer Zeiten von E nach W aufgerissen haben.

Dieselbe Tatsache lässt sich auch feststellen an der Aaregranit-intrusion. Mit dem Fortschreiten der Intrusionstätigkeit von E nach W vollzog sich hier ausserdem gleichzeitig noch eine ausgesprochene Differentiation des Magmas, indem es seine chemische Beschaffenheit mit der vor sich gehenden Erstarrung veränderte. Die Intrusion begann im östlichen Aarmassiv mit dem Empordringen basischer Differentiate und schloss mit der Bildung einer sauren Granitfacies im westlichen Massivteile ab. Diese Magmaspaltung hat sich schon in abyssischen Tiefen vollzogen. Es ist deshalb von besonderem petrographischem Interesse, im mittlern Aarmassiv (Grimselgebiet) konstatieren zu können, dass hier vom normalgranitischen Magma syenitische basischere Differentiationsprodukte mit in die Höhe gerissen und im Granit als gang- bis linsenförmige Körper eingeschlossen worden sind.

Vom mittlern zum westlichen Aarmassiv scheint selbst ein Saurerwerden der gangförmig auftretenden basischen Spaltungsgesteine (Lamprophyre) Platz zu greifen.

Im Durchschnitt des Grimselprofles lässt sich übrigens auch in der Querrichtung des Massives eine zeitliche Sukzessionsfolge

verschiedener Ausbrüche und eine Differentiation der Magmen feststellen: Der Hauptintrusion des Granites ging am Südrand desselben das Eindringen basischerer Magmen (Syenite, Diorite, Pyroxenite) voraus und es ist wahrscheinlich, dass die Eruption des aplitischen Mittagsfluh-Granites (saures Magma), der den eigentlichen Aaregranit auf der Nordseite in einer schmalen Zone flankiert, diesem selbst in seiner Eruption nachgefolgt ist. Wie auch südlich der Grimselpasshöhe zwischen den Aaregranit und jene basischen Gesteine als jüngster Nachschub des granitischen Magmas noch ein, von E nach W sich vermächtigender, saurer Randerguss eingedrungen ist.

Je mehr wir überhaupt in alle petrographische Detail einzudringen vermögen, um so mehr werden sich geringe zeitliche Unterschiede in den Ausbruchsphasen all der kleinen Teilintrusionen herausstellen. Es bestärkt sich in uns mehr und mehr der Eindruck, dass die „mise en place“ der einzelnen Massive und Teilmassive kein einheitlicher Vorgang war, sondern sich in eine Anzahl Unterphasen auflöste, also wohl über eine längere geologische Zeitdauer sich ausgedehnt haben muss. Dieses grosse Spiel hat sein Widerspiel auch im Ablauf der einzelnen Faltungsvorgänge der Alpen.

Der rhythmische Wechsel zwischen Intrusionstätigkeit und Gebirgsbildung bedingt es, dass der primären Beeinflussung der Graniterstarrung und der Kontaktmetamorphose auch sekundäre Einwirkungen des tektonischen Druckes auf die längst erstarrten oder noch unter dem Einfluss der postmagmatischen Tätigkeit stehenden Massive nachfolgen mussten. Dieser Veränderung von Struktur und Bau des Gebirges durch die letzte Alpenfaltung haben wir uns im folgenden zuzuwenden.

Die Tektonik des Aarmassives zeigt ein in seinen Hauptlinien klares Bild: Die kristallinen Kerne standen als starre in grosser Tiefe der Erdkruste verankerte Massen da, als sie mit ihren Schieferhüllen und sedimentären Bedeckungen von dem, von Süden her erfolgenden Schube der tertiären Alpenfaltung betroffen wurden. Die Granitklötze stellten dem tektonischen Drucke einen grössern Widerstand entgegen, als die viel plastischeren Sedimente und die zwar spröden, aber nach ihren Clivageflächen doch relativ leicht verschiebbaren Schiefer. Die Granitrücken vermochten der Faltenbildung nicht zu folgen, sie blieben zurück gegenüber den viel leichter beweglichen Sedimenten und Schiefen. Sie wurden

aber wie um ein Scharnier nach Norden umgeklappt und zum Teil in einzelne Schuppen zerrissen, ob sie jedoch wesentlich von ihrer ursprünglichen Grundlage losgetrennt worden sind, ob wir ihre Bodenständigkeit heute aufgeben müssen und sie mit P. BECK als „Paramassiv“ bezeichnen sollen, das zu entscheiden stehen uns gegenwärtig noch zu wenig Tatsachen zur Verfügung. Jedenfalls aber haben sich südlich der der Faltung Widerstand leistenden Massive Sedimente und Schiefermassen zusammengestaut. Mit zunehmendem Drucke wurden die plastischeren sedimentären Gesteine in liegenden Falten über die Granitkerne hinweggelegt und sind als solche auf der Nordseite der Massive hinuntergeglitten oder sie haben sich in weitausholenden Decken ins Vorland vorgeschoben, am weitesten da, wo die untertauchenden Massivrücken freiere Bahn gestatteten (Dent de Morcles-Diablerets-Wildhorn-Decke).

Die kristallinen Schiefer vermochten diesen Faltungsbewegungen nur noch zum Teil zu folgen. Unter möglicher Ausnützung ihrer primären Schieferstrukturen wurden sie von Süden her an die Intrusivkerne angepresst und als zerhacktes Schuppenwerk über sie hinweggeschoben, wohl auch mit einzelnen Sedimentresten zwischen die Granitteile eingeklemmt.

In besonderer Weise äusserte sich die mechanische Inanspruchnahme, Umformung und Umlagerung der Sedimente und Schiefer da, wo sich diese zwischen zwei Massivklötzen befanden, so z. B. im Lötschental zwischen den Teilmassiven des Gasteren-Granites und des Aaregranites. Einzelne besonders in Linsenform auftretende kristalline Gesteinskomplexe (Amphibolite) werden aus ihrer Umhüllung herausgepresst (wie der Zwetschgenstein aus seiner Fruchthülle) und diskordant auf die Schiefer des vorgelagerten Massives hinaufgeschoben.

Dieselbe Erscheinung lässt sich noch in viel grösserem Ausmass nachweisen zwischen Gotthardmassiv und Aarmassiv. In der sogenannten Urserenmulde wurden Sedimente und kristalline Schiefer beim starken Herandrängen des Gotthardmassives (je südlicher die Massive oder einzelne Massivteile liegen, um so weiter scheinen sie von ihrem ursprünglichen Standorte verschoben zu sein) wie zwischen die Backen eines Schraubstockes eingeklemmt, herausgequetscht (hier ist die Wurzelregion der helvetischen Decken zu suchen) und über das Aarmassiv hinweggefaltet und hinweggeschoben. Dem von S her mächtig anprallenden Stosse vermochte aber das Aarmassiv selber nicht ganz standzuhalten. An einer fast messer-

scharf verlaufenden, gewaltigen Verwerfungslinie, die zu den auffälligsten tektonischen, petrographischen und auch landschaftlichen Erscheinungen in den Alpen gehören dürfte, ist ein Teil der Südflanke des Massives losgerissen und als Riesenschuppe auf den nördlichen, Widerstand leistenden Massivteil hinaufgeschoben worden. An dieser Linie erscheint tatsächlich das Gebirge wie auseinandergeschnitten, tief eingesägte Scharten und lang ausgedehnte Seen- und Quellenhorizonte begleiten sie. Die Gesteine sind vollständig ausgewalzt und verquarzt (Mylonitbildung). Hier kommt es in drastischster Weise zum Ausdruck, nach welcher Art die Dynamometamorphose die Gesteine zu verändern imstande ist.

Wenn wir nun die Tektonik der nördlich gelegenen granitischen Intrusivmassen unserer Alpen vergleichen mit derjenigen der Granitkerne der penninischen Decken, im besondern mit den Graniten des Tessiner- und Simplonmassives, und wenn wir gleichzeitig das geologische Alter, die petrographische Facies und die Kontaktwirkungen dieser Intrusionen berücksichtigen, dann ergeben sich, wie mir scheint, einige recht bemerkenswerte Beziehungen:

Die beiden Teilmassive des Innertkirchner-Gasteren- und des Erstfeldergranites haben der tertiären Alpenfaltung gegenüber vollständig als Stauklötze gewirkt, sie sind, wie sich mit besonderer Deutlichkeit aus ihren mechanischen Kontaktverhältnissen mit den nördlich vorgelagerten autochthonen Sedimenten ergibt, durch die gebirgsbildenden Kräfte der Tertiärzeit in zahllose Schuppenpakete zerrissen worden. Ihre Starrheit hat ihnen nicht erlaubt, sich in irgendwelchen Faltungen den neuen tektonischen Verhältnissen anzupassen.

Die herzynischen Faltungsvorgänge dagegen sind auf die Ausgestaltung ihrer petrographischen Facies ohne Einfluss geblieben, weil ihre Erstarrung in Tiefen erfolgte, in denen das Magma nur dem hydrostatischen Druck unterworfen war. Nirgends können wir an diesen nördlichsten Teilintrusionen Kontaktwirkungen konstatieren, die jüngere als karbonische Sedimente betroffen hätten (ausgenommen vielleicht im Gasterental). Ihre Intrusionszeit hat sich tatsächlich auch als der Unter- bis Ober-Karbonzeit zugehörend erwiesen.

Der Aaregranit weicht in seinem tektonischen Verhalten kaum etwas vom Innertkirchner-Gasteren- und Erstfeldergranit ab. Seine mächtige Intrusivmasse hat den Hauptwiderstand, den starren Rückgrat des Massives gebildet. Auch dieser lakkolithische

Eruptivkörper wurde durch die tertiär-tektonischen Einflüsse umgeklappt, zerschuppt und zerrissen und vielleicht auch um ein Geringes von Ort und Stelle geschoben.

Die Erstarrung des Granites ist zur Ober-Karbonzeit in höherem Niveau der Erdkruste aus einem sehr gasreichen Magma erfolgt: Piézokristallisation, Piézokontaktmetamorphose. Porphyrische Ausbildung ist besonders in den südlichen Teilen des Massives vorherrschend. Eine intensive Feldspatisierung war durch lang andauernde Kali- und Natronzufuhr bedingt.

Aus dem Reichtum des Magmas an fluiden Bestandteilen erklärt sich auch die weitausholende Kontaktmetamorphose, die auf der Südseite des Massives infolge nachhaltiger Einwirkung der postvulkanischen Agentien noch triasische Ablagerungen mitbetroffen hat (Baltschiedertal).

Die Erscheinungen des Aaregranites akzentuieren sich am Gotthardmassiv noch deutlicher: Gegenüber der tertiären Alpenfaltung zeigen diese Intrusivkerne schon eine grössere Beweglichkeit. Das Massiv hat zweifellos eine viel bedeutendere S-N-Verschiebung erfahren, als wie das beim Aarmassiv der Fall ist. Die Erstarrungstiefe dürfte gegenüber derjenigen des Aaregranites weiter abgenommen haben und ebenso die Erstarrungszeit eine noch jüngere sein. Jedenfalls sind auf der S-Seite des Gotthardmassives triasische und auch jurassische Sedimente durch die postmagmatische Tätigkeit noch kontaktmetamorph umgewandelt worden. Mit dem hohen Gehalt an leichtflüchtigen Bestandteilen dürfte auch hier die ausgesprochene Porphystruktur der Gotthardgranite (Augengneise) und im besondern die auffallend intensive und durchgreifende Albitisierung und Paragonitisierung der Schieferhülle (Natronzufuhr) in Beziehung zu bringen sein.

Ein noch weit verschiedeneres tektonisches Verhalten im Vergleich zu den nördlichen Granitmassiven weisen die Granitkerne der penninischen Decken auf. Sie haben der Alpenfaltung nicht mehr einen starren Widerstand entgegenzusetzen vermocht. Als Massen von hoher Plastizität sind sie mit ihren Schieferhüllen und überlagernden Sedimenten in harmonische, weitausholende, liegende Falten gelegt, ja sogar in einzelne Lappen zerfaltet worden.

Petrographisch sind diese Granite gekennzeichnet durch eine ausgesprochene Augengneisstruktur. Ihre Erstarrung und Feldspatisierung muss unter dem Einflusse schiebender Druckwirkungen stattgefunden haben. Eine Art gestörter Kristallisation führte zu

ihrer Flaser- und Schieferstruktur. Die letzte Verfestigung ist in höherem Niveau erfolgt wie bei den nördlichen Intrusivzentren des Aarmassivs und diesen gegenüber dürften auch die bedeutenden postmagmatischen Nachwirkungen viel jünger sein. Im Kontakt mit diesen südlichen „Gneisen“ finden wir die Trias- und Jura-sedimente noch hochmetamorph umgewandelt. Vor allen Dingen haben die kristallin gewordenen porösen Dolomite die Rolle von Absorptions- und Kondensationsapparaten für die fluiden Stoffe gebildet, die noch zur Zeit der Alpenfaltung jungen, in geringer Tiefe befindlichen Herden entströmt sein müssen. Durch die reichliche Zufuhr von Natron, von Cl, F, B, Be, As, S und erzbildenden Substanzen haben die Dolomitvorkommnisse des Simplongebietes, des Binnentales, des Campolungopasses usw. ihren Mineralreichtum erhalten, der z. T. mit demjenigen der Pegmatite südalpiner Granit-intrusionen und ihrer Kontaktgesteine übereinstimmt. Die bisherige Erklärungsweise der Umkristallisation dieser Trias-Sedimente durch regionalmetamorphe Vorgänge wird immer unzureichend sein müssen, da sie sich über die Herkunft der zugeführten Stoffe keine Rechenschaft zu geben vermag. Die Annahme der kontaktmetamorphen Umwandlung dagegen wird gestützt durch die Tatsache, dass die stofflichen Veränderungen der metamorphen Gesteine mit dem chemischen Charakter des Magmas und mit den anderswo als richtig erkannten magmatischen Destillationsgesetzen in voller Übereinstimmung stehen.

Während also auf der N-Seite der Alpen im Kontakt mit den ältern Graniten die Trias-Sedimente keine Spur von kontaktmetamorpher Einwirkung an sich tragen, zeigen sich diejenigen der penninischen Deckengebiete als typisch pneumatolytisch und hydrothermal metamorph umgewandelt. An den hier auftretenden jüngern Graniten war offenbar am Ende der Triaszeit die postvulkanische Tätigkeit ihres Herdes noch nicht erloschen, und diese verlieh auch den Granitmassen auf der S-Seite der Alpen noch zur Zeit ihrer tertiär tektonischen Umpressung eine viel grössere Beweglichkeit und Geschmeidigkeit.

Dass auf der S-Seite der Alpen in der Tat in postalpiner Zeit noch mächtige eruptive Massen in die Höhe gedrungen sind, beweist das Bergeller-Massiv und all die periadriatischen Eruptivzentren. Der prachtvoll porphyrische, richtungslose Granit des ersteren, der nach Ablauf der Alpenfaltung ungestört kristallisieren konnte, deutet mit seinen klassisch entwickelten Kontaktmetamorphosen an, dass auch hier die Granitbildung aus einem sehr gasreichen Magma erfolgt ist.

Wenn wir all diese Tatsachen uns vor Augen halten, so ergibt sich folgender grosser Zusammenhang zwischen den Granitintrusionen unserer Alpen und den Faltungsvorgängen des Gebirges: Die Erstarrung der alpinen Granitmassive schritt von Norden nach Süden vorwärts und gerade deshalb vielleicht vollzogen sich die gebirgsbildenden Vorgänge in entgegengesetzter Richtung fortschreitend von Süden nach Norden. Auf der Südseite der Alpen mussten sich daher Granitintrusionen (so weit sie voralpin sind) und Gebirgsfaltung am ehesten gegenseitig primär beeinflussen. Die eine erleichterte die tektonische Beweglichkeit der Massen und die andere verlieh dem erstarrenden Granit seine besondere fazielle Ausbildung.

Bis jetzt ist man bei der Erforschung der alpinen Granitmassive meistens von den grossen tektonischen Tatsachen ausgegangen und hat daraus die Rückschlüsse gezogen auf die letzten Ursachen aller Erscheinungsformen. Wir haben den Versuch gewagt, den umgekehrten Weg einzuschlagen. Wir suchen das letzte petrographische Detail zu erforschen, um in voller Auswertung desselben das tektonische Verhalten des kristallinen Gebirges aus den letzten Gründen abzuleiten.¹

Verehrte Anwesende! Wir wären Ihnen dankbar, wenn Sie unserer Arbeitsweise auch fernerhin Ihr Interesse zuwenden wollten.

¹Zu diesem Vortrage vgl. auch A. HEIM: Nachträge zum Aarmassiv, „Geologie der Schweiz“ Bd. II. Lfg. 12, S. 918 und ff.

In jener Darstellung werden zum Teil andere Auffassungen vertreten, als wie sie hier zum Ausdruck gebracht worden sind. Sachlich erübrigt es sich, nach dem oben Gesagten näher auf diese Divergenzen zwischen der Darstellung von Prof. HEIM und meinen hier gemachten Mitteilungen einzugehen. Dagegen scheint mir folgende Erklärung am Platze zu sein:

Auf Wunsch von Prof. HEIM stellte ich ihm eine Zusammenfassung der neuern Ergebnisse der petrographisch-geologischen Erforschung des Aarmassivs für die „Nachträge“ in der „Geologie der Schweiz“ zur Verfügung.

Prof. HEIM sah sich nun veranlasst, meine Notizen in gekürzter Form und beliebiger Verwendung in der „Geologie der Schweiz“ wiederzugeben. Leider kamen in dieser Umarbeitung meine Beweisführungen und mein Tatsachenmaterial nur in unvollständiger Weise zur Verwertung, so dass tatsächlich meine Ergebnisse zum Teil als „blosse Vermutungen und Annahmen“ in der Luft zu hängen scheinen. Die obigen Ausführungen mögen daher dazu beitragen, dasjenige, was in jener Darstellung unvollständig und von anderem Gesichtspunkt aus betrachtet zum Ausdruck gekommen ist, nach dem heutigen Stande unserer Arbeiten über die alpinen Granitintrusionen zu ergänzen.