

Zeitschrift: Eclogae Geologicae Helvetiae
Herausgeber: Schweizerische Geologische Gesellschaft
Band: 16 (1920-1922)
Heft: 4

Artikel: Pneumatolytisch-hydrothermale Wirkungen alpiner Granitintrusionen
Autor: Hugi, E.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-157933>

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: 27.04.2026

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

Pneumatolytisch-hydrothermale Wirkungen alpiner Granitintrusionen.

Von E. HUGI, Bern.¹⁾

Die heutige Petrographie ist in der günstigen Lage, sich bei der Untersuchung kristalliner Gebiete gegenüber der älteren Arbeitsweise zwei grosse Vorteile zunutze ziehen zu können:

Erstens ist es ihr möglich, sich bei ihren Aufnahmen viel mehr ins Detail zu vertiefen, als wie das bei den ersten, mit bewundernswerter Grosszügigkeit durchgeführten, allgemein orientierenden Kartierungen geschehen konnte.

Und zweitens geben die feine Durcharbeitung der mikroskopischen Methoden und die Nutzbarmachung der präzisen Denkweise der neuern physikalischen Chemie der heutigen Petrographie eine Forschungskraft, welche die ältere Wissenschaft unmöglich besitzen konnte. So ist es wohl zu verstehen, dass die ursächlichen Erscheinungen und die tiefen genetischen Zusammenhänge im petrographischen Bestande mancher kristalliner Gebiete erst jetzt sich zu entwirren beginnen, und vielerorts vermögen einheitlichere und klarere Auffassungen bis dahin bestehende Zusammenhangslosigkeiten und Unsicherheiten zu ersetzen.

Der Anwendung der physikalischen Chemie ist es hauptsächlich zu verdanken, dass heute die Vorstellungen über die Natur des Magmas auf eine sicherere Grundlage gestellt werden konnten. Die magmatischen Vorgänge lassen sich jetzt bestimmter fassen und ihre Untersuchung kann in den Bereich physikalisch-chemischer Forschung gerückt werden.

Heute wissen wir, dass die intratellurischen Schmelzflüsse nicht gewöhnliche Schmelzen sind, sondern dass sie in ihrem ganzen Verhalten den Gesetzmässigkeiten von Lösungen gehorchen, welche komplexe Systeme von schwerflüchtigen und extrem leichtflüchtigen Komponenten darstellen.

Wenn eine solche magmatische Schmelzlösung bei ihrer Intrusion in höhere Teile der Erdkruste, einer Temperaturerniedrigung und einer Druckverminderung ausgesetzt wird,

¹⁾ Vortrag, gehalten an der Jahresversammlung des S. G. G. in Schaffhausen, den 27. August 1921. Siehe Vermerk im Versammlungsbericht.

so vollzieht sich an ihr, wie das zuerst P. NIGGLI¹⁾ mit aller Schärfе hervorgehoben hat, im eigentlichen Sinne des Wortes eine *Abkühlungsdestillation*: Zuerst gehen die schwerflüchtigen Komponenten in die feste Phase über und in gleichem Masse reichern sich in der Restlösung die leichtflüchtigen Bestandteile an. Eine Steigerung des Dampfdruckes ist die direkte Folge dieses Vorganges. Sobald aber der innere Druck den äussern Gegendruck überwindet, spaltet sich eine erste fluide Phase aus dem Magma ab. Das ist der Beginn der *pneumatolytischen Wirkung* der Intrusion.

Infolge ihrer enormen Dampfspannung (bisweilen vielleicht auch unterstützt durch tektonischen Druck) injizieren und durchtränken die abdestillierten leichtflüchtigen Stoffe das Nebengestein und ihre hohe chemische Aktivität befähigt sie, mit diesem selbst in neue Verbindungen einzutreten (*pneumatolytische Kontaktmetamorphose*). So schreitet durch fortwährende Temperaturabnahme der retrograde Siedevorgang (NIGGLI) weiter. Unter nach aussen hin sinkender Temperatur schlagen sich stets leichtflüchtigere Substanzen nieder und aus der Tiefe erfolgen mit der allgemeinen Abkühlung des Magmas immer neue pneumatolytische Nachschübe. Es wechseln ununterbrochen die chemischen und physikalischen Gleichgewichtsbedingungen und unter ihrem Einflusse nimmt das grosse Spiel die wechsellvollsten Formen an.

Sobald aber die Temperatur des Magmas unter die kritische Temperatur jener leichtflüchtigen Komponenten gesunken ist, entströmen wässerige Lösungen dem sich abkühlenden Schmelzflusse: es beginnen die *hydrothermalen Wirkungen* des in der Tiefe sich abspielenden magmatischen Vorganges. In ihnen pflegt die eruptive Tätigkeit auszuklingen. Dass aber zwischen pneumatolytischen und hydrothermalen Nachwirkungen der Magmaintrusionen keine feste Grenze bestehen kann, dass vielmehr allmähliche Übergänge von der einen Art der *postvulkanischen Prozesse* zur andern überführen müssen, das geht aus dem Gesagten ohne weiteres hervor.

Auch hinsichtlich der Einwirkung auf das Nebengestein steht der Einfluss der hydrothermalen Agentien der pneumatolytischen Metamorphose nahe, denn infolge des hohen Druckes und der hohen Temperatur vermögen sich die juvenilen Wässer mit bedeutenden Mengen von schwerflüchtigen und leicht-

1) P. NIGGLI: a) Über magmatische Destillationsvorgänge. Zeitschrift für Vulkanologie, Bd. V. Heft 2. 1919. — b) Die leichtflüchtigen Bestandteile im Magma. Preisschrift der Jablonowskischen Gesellschaft in Leipzig. 1920.

flüchtigen Magmakomponenten zu beladen und diese gelösten Mineralsubstanzen geben ihnen die Fähigkeit zur intensiven mineralischen und strukturellen Umgestaltung des Nebengesteins (*hydrothermale Kontaktmetamorphose*).

Bei der Auffassung einer weitgehenden pneumatolytischen und hydrothermalen Metamorphose, wie sie hier vertreten wird, scheint sich nun, wenigstens auf den ersten Blick, die Schwierigkeit der Abgrenzung zwischen dieser Art der Kontaktmetamorphose und der Regionalmetamorphose zu ergeben. Die Feststellung kontaktmetamorpher Einwirkungen des Magmas auf das Nebengestein ist aber überall da ohne weiteres mit Sicherheit durchzuführen, wo, wie das in den im folgenden mitgeteilten Beobachtungen der Fall ist, sich vom magmatischen Eruptionszentrum aus graduell von einer Kontaktmetamorphose im engern Sinne des Wortes bis zur pneumatolytischen und hydrothermalen Kontaktmetamorphose alle Abstufungen verfolgen lassen, und wo sich vor allen Dingen bis zum letzten Ausklingen kontaktlicher Einwirkung eine Stoffzufuhr konstatieren lässt, deren Zusammenhang mit dem magmatischen Herd ausser allem Zweifel steht.

Diese genetischen Beziehungen zwischen den einzelnen Phasenabspaltungen des Magmas, sowie ihre temporale und laterale Ausscheidungsfolge sind bis dahin im Bereiche unserer *alpinen Granitmassive* noch nicht genügend studiert worden, und wo man sie bereits beobachtet hat, wurden sie bisweilen nicht in ihrer eigentlichen Bedeutung und in ihrem ganzen Zusammenhange erfasst. Man hat sogar noch in jüngster Zeit nicht angestanden für manche dieser magmatischen Ausscheidungen eine sedimentäre Entstehung zu postulieren.

Es ist wohl zu verstehen, dass viele Effekte, die wir heute der pneumatolytischen und hydrothermalen Metamorphose zuschreiben müssen, bis jetzt als Wirkungen der Regionalmetamorphose aufgefasst wurden, weil man sie ausser allem Zusammenhang ins Auge gefasst hat. Und manche sicher pegmatitischen Ausscheidungen galten aus gleichem Grunde bis dahin als Sekretionen, deren Material dem Nebengestein entnommen sein sollte. Wir müssen uns an den Gedanken gewöhnen, dass mit der *mise en place* und der randlichen Erstarrung eines Eruptivgesteines der Zyklus der magmatischen Abkühlungsvorgänge seinen Abschluss noch nicht gefunden hat, sondern dass sich die postvulkanischen Nachwirkungen, d. h. die Stoffnachschiebe aus grösseren Herdtiefen unter Umständen noch über ganze Erdperioden ausdehnen und dass sie im be-

sondern unter der Einwirkung tektonischen Druckes in später Zeit noch eine Neubelebung erfahren können.

Es schien dem Vortragenden lohnend zu sein, solche Gesichtspunkte im Gebiete unserer alpinen Granitintrusionen konsequent zu verfolgen. Die Untersuchungen, die er in den letzten Jahren mit einigen seiner Schüler durchführen konnte, haben über all diese Vorgänge manche wertvollen Tatsachen geliefert. Eine erste Übersichtsdarstellung des neu gewonnenen Materiales dürfte daher hier von allgemeinem Interesse sein.

An dieser Stelle möchte ich es nicht unterlassen, den *Schweizerischen Bundesbahnen* und der *Studiengesellschaft für die Nutzbarmachung der schweizerischen Erzlagerstätten* für die Förderung meiner Untersuchungen den besten Dank auszusprechen. Jene haben es mir ermöglicht, das reiche Material, das beim Baue ihrer grossen Kraftwerke zutage gefördert worden ist, zu sammeln und wissenschaftlich zu verwerten. Die Studiengesellschaft hat mich mit der Aufnahme von Erzlagerstätten beauftragt, deren Studium ganz in meinen Arbeitsbereich fällt.

Meine hier dargestellten Untersuchungen und Beobachtungen beziehen sich auf folgende Granitmassive unserer Alpen:

1. Aiguilles-Rouges-Massiv;
2. Mont Blanc-Massiv;
3. Intrusion des Aaregranites;
4. Gotthard-Massiv.

I. AIGUILLES-ROUGES-MASSIV. In petrographischer Hinsicht sowohl, wie auch in geologischem Sinne stellt das Aiguilles-Rouges-Massiv die westliche Fortsetzung des Granit-Teilmassives von Innertkirchen—Gasteren dar. Für unsere alpinen, sogenannten autochthonen Granitintrusionen gilt im allgemeinen die Gesetzmässigkeit, dass eine Steigerung ihrer Acidität von Osten nach Westen stattfindet. Demnach weist auch das Aiguilles-Rouges-Massiv in seinem Intrusivkern eine saure Facies der granitischen Eruptiva auf und es muss sein Magma besonders reich an leichtflüchtigen Substanzen gewesen sein, besonders bevorzugt also auch um pneumatolytische und hydrothermale Wirkungen auszulösen.

Da die magmatischen Gase und die thermalen Wässer vom Intrusivkern hauptsächlich ins Nebengestein hinaus wirken, so können wir heute die Beeinflussungen durch diese postvulkanischen Agentien in erster Linie in der metamorphen Umgestaltung der Schieferhülle des Granites konstatieren. Das vollständige, lückenlose Querprofil durch das mittlere

Aiguilles-Rouges-Massiv, das gegenwärtig durch den Bau des *Kraftwerkes Barberine* der S. B. B. aufgeschlossen wird, ist geeignet, die eben gegebenen theoretischen Erwägungen in vollem Masse zu bestätigen. Obwohl die eingehenden petrographischen Untersuchungen des durch den Zuleitungstollen und durch die Zufuhrbahn aufgeschlossenen Gesteinsmaterials erst begonnen werden konnten, so lassen sich in diesem prachtvollen Kontaktprofile doch jetzt schon, indem wir vom Eruptivzentrum in westlicher Richtung nach aussen hin fortschreiten, summarisch folgende Gesteinszonen auseinanderhalten:

1. Intrusivkern des Valorcine-Granites (Aiguilles-Rouges-Granites).
2. Zone der Hornfelse (Glimmerhornfelse) und injizierten Schiefer.
3. Zone der Schistes feldspathisés.
4. Zone der Verquarzung und Vererzung.

Die Zone 2 entspricht dem Bereiche der direkten Einwirkung des Magmas auf das Nebengestein, d. h. der *Kontaktmetamorphose im engern Sinne des Wortes*. Zahlreiche Aplit- und seltener Quarzporphyr- und Pegmatit-Injektionen sind zu Überträgern der direkten magmatischen Einwirkung geworden.

Die Zonen 3 und 4 stellen in ausgesprochenster Weise die Wirkungen des *pneumatolytischen Kontaktes* dar. In der Feldspatisierungszone scheint es sich, soweit das durch die ersten Orientierungsuntersuchungen festgestellt werden konnte, hauptsächlich um eine pneumatolytische Natronzufuhr (Albitisierung) zu handeln.

Am eigenartigsten und durch ihre Ausdehnung wohl auch am imposantesten dürfte im Aiguilles-Rouges-Massiv die Verquarzungs- und Vererzungszone ausgeprägt sein. Diesem Kontakthofe gehören im wesentlichen auch die hydrothermalen Wirkungen an, wie ja selbstverständlich zwischen den einzelnen angeführten Zonen keine scharfen Grenzlinien zu ziehen sind.

Im gegebenen Zusammenhange und bei der besondern Ausbildung des Minerals muss die Quarzzufuhr unbedingt als ein pneumatolytischer (respektive teilweise hydrothermal) Vorgang aufgefasst werden: die äusserste Zone der Schieferhülle erweist sich auf mehrere hundert Meter Mächtigkeit von Quarzgängen und Quarzlinsen vollständig durchsetzt. Diese Quarzinjektionen und -Imprägnationen gehen im allgemeinen der Schieferungsrichtung des Nebengesteines parallel, erfahren aber infolge des bei ihrer Bildung herrschenden Druckes die kompliziertesten Verstauchungen und Verknäuelungen, und

mit den Quarzlinen zeigen in der nächsten Umgebung auch die während der magmatischen Durchgasung erweichten Schiefer die prächtigsten Injektionsfältelungen.

Die Fluoritisierung, die wir oft in engster Beziehung mit der Durchquarzung der Schieferhülle antreffen, lässt darauf schliessen, dass die Zufuhr des Quarzes in Form von Siliciumtetrafluorid stattgefunden hat nach folgendem einfachen chemischen Vorgang: $\text{SiF}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 + 4\text{HF}$.

In die äussere Region der leichtflüchtigen Destillationsprodukte gehören als charakteristisches Glied auch die Vererzungszonen. Im Aiguilles-Rouges-Massiv ist diesem Vererzungsgebiet unter anderem das *Arsenkiesvorkommen der Alpe Salanfe* zuzurechnen. Es ist kennzeichnend und mag schon hier besonders hervorgehoben werden, dass die Kondensation der erzbringenden pneumatolytischen Substanzen, wo das irgend möglich ist, an Kalkeinlagerungen der Schieferhülle sich knüpft. Dass andererseits diese Kalkbänder mit dem Auftreten von Amphiboliten in engstem genetischen Zusammenhange stehen, das konnte im Aiguilles-Rouges-Massiv zuerst OULIANOFF¹⁾ mit Bestimmtheit nachweisen. Seine Auffassung besteht nicht nur zu Recht für die östliche, sondern sie gilt in ebenso uneingeschränkter Weise auch für die westliche Schieferhülle des Massives.

Als hauptsächlichste Erze der Mine von Salanfe konnten nach den ersten Untersuchungen festgestellt werden: *Arsenkies* (FeAsS , nach C. SCHMIDT²⁾ $\text{Fe}_2(\text{AsS})_3$) goldhaltig, das Haupterz bildend. In geringerer Verbreitung treten auf: *Magnetit*, *Eisenglanz*, *Bleiglanz* und *Pyrit*. Die pneumatolytische Kontaktmetamorphose hat bei der Erzzufuhr die Kalkeinlagerungen selbst in Marmore übergeführt und zwischen den Erzausscheidungen und dem Marmor prachtvolle *Skarnbildungen* erzeugt.

Trotz all den typischen Erscheinungen, welche die Bildungsverhältnisse der Lagerstätte als unzweideutig hinstellen, bildet sich C. SCHMIDT³⁾ über deren Genesis kein abschliessendes Urteil.

Besonders hervorzuheben ist das Auftreten des dichten Eisenglanzes. Als rotfärbendes, ferritisches Pigment hat dieses Mineral auch in der weitem Umgebung der Mine in den Apliten,

¹⁾ N. OULIANOFF: Sur les relations des amphibolites et du calcaire ancien dans le massif des Aiguilles-Rouges. Soc. vaudoise des sc. nat. 1920.

²⁾ C. SCHMIDT: Über goldhaltigen Leukopyrit von Salanfe im Kanton Wallis. Zeitschrift f. prakt. Geologie, Heft 7. 1916.

³⁾ C. SCHMIDT: Ebendasselbst.

Quarzporphyren und Gneisen eine ganz ausserordentliche Verbreitung. Seine Entstehung muss zu einem guten Teil durch chemische Umsetzung zwischen einer Eisen-Halogen-Verbindung und Wasserdampf sich vollzogen haben. Diese Auffassung, sowie auch die oben vertretene Ansicht über die Bildung des pneumatolytischen Quarzes lassen voraussetzen, dass mit den pneumatolytischen Wirkungen auch eine *hydrothermale Tätigkeit* Hand in Hand gegangen ist.

Als solche Ausscheidungen aus heissen, gasreichen Wässern sind die bis 30 cm mächtigen *Barytgänge* anzusprechen, welche in nächster Umgebung der Mine von Salanfe kürzlich aufgefunden werden konnten. (Nach mündlicher Mitteilung von Prof. LUGEON hat er schon vor Jahren dieses Barytvorkommen festgestellt, aber nirgends beschrieben. Für mich war also der Fund neu und als Stützpunkt für meine Auffassung dieser postvulkanischen Vorgänge wertvoll.)

Während dem die Erzeinlagerungen und auch die Quarzinjektionen sich zur Schieferung der Schieferhülle immer mehr oder weniger konkordant einstellen, stehen die beobachteten Barytgänge in ausgesprochener Diskordanz zu den Schiefen. Dieses Verhalten deutet wohl auf spätere Bildung der Barytgänge hin. Doch sind wahrscheinlich auch diese hydrothermal ausgefüllten Spalten durch den pneumatolytischen Dampfdruck aufgesprengt worden, denn es zeigt sich, dass das *Nebengestein der Barytgänge* von den Salbändern aus vollständig mit *Flussspat imprägniert* ist und mit dieser Fluoritisierung geht auch zusammen eine Verquarzung des Nebengesteins. Überall zeigt sich der Quarz erfüllt von *Gas- und Flüssigkeits-einschlüssen* (vibrierende Libellen) und dasselbe gilt in geringerem Masse auch für den Schwerspat. Fluorit, Quarz und Baryt treten z. T. auch in Verwachsung miteinander auf. Kleine *Eisenglanz-Körnchen* gehören als Einschlüsse sowohl dem Baryt wie auch dem Nebengestein an. Durch fein verteilten *Ferrit* sind die vorherrschenden Varietäten des Schwerspates leicht rosa bis schwach braunrot gefärbt. Seltener ist das gebänderte bis radialstrahlige Barytaggregat milchigweiss. Nur in untergeordneter Weise scheint sich der Eisenglanz durch Umsetzung von Pyrit gebildet zu haben.

Der mit dem Baryt auftretende *Malachit* ist als hydrothermales Umwandlungsprodukt irgend eines andern primären, pneumatolytisch gebildeten Kupferminerales (Kupferkies oder Kupferglanz) aufzufassen.

Der hydrothermalen Tätigkeit möchte ich ferner die *Sericitisation* zuschreiben, welcher das Nebengestein der Barytgänge

unterworfen worden ist. Auffallend ist der *Rutil*reichtum, der lokal in diesen Sericitagreggaten eingeschlossen ist.

Durch diese ersten, allgemein orientierenden Notizen sollen vom Mineralogisch-petrographischen Institut in Bern unternommenen Detailuntersuchungen sowohl über das Gesteinsmaterial des Barberine-Werkes, wie auch über die Erzvorkommnisse des Aiguilles-Rouges Massives nicht vorgegriffen werden.

II. MONT BLANC-MASSIV. Es erscheint selbstverständlich, dass die pneumatolytischen und hydrothermalen Agentien sich besonders in den äussersten Spaltenergüssen einer intrusiven Magmamasse anreichern, und dass von diesen aus intensive Stoffzufuhr in die Schieferhülle erfolgen kann.

Nach allgemeiner Erfahrung hat es sich ferner herausgestellt, dass an stark geschieferten Gesteinen die kontaktmetamorphen Einwirkungen senkrecht zur Schieferung nie weit ins Nebengestein hinausreichen. Die Magmainjektionen, die pneumatolytischen Durchgasungen und hydrothermalen Durchtränkungen steigen hauptsächlich auf den Schieferungsfugen in die Schieferhülle hinauf.

Gestützt auf solche Erfahrungen und Überlegungen dürfen wir erwarten, dass auch im Mont Blanc-Massiv die postvulkanischen Wirkungen mit besonderer Ausprägung an den zugespitzten Enden des elliptischen Intrusivkernes zur Geltung kommen müssen.

Im Auftrage der *Studiengesellschaft für die Nutzbarmachung der schweizerischen Erzlagerstätten* hatte ich in letzter Zeit die petrographischen Verhältnisse des *Magnetitvorkommens* vom *Mont Chemin* oberhalb Martigny, am NE-Ende des Mont Blanc-Massives zu studieren.

Die Entstehungsbedingungen dieser Lagerstätte sind bis in die jüngste Zeit ziemlich unklar geblieben. Neue technische Gutachten haben sich bemüht, diese Erzlinsen als sedimentäre Ablagerungen hinzustellen und R. HELBLING¹⁾, der das Erzvorkommen monographisch bearbeitet hat, wagte es nicht, für die eine oder andere Bildungsmöglichkeit Stellung zu nehmen.

Die neuen Erhebungen über die Lagerstätte, die demnächst von der Studiengesellschaft veröffentlicht werden, scheinen mir unzweideutiges Belegmaterial für die Annahme *pneumatolytischer Entstehungsweise* mit *hydrothermalen Nachwirkungen* zu liefern.

¹⁾ R. HELBLING: Die Erzlagerstätten des Mont Chemin bei Martigny im Wallis. Basel 1902.

Mit Erlaubnis der erwähnten Gesellschaft soll hier vorläufig nur skizzenhaft auf folgende Tatsachen hingewiesen werden:

1. Die Erze treten als Linsen und Adern und als Imprägnationen im Zusammenhang mit den *Aplit-Pegmatit-* und *Quarzporphyrint intrusionen* des Mont Blanc-Granites auf, welche letztere sich in die äussersten Teile der Schieferhülle des Massives ergossen haben.

2. Die erzbildenden Substanzen wurden in Form leichtflüchtiger Destillationsprodukte durch jene letzten, sauren Spaltenergüsse aus dem vulkanischen Herd emporgebracht.

3. Die Kondensation der fluiden Stoffe ist hauptsächlich an die Kalkeinlagerungen des paläozoischen sedimentären Substratums der Schieferhülle gebunden. Auch hier haben also die Kalke, die durch die pneumatolytische Metamorphose selbst in hochkristalline Marmore übergeführt worden sind, als Absorptions- und Kondensationsapparate gewirkt.

4. Dieser Ausfällungsprozess der erzbringenden Agentien dürfte zum Teil physikalischer, zum Teil chemischer Natur sein. Der letztern Einwirkung ist die Entstehung prachtvoller *Skarnbildungen* zu verdanken (Granat-Vesuvian-Epidot-Pyroxen-Hornblende und Glimmerfelse).

5. Das Eisenerz ist zum Teil als *Hämatit* emporgebracht worden. Nachfolgende Umwandlungen haben den Eisenglanz meist in *Magnetit* übergeführt. In der Hauptsache hat sich aber der Magnetit direkt aus fluiden Eisenverbindungen, seltener wohl liquidmagmatisch gebildet.

6. Eisenglanz und Magnetit treten zum Teil auch als Auskleidungen miarolithischer Hohlräume der Apliten und Pegmatiten auf.

7. Mit der Erzzufuhr ist eine durchgreifende *Verquarzung*, *Fluoritisierung*, *Apatitisierung* der erzführenden Gesteine und seltener auch *Albitbildung* eng verbunden.

8. Quarz, Fluorit und Apatit erweisen sich vollständig durchsetzt von Gas- und Flüssigkeitseinschlüssen (vibrirende Libellen).

9. Der Fluorit pflegt mit Kupfererzen (*Malachit* und *Azurit*) hauptsächlich im Hangenden der Magnetitlinsen aufzutreten.

10. Die Verbreitung des Fluorits ist im ganzen Gebiete eine allgemeine. Die Bildung dieses Minerals führt bereits zur *hydrothermalen* Tätigkeit hinüber. Dieser möchte ich zurechnen die oft zu konstatierende *Vertalkung* der Hüllschichten der Magnetitlinsen und ihr gehört wahrscheinlich auch die Bildung von *Zinkblende* und *Bleiglanz* an, welche Mineralien am *Tête des Econdouites*, in den Minen des benachbarten *Les Trapistes* und

im Rhonetal oberhalb Charrat, mit dem Flusspat zum Teil abbauwürdig aufzutreten pflegen.

11. Die selten vorkommende *Kobaltblüte* ist als Umwandlungsprodukt eines pneumatolytisch gebildeten CoAs-Erzes aufzufassen.

Auch am Mont Chemin sind die pneumatolytischen und hydrothermalen Einflüsse der granitischen Intrusionen örtlich und zeitlich nicht scharf von einander abzugrenzen.

Über das Zeitverhältnis zwischen der Intrusion des Mont Blanc-Granites und der Dauer der pneumatolytischen und hydrothermalen Nachwirkungen kann noch nichts Bestimmtes ausgesagt werden. Streng beweisende Tatsachen fehlen einstweilen noch, immerhin mag darauf hingewiesen werden, dass L. DUPARC, L. MRAZEC und F. PEARCE¹⁾ Flusspat im Zement des infraliasischen Konglomerates von Amone im Val Ferret im schweizerischen Mont Blanc-Gebiet konstatiert haben. Und einen ähnlichen Fund, der sich aber auf das Aiguilles-Rouges-Massiv bezieht, verdanken wir P. PL. HARTMANN²⁾. Dieser Autor hat von Tsinsaut an den Dents de Morcles eine der kristallinen Schieferhülle des Aiguilles-Rouges-Granites direkt aufgelagerte Triasarkose beschrieben, deren Quarzkörner und Feldspattrümmer fast allein nur mit Fluorit verkittet sind. Die Konturen dieser Trümmergemengteile der Arkose erweisen sich vollkommen gerundet und zeigen in Berührung mit dem Flusspat deutliche Korrosionserscheinungen.

III. INTRUSION DES AAREGRANITES. Pneumatolytisch-hydrothermale Wirkungen lassen sich auch durch das ganze Aarmassiv verfolgen. In gewaltiger Verbreitung und in ausgeprägteste Entwicklung heften sie sich an die Intrusion des Aaregranites.

Dass im *westlichen Teile* dieses Eruptivkernes die vulkanischen Nachwirkungen sich mit besonderer Ausdehnung und Deutlichkeit entwickelt haben, hängt wieder mit der hohen Acidität des Granites in diesem Teile des Massives zusammen. In der *Bietschhornkette* sind diese postvulkanischen Wirkungen eingehend

¹⁾ L. DUPARC et L. MRAZEC: Recherches géologiques et pétrographiques sur le massif du Mt. Blanc. Soc. d. Phys. et sc. nat. Genève. 1898. — L. DUPARC et F. PEARCE: Sur le Poudingue de l'Amone dans le Val Ferret suisse. Compt. rend. 126. 1898.

²⁾ P. PL. HARTMANN: Flussspatzement in Triasarkose. Zentralbl. f. Min. Geol. u. Pal. 1914. — Zur Geologie des kristallinen Substratums der Dents de Morcles. Bern 1915.

von HUTTENLOCHER¹⁾ studiert worden. Hier sowohl, wie in den übrigen Teilen des Massives, befinden sich die Untersuchungen noch in vollem Gange.

An pneumatolytisch zugeführten Stoffen sind für das westliche und mittlere Aarmassiv besonders zu erwähnen: F, Cl, K, Na, Ti, Ce, Mn, B, Fe, W, Mo, Ca, P, S und Si. Folgende Mineralbildungen und Gesteinsumwandlungen ergeben sich als Folgeerscheinungen dieser Substanzzufuhr (vergl. auch die Arbeiten von HUTTENLOCHER).

1. Die Gesteine der kristallinen Schieferhülle sind stets von zum Teil recht grossen, oft zonar gebauten, durch Manganoxyd braunviolett gefärbten *Apatiten* durchsetzt.

2. *Titanit* und *Orthit* haben in den durch pneumatolytische Metamorphose umgewandelten Gesteinen eine ganz allgemeine Verbreitung. Diese beiden Mineralien finden sich hauptsächlich als Einschlüsse in den basischen Gesteinsgemengteilen vor. Dass eine nachträgliche Ce-Zufuhr und Orthitbildung durch ein granitisches Restmagma in früher ausgeschiedenen basischen Differentiationsprodukten in ausgiebiger Weise vor sich gehen kann, das zeigen in unzweideutiger Weise auch die prachtvollen *Orthitschiefer* aus dem Albignagebiet des *Bergeller-Massives*, die fast ausschliesslich nur aus Biotit und aus bis 1—2 Zentimeter langen Orthitkristallen bestehen. Sie treten als basische Differentiations-Schollen mit randlichen Resorptionserscheinungen im Bergeller-Granit auf.

3. Eine weitgehende *Feldspatisierung* der Gesteine findet statt, bei welcher sich *Mikrolin-* (resp. *Orthoklas*) Bildung und *Albitisierung* wechselweise abzulösen scheinen. Dem an Sericitmikrolithen reichen Albit wird durch die nachträgliche Ausscheidung des Orthoklases der Sericit entzogen und umgekehrt erfährt der von Flüssigkeits- und Gaseinschlüssen erfüllte und dadurch dunkel blaugrau gefärbte Mikroklin eine weitgehende Albitisierung (Bildung von *Schachbrett-Albit*, Entfärbung des Mikroklin durch Seltenerwerden und Vergrösserung der Gas- und Flüssigkeitseinschlüsse). Wie weit diese Feldspatisierung noch als direkte magmatische Ausscheidung (Abspaltung der festen Phase) und in welcher Ausdehnung sie durch die Diffusion pneumatolytischer Agentien gebildet wird, das lässt sich

¹⁾ H. HUTTENLOCHER: Vorläufige Mitteilg. z. Petrographie und Geologie des westl. Aarmassives. Mitt. d. nat.-forsch. Ges. in Bern 1921, Heft 1, und

H. HUTTENLOCHER: Beiträge zur Petrographie und Geologie des westlichen Aarmassives. Jahrb. d. phil. Fakultät d. Univ. Bern. Bd. I, 1921.

schwer entscheiden, dass aber der letztern Entstehungsweise eine wesentliche Rolle zukommt, liegt ausser jedem Zweifel.

4. Zu den letzten Ausscheidungen gehört der Quarz. Seine pneumatolytische Bildungsweise erhellt auch hier aus den Flüssigkeits- und Gaseinschlüssen, welche das Mineral vollständig erfüllen. In gleicher Weise zeigen sich übrigens auch der Apatit, Titanit und die *pegmatitischen Calcit-Ausscheidungen* von Gas- und Flüssigkeitseinschlüssen durchsetzt.

Dass Feldspäte und Quarz in der Tat zu den Letztausscheidungen gehören, ergibt sich mit Sicherheit aus den Korrosionserscheinungen, die sie an den übrigen Gesteinskomponenten hervorbringen. Die melanokraten Gemengteile erfahren ausserdem in ihrer Berührung eine starke Ausbleichung. Aber auch die Feldspäte unter sich und der Quarz an ihnen erzeugen Korrosionsformen. Diese fluiden magmatischen Restlösungen müssen eine äusserst intensive chemische und physikalische Aktivität besessen haben.

5. Unter den letzten Zufuhrprodukten der Pneumatolyse sind auch zu erwähnen der Turmalin, sowie die *Scheelit*-vorkommnisse, welche letztere sich in den Schieferhüllen des mittlern und östlichen Aarmassives gefunden haben, und hierher sind grösstenteils auch die *Erze* zu rechnen. Am klarsten liegt die pneumatolytische Bildungsweise zutage bei *Eisenglanz* und *Molybdänglanz*, die beide im Aarmassiv eine viel allgemeinere Verbreitung besitzen, als wie das bis jetzt bekannt war. Beide Erze treten meist mit pegmatitischem Quarz zusammen auf.

Recht charakteristisch scheint mir ein Magnetit-Eisenglanzvorkommen, das kürzlich von R. Wyss an der Grimsel aufgefunden worden ist. Das Erz bildet hier das Kittmittel einer Aplitbreccie.

Magnetkies scheint häufig im Bereiche der pneumatolytischen Kontaktmetamorphose zu entstehen.

Andere Erzvorkommnisse des Aarmassives dürften dagegen zum Teil schon als hydrothermale Bildungen zu betrachten sein.

6. Diese *hydrothermale Tätigkeit* wurde ausgelöst durch mineralreiche, CO₂-haltige thermale Wässer. Ihr ist zuzuschreiben die weitgehende *Epidotisierung*, *Chloritisierung*, *Serpentinisierung* und *Vertalkung*, welche in erster Linie die basischen Gemengteile und die Einlagerung basischer Eruptiva der Schieferhülle betroffen hat. In extremen Verhältnissen haben diese chemisch äusserst wirksamen wässerigen Lösungen auch direkte Verdrängungspseudomorphosen ganzer Gesteinskomplexe erzeugt. HUTTENLOCHER hat im Bietschhorngebiet (Klein Nesthorn)

grössere Aplit- und Pegmatitmassen aufgefunden¹⁾, die unter Erhaltung ihrer ursprünglichen Struktur vollständig in Talk übergeführt worden sind.

Im Talk auftretende neugebildete Albite zeigen nur wieder, dass die Wirkungen pneumatolytischer und hydrothermalen Tätigkeit nicht scharf voneinander zu trennen sind, wie wir auch die Paragenesen typischer Pegmatitminerale in unsern Alpen überall in die, aus sich abkühlenden Lösungen ausgeschiedenen Drusenminerale ohne Möglichkeit einer bestimmten Abgrenzung übergehen sehen.

Die durch die pneumatolytischen und hydrothermalen Agentien ausgelöste Kontaktmetamorphose reicht im ganzen Aarmassiv kilometerweit in die Schieferhülle hinaus.

In eigenartiger Ausprägung haben sich die hier in Frage stehenden nachvulkanischen Bildungen im *Querprofil des Reusstales* entwickelt. Das *Kraftwerk Amsteg der S. B. B.* und der Bau der Gotthardstrasse haben in diesem durch seine Mineralfundstätten längst bekannten Teile des Massives neue, ausgezeichnete Beobachtungsstellen geschaffen. Als augenfälligstes Merkmal dieser Vorkommnisse tritt die ausgesprochene *Erzbildung* hervor.

Die Hauptvererzungszonen finden sich in 1,5—1,6 km Entfernung vom Granitkontakt in der kontaktmetamorph umgewandelten, nördlichen Schieferhülle des Aaregranites. Als Erzbringer funktionierten einerseits *Quarzporphyrintrusionen* und andererseits *Pegmatitgänge* und *-Linsen*, die vom granitischen Herd aus das Nebengestein intrudiert haben.

a) *Erzvorkommen gebunden an Quarzporphyrintrusionen.* Im Stollenstück Fenster V., 300 m N. des Zuleitungstollens des Amsteger Werkes setzt im Biotit-Chloritgneis *konkordant* zur Schieferung ein 3 m mächtiger Gang eines fluidalen und gepressten Quarzporphyrs auf, der mit 60° gegen S einfällt und als Hangendes ein $\frac{1}{2}$ —1 m mächtiges Band sulfidischer Erze besitzt. Das Liegende des Quarzporphyrs bildet eine ebenfalls erzhaltende schmale Verquarzungszone.

Nach abnehmender Häufigkeit geordnet, beteiligten sich folgende Erze an der Zusammensetzung des Bandes und der Imprägnationen, die von demselben in die nächste Umgebung des Nebengesteins hinausreichen: *Bleiglanz, Zinkblende, Kupferkies, Pyrit* und *Magnetkies*. Die chemische Analyse des Erzes hat auch 0,055% As und Spuren von Ag ergeben. Die mittel- bis grobkörnigen, stark glänzenden Erzaggregate liefern in ihrem

¹⁾ l. cit.

Farbenwechsel prächtige Stufen. Als *Gangart* finden sich vor: *Quarz*, *Albit* und *Sericit*.

Eine deutliche Sukzessionsfolge zwischen allen diesen Gemengteilen ist nicht festzustellen. Bald füllen Quarz und Albit die Spalten der Erzausscheidungen aus, und bald wieder tritt das Erz als Imprägnation der körnigen Quarzaggregate auf. Der Quarz ist durchwegs erfüllt von vibrierenden Gaslibellen und Flüssigkeitseinschlüssen.

b) *Erzvorkommen gebunden an Pegmatitintrusionen*. Im gleichen Stollenstück durchschwärmen *unregelmässig* und *diskordant* verlaufende Pegmatitgänge- und Linsen an mehreren Stellen (Fenster V, N, 310 m, 412 m und Umgebung) den Chlorit-Biotitgneis. Nach der Eigenart ihrer Ausbildung und Erzführung können diese Intrusionen als *Manganpegmatite* bezeichnet werden. Ihre Bildung entspricht jedenfalls einem *letzten Stadium* der pneumatolytischen Tätigkeit.

Als seltenes und wohl *einziges bisher bekannt gewordenes schweizerisches Vorkommen* führen diese *Quarz-Calcit-Pegmatitgänge* die *Manganblende* (Alabandin) MnS . Das schwarzbraune Erz bildet in einzelnen linsigen Ausscheidungen, oder in perl-schnurartiger Anordnung die zentralen Partien der wenig mächtigen Pegmatite. Reinste, möglichst gangartfreie Erzproben ergaben folgende mineralogisch-chemische Zusammensetzung. (Meinem Freunde Dr. TRUNINGER bin ich für die Ausführung der Analyse sehr zu Dank verpflichtet):

MnS	92,0 %
FeS	5,7 %
SiO ₂	1,7 %
CaO	} Spuren.
Al ₂ O ₃	

Die mikroskopische Untersuchung zeigte, dass als weitere Erze mit der Manganblende zusammen in spärlicher Verteilung *Zinkblende*, *Magnetkies* und *Pyrit* auftreten.

Als *Gangart* finden sich vor:

Quarz, die Hauptmasse der Pegmatite bildend, erfüllt von Gas- und Flüssigkeitseinschlüssen. *Rhodonit* (oder event. auch ein anderer Mn-führender Augit). Die zarte rosa Farbe dieses Minerals verleiht den Pegmatitgängen und Adern, welche oft die dunklen Schiefer wie ein Netzwerk vollständig durchflechten, ein wunderschönes Aussehen. *Granat* (wahrscheinlich ebenfalls Mn-haltig). *Strahlstein* in feinen Nadelchen und radialstrahligen Aggregaten. *Kalkspat* zum Teil zwischen die Quarzkörner des

Pegmatites sich einfügend, zum Teil aber auch in pegmatitischer Durchwachsung mit dem Quarz selber auftretend, voll von Einschlüssen und häufig mit vibrierenden Gaslibellen. Mit der Vererzung lässt sich auch hier *Sericitisierung* feststellen.

Alle diese Tatsachen weisen also unzweideutig darauf hin, dass wir es auch im Reusstal, ausgehend von sauren Randintrusionen des Aaregranites, mit einer pneumatolytischen Erzzufuhr und damit verbundener pneumatolytischer Kontaktmetamorphose zu tun haben. Dass diese nachwirkende intrusive und pneumatolytische Tätigkeit auch *postkarbonisch* noch nachgedauert hat, das ergibt sich daraus, dass die karbonischen Sedimente, welche der Schieferhülle in mehrfacher, schuppenartiger Wiederholung eingelagert sind, noch kräftig von Quarzporphyr-Intrusionen durchsetzt werden, und dass im *Bifertengebiet*, wie das B. G. ESCHER¹⁾ beschrieben hat, karbonische Sandsteine und Tonschiefer durch pneumatolytische Kontaktmetamorphose verquarzt und turmalinisiert worden sind. Ferner hat sich jüngst auch ergeben, dass in den metamorphen, sehr wahrscheinlich karbonischen Schiefeln an der *Gotthardstrasse* oberhalb Amsteg lokal in beträchtlichem Masse eine Zufuhr von *Eisenglanz* und *Graphit* stattgefunden hat. Um so auffallender erscheint es daher, wenn wir in Konglomeraten derselben karbonischen Ablagerungen Aplitgerölle des Aaregranites antreffen. Die Sedimentation des Karbons und die Quarzporphyrintrusionen und Extrusionen, die nach *vollständiger Erstarrung* der aplitischen Randfacies des Granites sich aus der Tiefe noch nachschoben, müssen also zeitweise noch nebeneinander hergegangen sein. Dass die Quarzporphyre zum Teil in Ergussfacies sich entwickelt haben, das zeigen die mit ihnen vorkommenden Tuffbildungen (vergl. W. STAUB: Geologische Beschreibung der Gebirge zwischen Schächental und Maderanertal im Kanton Uri. Beitr. z. Geol. Karte d. Schw., Neue Folge, 32. Lfg., Bern 1911).

Den vorherrschend pneumatolytischen Wirkungen der Aaregranitintrusion müssen auch im Gebiete des Reusstales noch ausgesprochen *hydrothermale Einflüsse* nachgefolgt sein. Diese letzteren äusserten sich in der vollkommenen Zersetzung (Kaolinisierung) mancher, das Karbon injizierender Quarzporphyrgänge, wie sie im Amsteger-Stollen angetroffen worden sind (Fenster VI, N, 550—560 m).

¹⁾ B. G. ESCHER: Über die prätriasische Faltung in den Westalpen mit besonderer Untersuchung des Carbons an der Nordseite des Tödi. Amsterdam 1911.

Das ganze wissenschaftliche Material, das der Amsteger-Stollen geliefert hat, steht zurzeit in Bern noch in detaillierter petrographischer Bearbeitung.

Im östlichsten Teile des Aarmassives liegen die *Magnetit-Eisenglanz-Kupferkies-Cuprit-Lagerstätten* der *Alpe Puntaiglas* im Bündner Oberland. Bei diesen, in einem metamorphen Diorit auftretenden Erzvorkommnissen handelt es sich sicher nicht um eine magmatische primäre Ausscheidung aus dem Dioritmagma, wie es A. BODMER-BEDER¹⁾ meint, sondern ebenfalls um eine pneumatolytisch-hydrothermal gebildete Lagerstätte, deren Erzzufuhr sich von einer sauren Randintrusion des Aaregranites aus vollzogen hat, unter gleichzeitiger intensiv metamorpher Umgestaltung des ältern dioritischen Gesteines, in dem sich die fluiden Agentien der nahe gelegenen Granitintrusion kondensierten.

IV. GOTTHARD-MASSIV. Eine von den bis jetzt erwähnten pneumatolytisch-hydrothermalen Wirkungen wieder etwas abweichende *Facies* der postvulkanischen Bildungen weist das Gotthard-Massiv auf. Hier sind die Erscheinungen in ihrer Riesenausdehnung zum grössten Teil schon längst bekannt, haben aber nach ihrem ursächlichen Zusammenhange meist nicht die richtige Deutung erfahren.

In vollständiger klarer Übersicht und in gewaltiger Entwicklung lässt sich der ganze Zyklus intrusiver und postvulkanischer Vorgänge auf der *S-Seite des Gotthard-Massives* verfolgen:

Vom Fibbia-Granit zu seiner aplitischen Randfacies, dem Tremola-Granit, zu dem stark von Aplitintrusionen durchsetzten Sorescia-Gneis und den mächtig entwickelten pegmatitisch injizierten und durchgasten Schiefen der Tremola-Serie führt eine lückenlose Folge hinüber, ohne dass zwischen diesen verschiedenen Graden magmatischer und nachintrusiver Einwirkung sich irgendwo eine scharfe Grenze ziehen liesse. Nur die eine Tatsache ist in die Augen springend, dass von innen nach aussen die direkt magmatischen Einwirkungen des Gotthard-Granites mehr und mehr zu seinen pneumatolytisch und hydrothermal umgestaltenden Einflüssen übergehen. Der ganze Komplex der Tremola-Schiefer ist in seiner heutigen Ausbildung bedingt durch eine vom Gotthard-Granit ausgehende pneumatolytisch-hydrothermale Kontaktmetamorphose.

¹⁾ A. BODMER-BEDER: Die Erzlagerstätten der Alp Puntaiglas im Bündner-Oberland und ihre Felsarten. N. J. B. f. M. G. u. P. Beilage-Band XI. 1897.

kommt damit in Konflikt mit ARGANDS Auffassung (6, p. 512 und 520).

Diese Widersprüche glaube ich nun an Hand meiner diesjährigen Beobachtungen lösen zu können.

Zunächst habe ich 1920 von Maggia aus konstatiert, dass hier die Äquivalente des Maggialappens gegen S sich in ungeheurer Weise verbreitern und in zwei Streichrichtungen auseinandergehen, sich einerseits mit SW-streichen dem südöstlich einfallenden Antigoriogneis anschmiegen, andererseits östlich der Maggia ganz steil aufgerichtet der emportauchenden „Granitmauer“ des Val d'Osola folgen. Die Streichrichtung der letzteren biegt in gewaltigem Bogen allmählich aus N-S, über NW-SE in W-E um.

Über dem muldenförmigen Teil des Tessinergneises zwischen Maggia- und Tessintal lagert — im N durch mächtige Paragneise des Campo-Tencia-Lappens vom Tessinergneis getrennt, im S weniger auffällig davon geschieden — eine ganz flach S-fallende, im mittleren Verzascatal weit ausgedehnte Granitdecke, die man am besten als „Verzascagranit“ bezeichnet. Dieser ist offenbar mit dem ebenfalls flach S-fallenden *Granitgneis des Pizzo Barone und Pizzo Antimonio* identisch und verbindet sich mit ihm in der *Cima Bianca* (Profil A und VI).

Über dem Verzascagranit stellt sich zwischen dem untern Verzascatal und der Riviera eine noch höhere, flachliegende Gneisdecke ein, die vom Verzascagranit durch eine ausgeprägte mesozoische „Mulde“ getrennt ist. Dieser Gneis biegt im *Pizzo Vogorno* steil nach S ab. Er mag *Vogornogneis* heissen. („Cimalunga-Decke“, 9, p. 512; vgl. Profil VI unserer Tafel IX.)

Die dringendste Aufgabe bestand nun darin, den Verlauf der Grenze von Verzascagranit und Vogornogneis festzustellen. Meine diesjährigen Aufnahmen haben für den Verzasca-Abschnitt dieser Grenze folgendes ergeben:

Die die Grenze markierenden Kalkschiefer werden gegen S allmählich ausgequetscht, dagegen halten die Ophiolithe, die sie begleiten, länger aus, wenn auch nur in Form verquetschter Olivin-Talk-Gesteinslinsen. Auch ein charakteristischer Knotengneis des Hangenden bleibt leitend. Der Verlauf der genannten Deckengrenzlinie ist ein überraschender. Ich hatte erwartet, dass nach dem Abbiegen der Gneisdecken zur Wurzelregion, sich diese Grenzlinie der allgemeinen W-E-Richtung der Wurzeln anschliesse. Statt dessen biegt sie westlich der Verzasca nach NW zum Innenrand des grossen Bogens der „Granitmauer“ im Val d'Osola. Demnach vereinigt sich aber der *Vogornogneis* westlich um den *Verzascagranit* herum mit dem *Ruscadagneis*

(siehe Tafel IX, Karte und Profil VI). Wir finden also denselben bogenförmig kontinuierlich aufgeschlossenen Gneis, sowohl oben auf den Spitzen der südlichen Verzascaberge flach ausgebreitet, als unten im Talgrund der Maggia bei Prato *nach E einfallend*. Dem Anschein nach bildet er hier den Gegenflügel des W-fallenden Haupttessinergneises.

Die Betrachtung der Gesamtheit der Lagerungsverhältnisse zwingt mich zur Annahme einer mächtigen *Querfalte*. Ihr Scharnier liegt in der „*Granitmauer*“ im Hintergrund des *Val d'Osola* mit NW-SE-Streichen und schwachem südöstlichem Einfallen. Der stark erodierte *Gewölbeschenkel* dieser gewaltigen Querfalte ist durch die Gneise des *Pizzo Vogorno* und *Pizzo di Precastello*, sowie des *Madone di Giove* gebildet (siehe Profil C und VI). Die flach bogenförmig aufgeschlossene *Gewölbeumbiegung* wird durch die gedrehte *Granitmauer* zwischen M^{no} di Giove und *Pizzo di Ruscada* markiert (siehe Profil A, B. und C., Tafel IX). Der verkehrte *Mittelschenkel* bildet die Hauptmasse der westlichen Partien des Gebirges zwischen Tessin und Maggia, d. h. den Hauptteil des *Campo-Tencia-Lappens* samt dem *Ruscadagneis*. Im Tessintal sind Reste des ausgewalzten Mittelschenkels über dem Haupttessinergneis zu suchen, bedeckt vom Verzascagranit und dem Simanogneis.

Den *Kern* des ganz flachgezogenen *Gewölbes* bildet der *Verzascagranit*, der durch die Kalkschiefer der Alp Fumegna und den Marmor von Frasco von dem umhüllenden Adula- und Tessinergneis getrennt ist. Die östliche Fortsetzung dieses Kerns ist der *Simanogneis*. *Verzascagranit* und *Simanogneis* bilden die tiefsten Glieder des alpinen Deckensystems und sind tektonisch dem *Verampiogranit*, der *Basis der Tosakulmination* gleichzusetzen. Als Kern der *Tessiner Querfalte* ist der *Verzascagranit* ca. 20 km in W-E-Richtung gemessen über den *Tessinergneis* überschoben.

Der *Tessinergneis* muss als *Muldenschenkel* der *Querfalte* aufgefasst werden. Er ist im Tessintal samt der darüber ausgebreiteten *Querfalte* zum „*Bombement Tessinois*“ sanft emporgewölbt. (Profil A, Tafel IX.) Nach W verschwindet er unter der *Querfalte* und taucht erst im *Maggiatal* als *Muldenschenkel* derselben in Gestalt der *Leone-Antigoriodecke* wieder auf.

Den *Muldenkern* der *Querfalte* bildet der *Maggialappen* (Bernharddecke oder *Nappe IV*; vgl. Profil A, Tafel IX). Die *Einfaltung* resp. *Einwicklung* unter die *Querfalte* beträgt bei

holenden postvulkanischen Tätigkeit erhärten. Von den granitischen Intrusionszentren und ihren randlichen Apophysen strahlen allenthalben diese Beeinflussungen in die Schieferhülle hinaus.

Vielerorts können heute die Gesteinsumwandlungen, die bisher einer unbestimmten Regionalmetamorphose oder einer, in diesem Falle noch problematischeren Dynamometamorphose zugeschrieben werden mussten, präziser gefasst werden. Auf Schritt und Tritt lassen sich alle Zusammenhänge verfolgen zwischen den direkten Kontaktwirkungen des granitischen Magmas und den äussersten, durch Gas und wässrige Lösung wirkenden gesteinsumwandelnden Einflüssen. Die Kontaktmetamorphose kann uns zum Gradmesser der magmatischen und postmagmatischen Vorgänge werden, die sich in geologischer Vorzeit in der Tiefe der Erdkruste ausgewirkt haben. Möge es nicht mehr allzulange dauern, bis wir, aufbauend auf streng physikalisch-chemischer Grundlage das grosse Gesetz aufstellen können, dem die verschiedenen Faciesausbildungen der pneumatolytisch-hydrothermalen Wirkungen unserer alpinen Granitintrusionen unterworfen sind.

Manuskript eingegangen am 1. Oktober 1921.

Beitrag zur Glaukophanfrage von Graubünden.

Von O. WILHELM, Basel.

Das Auftreten von Glaukophan in Graubünden hat durch die neuern Funde von R. STAUB¹⁾ und die Bedeutung, die letzterer diesem Mineral in bezug auf die Deckenparallelisierung von Wallis und Graubünden beimisst, grössere Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Ein *Glaukophanprasinit* wurde zwar bereits im Jahre 1891 von C. SCHMIDT²⁾ aus den Ophioliten der Bündnerschiefer des Val Starlera, östlich Inner Ferrera beschrieben. Ein weiteres Vorkommen von Glaukophan gibt W. FREUDENBERG³⁾ aus den Triasmarmoren östlich Cröt (Avers)

1) *Eclogae*, Vol. XVI, No. 1 pag. 26 und No. 2 pag. 217.

2) *Beiträge zur geolog. Karte der Schweiz*, No. XXV, Anhang, pag. 58.

3) *Neues Jahrbuch f. Min. etc.*, Beilage-Bd. 36, pag. 315.